

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



*Una Institución Adventista*

**Aprovechamiento de tereftalato de polietileno (PET) reciclado y residuo aserrín de madera para el desarrollo de un compuesto plástico-madera**

**Autores:**

Santa Reyna Polanco Ramírez  
Lizbeth Quispe Baldeón

**Asesor:**

Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe

Lima, septiembre de 2019

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

PhD. Noe Benjamin Pampa Quispe, de la facultad de Ingeniería y arquitectura, Escuela Profesional Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Aprovechamiento de tereftalato de polietileno (PET) reciclado y residuo aserrín de madera para el desarrollo de un compuesto plástico-madera" constituye la memoria que presenta los Bachilleres Lizbeth Quispe Baldeón y Santa Reyna Polanco Ramirez, para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en *Lima*, a los *03 días del mes de octubre del 2019*.



PhD. Noe Benjamin Pampa Quispe

Aprovechamiento de tereftalato de polietileno (PET) reciclado y  
residuo aserrín de madera para el desarrollo de un compuesto  
plástico-madera

## TESIS

Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

### JURADO CALIFICADOR

  
Ph.D. Leonor Segunda Bustanza Cabala  
Presidenta

  
Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez  
Secretaria

  
Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio  
Vocal

  
Ing. Roberto Roland Yoctun Ríos  
Vocal

  
Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe  
Asesor

Lima, 30 de setiembre de 2019

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño dedico este trabajo de investigación principalmente a Dios, por haberme dado la vida, salud y permitirme haber llegado hasta este paso que es muy importante de mi formación Profesional. A mi madre y mi padre por su apoyo incondicional, cariño y formarme una señorita con hábitos y valores, y a mis hermanas que siempre estaban ahí apoyándome en todo momento.

*Lizbeth Quispe Baldeón*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación de Tesis lo dedico principalmente a Dios, por darme fuerzas para continuar en este proceso de mi formación profesional, a mis padres por su apoyo incondicional y mi esposo por darme la confianza y el valor de seguir luchando hasta lograr mi objetivo.

*Reyna Polanco Ramirez.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento a Dios porque el guía mis pasos y me da muchas fuerzas para seguir adelante.

A Programa Beca 18, por haberme dado la oportunidad de ser becaria y hacer cumplir mi sueño hecho realidad.

A la Universidad Peruana Unión “alma mater cristiano” por haber me dado la oportunidad de formarme profesional y por tener docentes valiosos. Ellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario.

Al docente Dr. Noe Benjamin Pampa Quispe, por el asesoramiento de la tesis y su valioso tiempo durante el desarrollo de tesis.

Gracias a todas las personas que me apoyaron directa e indirectamente en la realización de mi tesis.

Lizbeth Quispe Baldeón

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad para seguir adelante.

Agradezco a la Universidad por brindarme todos estos cinco años los mejores hábitos y la confianza para seguir formándome profesionalmente.

Muchas gracias al Programa Nacional de Beca 18, por su apoyo incondicional y hacerme un sueño de ser profesional que sirva a la sociedad.

Agradezco al Asesor de Tesis. Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe por dedicarse en nuestro proceso de tesis y apoyarnos con su orientación para su culminación.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas que estuvieron orientándome y apoyándome hasta obtener mi título profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SÍMBOLOS USADOS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. CAPITULO I:</b> .....	<b>17</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>17</b>
1.1. El Problema .....	17
1.2. Justificación.....	19
1.3. Presuposición filosófica .....	22
1.4. Objetivos .....	22
1.4.1. Objetivo general .....	22
1.4.2. Objetivo específico.....	22
<b>2. CAPITULO II</b> .....	<b>23</b>



<b>REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>23</b>
2.1. Antecedentes .....	23
2.2. Margo legal .....	24
2.3. Residuos sólidos.....	26
2.4. Clasificación de residuos sólidos .....	26
2.4.1. Residuos Domiciliarios .....	27
2.5. Mecanismos para el tratamiento de residuos inorgánicos.....	28
2.5.1. Reciclaje .....	28
2.6. Polímeros Reciclados .....	29
2.7. Polímeros compuestos.....	30
2.7.1. Ventajas y desventajas de polímeros compuestos.....	30
2.7.2. Propiedades de los polímeros.....	31
2.7.3. Clasificación de los polímeros .....	31
2.8. Tereftalato de Polietileno (PET) .....	32
2.8.1. Obtención de Tereftalato de polietileno (PET) .....	32
2.8.2. Aplicación de Tereftalato de polietileno (PET) .....	33
2.8.3. Función de lo envases fabricados de Tereftalato de polietileno (PET).....	34
2.9. Fibra como refuerzo del compuesto .....	34
2.9.1. Características de la interface matriz- refuerzo.....	35
2.10. Fibra natural .....	36
2.10.1. Tipos de fibras natural.....	37
2.10.2. Ventajas y desventajas del uso de fibras naturales.....	37
2.11. Producción de madera en el Perú .....	37
2.12. Fibras de aserrín .....	38
2.13. Arcilla.....	39
2.13.1. Bentonita .....	39
2.13.1.1. Propiedades fisicoquímicas de las bentonitas .....	40
2.14. Plástico madera .....	40
<b>3. CAPITULO III.....</b>	<b>42</b>
<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1. Lugar de ejecución .....	42
3.2. Materiales y equipos.....	42
3.2.1. Materia prima .....	42
3.2.2. Equipos.....	42

3.3.	Metodología .....	44
3.3.1.	Acondicionamiento de la materia prima .....	44
3.3.2.	Diseño del equipo para fusión térmica.....	44
3.3.3.	Determinación de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima .....	44
3.3.4.	Procesamiento tecnológico.....	45
3.3.5.	Proceso de corte para probetas según ASTM.....	46
3.3.6.	Caracterización de las propiedades mecánicas.....	46
3.3.6.1.	Ensayo de resistencia de Tracción y elongación.....	46
3.3.6.2.	Caracterización de las propiedades morfológica estructural.....	47
3.3.6.3.	Caracterización de las propiedades de difracción rayos X.....	48
3.3.7.	Diseño de experimento.....	48
3.3.7.1.	Diseños estadísticos.....	48
3.3.7.2.	Análisis estadístico .....	51
3.3.8.	Biodegradabilidad de los WPC .....	51
<b>4.</b>	<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>52</b>
	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
4.1.	Análisis fisicoquímico de PET y fibra de aserrín de madera. ....	52
4.2.	Resultados de compuesto plástico-madera en horno eléctrico.....	58
4.3.	Resultados de las propiedades mecánicas .....	60
4.3.1.	Propiedad Ruptura de tracción (MPa).....	62
4.3.2.	Resultado de propiedad de Elongación (%) .....	66
4.4.	Características morfológicas estructural .....	74
4.5.	Difracción de rayos X .....	76
4.6.	Resultados de la biodegradabilidad de plástico-madera .....	77
4.6.1.	Comparación de tiempo y pérdida de peso .....	85
<b>5.</b>	<b>CAPITULO V .....</b>	<b>86</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>
5.1.	Conclusiones .....	86
5.2.	Recomendaciones.....	87
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ejemplos de residuos domiciliarios (Pinto, 2009).....	28
<b>Tabla 2.</b> Según González (2014) entre las ventajas y desventajas tenemos .....	30
<b>Tabla 3.</b> Ventajas y desventajas del uso de fibras naturales (Majewski y Błedzki, 2013) .....	37
<b>Tabla 4.</b> Equipos usados para el proceso y análisis de cuerpos.....	43
<b>Tabla 5.</b> Materiales que fue usado durante la investigación.....	43
<b>Tabla 6.</b> Niveles y parámetros del diseño de experimentos para el desarrollo.....	50
<b>Tabla 7.</b> Diseño de experimento factorial con variable independiente y dependiente .....	50
<b>Tabla 8.</b> Datos de granulometría de diferentes tamices.....	52
<b>Tabla 9.</b> <i>Resultados de granulometría de aserrín de madera</i> .....	54
<b>Tabla 10.</b> <i>Cálculo de densidad de gránulos Pellets por 3 replicas</i> .....	56
<b>Tabla 11.</b> Cálculo de densidad de aserrín por 3 réplicas. ....	56
<b>Tabla 12.</b> <i>Cálculo de humedad de pellets por tres replicas</i> .....	57
<b>Tabla 13.</b> <i>Cálculo de humedad de aserrín de madera</i> .....	58
<b>Tabla 14.</b> Resultados de propiedades mecánicas de resistencia Tracción y Elongación.....	60
<b>Tabla 15.</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para prueba de la ruptura de tracción (MPa) .....	62
<b>Tabla 16.</b> Coeficiente de regresión para generar el modelo matemático.....	65
<b>Tabla 17.</b> Resultado de análisis de varianza (ANOVA) para prueba de Elongación (%). ....	66
<b>Tabla 18.</b> Coeficiente de regresión para generar el modelo matemático.....	69
<b>Tabla 19.</b> Resultados de biodegradabilidad de la muestra 1. ....	78
<b>Tabla 20.</b> Regresión (ANOVA) del muestra 1 .....	79
<b>Tabla 21.</b> Análisis de Variación con el tiempo.....	79
<b>Tabla 22.</b> Resultado de biodegradabilidad de la muestra 5 .....	79
<b>Tabla 23.</b> Regresión (ANOVA) del muestra 5. ....	80
<b>Tabla 24.</b> Análisis de Variación con el tiempo.....	81
<b>Tabla 25.</b> Resultado de biodegradabilidad de la muestra 7 .....	81
<b>Tabla 26.</b> Regresión (ANOVA) del muestra 7 .....	82
<b>Tabla 27.</b> Análisis de Variación con el tiempo.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño del horno eléctrico .....	44
Figura 2. Modelo de corte de probetas según ASTM D638 del tipo IV .....	46
Figura 3. Cuerpo de plástico madera en la porta objeto .....	48
Figura 4. Procesamiento a 180°C a diferentes concentraciones de aserrín y arcilla .....	49
Figura 5. Procesamiento a 200°C a diferentes concentraciones de aserrín y arcilla. ....	49
Figura 6. Procesamiento a 220°C a diferentes concentraciones de aserrín y arcilla .....	49
Figura 7. Entierro de probetas para la biodegradabilidad de la prueba 1, 5 y 7 .....	52
Figura 8. Peso retenido de gránulos de PET .....	53
Figura 9. Peso retenido de granulometría de aserrín de madera.....	55
Figura 10. Fotografía de compuesto de plástico- madera de los primeros tres tratamientos a 180°C .....	59
Figura 11. Fotografía de compuesto de plástico- madera de los tres tratamientos a 200°C.....	59
Figura 12. Fotografía de compuesto de plástico- madera de los tres tratamientos a 220°C.....	59
Figura 13. Evaluación de promedio de ruptura de tracción (MPa) y barras de error. ....	61
Figura 14. Evaluación de promedio de ruptura de Elongación (%) y barras de error. ....	61
Figura 15. Diagrama de Pareto de la ruptura de tracción (MPa).....	62
Figura 16. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de aserrín de madera y temperatura. ....	63
Figura 17. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de arcilla bentonita y temperatura. ....	64
Figura 18. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de arcilla bentonita y aserrín de madera	64
Figura 19. Diagrama de Pareto de la Elongación (%). ....	67
Figura 20. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de aserrín de madera y temperatura ....	68
Figura 21. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de los valores de arcilla bentonita y temperatura.....	68
Figura 22. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de arcilla bentonita y aserrín de madera	69
Figura 23. Fotomicrografía de microscopia electrónica de la superficie del compuesto. ....	74
Figura 24. Fotomicrografía de microscopia electrónica de la superficie de la muestra PET .....	74
Figura 25. Fotomicrografía de microscopia electrónica de la superficie .....	75
Figura 26. Difracción rayos X de compuesto plástico - madera compuesto. ....	76
Figura 27. Biodegradabilidad de plástico madera de la Muestra 1 .....	78
Figura 28. Biodegradabilidad de plástico madera de muestra 5.....	80
Figura 29. Biodegradabilidad de plástico madera de la muestra 7.....	81
Figura 30. Pérdida de peso de las muestras.....	85

## ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1.</i> Proceso de obtención de materia prima de botellas plásticas PET hasta gránulos. ....	93
<i>Anexo 2.</i> Lavado de materia prima gránulos de PET y aserrín de madera. ....	93
<i>Anexo 3.</i> Secado de aserrín de madera por capas en una estufa a 105°C .....	94
<i>Anexo 4.</i> Granulometría de PET reciclado. ....	94
<i>Anexo 5.</i> Procedimiento de granulometría del aserrín de madera.....	95
<i>Anexo 6.</i> Aserrín de madera para el experimento de plástico madera. ....	95
<i>Anexo 7.</i> Procedimiento para el desarrollo de densidad (g/ml) para Gránulos de PET. ....	96
<i>Anexo 8.</i> Procedimiento para el desarrollo de Densidad (g/ml) para Aserrín (g). ....	96
<i>Anexo 9.</i> Procedimiento para el cálculo de Humedad de los gránulos de PET. ....	97
<i>Anexo 10.</i> Procedimiento para obtención de cuerpos de plástico madera. ....	97
<i>Anexo 11.</i> Cortes según normas ASTM D638 tipo IV para las nueve probetas por duplicata. ....	98
<i>Anexo 12.</i> Resultados de ruptura de tracción (MPa) y Elongación (%) .....	99
<i>Anexo 13.</i> Analices de morfología de plástico-madera. ....	100
<i>Anexo 14.</i> Equipo de rayos difracción X (DRX) .....	100
<i>Anexo 15.</i> Biodegradabilidad en el Mes de Enero.....	101
<i>Anexo 16.</i> Biodegradabilidad en el Mes de Febrero .....	101
<i>Anexo 17.</i> Biodegradabilidad en el Mes de Marzo .....	101
<i>Anexo 18.</i> Biodegradabilidad en el Mes de Mayo .....	102
<i>Anexo 19.</i> Linealidad de los valores experimentales con los predichos de ruptura de tracción (Mpa).....	103
<i>Anexo 20.</i> . Linealidad de los valores experimentales con los predichos de Elongación (%). ....	103

## SÍMBOLOS USADOS

**ASTM** : American Society for Testing and Materials

**D.L** : Ley Decreto N° 1278

**DRX** : Difracción radios X

**MINAM:** Ministerio del Ambiente

**MG** : Método gravimétrico

**OEFA** : Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

**PET** : Tereftalato de polietileno

**PR** : Polímeros reciclados

**RAM** : Residuo de aserrín de madera

**WPC** : Wood Plastic Composite

## RESUMEN

Los residuos tanto madereros y termoplásticos poliméricos son poco reutilizados, por ende, terminan su vida útil depositados en lugares inadecuados contaminando el medio ambiente. Este trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar un compuesto de plástico-madera (*Wood Plastic Composite* - WPC) a base de Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado y residuos de aserrín de madera (RAM). La metodología empleado en todo el proceso fue desde la obtención de materia prima (PET reciclado, aserrín de madera y adicional arcilla bentonita) hasta obtener compuestos plástico-madera y cuerpos a probetas según ASTM D 638 de tipo IV, se caracterizaron las propiedades fisicoquímica y granulométrica de la materia prima, luego se obtuvo las compuestos plástico madera por metodología de fusión térmica, en las probetas se analizaron las características de propiedades mecánicas, análisis de microscopia electrónica de barradura, ensayo de difracción rayos X y el estudio de biodegradabilidad. Los resultados morfológicos por microscopia electrónica de barradura se observó una buena mezcla de los tres componentes de plástico-madera, y también se llegó identificar por DRX los picos característicos de existencia PET reciclado, aserrín de madera y arcilla bentonita. Los resultados de las propiedades mecánicas como Ruptura de Tracción (MPa) se encuentra entre 4456 MPa a 9441 MPa, asimismo las características de elongación (%) se encuentra entre 1.3 % a 2.7 %. los análisis estadísticos ANOVA indica un buen coeficiente de determinación de 83 % para fuerza de ruptura y 82 % en elongación (%), y los resultados de biodegradabilidad tuvo una pérdida de peso 16.72, 14.67 y 10.17 % durante 4 meses, llegando a predecir su biodegradabilidad al 100% entre 2 a 4 años aproximadamente 2 a 4 años aproximadamente.

**Palabra Clave:** Plástico madera, PET reciclado, aserrín de madera, arcilla bentonita.

## ABSTRACT

Both wood and thermoplastic polymer waste are poorly reused, therefore they end their useful life deposited in inappropriate places polluting the environment. This research work aims to develop and characterize a plastic-wood compound (Wood Plastic Composite - WPC) based on recycled Polyethylene Terephthalate (PET) and wood sawdust residues (RAM). The methodology used throughout the process was from obtaining raw material (recycled PET, wood sawdust and additional bentonite clay) to obtaining plastic-wood compounds and test tube bodies according to ASTM D 638 type IV, physicochemical properties were characterized and Granulometric of the raw material, then the wood plastic compounds were obtained by thermal fusion methodology, in the specimens the characteristics of mechanical properties, scanning electron microscopy analysis, X-ray diffraction test and biodegradability study were analyzed. The morphological results by scanning electron microscopy showed a good mixture of the three plastic-wood components, and it was possible to identify by DRX the characteristic peaks of the existence of recycled PET, wood sawdust and bentonite clay. The results of the mechanical properties such as Tensile Rupture (MPa) are between 4456 MPa to 9441 MPa, also the elongation characteristics (%) are between 1.3% to 2.7%. ANOVA statistical analysis indicates a good coefficient of determination of 83% for breaking strength and 82% in elongation (%), and the biodegradability results had a weight loss 16.72, 14.67 and 10.17% for 4 months, coming to predict its 100% biodegradability between approximately 2 to 4 years

Keyword: Plastic wood, recycled PET, wood sawdust, bentonite clay



# 1. CAPITULO I:

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. El Problema

El desarrollo industrial y tecnológico, si bien ha traído numerosos beneficios sociales, también ha tenido aspectos negativos y de difícil reversibilidad en el planeta. El principal productor de plásticos es china seguidamente por Europa, Norte América, en Europa se demandan más de dos tercios de plásticos en países como: Alemania (24.9%), Italia (14.3%), Francia (9.6%), reino unido (7.7%) y España (7.4%) (Santiso, 2006). Por otro lado, Flores (2009) menciona que en EE. UU en el año 2004 se consumieron 28 000 000 000 millones de botellas, la mayoría está fabricado en material de PET, el reciclado es una fracción pequeño, pero, donde están todas estas botellas, pues la mayoría está en los botaderos.

El cuidado y la protección del medio ambiente fueron aumentando en los últimos años, debido a latentes amenazas como el calentamiento global, la escasez del agua como un bien no renovable; la contaminación de las superficies y la mala disposición de los residuos originados por la humanidad (Orgánica e inorgánica) (Ice y Frías, 2001). Esta problemática ha dado lugar a que la mayoría de los países busquen soluciones en conjunto para disminuir los índices de contaminación en el ambiente (Bejarano, 2005).

Clasificar correctamente los residuos orgánicos esta no va causar problema porque reintegramos a la naturaleza lo que nos ha brindado, pero la mayoría de residuos inorgánicos, no son productos de la naturaleza y ha colocado a todo el planeta en una situación muy difícil en resolver, lo más grave es que no se pueden descomponer fácilmente, se queda en espacios por muchos tiempos y causando mucho daño al ambiente (Ize y Frías, 2001).

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) la contaminación está relacionado con el crecimiento poblacional, ya que el incremento de la humanidad conlleva un aumento al consumo, lo cual genera grandes acopios de residuos sólidos sin tratar incrementa los grados de contaminación ambiental actual. Actualmente, es un problema ambiental latente la mala colocación de residuos sólidos domésticas a nivel nacional. La disposición de los residuos a campo abierto, la combustión, producción de lixiviados y el arrojo de residuos en fuente naturales de agua todo esto genera impactos ambientales severos poniendo en riesgo la salud de la población.

Los polímeros derivados del petróleo o metales pueden durar en descomponer cientos de años y miles de años. Los polímeros en general se descomponen entre 100 a 500 años debido a su degradación lenta. Consiste principalmente en la desintegración de moléculas más pequeñas, mismas que se dispersan en los mares, ríos, sedimentos y suelos. Es también común observar paisajes, en caminos, áreas naturales protegidas y otros plásticos arrojados (Anguiano, Jasso, y Textle, 2011).

Los plásticos están inundando nuestra vida cotidiana. En tan solo una década ha pasado a ser omnipresente en todo tipo de objetos y materiales, debido a que presentan las características (flexibilidad, durabilidad y ligereza) a partir de ahí, sus excelentes propiedades para el aislamiento térmico y eléctrico hacen una buena resistencia a los ácidos, álcalis, disolventes y bajos precios. Podemos encontrar en envases del producto, en los ingredientes de cosméticos, en el textil del atuendo, en materiales de construcción y los materiales de utensilios y objeto que cada ser humano usamos (Loayza, 2015).

Entre los polímeros más encontrados en los residuos domésticos es el Tereftalato de Polietileno (PET), también los polímeros como PP y PVC presentan en mayor producción, siendo utilizados como materia prima de producción acabado con vida útil grande,

generando así un gran volumen de este residuo. Lo importante es utilizar en reciclaje sistemáticos de los polímeros, eso minimiza los impactos ambientales causados por esos residuos. Todas las ciudades tengan colecta selectiva y que la población adquiriera el hábito de separar los residuos que pueden ser reciclados (Aracil, 2008).

Las fibras naturales en su mayoría se queman, también son para el alimento de ganados o sencillamente son dispuestos como residuos o composta, sin ningún beneficio (Tadeusz y Błędzki, 2013).

Las industrias primarias de la madera (aserradora, fábrica de tableros de partículas y plantas de fabricación de pasta de papel) y la segunda (ebanistería y carpintería), generan residuos como residuos de aserrado, costeros, restos de canteado y el escuadrado, serrín, virutas y astillas; éstos residuos son quemados o en algunos casos transforman en otro combustible (Vinces y Poggi, 2014). Las compañías que se dedican su labor con madera como carpinterías y empresas de madera no saben qué hacer con sus residuos (aserrín), muchos terminan quemando esta materia prima y emitiendo CO<sub>2</sub> sin darle utilidad ninguna. La eliminación de desechos de aserrín es debido a su volumen y su lenta degradación y en algunas veces se recurre al uso de químico para terminar en la incineración. Erazo y Hernán (2007) indica que esto es acumulativo, contamina los suelos, amenaza su uso futuro. También genera problemas respiratorios en la humanidad al incrementar la emisión de gases y partículas suspendidas en el medio entorno (Vinces y Poggi, 2014).

## **1.2. Justificación**

Los compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales constituyen una clase de nuevos materiales en continua expansión, la cual busca nuevas tecnologías, nuevas combinaciones de polímeros y fibras y nuevas técnicas de procesamiento que permiten la

exploración de versatilidad y características únicas que poseen estos materiales (Moreno, Ballerini, Gacitúa y Rodríguez, 2017) por ello esta investigación pretende demostrar que utilizar las fibras orgánicas producto de la recolección y procesamiento de fibras de aserrín puede dejar de ser desperdicio y convertirse en un refuerzo que al ser acoplado a un polímero de un producto para obtener mejores propiedades mecánicas y térmicas así mismo, formar un nuevo compuesto de calidad (García, 2011).

**Desde el punto de vista de la importancia científica y tecnológica.-** Según Pérez (2012) hace una pregunta cuál es el destino final que tienen los plásticos, para minimizar la problemática de plásticos en nuestro ambiente es necesario aplicar la práctica de los 3Rs: Reducir, Reutilizar y Reciclar, estas actitudes contribuyen para disminuir el manejo de la materia prima directo de la fuente. El reciclaje de plásticos beneficia y reporta en: recuperar el valor que tienen los productos de desecho, reducir el cuerpo de productos que serán destinados a un relleno sanitario a cielo abierto y el ahorro de energía y recursos no renovables como con el gas natural, entre otros.

Asimismo, Del Val (2009) menciona que gracias a los Países como América Latina, África y Asia se están recuperando y reciclando millones de toneladas de papel, metales, plásticos, vidrios, etc. debido a que el desarrollo de estas grandes ciudades fue impidiendo el trabajo sorprendente y eficaz de estos protectores

**Desde el punto de vista de la importancia social y económica.-** La importancia que trae consigo esta investigación a nivel social será contribuir a la reducción de focos contaminantes que afectan a la salud pública; concientización social de la preclasificación en la vivienda de residuos y a nivel económico beneficiará en la generación de fuentes de trabajo y generación de ingresos para las industrias de manufactura de madera y plástico; a nivel ambiental ayuda a reducir los residuos sólidos urbanos (RSU) (López, 2016).

Asimismo, es generar un beneficio económico y disminuir la contaminación en general con este desarrollo de nuevo material a base de polímeros reciclados y fibras renovables y otorgar un valor comercial a una parte del material clasificado (Webb, Arnott, Crawford y Ivanova, 2012). Por otro lado Grigore (2017) menciona que reciclar es una de las acciones mas relevantes actualmente disponibles para reducir estos impactos y constituye uno de las areas mas dinamicas en la industria del plastico en la actualidad.

**Desde el punto de vista novedades.-** El compuesto plástica-madera tendrá interesante áreas de aplicación en piso entablado, fabricación de perfiles para puertas y ventanas, sillas, mesas y juegos para niños, asimismo en la industria manufacturera ya que, las aplicaciones de estos compuestos como material de ingeniería son fabricación de vehículos con materiales reforzados con fibras naturales (respaldos de asientos, revestimiento de cajuelas, charolas de piso, paneles de puerta y cubierto de llantas (Faruk, Fink y Saing, 2010) industria de calzados (plantillas, suelas y capelladas) (Kim, 2012) industria de automotriz (usan en materiales compuestos moldeables con matrices termoplásticas (Fátima y Montany, 2011) y en la industria de construcción (aislantes acústicos y térmicos) antes utilizaban aislantes costosas y materiales no parcialmente biodegradables) (Dhakal y Zhang, 2015).

**Desde el punto de interés.** - Nuestro interés es crear nuevos productos de compuestos de PET reciclados y fibras naturales, y estos que sean parcialmente biodegradables. En nuestro país fomentar más el reciclaje de residuos inorgánicos y fibras naturales.

**Desde el punto de visibilidad.** - Los compuestos de plástico madera son resistentes al impacto, ruptura de tracción, duracion mayor que madera, mayor resistencia a la humedad y a los ataques de hongos y insectos xilofagos.

### **1.3. Presuposición filosófica**

Esta investigación contribuirá a la conservación del ambiente, la Biblia menciona Dios creó al hombre a su imagen, conforme a su semejanza; les dijo: señoread (gobernar) sobre la tierra y le dio poder en el cuidado y conservación del ambiente (Génesis 1:26-28).

Desde la creación Dios otorgó la responsabilidad al hombre de conservar ambiente sano y productivo, y disfrutar de la creación divina. Actualmente vemos la tierra enferma, contaminada y personas influenciadas en la contaminación. Para sanarnos a nosotros mismos debemos sanar nuestro planeta y para sanar nuestro planeta, debemos sanarnos a nosotros mismos. Una de las alternativas de solución es reciclar, es responsabilidad de cada ser humano preservar los recursos naturales.

Recordemos que, para fabricar cualquier producto, el hombre toma la materia prima de los recursos naturales, las cuales se están agotando muy rápido en el planeta y con su fabricación, las industrias contaminan los ecosistemas. Por esto debemos ser responsables con su cuidado y dar uso adecuado a todos los materiales de residuos sólidos producidos en las instituciones, industrias y en el hogar.

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo general***

Desarrollar un compuesto plástico-madera a base de Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado y residuos de aserrín de madera empleando tecnología de fusión térmica.

#### ***1.4.2. Objetivo específico***

- Determinar las propiedades fisicoquímicas y granulométricas de las materias primas (PET reciclado y residuo de aserrín de madera).

- Desarrollar un compuesto plástico-madera a diferentes proporciones de residuos de aserrín y PET reciclado aplicando diseño factoriales fraccionados de segundo orden.
- Obtener las probetas de prueba empleando la norma ASTM D 638 del tipo IV.
- Caracterizar las propiedades mecánica, térmica y morfológica de los compuestos plástico- madera.
- Analizar los parámetros de influencia por superficie de respuesta el efecto en las variables de respuesta del desarrollo del compuesto plástico-madera.
- Determinar la biodegradabilidad de compuesto plástico-madera en función al tiempo.

## **2. CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

#### **2.1. Antecedentes**

Moura (2011) en su tesis desarrolló un compuesto de PET reciclado y copos de vidrio en fracción en peso 5%, 10% y 20% que proceso en una extrusora de un solo tornillo y realizo los analisis termogravimetrico(TG), calorimetría exploratoria diferencial (DSC), tracción uniaxial,, Impacto Izod, dureza Rockwel, análisis termodinámico-mecánico (DMTA) y microscopía electrónica.

Meré (2009) desarrolló un estudio de síntesis de un polímero termoplástico biodegradable basado en almidón de patata y diversos plastificantes que se conoce comúnmente con el nombre de TPS (almidón termoplástico), su fin fue fabricar un polímero termoplástico biodegradable basado en almidón. La degradación lo realizó por actividad biológica, especialmente por la acción de enzimas que provocan cambios importantes en la estructura del material. Los microorganismos que producen dichas enzimas son bacterias, hongos, levaduras y algas.

Lazaro, Gonzales y Cardenas (2016) desarrolló en su investigación un compuesto elaborado de bambú (*Guadua angustifolia kunth*) y polipropileno reforzado con y sin agente acoplante (anhídrido maléico de polipropileno-MAPP), con el método de extrusión y compresión, a las cuales se les evaluaron sus propiedades mecánicas de tensión, flexión e impacto. Posterior muestran que los materiales presentan las mejores propiedades.

Amandha, Satyarno, Awaludin y Irawati (2017) en su investigación desarrolló las propiedades físicas y mecánicas de la placa WPC compuesto de aserrín de sengón y plástico HDPE reciclado(WPC). En sus resultados mostró que el WPC de la prueba física, mostró sus restricciones de agua, tiene bajo contenido de humedad, absorción de agua e hinchazón. Las propiedades mecánicas evaluadas de flexión, módulo de elasticidad son mayores a comparación de madera de rosca y la resistencia a la tracción es baja a comparación de la madera tropical, acuerdo a sus investigaciones sugiere que la placa de WPC se utilice para elementos estructurales con inercia de momento elevado, como la pared de corte como su módulo de elasticidad más bajo, pero que tiene una alta resistencia al corte. Hoy en día, en Indonesia, el WPC está hecho de aserrín Sengon y plástico HPDE reciclado.

## **2.2. Margo legal**

El Perú, posee normativas encaminados a lograr la adecuación ambiental de las diferencias actividades económicas desarrolladas en el país, existiendo para ellos leyes, reglamentos, protocolos entre otros. Para nuestra investigación se tiene en cuenta la siguiente normatividad.

“Constitución Política del Perú-(29/12/1993” en capítulo I, en artículo 2, “Derechos fundamentales de la persona”, inciso 22 menciona “A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de



su vida”. En su Art. 67 “El estado determina la Política Nacional del Ambiente” “Promueve el uso sostenible de sus recursos de forma responsable pensando en futuras generaciones”.

“Ley N° 28611 (Ley General del Ambiente) (13/10/ 2005) Artículo 119 “Del manejo de los residuos sólidos” inciso 119.1 “La gestión de los residuos sólidos de origen doméstico, comercial o que siendo de origen distinto presenten características similares a aquellos, son de responsabilidad de los gobiernos locales. Por la ley se establece el régimen de gestión y manejo de los residuos sólidos municipales”

El Decreto Legislativo (**D.L 1278**) (12/01/18) Artículo 5 “Principios”, “inciso b) “Valorización de residuos”. “Los residuos sólidos generados en las actividades productivas y de consumo constituyen un potencial de recurso económico, por lo tanto, se priorizará su valorización, considerando su utilidad en actividades de: reciclaje de sustancias inorgánicas y metales, generación de energía, producción de compost, fertilizantes u otras transformaciones biológicas como recuperación de componentes, tratamiento o recuperación de suelos, entre otras opciones que eviten su disposición final”.

En el decreto Supremo N° 014 -2017 –MINAM en el Artículo 1. “Objeto”, “El presente dispositivo normativo tiene como objeto reglamentar el Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, a fin de asegurar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales, y regular la gestión y manejo de residuos sólidos, que comprende la minimización de la generación de residuos sólidos en la fuente, la valorización material y energética de los residuos sólidos, la adecuada disposición final de los mismos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública”.

### **2.3. Residuos sólidos**

El Decreto Legislativo (D.L 1278) y su reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. El término de residuos sólidos se define como todo residuo o desecho en fase sólida o semisólida. Los residuos son considerados en forma líquida como en gas, las cuales serán depositadas en recipientes que posteriormente serán desechados. Por sus características fisicoquímicas no pueden ser tratados fácilmente por lo que tampoco pueden ser vertidos dichos emisiones y efluentes al ambiente. Se debe almacenar en depósitos seguros para su adecuada disposición final.

Cortés (2009) afirma que los residuos sólidos pueden ser determinados como: los materiales orgánicos o inorgánicos de naturaleza compacta, que inmediatamente de consumir su parte vital ha sido desechado. Asimismo, manifestó que el residuo sólido es un concepto dinámico que evoluciona paralelamente al progreso económico y beneficioso. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2009) son sustancias o producto en estado sólido que ya no necesitas, pero pueden ser reaprovechadas y pueden tener la disposición final adecuada o inadecuada. Las ventajas de manejar los residuos sólidos son importantes ya que contribuimos en: la disminución del uso de recursos naturales y la eliminación de residuos de manera segura, eficaz, y responsable con el medio ambiente. Esta solución ventajosa ha inspirado un volumen impresionante.

### **2.4. Clasificación de residuos sólidos**

Según el Decreto Legislativo (D.L 1278).- Los residuos se clasifican, de acuerdo al manejo que reciben, en peligrosos y no peligrosos, y según la autoridad pública competente para su gestión, en municipales y no municipales. El Reglamento del presente Decreto

Legislativo puede establecer nuevas categorías de residuos por su origen u otros criterios, de ser necesario.

#### ***2.4.1. Residuos Domiciliarios***

El D.L 1278- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos define, los residuos del ámbito de la gestión municipal o residuos municipales están conformados por los residuos domiciliarios y los provenientes del barrido y limpieza de espacios públicos, incluyendo las playas, actividades comerciales y otras actividades urbanas no domiciliarias cuyos residuos se pueden asimilar a los servicios de limpieza pública, en todo el ámbito de su jurisdicción. Además, el autor Pinto (2009) explica que los residuos sólidos son aquellos elementos o sustancias que son consecuencia de proceso de consumo y desarrollo de actividades humanas que dejan abandonados o dispuestas a cielos: orgánicos, papel, cartón, plásticos, vidrios, fill, metal, textil, cuero, tetra pack, inertes, residuos de baño, pilas y baterías; a continuación, se menciona los ejemplos de algunos residuos domiciliarios.

**Tabla 1.** *Ejemplos de residuos domiciliarios (Pinto, 2009)*

<b>Tipos</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Orgánicos</b>	Restos vegetales, provenientes de cocina (frutas, verduras) y excremento de animales.
<b>Papel y cartón</b>	Hojas de cuaderno, revistas, periódicos, libros, cajas (gruesas o delgadas).
<b>Plásticos</b>	<b>PET</b> _ Polietileno Tereftalato (botellas transparentes de gaseosa, cosméticos, etc.). <b>HDPE O PEAD</b> _ polietileno de alta densidad (juguetes, utensilios, tubos, alambres, etc.) <b>PVC</b> _ cloruro de polivinilo (tubos, botellas de aceite) <b>LDPE</b> _ polietileno de baja densidad (Embalaje de hardware de computadoras, tarjetas de disco duro, etc.). <b>PP</b> _ polipropileno (empaques de alimentos, tapas de baldes de pintura y tapas de gaseosa). <b>PS</b> _ polietileno (Cubiertos de plásticos, carcasas de detectores, etc.) <b>ABS</b> _ poliuretano, policarbonato, poliamida (discos compactos, micas cáscaras electrónicas y juguetes)

## 2.5. Mecanismos para el tratamiento de residuos inorgánicos

Los autores Aristizábal y Stella (2001) menciona los principales mecanismos que para tratar a los residuos inorgánicos son:

### 2.5.1. *Reciclaje*

Es un proceso la cual consiste en volver a usar los materiales que fueron dieron su primera vida de uso y, que aún son aptos para re elaborar los mismos u otros productos. Algunos ejemplos de los materiales reciclables son: Los metales, el vidrio, el plástico, el papel, el cartón, etc. Este proceso tiene como fin principal disminuir la cantidad de residuos que hay que eliminar: el de utilizar los residuos utilizada como materia prima y como ahorro de energía, así disminuyendo la materia prima vírgenes y del combustible no renovable como el petróleo; y finalmente protección del ambiente (Aristizábal y Stella, 2001). Por otro lado (Christopher y Llatance, 2008) afirma que los plásticos son muy difíciles de reciclar, debido

a los problemas que existen en separarlos por tipos de resinas. Los plásticos reciclados se utilizan en gran cantidad de aplicaciones no alimentarias.

## **2.6. Polímeros Reciclados**

En nuestras vidas cotidianas los polímeros se han convertido en unas clases muy importantes de materiales sin los cuales en la vida parece muy difícil. Son usados como plástico, en caucho, resinas y adhesivos. Las características que tienen los materiales poliméricos son valiosas tales como buenas propiedades mecánicas, baja densidad, bastante bajo, coste y de fácil procesamiento. Las principales ventajas que tienen sobre otros componentes metálicos convencionales es debido a sus propiedades de resistencias específicas con un ahorro de peso del 20 % - 40 %, capacidad para cumplir con una rigurosa estabilidad dimensional, potencial para ciclos de proceso rápidos, reciclabilidad, bajo coste, capacidad de fabricación, y excelente resistencia a la fatiga y la fractura (Majka , 2011).

Según Guru (2014) los plásticos son materiales sintéticos que resultan principalmente de petróleo o gas natural, su permanencia tanto en el mar como en la tierra es durante años causando así la contaminación ambiental por la alta temperatura de degradación, alta resistencia a la radiación UV y su mayoría no son biodegradables.

Según Park y Kim (2014) en los últimos años, la cantidad de residuos plásticos abandonados en la naturaleza ha aumentado considerablemente. A diferencia de los polímeros naturales, estos materiales no son biodegradables en el medio natural y resisten durante cientos de años, lo que conlleva a la contaminación ambiental. Además, afirma (Hopewell, Dvorak y Kosior, 2009) claramente es una estrategia de gestión de residuos el reciclaje de plásticos, recibiendo una atención creciente que puede reducir el impacto

ambiental y el agotamiento de los recursos. También puede disminuir el uso de energía y producir una eco eficiencia mejorada.

## 2.7. Polímeros compuestos

Según Biron (2004) los compuestos polímeros están hechos de:

- Un matriz de polímeros, termoplástico o termoestable.
- Refuerzo estrechamente ligado a la matriz: fibras de longitud significativa comparadas con el diámetro, el hilo, los tejidos, las espumas, etc.
- Es un pequeño porcentaje de consumo total de plásticos, el consumo de materiales compuestos con matrices orgánicas. Las ventajas de los materiales compuestos son:
  - Propiedades mecánicas superiores a las de la matriz
  - La probabilidad de colocar los refuerzos para lograr las mejores propiedades en la dirección de las tensiones más altas.

### 2.7.1. Ventajas y desventajas de polímeros compuestos

**Tabla 2.** Según González (2014) entre las ventajas y desventajas tenemos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia específica así como alta rigidez específica.</li> <li>• Fácilmente moldeables a formas complejas.</li> <li>• Excelente resistencia a la fatiga</li> <li>• Un coeficiente de alargamiento térmico menor que el de los metales. Por lo tanto, exhiben una mejor estabilidad dimensional en un rango de temperatura más amplio.</li> <li>• Baja conductividad eléctrica (excepto en las que integran fibras de carbono).</li> <li>• Bajo costo en compuestos comerciales (fibra de vidrio).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe una carencia en reglas de diseño confiables.</li> <li>• Pueden presentar una gran cantidad de huecos que degrada sus propiedades físicas.</li> <li>• Algunas matrices son vulnerables a los solventes y a altas temperaturas.</li> <li>• Pueden presentar daños ocultos.</li> </ul>

### **2.7.2. *Propiedades de los polímeros***

Los polímeros se producen a través del entrecruzamiento o encadenamiento de enlaces muy largas denominadas macromoléculas. A su vez están compuestos por partículas de menor tamaño llamadas monómeras, que simbolizan las unidades fundamentales que se unen entre sí por cadenas covalentes (Meré, 2009).

### **2.7.3. *Clasificación de los polímeros***

- Polímeros termoestables

Los termoestables tienen una estructura entrelazada, que los convierte en plásticos duros y rígidos. Son resistentes a temperaturas elevadas al igual que los termoplásticos, si se someten a temperaturas demasiadas altas se rompen y se vuelven frágiles y no son fácilmente reciclable (Beltrán y Marcilla, 2010).

- Polímeros elastómeros

Los polímeros elastómeros se caracterizan por recobrar su forma original, una vez haya terminado la fuerza a la cual fueron sometidos. No es posible fundirse una vez producido y son también impenetrables (Beltrán y Marcilla, 2010).

- Polímeros termoplásticos

Los termoplásticos presentan una estructura lineal y pueden llegar a fundirse y solidificarse adhiriendo calor de manera transformable y estos al enfriarse se vuelven duros, son fácil de reciclar y representan la gran parte de los polímeros: ejemplo: son el polipropileno, polietileno, etc. (Beltrán y Marcilla, 2010).

## **2.8. Tereftalato de Polietileno (PET)**

El PET es un material derivado del petróleo y actualmente es la principal materia prima de los desechos plásticos. Las ventajas se ha considerado un excelente cuidador en el embotellado de productos alimenticios, por múltiples razones, una de ellas es por su buen comportamiento como barrera y resistente a los agentes exteriores como (gases, malos olores, humedad y contaminación (Mansilla y Ruiz, 2009).

Según Colomo (2013) entre las ventajas tenemos:

El PET, es un polímero compuesto que resiste temperaturas altas (se extrusión a temperaturas superiores a 250 °C, punto de fusión 260°C) sin tener defectos de formativos ni degradas a diferencia de otros materiales.

- El PET es un producto químicamente inactivo y sin aditivos.
- Son fácilmente reciclables (100% reciclable).
- Buena resistencia química y mecánica.
- Utiliza menor energía en su proceso de elaboración.
- Alta tenacidad al desgaste.
- Costo bajo al consumidor.
- Buenas características eléctricas.
- Envases ligeros a comparación con los metales o envases de vidrio.

### **2.8.1. Obtención de Tereftalato de polietileno (PET)**

El PET se obtiene y fabrica a partir de dos materia prima del petróleo, el etileno (etilenglicol) y para xileno (ácido Tereftálico). El procedimiento para la elaboración del PET comienza con la esterificación del etilenglicol del ácido Tereftálico los cuales constituyen un compuesto llamado bis-B-hidroxietil Tereftalato, esta reacción tiene lugar a la separación



del agua como subproducto. Seguidamente el monómero se somete a una poli condensación, que se efectúa en condiciones de alto vacío, liberándose una partícula de glicol, cada vez que el enlace se alarga por unidad repetida. A medida que esto sucede existe un incremento en el peso molecular, la viscosidad de la masa ofreciendo así una mayor resistencia mecánica (Zambrano, 2013).

Cuando la longitud de la cadena haya contenido cerca de 100 unidades repetidas, o estas sean lo suficientemente largas, se extrae el PET a través de un dado de orificio múltiples para conseguir un spagueti que se enfría en agua y una vez semisólido es cortado en un paletizador consiguiendo así el granulado, de esa forma presenta las siguientes características como: son amorfos, poseen un alto contenido de acetaldehído y presenta un bajo peso molecular (Zambrano, 2013).

Las características presentadas limitan la utilización del PET en la producción de botellas, por ello es necesario pasar el granulado por otro proceso llamado como polimerización en fase sólida. En este proceso el granulado se calienta en una atmósfera inerte accediendo que se mejoren estas tres propiedades, el cual permitirá facilidad y eficiencia del secado y moldeado de la preforma o durante la producción y obtener una buena calidad de la botella (Zambrano, 2013).

### **2.8.2. Aplicación de Tereftalato de polietileno (PET)**

**a. Envases:** Los Polímeros PET es un buen sustituto para los envases de vidrio, el PET es uno de los materiales de mayor elección para los envases de bebida, la mayoría de los fabricantes emplean el PET transparente para el embotellamiento de bebidas y tampoco altera el sabor de la bebida. Ejemplos de usos tenemos: gaseosas, lociones, polvos y talcos, aguas y jugos, vinos, industria de la alimentación y laboratorios de cosméticos, etc. (Díaz, Martínez, y Lobato, 2017).

**b. Fibra Textil (fabricación de poliéster):** La resina del PET funciona como una fibra sintética. El PET actúa como poliéster en la Industria Textil o de telas, las fibras de poliéster colaboran a la producción de prendas de vestir, en comparación con otras fibras textiles como el algodón, las fibras de poliéster ofrecen una buena resistencia a las arrugas, sus aplicaciones son diversas (Díaz, Martínez, y Lobato, 2017).

**c. Usos especializados:** En las comidas congeladas, los fabricantes tienden a usar bandejas de PET para mantener platos preparados, por otro lado, el PET soporta el intenso calor del horno de microondas, además el PET es utilizado en compañías farmacéuticas y cosméticas en botellas de medicinas y maquillaje (Díaz, Martínez, y Lobato, 2017).

### **2.8.3. Función de los envases fabricados de Tereftalato de polietileno (PET)**

Según Zambrano (2013) la función de los envases fabricados de PET debe tener las siguientes características:

- a.) Contener:** El envase facilita que un producto pueda ser transportado y almacenado.
- b.) Preservar:** El PET conserva y preserva el contenido, dándole frescura, seguridad y calidad de los productos por periodos largos de su elaboración, además evita que agentes extraños contaminen su contenido.

## **2.9. Fibra como refuerzo del compuesto**

Se denominan refuerzos los constituyentes que, de una manera u otra, aumentan algunas propiedades mecánicas del compuesto en relación a la matriz polimérica. Se pueden considerar como refuerzos desde simples cargas minerales, muchas veces incorporadas a los polímeros como la intención de reducir costos, hasta fibras de ultra alta resistencia. Las

cargas minerales proporcionan un aumento en la rigidez, la dureza y, algunas veces, en la resistencia y temperatura de deflexión térmica, las fibras, por sus características unidireccionales, incrementan acentuadamente la mayor parte de las propiedades mecánicas en la dirección longitudinal al refuerzo (Moura, 2011).

La adhesión de fibras es buena, aumenta la resistencia y la unión de fibras polímeros dificulta la formación de huecos y por lo tanto su deformación es controlada. Las fibras de refuerzo son filamentos utilizados para diferentes materiales compuestos para otorgar cohesión y resistencia a los productos finales. Estas fibras pueden ser conseguidas de manera natural. Para la elaboración de compuestos de madera plástica (WPC) se procederá a la utilización de fibras naturales (Albán, 2019).

### ***2.9.1. Características de la interface matriz- refuerzo***

Uno de los factores que favorece la interacción interracial y el fenómeno de contracción que la matriz polimérica sufre durante su curación o su solidificación. Para que ocurra una mejor distribución de tensiones internas sobre la superficie del refuerzo, durante el fenómeno de contracción, y necesario que ocurra un mojado perfecto del refuerzo por el polímero. La naturaleza de la ligadura no depende únicamente del arreglo atómico, la conformación molecular y la composición química del refuerzo y de la matriz, sino también de las propiedades morfológicas y de la difusividad a cinco mecanismos principales, listados a continuación (Majewski y Błędzki, 2013).

- **Adsorción y mojado:** una buena humedad del refuerzo por la matriz durante la fase de fabricación, particularmente para los compuestos a base de resinas poliméricas.
- **Interdifusión:** Es la unión entre dos superficies poliméricas por la Interdifusión de los átomos o moléculas a través de la interfaz. La resistencia de la unión dependerá de la

cantidad de entrelazamiento molecular, del número de moléculas involucradas y de la resistencia de las ligaduras entre las moléculas.

- **Atracción electrostática:** Las fuerzas de atracción ocurren entre dos superficies cuando una de ellas está cargada positivamente y la otra negativamente, tales como: interacción ácidos-base y ligación iónica. La resistencia de la ligación dependerá de la intensidad de las cargas
- **Adhesión mecánica:** La adherencia puede ocurrir por el entrecado mecánico de las dos superficies. La resistencia de esta interfaz, bajo tensión será elevada, si existe un gran número de reentrantes en la superficie del refuerzo, que puedan ser preenchidas por la resina, propiciando la deshacer.

## **2.10. Fibra natural**

En los últimos años las fibras naturales alcanzaron gran importancia para fortificar compósitos poliméricos con el objetivo de disminuir la dependencia de los sintéticos fibras y fibras de vidrio (Nirmal, Hashim, Lau y My, 2012).

Según Ku, Wang, Pattarachaiyakooop y Trada (2011) la principal atracción de estas fibras es que son renovables y la gran mayoría proviene de residuos agroindustriales en que el contenido de celulosa es importante. Otras ventajas de las fibras naturales como refuerzo en los materiales compuestos son sus propiedades de biodegradación, baja densidad, no agresividad, alto módulo específico y resistencia, capacidad de adaptación a los procesos de producción en masa y no liberan agentes tóxicos cuando se procesan, además son de bajo costo a diferencia de fibras artificiales.

Las fibras vegetales lignocelulósicas se obtienen de diferentes partes de la planta, las más resistentes son las presentes en la corteza, tallo y tallos. Los métodos de extracción de

fibras son diversos e implican métodos mecánicos, físicos y químicos combinados, actualmente son intensamente estudiados para evitar la pérdida de propiedades mecánicas y que pueden procesarse de forma rápida y económica (Huq, Khan, Noor y Dey, 2011).

### **2.10.1. Tipos de fibras natural**

Existen diferentes fibras, solo algunas poseen la probabilidad de ser usadas. Las fibras de abacá, bagazo, bambú, paja de trigo, cáscaras de arroz poseen propiedades adecuadas, para ser usados como productos de algodón, sisal, cáñamo, fique y fibras de madera, la diversidad de fibras naturales comparadas con fibras sintéticas es mucho más en cantidad, así mismo las propiedades de las fibras dependen de sus desarrolló (tallo, longitud y espesor), resistencia, rigidez y estructura. Los compuestos fortificados con fibras naturales son especialmente atractivos para Países en desarrollo (Majewski y Błedzki, 2013).

### **2.10.2. Ventajas y desventajas del uso de fibras naturales**

**Tabla 3.** *Ventajas y desventajas del uso de fibras naturales (Majewski y Błedzki, 2013)*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fibras de baja densidad refuerzan a generar compuestos más ligeros.</li> <li>● Diversidad de fibras para su uso y clasificación.</li> <li>● No son corrosivos</li> <li>● Debido a las grandes cantidades que generan, se emplean en igual proporción y ofrecen mejores compósitos poliméricos.</li> <li>● Es de simple procesamiento</li> <li>● Su degradación es de menor tiempo.</li> <li>● Su generación es de bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● No pueden ser empleados a temperaturas altas por largos periodos de tiempo, debido a su degradación.</li> <li>● Su uso es limitado a ciertos polímeros, los cuales no deben expulsar gases ni vapores peligrosos.</li> <li>● Absorben humedad y pueden generar vapores que forman porosidades.</li> </ul>

## **2.11. Producción de madera en el Perú**

Las estadísticas públicas señalan que la fabricación de madera en el Perú ha sido deteriorando en los últimos años, habiendo llegado al año 2011 a 8.38 millones de m<sup>3</sup>, de los

cuales solo el 87% se predestina para leña y carbón, en tanto el 13% para madera en rollo industrial, de la cual el 89% se destina para madera aserrada y el 21% para madera contrachapado. La industria de aserrín es el más importante en las regiones de Ucayali, Junín, Loreto, Madre de Dios y San Martín. Las insuficiencias más notorias de este tipo de industrias son el llamado desperdicio (más de 40%) de la materia prima, el poco valor agregado a los mercados forestales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1980). La memoria Anual de la Dirección Regional forestal y de Fauna (1991), indica que ocho especies maderables cubren el 92.6% de la producción de Pucallpa: tornillo, catahua, cedro, caoba, cumula, copaiba, moena e ishpingo.

## **2.12. Fibras de aserrín**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2004) Aserrín o serrín son partículas finas que se derivan del aserrado de la madera, con un tamaño de 1 a 5 mm y éstos son uno de los residuos forestales y su depósito puede traer consigo efectos negativos.

Las propiedades físicas y química se determinan según el tipo de aceite o subproducto potente que se puede obtener, específicamente las particularidades físicas intervienen en el tratamiento previo que sea necesario emplear. Se requiere características de estas biomásas en cuanto a contenido de humedad, volátiles, carbono fijo, cenizas y granulometría (Cerret, Giralt y Quintero, 2016).

Las fibras de madera se añaden como pellets, cubos o fibras trituradas o molidas. Estas fibras pueden combinar con polímeros. Los componentes principales de la pared celular son la celulosa, hemicelulosa y lignina. Para mejorar la igualdad de fibras y mejorar su potencial como refuerzo (Majewski y Błedzki, 2013).

### **2.13. Arcilla**

Las arcillas de la familia de las esmectitas representan un grupo de minerales constituidos por filosilicatos, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y del tamaño de grano, muy fino (menor a 2  $\mu\text{m}$ ). Una propiedad peculiar de estas estructuras es que presentan sustituciones isomórficas que permiten sustituir al átomo de silicio (Si), situado en el centro de los tetraedros, por otro de menor carga, como el aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ); igualmente, se puede reemplazar el aluminio de las capas octaédricas por otros elementos ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ), generando así un exceso de carga negativa en la estructura (carga interlaminar), la cual necesita atraer a otros cationes de intercambio para compensarse, por ejemplo  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  o moléculas polares, como el agua, lo que le proporciona propiedades superficiales de acidez e intercambio iónico, tan importantes que a ellas se deben mayormente las propiedades catalíticas de las arcillas (Picasso y Son Kou, 2008).

La arcilla, una materia prima natural de grano fino, ha tomado relevancia debido a su uso como un adsorbente eficaz para rastrear los iones de metales pesados presentes en la solución acuosa durante más de una década. La arcilla tiene una propiedad para mostrar plasticidad a través de un rango variable de contenido de agua, que puede endurecerse cuando se seca (Das, 2012). La arcilla se dispersa uniformemente y forma una mezcla al entrar en contacto con el agua, porque las moléculas de agua se sienten fuertemente atraídas por las superficies minerales de la arcilla (McConnell, 2015).

#### **2.13.1. Bentonita**

Las bentonitas son filosilicatos adsorbentes de aluminio, compuestas por 78 a 85 % de minerales arcillosos y como impurezas del 15% y 22 % (Impiccini y Vallés, 2011). Las cuales presentan una capacidad de absorber grandes cantidades de agua aumentando su espesor de tanto como 12-15 veces su volumen en seco y una alta capacidad de intercambio

de cationes. La composición química del mineral de la arcilla está formada por una combinación de hojas tetraédricas de sílice y octaédrico aluminio (Abida y Shazia, 2018).

#### **2.13.1.1. *Propiedades fisicoquímicas de las bentonitas***

Las bentonitas presentan un conjunto de propiedades superficiales que responden a las características necesarias para un adsorbente y para un soporte de catalizador, como son: una gran superficie específica, capacidad de adsorción y homogeneidad en la distribución de centros superficiales, que le confieren una gran importancia en la industria, en donde se aprovecha su capacidad como adsorbente y como catalizador, principalmente en la industria del petróleo. Las utiliza como: adsorbente para eliminar las impurezas en suspensión, en los productos de la destilación fraccionada de los crudos y como catalizadores o soportes de catalizadores en reacciones de combustión de compuestos volátiles (Picasso y Son Kou, 2008).

#### **2.14. Plástico madera**

Según Ortiz y Aurora (2015), El plástico madera es un material fabricad de residuos de madera y polímeros reciclables seleccionados de alta eficacia. De esa manera se aprovechan las ventajas estéticas y la calidez de la madera natural pero optimizando sus propiedades al incorporar las ventajas de plástico.

La madera natural puede ser usada para fines de uso exterior y ambientes salinos con Los con numerosas ventajas.

La ventaja es que tiene la apariencia de la madera con todas las propiedades del plástico: no se pudre, no se enmohece, no lo atacan insectos y el material resiste intacto bajo condiciones climatológicas extremas.



La madera fabricada con plástico reciclado se caracteriza por ser un material 100% reciclado y evita la tala de árboles, por lo que es 100% ecológico.

Entre las características de propias de madera plástica reciclado, que las diferencias de la madera natural, se encuentran:

- Impermeable, no deja pasar el agua y la humedad.
- Anticorrosivo, no se deteriora bajo la acción de productos químicos.
- Imputrescible, no se pudre al aire o en contacto con arena o agua.
- Resistente a la intemperie, bajo cualquier condición meteorológico.
- Buena resistencia Mecánica, material duradero.
- Higiénico, inmune a miro organismos, roedores e insectos.
- Piro resistente, alta resistencia al fuego.
- Seguro, no se agrieta ni produce astillas.

### 3. CAPITULO III

#### MATERIALES Y METODOS

##### 3.1. Lugar de ejecución

Los análisis de acondicionamiento de material y parámetros fisicoquímicos se realizaron en los laboratorios de saneamiento ambiental, Química, Biología y Mecánica de suelos de la Universidad Peruana Unión (UPeU).

Los análisis de propiedades mecánica se realizaron en laboratorio de investigación y certificación- LABICER - Análisis químico, consultoría e investigación, los análisis de morfología y difracción rayos X se realizó en el laboratorio de películas pequeñas de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

##### 3.2. Materiales y equipos

###### 3.2.1. *Materia prima*

Se utilizó envases PET Post consumo entera, se adquirió de industria de reciclaje ubicado en la Asociación de Amauta 1- Ate-Vitarte, y como refuerzo se usó fibras de aserrín de madera, lo cual fue adquirido por la empresa carpintería y ebanistería “García”, Ubicado en Av. Esperanza las Américas Mz “P” LT 25- Ate Vitarte. Así mismo se usó como adicional arcilla bentonita, lo cual fue adquirido de la industria PROMART ubicado en Real Plaza Santa clara.

###### 3.2.2. *Equipos*

En esta sección se detalla la descripción de los equipos y materiales que se utilizó para el desarrollo de plástico-madera (Tabla 4).

**Tabla 4.** *Equipos usados para el proceso y análisis de cuerpos.*

<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>	<b>Cantidad</b>
Estufa	Modelo DHG-9146	2
Balanza analítica Electrónica	HENKEL- modelo BQ001	2
Tamiz para Granulometria	Tyler, N° 325	6
Horno eléctrico.	BGH Quick Chef 42 Lts BHE42M13	1
Máquina de tracción universal	ZWICK ROELL Z010	1
Microscopia Electrónica	HITACHI CU8230	1
X RAYOS ON	D8ADVANCE	1

**Tabla 5.** *Materiales que fue usado durante la investigación*

<b>Materiales</b>	<b>Marca</b>	<b>Cantidad</b>
Laptop	Toshiba de 15" core i5	2
Crisoles de porcelana		3
Papel aluminio	DIAMOND(50 metros)	2 rollos
Aserrín	Tornillo y Cedro	500 gramos
Plásticos reciclados(Pellets)		3 kilos
Probeta graduda de 100 ml	pyrex	6
Regla		2
Hoja sierra	Stanley	2
Moldes rectangulaes antiadherente	Milko	6
Paleta de madera		1
Espatula	Stanley	1
Martillo pequeño	Stanley	1
Guantes de caña larga de cuero	Indurama	4
Bata de labotario		2

### 3.3. Metodología

#### 3.3.1. Acondicionamiento de la materia prima

La primera parte del acondicionamiento, se inició con el recorte de las botellas. Se realizó un acopio de aproximadamente 10 kg de envases plástico y 5 kg de aserrín. Seguidamente las fibras cernidas y los pellets fueron lavados con agua a temperatura ambiente y seguidamente fueron secados en estufa a 105 °C por 12 horas y 90 °C por 8 horas respectivamente. Este pre tratamiento tuvo como objetivo la eliminación extractivos orgánicos e impurezas inorgánicas presentes en la materia prima.

#### 3.3.2. Diseño del equipo para fusión térmica

El diseño del quipo fue de un horno que cuenta básicamente una conexión eléctrica, una paleta que gira el compuesto, un recipiente teflón hondo (Figura 1).

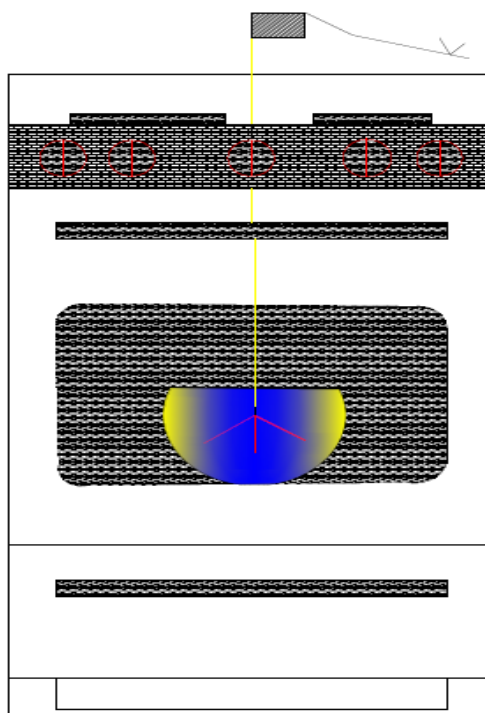


Figura 1. Diseño del horno eléctrico

#### 3.3.3. Determinación de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima

##### a. Granulometría

Se realizó el análisis granulométrico del aserrín y PET en un conjunto de tamices de tamaños diferentes como: 9.5, 4.75, 2.36, 2, 1.18, 0.6, 0.3, fondo < 0.3 mm y 9.5, 4.75, 2.36, 2 y 1.18 mm, las cuales fueron cernidas manualmente durante un tiempo, obtenido así diferentes fracciones de peso del material que queda retenido en los diferentes tamices. Para el análisis se emplearon los 3 últimos tamices y el intermedio. Según (Giralt y Serret, 2016) el aserrín es desprendido de la madera, estas contienen partículas minúsculas las cuales son generadas durante el proceso de elaboración.

**b. Densidad**

Se determinó la densidad por el método Gravimétrico. En esta prueba se pesó 3 gramos de aserrín y 2 gramos PET y se utilizó 6 probetas de 500 mL con una cantidad de agua de 40 mL. La materia prima se sumergió con cuidado hasta completarse el volumen exacto y leyendo el volumen final. Terminado el proceso se calculó del volumen.

$$\rho = \frac{M}{V} \times 1000 \dots \dots \dots \text{Ecuacion(1)}$$

Donde:  $\rho$  = Densidad (g/ml) ,  $M$  = Masa (g),  $V$  = Volumen(ml)

**c. Humedad**

Se determinó la humedad de la fibra de aserrín de madera y gránulos de PET reciclado. Para esta prueba se utilizó 3 crisoles de porcelana y se pesó 2 y 3 gramos de materia prima respectivamente, las cuales posteriormente fueron sometidos a una estufa con temperatura de 105°C por 8 horas y 45°C por 12 horas para su peso final, terminado el proceso se calculó la humedad (%).

$$H = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuacion(2)}$$

Donde:  $H$  = Humedad (%)  $P_i$  = Peso inicial(g) ,  $P_f$  = Peso final (g),

**3.3.4. Procesamiento tecnológico**

El PET reciclado de forma pellets y las fibras de aserrín de madera del tamaño fueron pesadas en balanza electrónica en bolsas por separado con diferentes cantidades de Aserrín y arcilla según la distribución del diseño estadístico.

El procesamiento tecnológico fue por fusión térmica en un horno eléctrico, que consistió en calentar el molde durante un tiempo de tres minutos, luego agregar pellets de 110g, una vez fundida se agregó mezcla de aserrín y arcilla, y fue una mezcla homogenizada con una paleta de madera durante 30 segundos y por último se aplicó una presión por un tiempo aproximado de un minuto.

### 3.3.5. *Proceso de corte para probetas según ASTM*

Los nueve cuerpos extraídos de moldes fueron recortados con dimensiones que rige la norma ASTM D638 de tipo IV para llevar a cabo los análisis de tracción y elongación, a continuación, se observa las dimensiones (Figura 2)

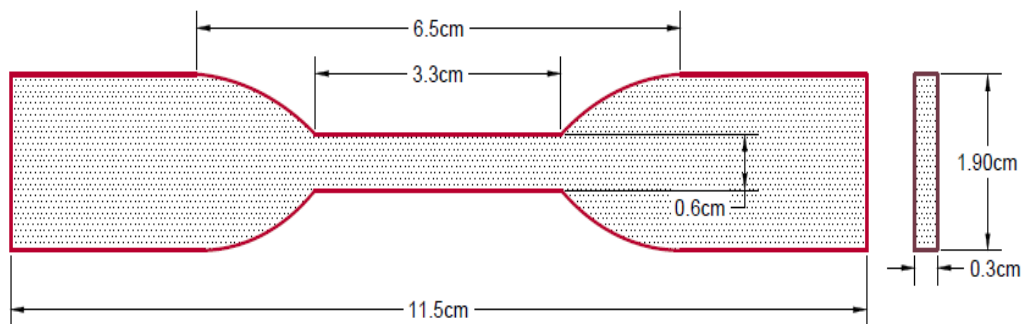


Figura 2. Modelo de corte de probetas según ASTM D638 del tipo IV

### 3.3.6. *Caracterización de las propiedades mecánicas*

#### 3.3.6.1. *Ensayo de resistencia de Tracción y elongación*

Los ensayos de resistencia de tracción constituyen la principal forma de evaluación de las propiedades mecánicas y con solicitudes estáticas de los polímeros y compuestos (Moura, 2011). Para evaluar el efecto de adición de las fibras de PET y residuo de madera

de las propiedades mecánicas de los compuestos, se realizaron ensayos de resistencia de tracción (MPa) y elongación (%) en laboratorio LABICER (análisis químico, consultoría e investigación) de facultad de ciencias - universidad nacional de ingeniería (UNI) en una máquina de tracción universal. ZWICK ROELL Z010, la forma de muestra ha sido acuerdo con la Norma ASTM D 638 de tipo IV.

### **3.3.6.2. *Caracterización de las propiedades morfológica estructural***

La Microscopía electrónica de exploración, de modelo phillips XL -30FEG, es una técnica que fue utilizado en esta investigación (Moura, 2011) para realizar un estudio de la estructura fina y poder visualizar las morfologías de los materiales compuesto de plástico - madera y el grado de adherencia y la distribución de la matriz polimérica.

El Microscopio electrónico de barradura emplea electrones para la formación de las imágenes, con mejor resolución que las imágenes presentadas por un microscopio óptico, el detector que estas proporcionan es de excelente calidad, utilizan una tensión baja y no degrada la muestra. La elección de la muestra mejor, fue debido al resultado óptimo de tracción (MPa) y elongación (%) por lo tanto se realizó el análisis en el laboratorio de facultad de ciencias- UNI con el equipo microscopia electrónica de barradura HITACHI, con el fin de observar las morfologías del compuesto, grado de adhesión y distribución en la matriz polimérica. El cuerpo para analizar se cortó de tamaño de 2 cm\*2 cm debido, por las medidas de la porta objeto.



*Figura 3.* Cuerpo de plástico madera en la porta objeto

### **3.3.6.3. Caracterización de las propiedades de difracción rayos X**

Se analizó las propiedades de cristalinidad de arcilla, aserrín y PET reciclado, con un cuerpo de plástico madera tuvo una dimensión de 2cm\*2cm (Figura 3).

### **3.3.7. Diseño de experimento**

#### **3.3.7.1. Diseños estadísticos**

Para evaluar la influencia de los parámetros en la variable respuesta en el desarrollo de cuerpos de compuesto se emplearon un diseño factorial fraccionado de segundo orden

$3^{k-p}$  totalizando 9 tratamientos con replicas totalizando 18 tratamientos: las tres formulaciones a 180 ° C (Figura 5), otras 3 a 200°C (Figura 6) y otras 3 a 220°C (Figura 7).



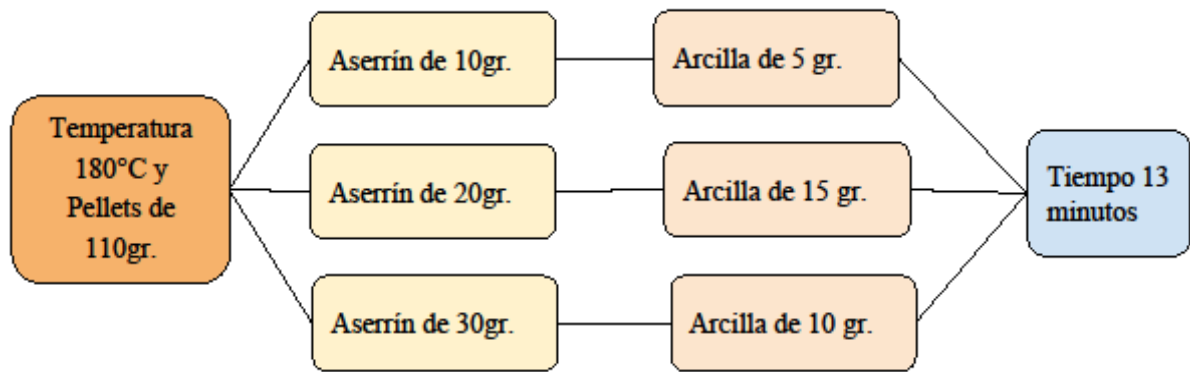


Figura 4. Procesamiento a 180°C a diferentes concentraciones de aserrín y arcilla

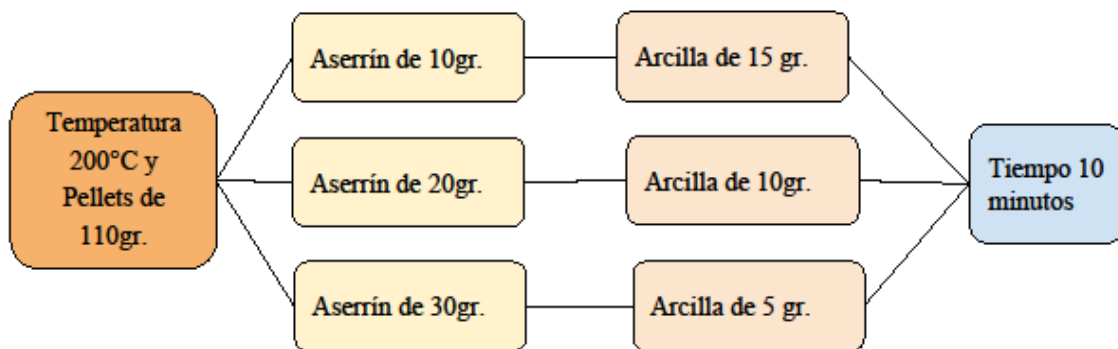


Figura 5. Procesamiento a 200°C a diferentes concentraciones de aserrín y arcilla.

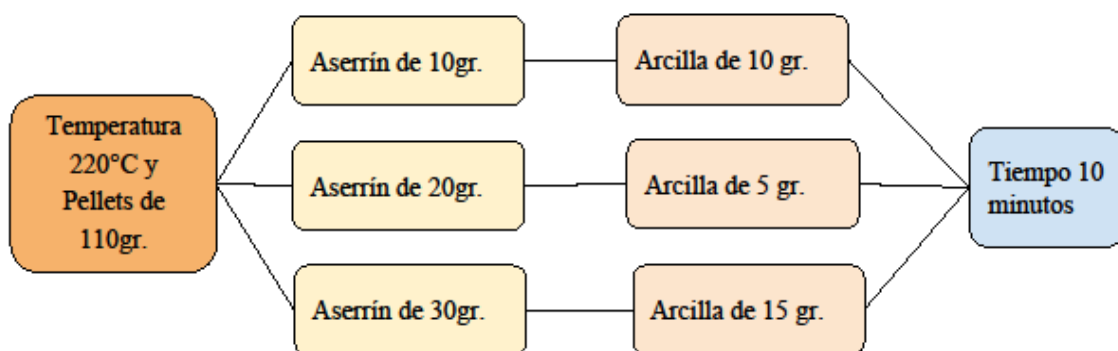


Figura 6. Procesamiento a 220°C a diferentes concentraciones de aserrín y arcilla

Los experimentos fueron conducidos en orden aleatorio y los datos analizados por regresiones múltiples usando un método de mínimos cuadrados: La función de la respuesta o variable dependiente (Y) fue participada en los componentes lineal e cuadrático y los datos experimentales fueron ajustados al modelo de segundo orden como se muestra a continuación:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^2 \beta_{ij} X_i X_j$$

Donde:

Y: es la respuesta predicha medida (variable dependiente).

$\beta_0$ : es el intercepto.

$\beta_i$  y  $\beta_{ij}$ : son los coeficientes del modelo (lineal, cuadrático e interacción).

$X_i$  y  $X_j$ : son los valores codificados de las variables independientes.

**Tabla 6.** Niveles y parámetros del diseño de experimentos para el desarrollo.

Parámetros	Niveles		
	+1	0	-1
Temperatura(°C)	220	200	180
Residuo aserrín(phr)	30	20	10
Arcilla	15	10	5

**Tabla 7.** Diseño de experimento factorial con variable independiente y dependiente

Trat.	$\frac{X1}{X2}$	Variables independientes no codificados			Variables dependientes(Y)	
		Temperatura (°C)	Aserrín (phr)	Arcilla	Tracción(Mpa)	Elongación (%)
1	- - -	180	10	5	----	-----
2	- 0 +	180	20	15	----	-----
3	- + 0	180	30	10	----	-----
4	0 - +	200	10	15	----	.....
5	0 0 0	200	20	10	.....	.....
6	0 + -	200	30	5	----	-----

7	+	-	0	220	10	10	----	-----
8	+	0	-	220	20	5	----	-----
9	+	+	1	220	30	15	----	-----

### 3.3.7.2. *Análisis estadístico*

Para el análisis estadístico se analizó por análisis de variancia (ANOVA), gráfico de Pareto, gráfico de contorno, regresión lineal y cuadrática y superficie de respuesta generada por el modelo mejor ajustado. Todos los análisis fueron realizados a un intervalo de confianza de 95% ( $P < 0.05$ ) usando el programa estadístico Statistic 13.1

### 3.3.8. *Biodegradabilidad de los WPC*

La prueba de los compuestos de madera plástica (WPC) se realizó en un área de jardín ubicada en la comunidad de Huayhualloc alta. El ensayo fue bajo las condiciones de luz y riego natural. Se evaluó la biodegradabilidad a través del seguimiento de la pérdida de peso de la muestra a lo largo de un periodo de tiempo de degradación (Ishigaki, 2004).

#### a) **Preparacion de la muestra**

Se cortaron 3 probetas con medidas que van de 6 cm x 2.5 cm de cada muestra de composito plastico-madera (tratamiento 1,5 y 7). Seguidamente se tomó el peso inicial de cada tratamiento. por otro lado se tomó como control los envases PET como (san luis, cielo y mateo). El hoyo tuvo una profundidad de 30 cm, donde se realizó 3 hoyos para las tres repeticiones. Según Rutiaca (2002) las muestras son recuperadas en 5, 10, 15. 20 y 30 días de exposición.

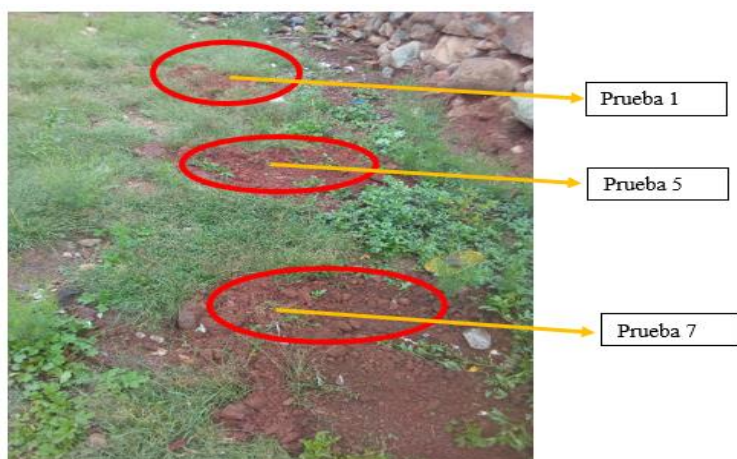


Figura 7. Entierro de probetas para la biodegradabilidad de la prueba 1, 5 y 7

#### 4. CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis fisicoquímico de PET y fibra de aserrín de madera.

##### a) Granulometría del PET:

El resultado obtenido de la evaluación de la granulometría del pellet se aprecia en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Datos de granulometría de diferentes tamices.

Pruebas	Tam.1 (9.5mm)	Tam.2 (4.75mm)	Tam.3 (2.36mm)	Tam.4 (2mm)	Tam.5 (1.18mm)	Total
Prueba 01(g)	24.65	252.66	68.70	1.5	1.2	348.71
Prueba 02 (g)	15.86	292.96	46.99	1.5	1.17	358.48
Prueba 03 (g)	17.63	279.25	42.07	1.56	1.61	342.12
Prueba 04 (g)	27.48	272.37	40.31	1.49	1.18	342.83
Prueba 05 (g)	33.14	267.07	33.45	1.14	1.01	335.81
Total (g)	118.76	<b>1364.31</b>	<b>231.52</b>	7.19	6.17	<b>1727.95</b>
Distribución (%)	6.87	<b>78.95</b>	<b>13.39</b>	0.41	0,35	<b>100</b>

Para la obtención de las probetas se utilizó un tamaño específico de pellets laminados fue la suma del tamizador 2 y tamizador 3 dando un total de 92.34 %. En la Figura 8 se muestra gráficamente el total por tamizador.

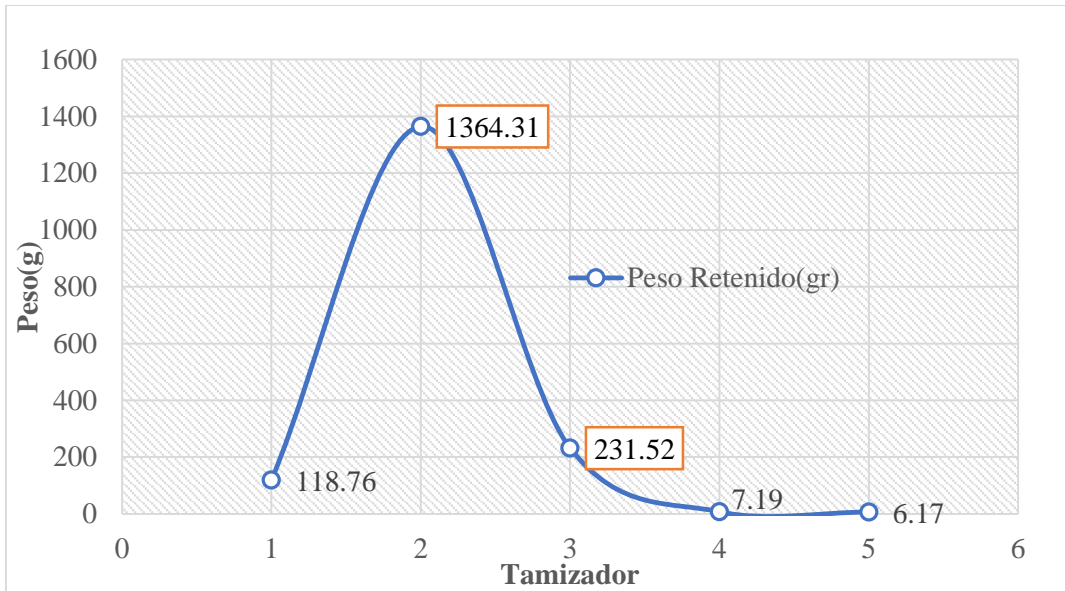


Figura 8. Peso retenido de gránulos de PET

En la Figura 08 se observa que se utilizó el tamizador 2 (4.75 mm) y tamizador 3 (2.36 mm) obteniendo un total de 1595.83 g de pellets laminados para la realización de la prueba de ensayo.

a. Granulometría de fibra de aserrín

El resultado obtenido de la granulometría del aserrín de madera, se presenta en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados de granulometría de aserrín de madera

<b>Pruebas</b>	<b>Tam.1 (9.5mm)</b>	<b>Tam.2 (4.75mm)</b>	<b>Tam.3 (2.36mm)</b>	<b>Tam.4 (2mm)</b>	<b>Tam.5 (1.18mm)</b>	<b>Tam.6 (0.6mm)</b>	<b>Tam.7 (0.3mm)</b>	<b>Fondo</b>	<b>Total</b>
Prueba 01(g)	2.18	4.22	9.33	7.64	37.05	62.11	50.61	21.37	194.51
Prueba 02 (g)	2.73	2.83	15.11	7.16	49.37	89.27	39.71	12.86	219.04
Prueba 03 (g)	1.69	3.29	18.19	5.51	56.19	64.05	26.99	11.93	187.84
Prueba 04 (g)	2.35	5.14	7.93	5.51	42.77	56.79	43.15	16.09	179.73
Prueba 05 (g)	1.52	2.92	14.29	5.51	42.12	73.04	44.56	23.64	207.6
Prueba 06 (g)	2.11	1.98	11.78	5.51	33.8	63.85	52.64	22.03	193.7
Prueba 07 (g)	2.65	2.98	14.23	5.51	40.5	60.07	56.97	22.25	205.16
Prueba 08 (g)	3.57	3.18	12.68	5.92	37.3	68.27	57.53	24.29	212.74
Total (g)	18.8	26.54	103.54	48.27	<b>339.1</b>	<b>537.45</b>	<b>372.16</b>	154.46	<b>1600.32</b>
Distribución (%)	1.17	1.65	6.46	3.01	<b>21.18</b>	<b>33.58</b>	<b>23.25</b>	9.65	<b>100</b>

En la Tabla 9 se observa que el tamizador 5,6 y 7 suman un total de 78.01%, en la Figura 9 se puede observar gráficamente las cantidades totales por tamizador.

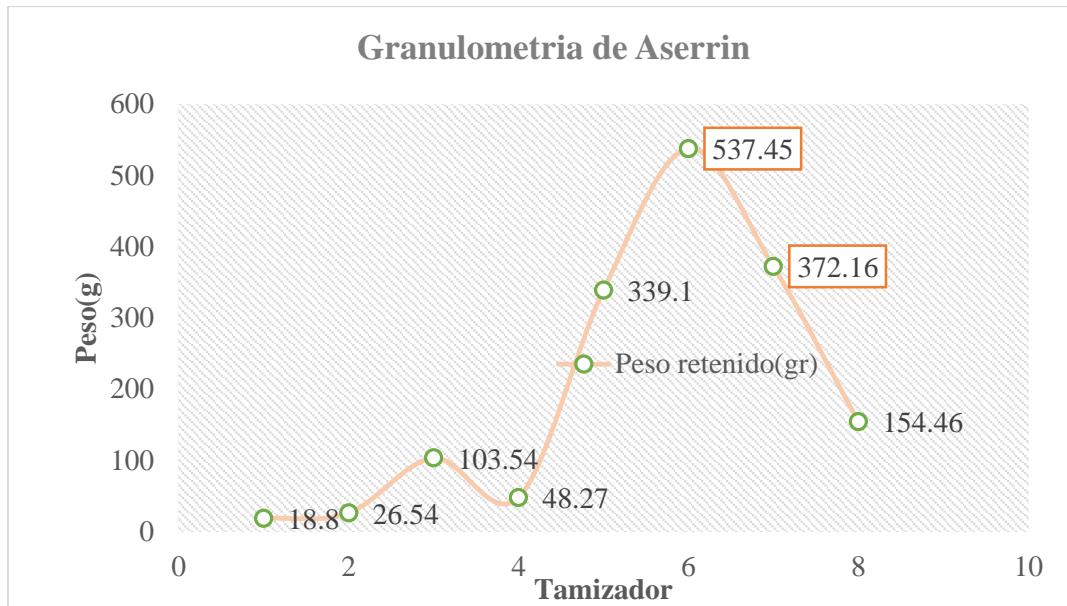


Figura 9. Peso retenido de granulometría de aserrín de madera

Trabajos realizados por Solís y Lisperguer (2002) tamizaron el aserrín de pino con un tamiz de 250 mm y el aserrín de madera de eucaliptus nitens se hizo pasar por 150 mm, lo que finalmente se obtuvo un polvo fino que posteriormente se ocupó para combinarlo con el polímero los autores recomiendan que para la realización de las distintas pruebas de ensayo es necesario utilizar los últimos tamizadores o en forma de polvo fino, como la que se utilizó 2 juegos de tamices de 1.18, 0.6 y 0.3mm. Por otro lado según (Cancho, 2015) realizó la granulometría del Pinus pinaster mediante la norma UNE-CEN/TS 15149 EX, fue mediante vibrado y tamices de distintas mallas de 3.15, 2.80, 2.00, 1.40, 1.00, 0.50 y 0.25 mm. Se puede apreciar que para obtener buenos resultados es utilizando mallas de menores dimensiones.

#### a. Densidad de pellets

Se determinó la densidad por el método gravimétrico, utilizando una probeta de 100 ml para el análisis. En la Tabla 10 se detalla los resultados obtenidos en el laboratorio.

**Tabla 10.** *Cálculo de densidad de gránulos Pellets por 3 replicas*

<b>Prueba</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Vi(ml)</b>	<b>Vf(ml)</b>	<b><math>\Delta V</math></b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Prueba 1	2	40	42.8	2.8	714
Prueba 2	2.01	40	42.9	2.9	693
Prueba 3	2.01	40	42.85	2.85	705
Promedio	2.0	40	42.85	2.85	704±10.5

En la Tabla 10 se visualiza la densidad aparente de los pellets laminados fue de 704±10.5 kg/m<sup>3</sup>

Según Hachi y Rodriguez (2010) menciona que la densidad del pellet de PET abarca de un rango de 680- 720 kg/m<sup>3</sup>, valore relativamente similares en el presente trabajo. Por otro lado (Beltran , 2012) menciona que la densidad es un factor económico de alto valor en la industria plástica ya que es determinante al momento de elegir el uso de un plástico con otro. El PET en estado amorfo tiene una densidad que oscila entre 1.33 – 1.37 g/cm<sup>3</sup>, en estado cristalino una densidad que oscila entre 1.45 – 1.51 g/cm<sup>3</sup>.

#### **b. Densidad aparente del aserrín de madera**

La densidad del aserrín se hizo por replicas iniciando con peso de aserrín promedio 3 gramos y volumen de agua destilada de 40 mL en probeta de 100mL. En siguiente Tabla 11 presenta el cálculo de densidad de aserrín de madera.

**Tabla 11.** *Cálculo de densidad de aserrín por 3 réplicas.*

<b>Prueba</b>	<b>Masa(g)</b>	<b>Vi(mL)</b>	<b>Vf(mL)</b>	<b><math>\Delta V</math></b>	<b>Densidad aparente (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Prueba 1	3.01	40	43.5	3.5	860
Prueba 2	3	40	43.5	3.5	857.14
Prueba 3	3.01	40	43.6	3.6	836.11
Promedio	3	40	43.5	3.5	851.8±13.04



En la primera se observó una cierta cantidad de aserrín flotando en el agua en un tiempo determinado y se obtuvo un resultado consecutivo de 771.79, 769.23 y 781.82 de densidad al instante. Por otro lado, se dejó reposar por 2 días y se denotó que la gran cantidad de aserrín había descendido a la parte superior de la probeta y la densidad final fue de 860, 845.07 y 845.51. En la Tabla 11 se muestra que la densidad aparente del aserrín de madera fue de  $851.8 \pm 13.04$ . Según el manual de formación para la caracterización de madera de uso estructural menciona que generalmente la densidad de las especies coníferas que se utilizan normalmente en la construcción suele ser de entre  $400 - 550 \text{ kg/m}^3$ . El abeto, cedro y aliso pertenecen a la madera medio ligera con una densidad de  $500-599 \text{ kg/m}^3$ .

#### a. Humedad del PET por consumo

La humedad del PET se obtuvo a una temperatura de  $45^\circ\text{C}$  por 12 horas. En la Tabla 12 se denota el resultado final de la humedad de PET.

*Tabla 12. Cálculo de humedad de pellets por tres replicas.*

<b>Prueba</b>	<b>Peso inicial(g)</b>	<b>Peso final(g)</b>	<b>Humedad (%)</b>
Prueba 1	3.52	3.47	1.42
Prueba 2	3.21	3.18	0.93
Prueba 3	3.02	3.01	0.33
Promedio	3.25	3.23	$0.508 \pm 0.05$

Según Stoughton (2014) menciona que el PET es extremadamente higroscópico y altamente sensible a la humedad, por lo que uno de los retos más difíciles es secarlo y la humedad del polímero a ingresar debe ser de máximo 0.5 %. La humedad de la muestra de PET se encuentra dentro de los rangos. El PET pierde al momento del secado su humedad.

#### b. Humedad del aserrín de madera

Se determinó la humedad del aserrín a una temperatura de  $105^\circ\text{C}$  por 8 horas y se obtuvieron los siguientes resultados en la Tabla 13.

**Tabla 13.** *Cálculo de humedad de aserrín de madera*

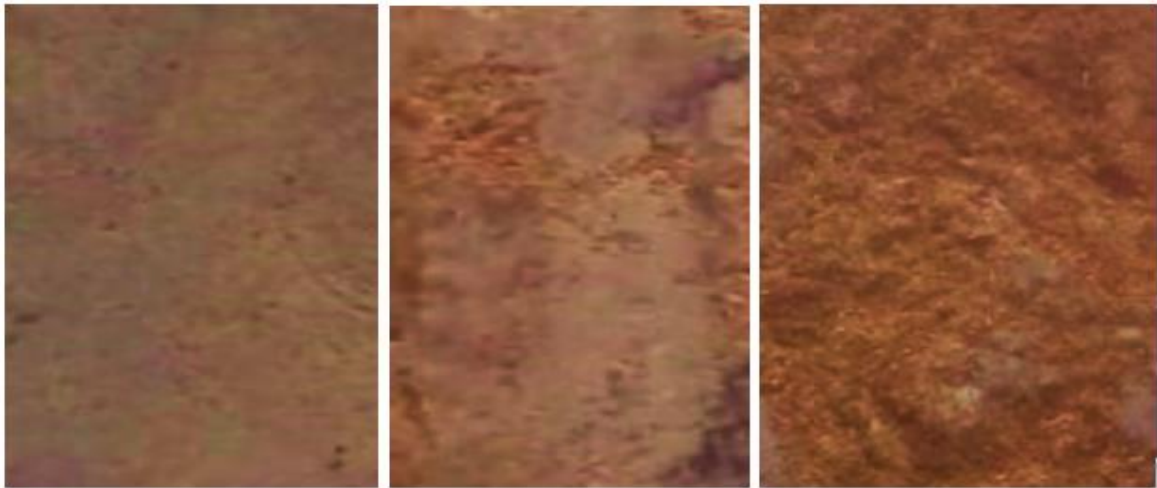
<b>Prueba</b>	<b>Peso inicial(gr)</b>	<b>Peso final(gr)</b>	<b>Humedad (%)</b>
Prueba 1	2.11	1.83	13.27
Prueba 2	2.7	2.35	12.96
Prueba 3	2.67	2.32	13.11
Promedio	2.49	2.16	13.1±0.15

En la Tabla 13 se observa que la humedad del aserrín de madera se encuentra en de 13.1±0.15 %. Camac (2012) realizó una prueba de plástico-madera y trabajó hasta alcanzar un contenido de humedad entre 13 -18 %. Posteriormente estos fueron almacenados en bolsas plásticas herméticas para ser utilizados en las diferentes pruebas de ensayo.

El contenido de humedad fue controlado en una estufa a temperatura de 105 °C por 8 horas. Se trabajó aproximadamente con 1060.32 g de fibras de aserrín de madera homogéneamente, utilizando mallas de dimensione que van de 0.6 y 0.3 mm. Según (Cancho, 2015) determinó la cantidad de humedad del pinus pinaster mediante el método simplificado de secado en estufa descrito en la norma UNE-CEN/TS 14774-2 EX. La muestra pesada fue introducida a una estufa a 105 °C durante 24 h para evitar perdida de materia volátil y la humedad debe ser aproximadamente del 15 % en base humedad. Otras investigaciones controlaron la humedad en una viruteadora Pallmann, de esta se toma una pequeña cantidad de muestra para determinar su humedad y posteriormente la muestra es secada en estufa a 120°C por dos horas y son colocados a mallas de 0.5 mm- 10mm.

#### **4.2. Resultados de compuesto plástico-madera en horno eléctrico**

Aquí se observa los nueve cuerpos de compuesto de plástico-madera a diferentes cantidades de aserrín y arcilla a una temperatura de 180°C, 200°C y 220°C (respectivamente).



**Tratamiento 1**

**Tratamiento 2**

**Tratamiento 3**

*Figura 10. Fotografía de compuesto de plástico- madera de los primeros tres tratamientos a 180°C*

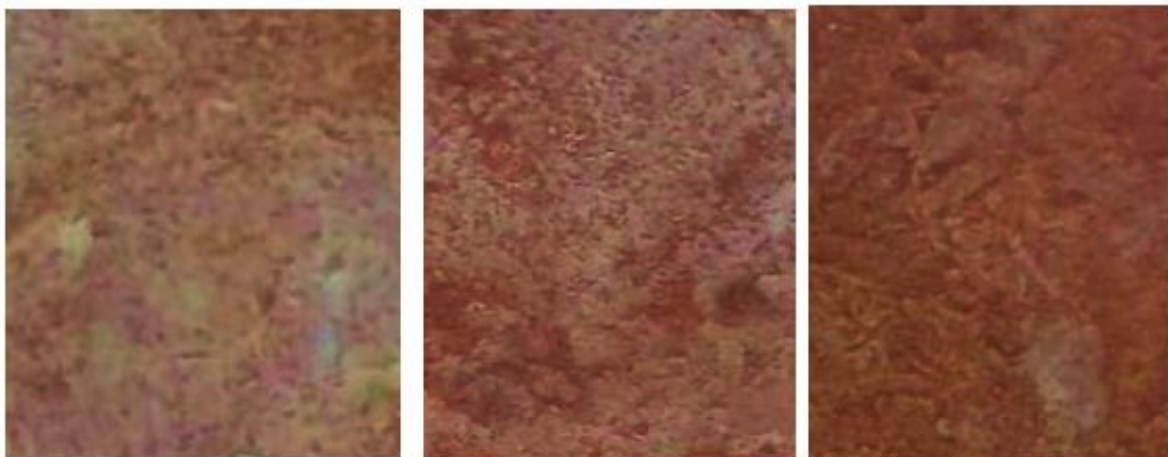


**Tratamiento 4**

**Tratamiento 5**

**Tratamiento 6**

*Figura 11. Fotografía de compuesto de plástico- madera de los tres tratamientos a 200°C*



**Tratamiento 7**

**Tratamiento 8**

**Tratamiento 9**

*Figura 12. Fotografía de compuesto de plástico- madera de los tres tratamientos a 220°C.*

### 4.3. Resultados de las propiedades mecánicas

Los resultados de tracción (MPa) y elongación (%) son mostradas en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Resultados de propiedades mecánicas de resistencia Tracción y Elongación

Muestras	Variables independientes			Variables dependientes(Y)	
	Temperatura (°C)	Aserrín (phr)	Arcilla (phr)	Tracción (MPa)	Elongación (%)
<b>Muestra 01</b>	<b>180</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>7461</b> <b>7045</b>	<b>2.2</b> <b>2.9</b>
Muestra 02	180	20	15	6596 5973	1.5 1.1
Muestra 03	180	30	10	6365 7219	1.1 1.5
Muestra 04	200	10	15	4172 4740	1.9 1.3
<b>Muestra 05</b>	<b>200</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>7120</b> <b>7410</b>	<b>2.4</b> <b>2.2</b>
Muestra 06	200	30	5	5698 5961	1.8 2.3
<b>Muestra 07</b>	<b>220</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>9536</b> <b>9346</b>	<b>2.6</b> <b>2.8</b>
Muestra 08	220	20	5	6093 7575	2.4 1.8
Muestra 09	220	30	15	6350 3024	1.7 1.6

De la Tabla 14 se puede apreciar los resultados de ruptura de tracción (MPa) y elongación (%), los valores más altos fueron las siguientes muestras realizando los promedios: Muestra 07 con 9441 MPa y 2.7 %; Muestra 05 con 7265 MPa y 2.3% y muestra 01 con 7253 MPa y 2.5 %.

En las Figuras 13 y 14 la muestra 07 es más alto en cuanto a ruptura de tracción y de elongación que tienen una combinación de 10 phr de aserrín y 10 phr arcilla bentonita, se

visualiza en la Figura 14 que indica un mayor incremento a la resistencia en ruptura de tracción y elongación.

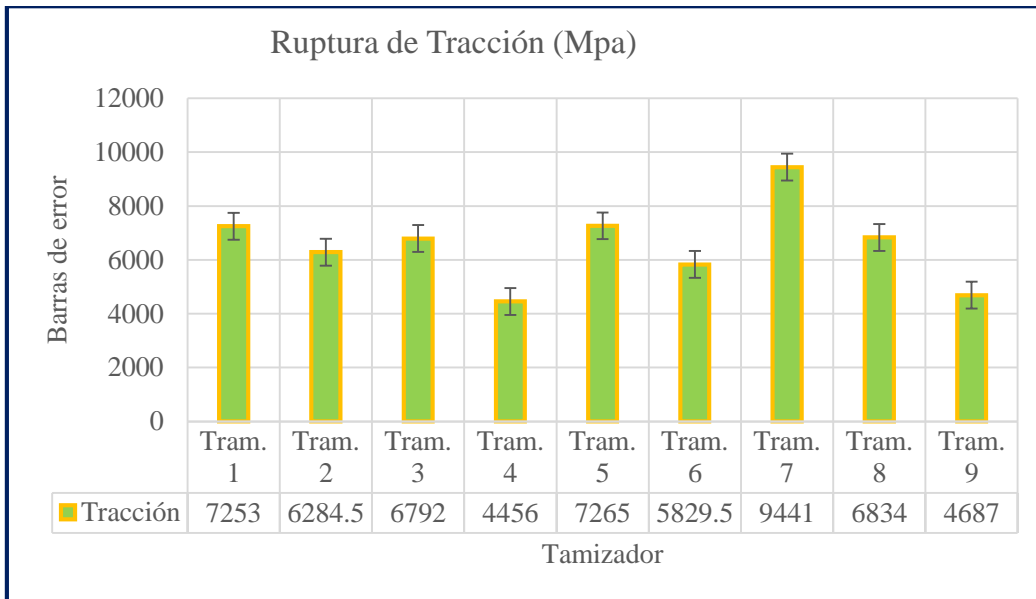


Figura 13. Evaluación de promedio de ruptura de tracción (MPa) y barras de error.

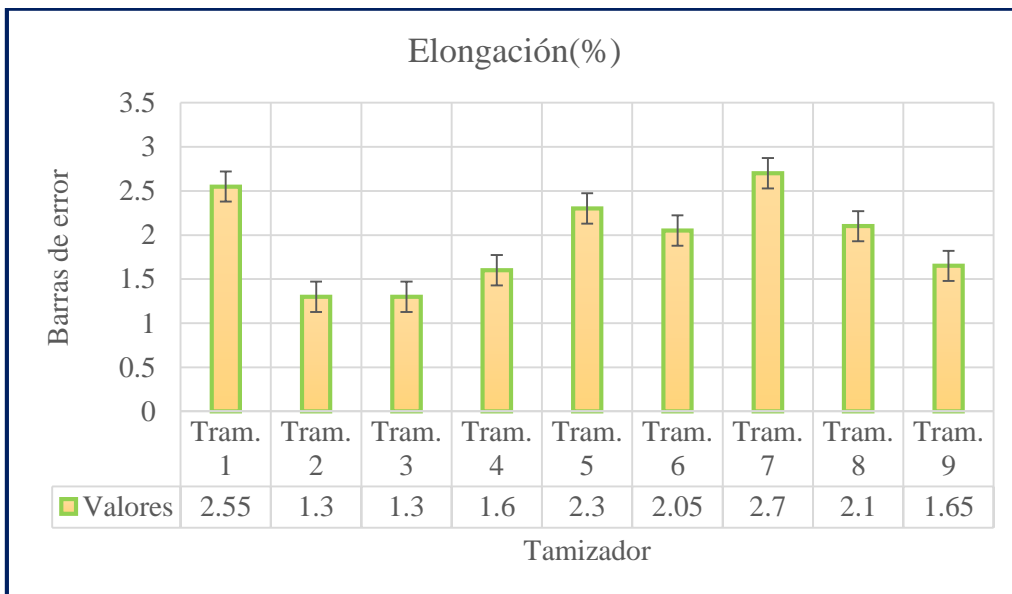


Figura 14. Evaluación de promedio de ruptura de Elongación (%) y barras de error.

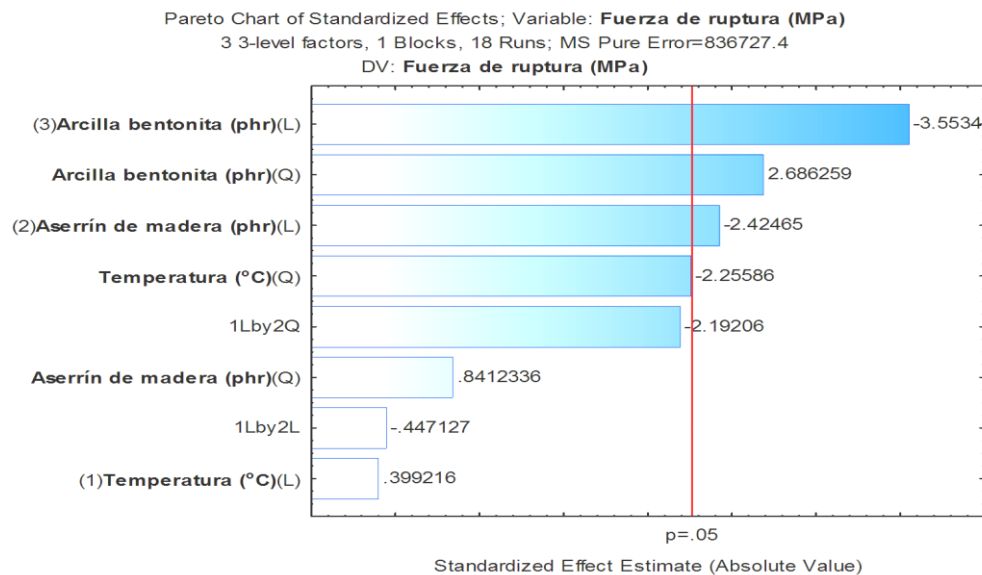
### 4.3.1. Propiedad Ruptura de tracción (MPa)

Los resultados de ANOVA para las propiedades mecánicas son mostrados en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Análisis de Varianza (ANOVA) para prueba de la ruptura de tracción (MPa)

Factor	ANOVA; Tracción a la ruptura (MPa); R- sqr; 82.6%				
	SS	df	MS	F	P
(1) Temperatura(°C) (L)	133352	1	133352	0.15937	0.699041
Temperatura(°C) (Q)	4258032	1	4258032	5.08891	0.050517
(2) Aserrín de madera(phr)(L)	4919041	1	4919041	5.87890	0.038318
Aserrín de madera(phr)(Q)	592130	1	592130	0.70767	0.422005
(3) Arcilla bentonita(phr)(L)	10565574	1	10565574	12.62726	0.006182
Arcilla bentonita(phr)(Q)	6037813	1	6037813	7.21598	0.024949
1L by 2L	167281	1	167281	0.19992	0.665350
1L by 2Q	4020576	1	4020576	4.80512	0.056062
Pure Error	7530547	9	836727		
Total, SS	43423456	17			

Los resultados de análisis de varianza (ANOVA) de la Tabla 15 para la variable ruptura de tracción (MPa) indica que los efectos principales (aserrín de madera y arcilla bentonita) fueron significativos ( $p < 0.05$ ), el coeficiente de determinación fue de 83 % indicando un buen ajuste de la regresión Lineal (L) y Cuadrática (Q) sobre los datos experimentales.



*Figura 15.* Diagrama de Pareto de la ruptura de tracción (MPa).

En el gráfico de Pareto mostrado en la Figura 15 indica que los parámetros significativos son arcilla bentonita (L y Q) seguido de aserrín de madera (L). Los valores de arcilla bentonita (L) indica que a menores concentraciones se tendría mayor fuerza de ruptura y la concentración de arcilla bentonita (Q) indica curvatura positiva tendría mayores fuerzas de ruptura (MPa), con relación al aserrín de madera (L) indica que a menores concentraciones se tendría mayores fuerzas de ruptura (MPa).

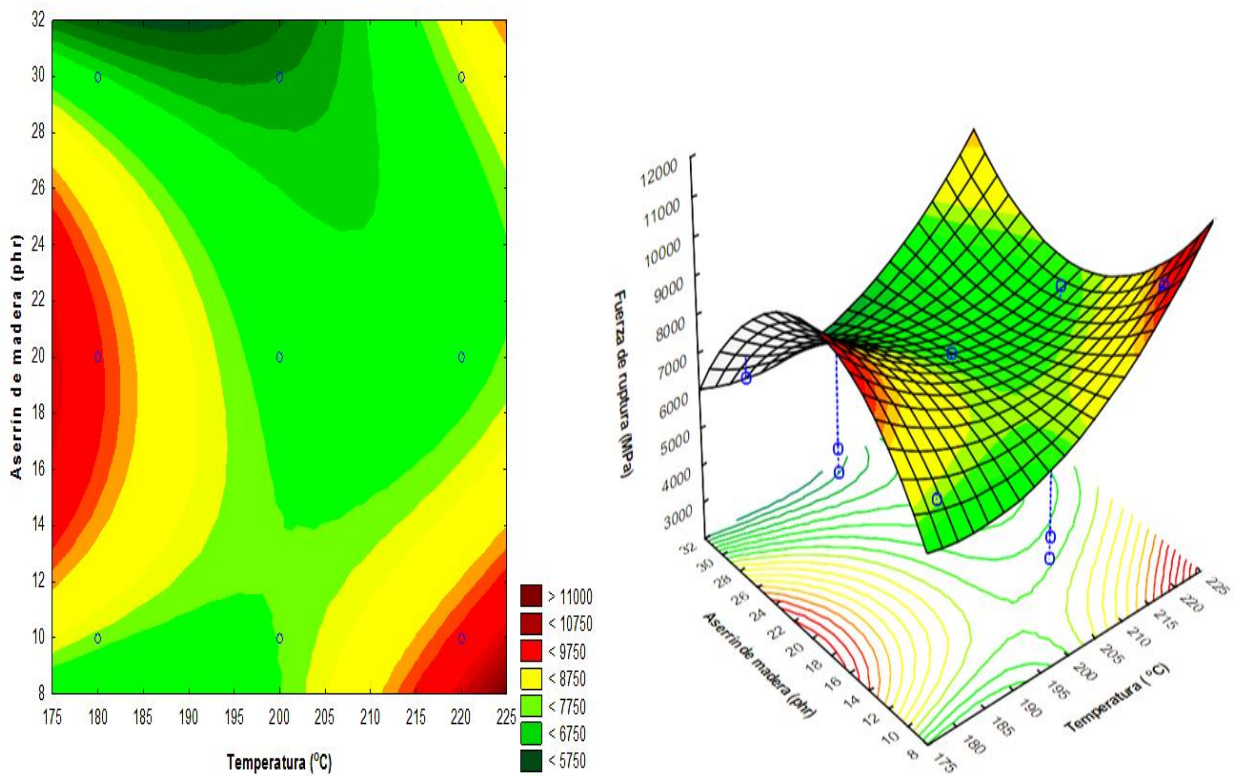


Figura 16. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de aserrín de madera y temperatura.

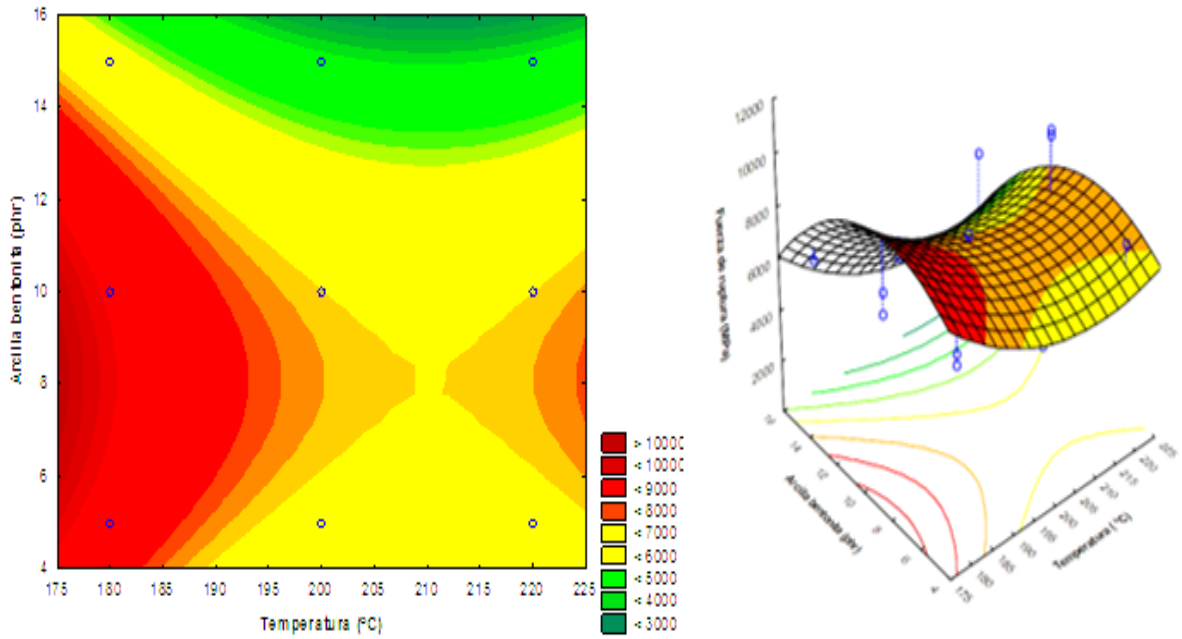


Figura 17. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de arcilla bentonita y temperatura.

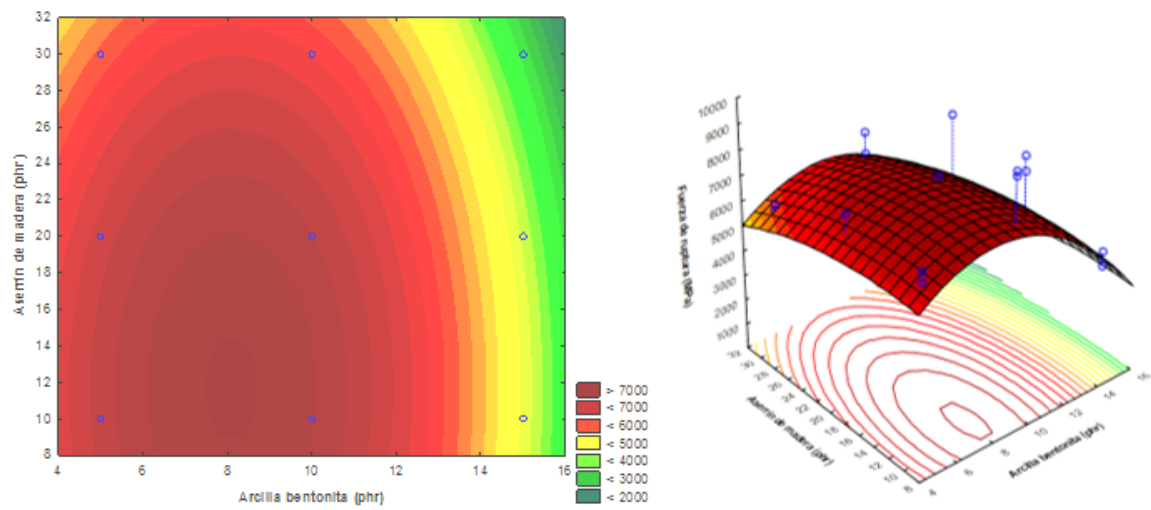


Figura 18. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de arcilla bentonita y aserrín de madera



**Tabla 16.** *Coefficiente de regresión para generar el modelo matemático.*

<b>Regr. Coeficientes, Fuerza de ruptura (MPa); R- sqr; 83.6%</b>				
<b>Factor</b>	<b>Regressn Coeff</b>	<b>Std.Err pure Err</b>	<b>t(9)</b>	<b>p</b>
Mean/interc	42858.00	52952.9	0.8094	0.4392
(1) Temperatura(°C) (L)	-716.61	478.41	-1.4990	0.1684
Temperatura(°C) (Q)	2.58	1.1400	2.2559	0.05050
(2) Aserrín de madera (phr)(L)	7240.38	3206.88	2.2578	0.05030
Aserrín de madera(phr)(Q)	-177.50	79.350	-2.2369	0.05210
(3) Arcilla bentonita(phr)(L)	1124.60	522.810	2.1511	0.05990
Arcilla bentonita (phr)(Q)	-69.50	25.870	-2.6863	0.02490
1L by 2L	-35.75	16.010	-2.2334	0.05240
1L by 2Q	0.87	0.400	2.1921	0.05610

Los gráficos de contorno y superficie de respuesta de aserrín de madera y temperatura son mostrados en la Figura 16, los valores mayores a 11000 MPa se obtendrían trabajando a una temperatura de 176 – 180 °C y a una concentración de aserrín de 16.5 a 20.5 phr, por el otro. A continuación se expresa su modelo matemático cuadrático de superficie de respuesta:

$$Z = 42858 - 716.61X + 2.58X^2 + 7240.38Y - 177.50Y^2 - 35.75XY + 0.87XY^2 \text{---Ecuación (3)}$$

Dónde: Z = Ruptura de tracción (MPa), X=Temperatura (°C), Y=aserrín de madera (phr)

Los gráficos de contorno y superficie de respuesta de arcilla bentonita y temperatura son mostrados en la Figura 17, los valores mayores a 10000 MPa se obtendrán trabajando a una temperatura (177°C) y a una concentración de aserrín (6- 10 phr), por otro lado a continuación, se muestra su modelo matemático:

$$Z = 42858 - 716.61X + 2.58X^2 + 1124.6Y - 69.5Y^2 \text{-----Ecuación (4)}$$

Dónde: Z= Ruptura de tracción (MPa), X= Temperatura (°C), Y= Arcilla bentonita (phr)

Los Gráficos de contorno y superficie de respuesta de arcilla bentonita y aserrín de madera son mostrados en la Figura 18, los valores mayores a 70000 MPa se obtendrá trabajando a una cantidad de aserrín (10-18 phr) y a una concentración de arcilla (6-8 phr), por otro lado, A continuación, se muestra su modelo matemático:

$$Z = 42858 + 7240Y - 177.50Y^2 + 1124.6X - 69.5X^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación (5)}$$

Dónde: Z= Ruptura de tracción (MPa), X=Arcilla bentonita (phr), Y = Aserrín de madera (phr)

#### 4.3.2. Resultado de propiedad de Elongación (%)

Los resultados de ANOVA para las propiedades mecánicas son mostrados en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Resultado de análisis de varianza (ANOVA) para prueba de Elongación (%).

Factor	ANOVA; Elongación (%); R- sqr; 82%				
	SS	df	MS	F	P
(1) Temperatura(°C) (L)	0.563333	1	0.563333	5.42246	0.044849
Temperatura(°C) (Q)	0.010000	1	0.010000	0.09626	0.763433
(2) Aserrín de madera (phr)(L)	1.140833	1	1.140833	10.98128	0.009029
Aserrín de madera(phr)(Q)	0.022500	1	0.022500	0.21658	0.652716
(3) Arcilla bentonita(phr)(L)	1.706667	1	1.706667	16.42781	0.002871
Arcilla bentonita(phr)(Q)	0.605000	1	0.605000	5.82353	0.039044
1L by 2L	0.42250	1	0.422500	4.06684	0.074525
1L by 2Q	0.367500	1	0.367500	3.53743	0.092687
Pure Error	0.935000	9	0.103889		
Total, SS	5.205000	17			

Los resultados de análisis de varianza (ANOVA) de la Tabla 17 para las variables de elongación (%) indica que los efectos principales (aserrín de madera y arcilla bentonita) (L)

fueron significativos ( $p < 0.05$ ), el coeficiente de determinación fue de 82 % indicando un buen ajuste de la regresión Lineal (L) y Cuadrática (Q) sobre los datos experimentales.

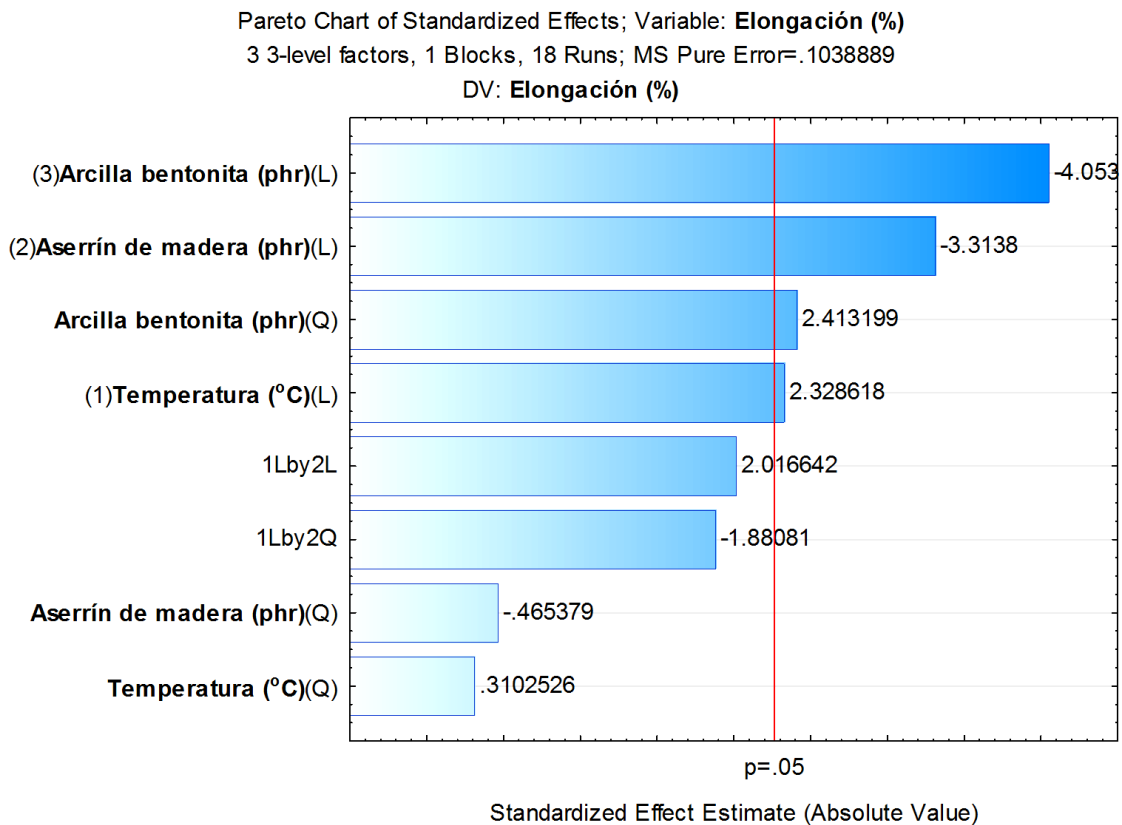


Figura 19. Diagrama de Pareto de la Elongación (%).

En el gráfico de Pareto mostrado en la Figura 19 indica que los parámetros significativos son arcilla bentonita (L y Q) seguido de aserrín de madera (L). Los valores de arcilla bentonita (L) indica que a menores concentraciones se tendría mayor elongación y la concentración de arcilla bentonita (Q) indica curvatura positiva tendrá elongación (%) con relación al aserrín de madera (L) indica que a menores concentraciones se tendría mayor elongación (%).

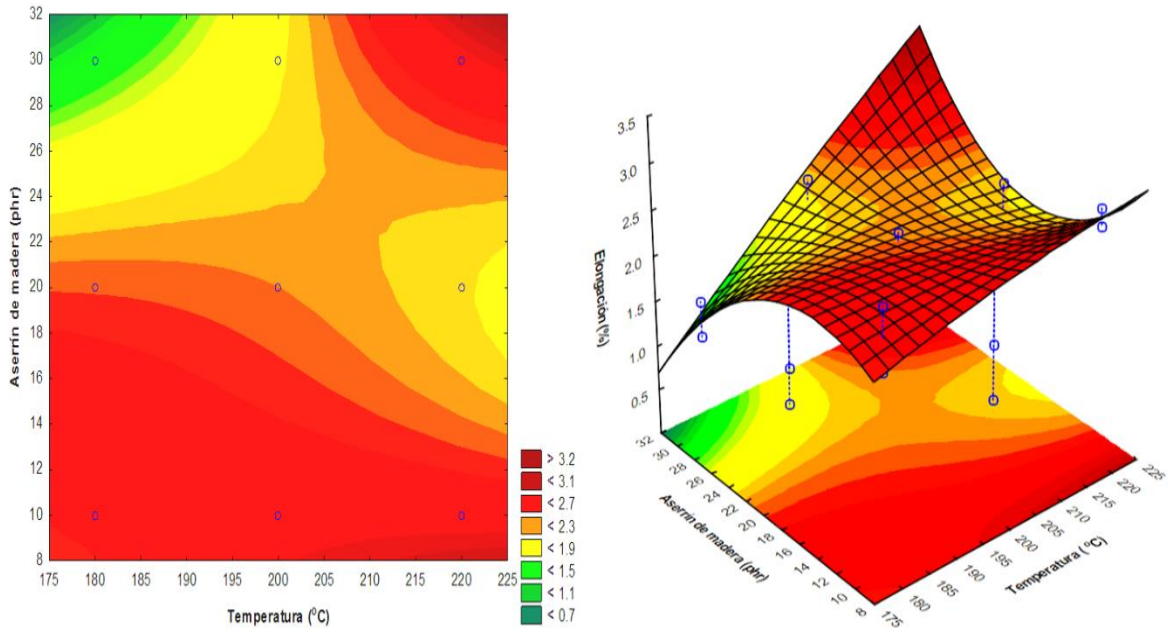


Figura 20. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de aserrín de madera y temperatura

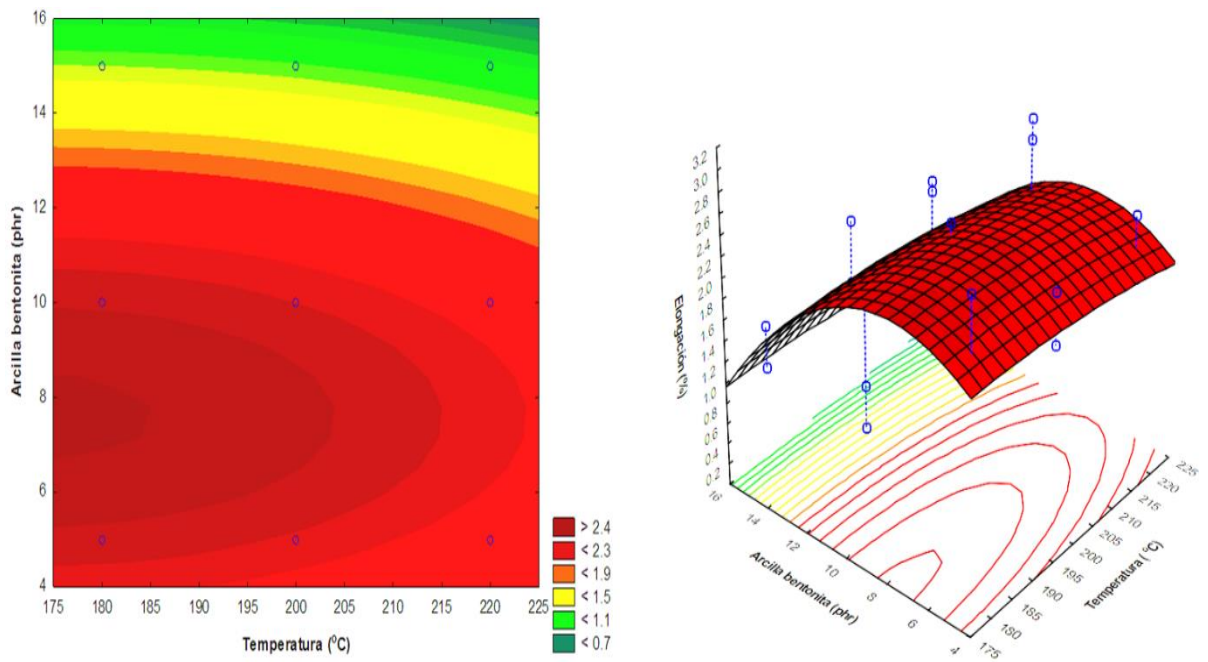


Figura 21. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de los valores de arcilla bentonita y temperatura.

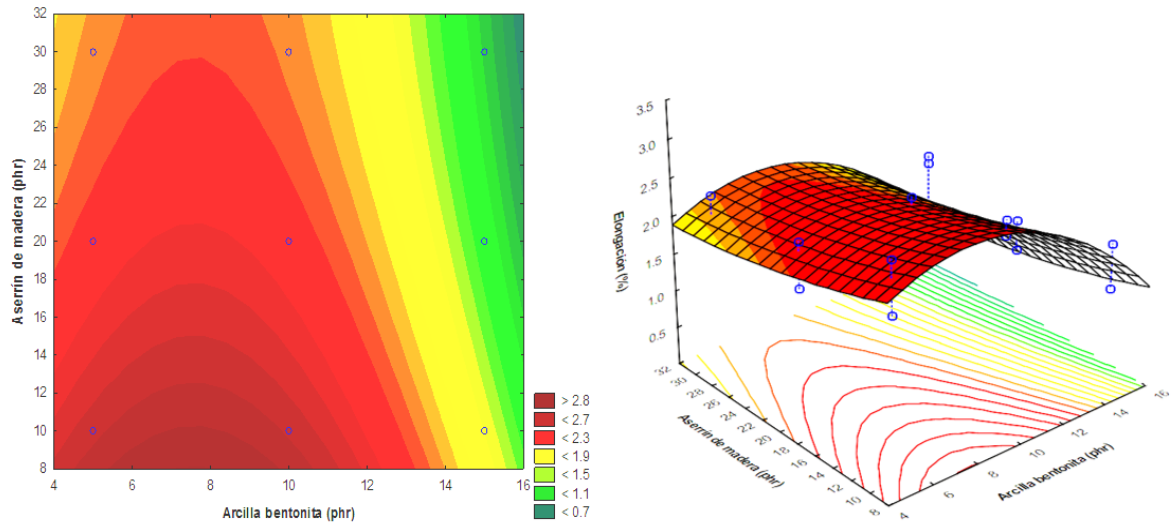


Figura 22. Gráficos de contorno y superficie de respuesta de arcilla bentonita y aserrín de madera

Tabla 18. Coeficiente de regresión para generar el modelo matemático.

Regr. Coefficients, Elongación (%); R- sqr; 82%						
Factor	Regressn Coeff	Std.Er r pure Err	t(9)	P	- 95% Cnf. Limf	+95% Cnf. Limf
Mean/interc	-16.0833	18.659	-0.862	0.411	- 58.29	26.125
(1) Temperatura(°C)(L)	0.1158	0.1686	0.6871	0.509	- 0.265	0.49718
Temperatura(°C)(Q)	-0.0001	0.0004	- 0.3102	0.763	- 0.001	0.0008
(2) Aserrín de madera (phr)(L)	1.7142	1.130	1.517	0.163	- 0.842	4.27039
Aserrín de madera(phr)(Q)	-0.0518	0.028	-1.851	0.097	- 0.115	0.01150
(3) Arcilla bentonita(phr)(L)	0.3333	0.184	1.8094	0.103	- 0.083	0.75007
Arcilla bentonita (phr)(Q)	-0.0220	0.009	- 2.4132	0.039	- 0.042	- 0.001380
1L by 2L	-0.0089	0.006	- 1.5734	0.150	- 0.021	0.003880
1L by 2Q	0.0003	0.0	1.8808	0.092	- 0.001	0.000580

Los Gráficos de contorno y superficie de respuesta de aserrín de madera y temperatura mostrados en la Figura 20, los valores mayores a 3.2 se obtendrá trabajando a un aserrín de madera (8-10phr) y temperaturas mayores a (220-225 °C), así misma a mayor grado de temperatura(>223°C) y mayor cantidad de aserrín(30phr). Por el otro a continuación de expresa su modelo matemático cuadrático de superficie de respuesta:

$$Z = -16.083 + 0.1158X - 0.0001X^2 + 1.71Y - 0.0518Y^2 - 0.008XY + 0.00026XY^2 \dots \text{Ecuación (6)}$$

Donde: Z = Elongación (%), X= Temperatura (°C), Y=Aserrín de madera (phr).

Los gráficos de contorno y superficie de respuesta de los valores de arcilla bentonita y Temperatura son mostrados en Figura 21, los valores mayores 2.4 se obtendrá trabajando a un arcilla bentonita (7- 8.5phr) y menor grado temperaturas (175- 185°C). Por el otro, a continuación, se expresa su modelo matemático cuadrático de superficie de respuesta:

$$Z = -16.0833 + 0.1158X - 0.0001X^2 + 0.3333Y - 0.0220 Y^2 \dots \text{Ecuación (7)}$$

Dónde: Z = Elongación (%), X=Temperatura (°C), Y= Arcilla bentonita (phr).

Los gráficos de contorno y superficie de respuesta de arcilla bentonita y aserrín de madera son mostrados en la Figura 22, los valores mayores a 2.8 se obtendrán trabajando a arcilla bentonita (5.8- 9.8phr) y aserrín de madera (8- 10phr). Por el otro, a continuación de expresa su modelo matemático cuadrático de superficie de respuesta:

$$Z = -16.083 + 1.714Y - 0.0517Y^2 + 0.333X - 0.022 X^2 \dots \text{Ecuación (8)}$$

Donde, Z = Elongación (%), X=Arcilla Bentonita (phr) Y =Aserrín de madera (phr)

Solís y Lisperguer (2005) desarrollaron un compasito de plástico madera donde concluye que aun aumento del 10 % de aserrín de raulí existe un fuerte incremento en la resistencia a la ruptura de tracción. En cambio, a un aumento del 20 % de aserrín raulí disminuye la resistencia ruptura de tracción (MPa), asimismo Según Lei (2008) en su investigación el comportamiento de cristalización de HDPE y el PET influyen en uno con el

otro. La adicción de 20% de harina de madera en las mezclas incrementa la resistencia a la tracción, flexión y resistencia al impacto, especialmente en el módulo. La adicción de 40% de harina de madera reduce la resistencia al impacto.

Según Lei y Wu (2010) indica que en el compuesto plástico de madera que realizaron a través de una tecnología de extrusión reactiva. La harina de madera se añadió a las mezclas micro fibrilar (MEF) de PET y polietileno de alta densidad (HDP). La adición de 25% de microfibras PET aumentó las propiedades mecánicas del HDPE, y se observó una mejora más significativa de las microfibras de PET reciclados. La adición de un 2% de E-GMA mejoró la compatibilidad entre matriz y las microfibras en los MFB, lo que dio como resultado propiedades mecánicas mejoradas. La adición posterior de un 40% de harina no influyó en el tamaño y la morfología de las microfibras de PET, y mejoró las mecánicas integrales de los MFB. La harina de madera aumento el nivel de cristalinidad de HPDE en el MFB compatibilizando en el que no se cristalizó la fase PET, igualmente en la investigación Lei y Wu (2012) los compuestos plástico de madera se ha preparado a base de matrices de polietileno de alta densidad (HDPE) reforzadas con sub- micro- fibrillas de poli etileno Tereftalato (PET), en la investigación se usó co-polímero de metacrilato de etilenglicidilo (E-GMA) la cual mejoró la compatibilidad de fase de mezcla. La fibrillas de PET aumentaron las propiedades mecánicas a un adicción de 40% de harina de madera. Las fibrillas y las fibras de madera tuvieron un efecto de refuerzo en las propiedades del compuesto en comparación de HDPE. El sistema SMFB y madera tenían un 65% más resistencia a la tracción, un 42% más resistencia a la flexión. La tecnología ofrece una forma de utilizar los plásticos de PET para la fabricación de WPC de alto rendimiento. Por otro lado, González, Salamanca y Vargas (2018) realizaron estudios que el efecto del m-isopropenil- $\alpha$ ,  $\alpha$ -dimetilbenzilisocianato (m-TMI) como agente acoplante sobre las

propiedades mecánicas de polipropileno reforzado con fibras de madera son visibles, obteniendo incrementos del 45% en la resistencia a la tracción y del 85% en la resistencia a la flexión. Además (Matuana, 1999) y (Guo, 2008) trabajaron con compuestos madera-plástico virgen, incorporando espumantes y apuntaron que las propiedades mecánicas del material como resistencia al impacto y a la tracción mejoran con la adición del agente espumante. En conclusión, la muestra 07 tratada con una mezcla homogénea de aserrín, arcilla y pellets tuvo una resistencia a la tracción y elongación muy alta. Por ende, las propiedades mecánicas del compuesto plástico-madera son resistentes ya que la alta elongación conduce a materiales de alta tenacidad.

Por otro lado Turku, Keskisari, Karki y Purtilinen (2017) trabajaron a temperaturas de 161°C hasta 230°C por máquina Extrusión como agente se utilizaron polietileno de anhídrido maleado (MAPE) y harina de madera abeto (WF) del tamaño promedio de 2.1 mm y 54% en peso, las muestras moldeadas por inyección a partir de mezclas de polímeros (PB) tuvo mayor resistencia y rigidez en comparación con la muestra producida a partir del Polietileno de baja densidad (LDPE) comercial. La carga de harina de madera influyó en las propiedades de la muestra de referencia, tanto la resistencia a la tracción (TS) como el módulo de tracción (TM), afirmativamente. Para las muestras producidas a partir de plásticos reciclados, WF mejoró la rigidez del compuesto, aumentando el TM más de dos veces, pero el TS disminuyó significativamente en comparación con las muestras sin rellenar. El alargamiento a la rotura del LDPE virgen que se utilizó para la fabricación de la referencia fue de aprox. 8.5%. La incorporación de WF disminuyó hasta el 1,7%. El alargamiento a la rotura en los PB reciclados varió de 3.9 a 4%, mientras que los WPC tuvieron en el rango de 0.3-1%



El compuesto de referencia mostró valores de 19 y 15.5 MPa para la resistencia a la flexión y tensión, respectivamente. La interacción pobre de la matriz de relleno conduce a una baja resistencia del compuesto, la baja resistencia se puede explicar por incompatibilidad / inmiscibilidad entre la matriz y las partículas de harina de madera. Se propuso que el compuesto las propiedades podrían depender del contenido de la matriz. Para explicar los resultados, los estudiados los parámetros se expresaron en función del porcentaje de PE y la concentración de PP en el la matriz.

Así mismo Amandha, Satyarno, Awaludin y Irawati (2017) menciona que el compuesto de madera de plástico fue de la unión de aserrín sengon y plástico HDPE reciclado, los resultados de resistencia flexión y la resistencia a cuchilla están alrededor de 40.49 MPa y 27.35 MPa respectivamente, sin embargo, la resistencia a la tracción de WPC es más baja que la madera tropical común que es de solo 5.54 a 12.75MPa, esto es debido a la ausencia de granulometría en WPC. Además, el modelo de elasticidad es solo de 2113 a 3398MPa.

En tema de investigación sobre plástico-madera si tiene que ver mucho la concentración y el tamaño(mm) de fibra natural, los dos puntos juegan un papel muy importante en las resultados buenos sobre propiedades mecánicas, con un tamaño menor de partículas se obtiene una mayor resistencia del material y se incrementa el módulo. Eso es debido a que hay una mayor área de contacto (mezcla) entre la fibra y la matriz lo que incrementa la interacción.

#### 4.4. Características morfológicas estructural

Los resultados de análisis demuestran la morfología del compuesto, grado de adhesión y estados de dispersión de arcilla, PET



Figura 23. Fotomicrografía de microscopia electrónica de la superficie del compuesto.

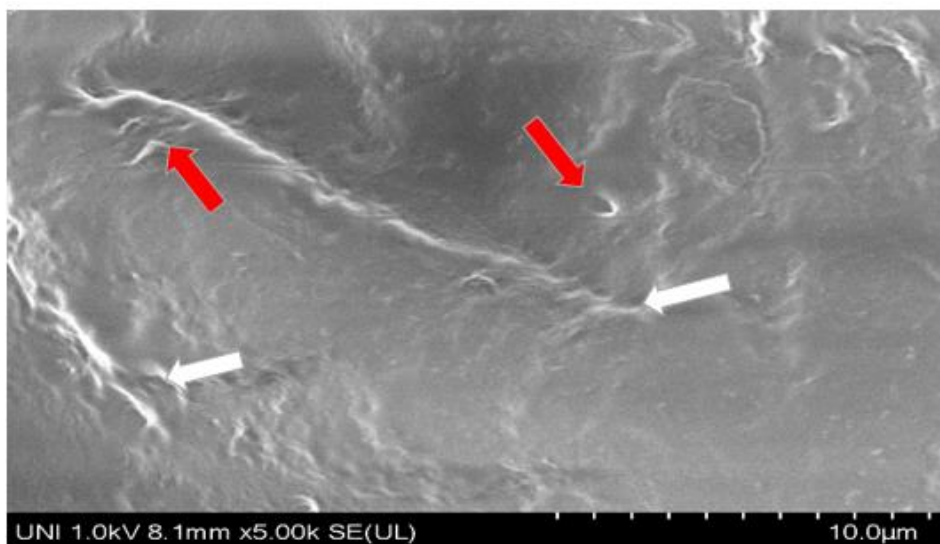
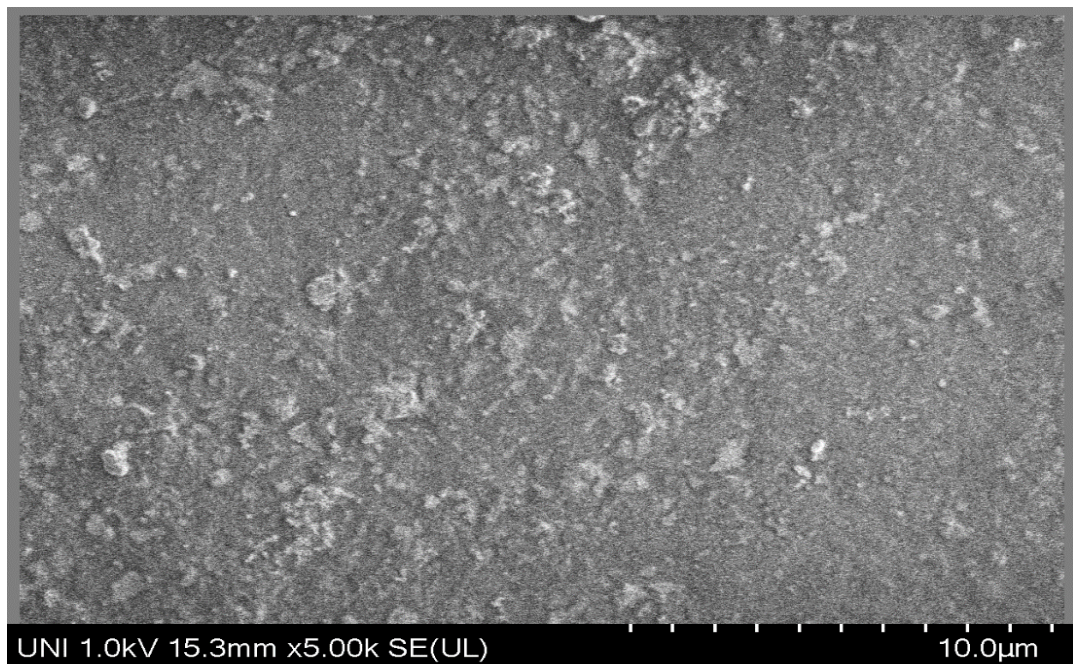


Figura 24. Fotomicrografía de microscopia electrónica de la superficie de la muestra PET

En la Figura 23 se observa regiones de esparcimiento de la arcilla bentonita, verificando un compuesto intercalado en la matriz polimérica de PET reciclado.

Según (Gomes, 2017) que realizo con residuos de fibras lignocelulosicas de eucalipto y cedro, en su resultado pudo verificar la estructura fibrosa típica formada por la fibras lignocelulosicas en este caso como el cedro y el tornillo.



*Figura 25.* Fotomicrografía de microscopia electrónica de la superficie

En la Figura 25 se observa gránulos de partículas de fibras donde se observa una buena distribución en la matriz entre los tres compuestos.

Los resultados de microscopia electrónica nos confirman que los mejores resultados de la prueba mecánica de la mejor muestra, fue debido a que en la matriz existe una buena compatibilidad entre la fibra aserrín de madera y arcilla, que ayudó en la adhesión de los cuerpos. Según la distribución de diseños experimentales hubo una buena fundición de PET reciclado y la mezcla de cuerpos de aserrín y arcilla.

#### 4.5. Difracción de rayos X

Se muestra los resultados de Difracción rayos X de tratamiento 7 de plástico madera. En el cual se ilustra los picos difratometricos de los minerales que componen de PET reciclado, arcilla y aserrín de plástico madera.

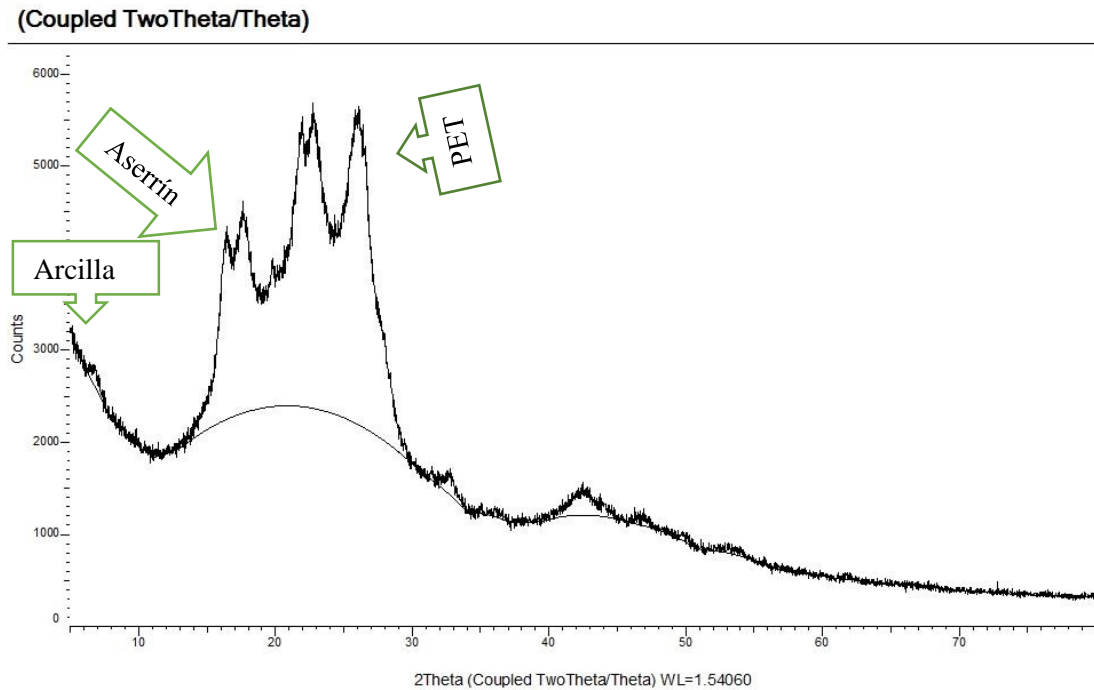


Figura 26. Difracción rayos X de compuesto plástico - madera compuesto.

En la Figura 26 se observa la difractograma de material plástico-madera en donde se puede observar la existencia de las regiones cristalinas de arcilla bentonita menores a 10 (2Theta), aserrín de madera a un rango de 15 a 20 (2Theta) y PET reciclado a 25-30 (2Theta).

La celulosa es propiedad más importante de aserrín de madera, y estos tienen un complejo polimérico con áreas cristalinas y amorfas y la DRX permite cuantificar el grado de cristalinidad del material. Según Macias y Vera (2012) el análisis de rayos X puede proporcionar información detallada de la estructura tridimensional en estado sólido de muestras cristalinas de compuestos orgánicos, inorgánicos y órgano-metálicos. Según las

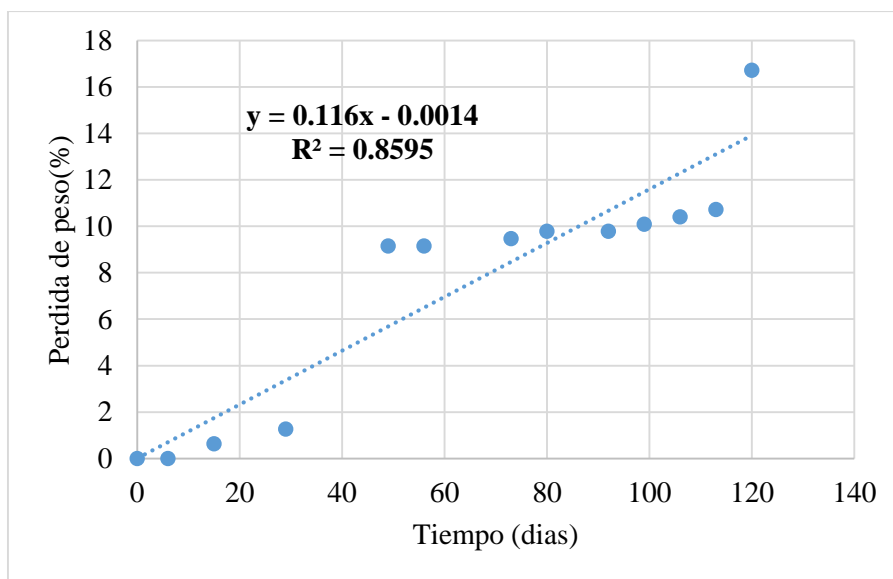
investigaciones de diferentes autores se pudo identificar en la Figura 23 la existencia de compuestos sólidos (PET, arcilla bentonita y aserrín de madera). A ángulo ( $2\theta$ ) 25 se observa el pico característico del aserrín, esto es debido a que las fibras lignocelulosas son el principal componente estructural de las fibras de madera. La arcilla a un ángulo ( $2\theta$ ) tiene pico característico de arcilla Montmorillonitas. En cuanto al polímero PET, presenta líneas nítidas en el plano cristalográfico y tiene una forma parabólica. Según (Reyes y Hinojosa, 2000) el amorfo ideal no presenta ordenamiento alguno, su curva es de tipo parabólico, ya que la probabilidad de encontrar un átomo a alguna distancia “r” del átomo de referencia, depende solo del volumen disponible. Para un sólido cristalino el gráfico tiene líneas definidas a todas las distancias interatómicas posibles.

#### **4.6. Resultados de la biodegradabilidad de plástico-madera**

La biodegradabilidad del compuesto plástico madera se trabajó en un tiempo de 120 días mediante la degradación ambiental, química, térmica, foto degradación y biológica. A continuación, se muestra los datos evaluados y sus cálculos de pérdida de peso de tres mejores tratamientos.

**Tabla 19.** Resultados de biodegradabilidad de la muestra 1.

Tiempo (días)	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	M <sub>3</sub> (g)	Promedio (g)	Peso (%)
0	10.4	10.4	10.9	10.57	0.0
6	10.4	10.4	10.9	10.57	0.01
15	10.3	10.3	10.9	10.50	0.63
29	10.1	10.3	10.9	10.43	1.26
49	8.9	9.1	10.8	9.60	9.15
56	8.9	9.1	10.8	9.60	9.15
73	8.8	9.1	10.8	9.57	9.46
80	8.8	9.0	10.8	9.53	9.78
92	8.9	8.9	10.8	9.53	9.78
99	8.9	8.9	10.7	9.50	10.09
106	8.8	8.9	10.7	9.47	10.41
113	8.8	8.8	10.7	9.43	10.72
120	8.8	8.8	10.6	8.80	16.71



*Figura 27.* Biodegradabilidad de plástico madera de la Muestra 1

Para la muestra 1 conforme generado el modelo de regresión, la predicción de la degradabilidad a una pérdida de peso al 100 % será en 862.08 días, equivale 2.4 años como se muestra en la Tabla.

<b>Ecuación de vital degradación</b>			
Y (%)	X (Días)	Meses	Años
100	862.08	28.7	2.4

**Tabla 20.** Regresión (ANOVA) del muestra 1

<b>Regresión Summary for Dependent Variable: Pérdida de peso M1 (%)</b>						
R= 83 R <sup>2</sup> = 86 Adjusted R <sup>2</sup> = 85						
	b*	Std.Err. Of b*	b	Std.Err. Of b*	t (11)	p-value
Intercept			1.11	0.93	1.19	0.26
Tiempo (días)	0.93	0.11	0.10	0.01	8.16	0.000005

**Tabla 21.** Análisis de Variación con el tiempo.

<b>Analysis of Variance. DV: Pérdida de peso M1 (%)</b>					
Effect	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	P-value
Regress	209.1	1	209.1	66.5	0.000005
Residual	34.6	11	3.1		
Total	243.6				

**Tabla 22.** Resultado de biodegradabilidad de la muestra 5

Tiempo (días)	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	M <sub>3</sub> (g)	Promedio (g)	Peso (%)
0	10.4	10.3	10.3	10.33	0.0
6	10.4	10.4	10.3	10.37	0.0
15	10.3	10.3	10.2	10.27	1.0
29	10.2	10.2	9.8	10.07	3.0
49	9.9	8.6	8.4	8.97	10.33
56	9.8	8.3	8.2	8.77	12.33
73	9.8	8.3	8.3	8.80	12.0
80	9.7	8.1	8.2	8.67	13.33
92	9.7	8.1	8.3	8.70	13.0
99	9.6	8.0	8.2	8.60	14.0
106	9.6	8.0	8.2	8.60	14.0
113	9.5	8.0	8.2	8.57	14.33
120	9.5	7.9	8.2	8.53	14.67

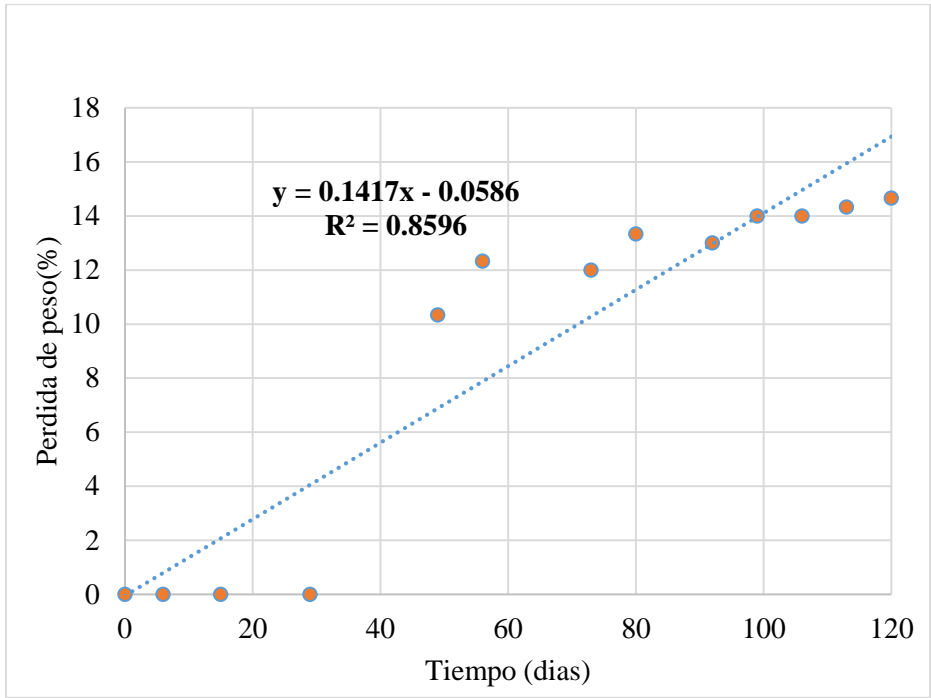


Figura 28. Biodegradabilidad de plástico madera de muestra 5

Para la muestra 5 conforme generado el modelo de regresión, la predicción de la degradabilidad a una pérdida de peso al 100 % será en 706 días, equivale a 2 años como se detalle en la Tabla.

Ecuación de vital degradación			
Y (%)	X (Días)	Meses	Años
ñ100	<b>706</b>	23.5	2

Tabla 23. Regresión (ANOVA) del muestra 5.

Regresión Summary for Dependent Variable: Pérdida de peso M5 (%)						
R= 83 R <sup>2</sup> = 84 Adjusted R <sup>2</sup> = 85						
	b*	Std.Err. Of b*	b	Std.Err. Of b*	t (11)	p-value
Intercept			-0.06	1.31	-0.04	0.97
Tiempo (días)	<b>0.93</b>	<b>0.11</b>	<b>0.14</b>	<b>0.01</b>	<b>8.21</b>	<b>0.000005</b>

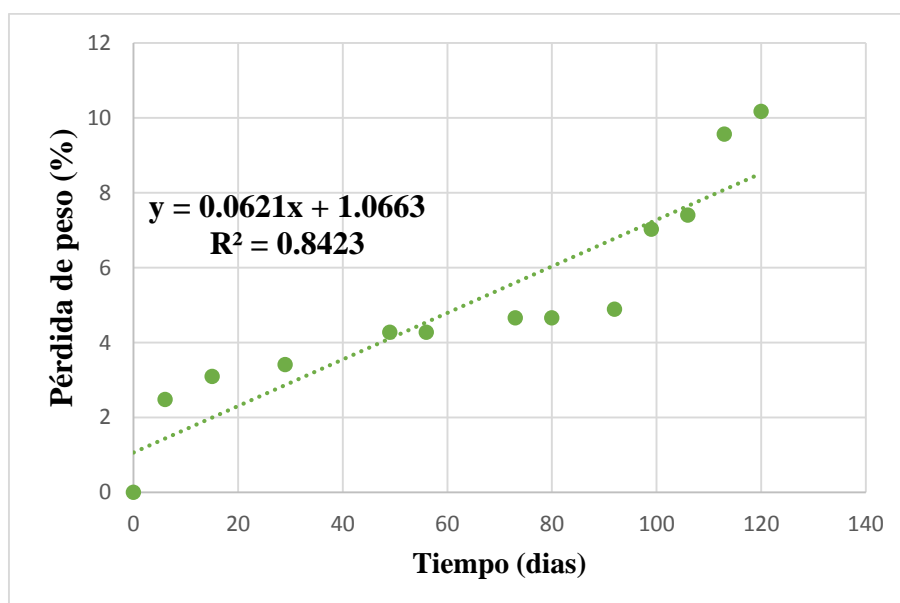


**Tabla 24.** Análisis de Variación con el tiempo.

Analysis of Variance. DV: Pérdida de peso M5 (%)					
Effect	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	P-value
Regress	422.2	1	422.17	67.33	0.000005
Residual	69.0	11	6.27		
Total	451.1				

**Tabla 25.** Resultado de biodegradabilidad de la muestra 7

Tiempo (días)	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	M <sub>3</sub> (g)	Promedio (g)	Peso (%)
0	10.50	10.50	11.3	10.77	0.00
6	10.40	10.60	11.3	10.77	2.48
15	10.40	10.50	11.3	10.73	3.10
29	10.30	10.40	11.2	10.63	3.41
49	10.30	9.72	11.2	10.41	4.27
56	10.10	9.72	11.2	10.34	4.27
73	9.98	9.72	11.1	10.27	4.66
80	9.98	9.72	11.1	10.27	4.66
92	9.90	9.72	11.1	10.24	4.89
99	9.90	9.63	10.5	10.01	7.03
106	9.88	9.63	10.4	9.97	7.40
113	9.88	9.63	9.7	9.74	9.57
120	9.79	9.63	9.6	9.67	10.17



**Figura 29.** Biodegradabilidad de plástico madera de la muestra 7

Conforme generado el modelo de regresión, la predicción de la degradabilidad a una pérdida de peso de 100 % es de 1593.1 días equivale a 4.4 años.

<b>Ecuación de vital degradación</b>			
Y (%)	X (Días)	Meses	Años
100	<b>1593.1</b>	53.1	4.4

**Tabla 26.** Regresión (ANOVA) del muestra 7

Regresión Summary for Dependent Variable: Pérdida de peso M7 (%)						
R= 82 R <sup>2</sup> = 84 Adjusted R <sup>2</sup> = 83						
	b*	Std.Err. Of b*	b	Std.Err. Of b*	t (11)	p-value
Intercept			-0.059	1.312	-0.045	0.965
Tiempo (días)	<b>0.92</b>	<b>0.12</b>	<b>0.06</b>	<b>0.01</b>	<b>7.66</b>	<b>0.000010</b>

**Tabla 27.** Análisis de Variación con el tiempo

Analysis of Variance. DV: Pérdida de peso M7 (%)						
Effect	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	P-value	
Regress	<b>81.69</b>	<b>1</b>	<b>81.69</b>	<b>58.72</b>	<b>0.000010</b>	
Residual	15.19	11	1.38			
Total	96.29					

En las Tablas 19, 22, y 25 se muestran los resultados de los datos evaluados en el campo de las tres muestras de 1,5 y 7 por 3 réplicas durante 120 días, así mismo se puede observar el cálculo que se realizó de la pérdida de peso (%) desde las primeras semanas hasta última fecha de evaluación.

En la Figura 27, 28 y 29 se visualizan grafica de regresión lineal de la pérdida de peso (%) por 120 días. En la muestra 1 se visualiza que hubo una pérdida de peso (16.71 %), conforme generado el modelo de regresión, la predicción de la degradabilidad a una pérdida de peso de 100 % es de 862.08 días equivalente a 2.4 años de degradación. Seguidamente la muestra 5 obtuvo una pérdida de peso de 14.67 % según el modelo de regresión la predicción

de la degradabilidad a una pérdida de peso de 100 % es de 706 días con degradación total de 2 años. Por último, la muestra 7 obtuvo 10.17 % de pérdida de peso y conforme el modelo de regresión la predicción de la degradabilidad a una pérdida de peso de 100 % es de 1593.1 días con una degradación total en 4.4 años.

Así mismo se visualizan en las Tablas 20, 23 y 26 la significancia del tiempo sobre el material WPC con valores de p-valúe 0.000005, 0.000005 y 0.00010 respectivamente para el M<sub>1</sub>, M<sub>5</sub> y M<sub>7</sub> son significativos y el error estándar es de 0.11 (cuando menor sea el error estándar más precisa será la estimación) indicando que el modelo es predictivo y estadísticamente significativo la regresión.

En este proceso de biodegradación se trabajó mediante la degradación ambiental, química, térmica, foto degradación y biológica. Según el autor Hernández (2013) clasifica los tipos de degradación de los polimeros entre ellas esta la degradación ambiental (exposición a la atmosfera), Química (luz, temperatura, oxígeno), Térmica (ruptura de enlaces químicos), fotodegradación (luz solar) y biológica (microorganismos). Se pudo notar que los factores que degradan los WPC fueron: Degradación ambiental, fotodegradación, biológica y térmica tuvieron mayores efectos en la pérdida de peso del WPC (compuesto plástico-madera). También afirma el autor Álvarez (2014) que la degradación de polímeros se lleva a cabo por procesos mediante condiciones ambientales abióticas (luz, calor, humedad, microorganismos, etc). Además Innocenti y Sampaio (2005) acota que existen factores ambientales causadores de la degradación polimérica y estas son (calor, luz solar, oxígeno, agua, acción mecánica, viento, lluvia).

Según Hernández (2013) la biodegradación de este material fue notable a partir de los 90 días de muestra, incorporándose casi completamente hasta los 180 días (6 meses). con el 98 % de área degradada quedando unos cuantos fragmentos muy pequeños. La prueba

del muestra tendrá una duración de 6 meses equivalente a 180 días donde se observará con más visualidad la degradación del WPC con fragmentos y/o formación de grietas. Sin embargo la fragmentación no es señal de biodegradación, ya que no hay pruebas que muestren por cuanto tiempo los fragmentos se mantienen en los suelos (Téllez , 2012) . Los muestras 1 y 5 están siendo degradadas lentamente ya que la formación de grietas como menciona el autor Téllez no es símbolo de degradación total, sino es señal que el material en 2 o 3 años perderá de peso. Por ende teniendo en cuenta que el País con mayor producción de este material (aserrín) es Estados Unidos de América y en el Perú el Departamento de Loreto (Amazonas), debido a que el uso de este tipo de materiales puede disminuir costos ya que se aprovecha el desperdicio de madera y plástico reciclado. Por ello se debe conocer lo que mencionan algunos autores sobre la vida útil de los plásticos: Según Perdomo (2002) comenta que una vez que se le haya dado el uso apropiado, le tiran al vertedero de desechos y allí permanecerá por miles de años; imagínense: se cree que por mucho más de seis mil años y estos no son degradables (Gomez , 2016). Otro autor como (Téllez , 2012) acota que el tiempo de degradación de los plásticos va de 100 y 1000 años y el tiempo de degradación de la madera requiere ciertas condiciones como la supervivencia de las poblaciones microbianas y estas condiciones incluyen humedad, temperatura, oxígeno y una fuente de alimento, en este caso proviene de la madera (García, 2017). Además según estudios realizados por la autora (Carpezat , 2011) menciona que los hongos xilofagos son los que mayor efecto ocasionan al deterioro de la madera, este estudio fue realizado en laboratorio a pruebas aceleradas y se observó las condiciones óptimas para su desarrollo como humedad, oxígeno, temperatura y alimento y se pudo obtener resultados en periodos de 3 a 4 meses. En conclusión los WPC por la mayoría de autores son considerados un material sostenible, ya que se utiliza plásticos reciclados y los productos de desecho de la industria de la madera.

#### 4.6.1. Comparación de tiempo y pérdida de peso

En la Figura 30. Se visualiza gráfica de regresión lineal de las tres muestras. Las muestras 1, 5 y 7 alcanzaron una  $R^2$  de 86%, 86% y 84% respectivamente. La regresión lineal de degradabilidad del  $M_1$ ,  $M_5$  y  $M_7$  se ajusta a la línea recta (Y). Además, el residuo de las tres muestras se adecua al modelo de regresión lineal. Se observa el tiempo (120 días) de pérdida de peso del material WPC (compuesto de plástico-madera) de las tres muestras. La muestra 1 con una adición de 10 gramos de aserrín alcanzo mayor perdida y/o degradación con 16.72%. Seguidamente la muestra 5 obtuvo 14.67 % de perdida con una adición de 20 gramos de aserrín. Por último, la muestra 7 utilizó una adición de aserrín de 10 gramos y obtuvo una pérdida de peso de 10.17 %, la más baja. Entonces se puede decir a mayor concentración de aserrín la degradación es mayor como en el  $M_1$  y  $M_5$ . El  $M_7$  hubo una degradación menor a diferencia a la muestra  $M_1$  y  $M_5$  también se puede predecir a mayor concentración de material orgánico habrá una degradación en menor tiempo por ejemplo  $M_5$  que tiene 20g de aserrín y una degradación en 2 años.

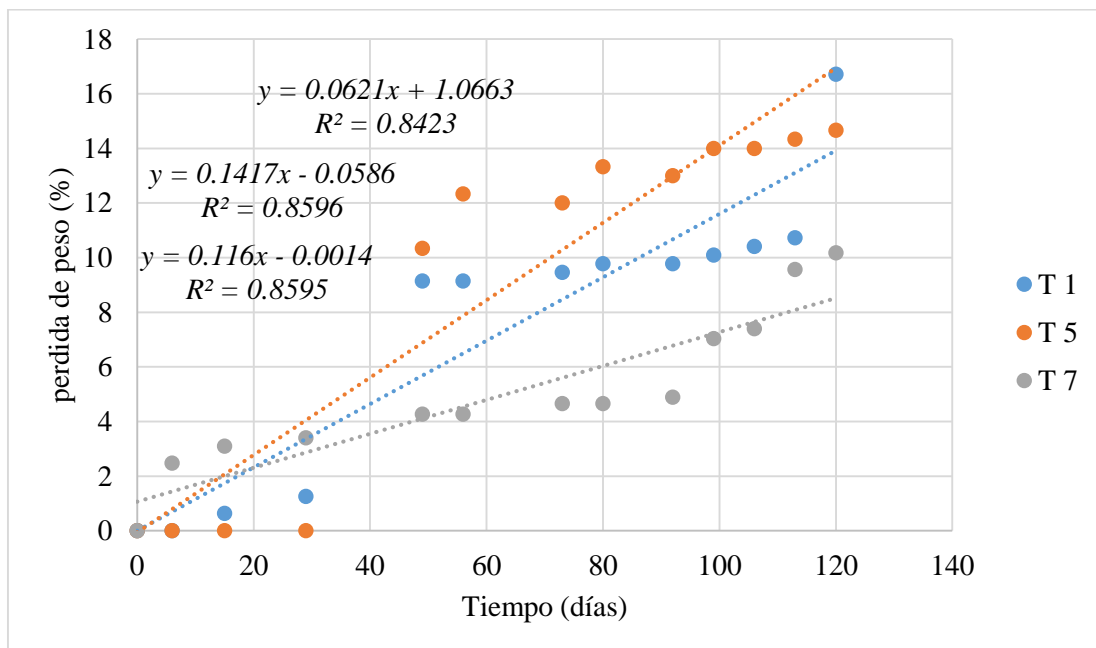


Figura 30. Pérdida de peso de las muestras.

## 5. CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Para el desarrollo de compuesto plástico-madera se obtuvo materiales de buena consistencia físicas con propiedades morfológicas estructurales y mecánicas buenas para aplicaciones industriales en el empleo materiales de ingeniería.

- Las propiedades físicos-químicos del PET reciclado, para granulometría fue de 4.75mm y 2.36mm un total de 92.43%; densidad fue de 704 kg/m<sup>3</sup> y humedad fue de 0.508%, y para aserrín de madera para granulometría fue de medidas 1.18mm, 0.6mm y 0.3mm un total de 78.01%, densidad fue de 851.8Kg/m<sup>3</sup> y humedad fue de 13.1 %, indicando buenas propiedades para el desarrollo de compuesto.
- Se obtuvo compuesto plástico-madera por tecnología de fusión en horno eléctrico a temperaturas de 180°C, 200°C, 220°C; concentraciones de arcillas bentonita 5g, 10g, 15g y aserrín de madera de 10g, 20g, 30g; mostrando buenas combinaciones en el desarrollo del compuesto.
- Se obtuvo nueve cuerpos de probetas según el diseño de la norma ASTM D 638 de tipo IV con dimensiones de 11.5 \*1.9 cm.
- Las propiedades mecánicas de las mejores muestras 1, 5,7, elongación (%) de fue (2.5, 2.3, 2.7%) y de la ruptura de tracción fue de (7253, 7265, 9441 MPa) respectivamente.

- Se analizó con el ajuste del modelo cuadrático de los datos experimentales para ruptura de tracción fue de 83% (R) el parámetro significativos fueron: arcilla bentonita (-)(L) y (+) Q, seguido de aserrín de madera (-) (L), y el ajuste del modelo cuadrático para elongación fue de 82 % (R), el parámetro significativos fueron: arcilla bentonita (-)(L), seguido de aserrín de madera (-) (L), arcillas bentonita (+)(Q) y Temperatura (L).
- Se determinó la biodegradabilidad de plástico-madera, el modelo de ajuste fue significativos con un R (L) de 86%, 86% y 84%, el tiempo y la regresión fueron estadísticamente significativa, prediciendo con pérdida de peso al 100% (degradación) para el M1 en 2.4 años, para el M5 en 2 años y para la mejor muestra de estudio M7 4.4 años.

## **5.2. Recomendaciones**

- En el Perú únicamente se aplican métodos físicos y mecánicos de reciclaje es necesario incentivar la difusión de los beneficios de la reutilización de las botellas PET reciclados.
- Se ha demostrado que las fibras vegetales presentan buenas propiedades mecánicas a nivel nacional, por ende, es una alternativa interesante de aplicarlo en el Perú en las industrias.
- En el proceso de moldeado de cuerpo plástico-madera, optimizar la temperatura de fundición del compuesto.
- Desarrollar nuevos materiales de plástico-madera con otros tipos de polímeros reciclados con refuerzos de fibras vegetales.

- Optimizar en los procesos en las propiedades mecánicas de compuestos de polímeros - fibras naturales.
- Emplear otras clases de arcilla (Ejem. arcillas esmécticas) como refuerzo en la elaboración del de plástico - madera.
- Evaluar la biodegradabilidad de plástico-madera empleando a más tiempo de exposición.



## REFERENCIAS

- Albán (2019). Elaboración de Madera Plástica a partir de Polimeros Post Consumo .
- Abida, K. M., & Shazia, N. (2018). Dyes adsorption using and modified clay: a review. Elsevier , , 395-407
- Amandha, Y., Satyarno, I., Awaludin, A y Irawati, S (2017). Pyisical and mechanical propertiesm of WPPC board from Sengon sawdust and recycled HDPE plastic. *ScienceDirect*.
- Anguiano, M., Jasso, A y Textle, H. (2011). Estudio de catalizadores en la degradación de PET reciclado. *Ciencia Uanl*, 14(1), 39.
- Aracil I. (2008). Formación de contaminantes y estudio cinético en la pirólisis y combustión de plásticos (PE, PVC y PCP). . Obtido de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9608/1/tesis\\_doctoral\\_ignacio\\_aracil.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9608/1/tesis_doctoral_ignacio_aracil.pdf)
- Aristizibal, C y Stella sáchica, M. (2001). El Aprovechamiento de residuos solidos domiciliarios no Toxicos en Bogota. Obtido de <http://hermes.javeriana.edu.co/biblos/tesis/derecho/dere2/Tesis54.pdf>
- Ávarez, A. E. (2014). Degradación de la película . *Universidad Nacional Autonoma de Mexico* .
- Bejarano, Y. M. (2005).Plan de negocios para una Empresa recicladora. Obtido de Plan de Negocios para una Empresa recicladora de plasticos PET en al ciudad de Bogota.: <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis43.pdf>
- Beltran (2012). Tecnologia de los polimeros . *Universidad de Alicante*
- Beltrán M. (2006). Extrusión . *Tecnología de Polimeros* , 103-167.
- Beltrán , M y Marcilla, A. (2010). Estructura y Propiedades de los Polímeros . EE. UU: Tecnología de poímeros .
- Biron, M. (2004). Thermosets and Composites, Material Selection, Applications, Manufacturing,. *ELSEVIER*, 13: 978-1-4557-3124-4.
- Callister, W. D. (2002). ciência e engenharia de materiais: uma introdução. *Río de janeiro*, 5a Ed. p; 589 p.
- Camac , R. A. (2012). Influencia de la mezcla de aserrin-cemento en las propiedades de absorción, hinchamiento y a la flexión estática de los tableros de virola spp. 1-70.
- Cancho, D. F. (2015). Estudio de los Parametros de pelletizado de residuos biomásicos en pelletizadora semi-industria.
- Carpezat , C. I. (2011). Biodegradación de Madera de Pinus radiata D. modificada termicamente . *Universidad Austral de Chile* .

- Cerret, N., Giralt, G y Quintero, M. (2016). Características de Aserriin de diferentes maderas. Obtido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852016000300012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012)
- Christopher , A y Llatance, J. (2008). “Estudio de factibilidad para el manejo de Residuos Sólidos en la Universidad Ricardo Palma. Obtido de [http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/188/torres\\_ac.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/188/torres_ac.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Colomo, N. R. (2013). Ingeniería de reciclado en envases de Tereftalato de Polietileno (*PET*). Guatemala : Universidad San Carlos de Guatemala .
- Cortés, C. M. (2009). Régimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos. Obtido de <https://medioambiente.uexternado.edu.co/regimen-juridico-y-ambiental-de-los-residuos-solidos/>
- Del Val , A. (2009). *El problema de los residuos en la sociedad del*. España .
- Dhakal, H y Zhang, M. (2015). The use of hemp fi bres as reinforcements in composites. Obtido de <https://scihub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782421221500034>
- Díaz, G., Martínez, A y Lobato, D (2017). Creación de una empresa que elabore tela a base de tereftalato de polietileno (PET) en el municipio de Santiago Tianguistenco. *Estado de México*.
- Erazo, A y Hernán, A (2007). Fuentes que generan la contaminación del medio ambiente en las grandes ciudades del país. Obtido de <http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/12018/058129144.pdf?sequence=1>
- FAO (1980). Situación Actual del Sector Forestal. Obtido de <http://www.fao.org/docrep/007/j4024s/j4024s06.htm>
- FAO (2004). Terminología de los dendrocombustibles sólidos. Obtido de <http://www.fao.org/docrep/009/j6439s/j6439s00.htm>
- Faruk, Fink, M y Saing (2010). Bio- composites reinforced with naturale fibers. Obtido de [http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2013/pdfs/A3/A3\\_141.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2013/pdfs/A3/A3_141.pdf)
- Fatima, S y Montany, A (2011). Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials. Obtido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X10002331>.
- Flores , C (2009). *Polimeros VS Plásticos* . Obtido de [http://fgsalazar.net/landivar/ing-primero/boletin14/url\\_14\\_mec01.pdf](http://fgsalazar.net/landivar/ing-primero/boletin14/url_14_mec01.pdf)
- García, P (2011). Tratamiento de los residuos sólidos Generados en Sanitarios Ecológicos mediante el uso de microorganismos eficientes en un proceso de compostaje . *Universidad Nacional La Agraria* .

- Giralt, G. O y Serret, N. G. (2016). Caracterización de aserrín de diferentes maderas: "Characterization of Sawdust of different Woods". *Scielo*, RTQ vol.36 no.3.
- Gomes, J. M (2017). fibras lignocelulosicas .
- Gomez , J. G. (2016). Diagnóstico del Impacto del Plástico.Botellas sobre el Medio Ambiente; un Estado del arte . *Universidad Santo Tomas*.
- Gonzalez , V. M (2014). "Optimización de las Propiedades Mecánicas de Compositos de resina. *C.D*, 9-14.
- González, Y. M., Salamanca, J. R y Vargas, J. A. (2018). Uso del almidón de papa modificada como agente acoplante en compuestos polimericos -fibras de madera. 16.
- Grigore, M. E (2017). Methods of Recycling, Properties and Applications of. *Recycling* , 2(4), 24.
- Guo, G (2008). Influence of wood fiber size on extrusion foaming of wood fiber/HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(6):3505-3511.
- Guru, M (2014). An approach to the usage of polyethylene terephthalate (PET) waste as roadway pavement material. *J. Hazard. Mater*.
- Hachi, J. G., y Rodriguez , J. D. (2010). Estudio de factibilidad para reciclar envases plastricos de polietileno tereftalati (PET) en la ciudad de Guayaquil . Universidad politecnica Salesiana, Ecuador .
- Hopewell, J., Dvorak, R y Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Trans. R. Soc*.
- Hernández, T. K. (2013). Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de Maíz, Papa, Caña de azúcar, Papel y Oxo-Biodegradables. *Universidad Nacional Autónoma de Mexico*.
- Huq, T., Khan, A., Noor, N y Dey, K. (2011). Thermo-mechannical, and interfacial propieties of jute fiber-reinforced PET- based composite. *Journal of thermoplastic composite materials*, 889-898.
- Ize Lema, I y Cristian Frias, A. (2001). La situación de los envases de plastico en Mexico. Obtido de <http://www.redalyc.org/pdf/539/53906905.pdf>
- Kim, E. (2012). *Disposable cushion shoe insert*. Obtido de <https://www.amazon.in/Shoe-Pads/b?ie=UTF8&node=1374613031>
- Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N y Trada, M. (2011). A review on the tensite properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B. Engineering*, 42 (4), 856-873.
- Lei, J (2008). Polymer materials science and engineering. Obtido de Engineered wood polymer composites based recycled PE PET blends.
- Lei, Y y Wu, Q. (2010). Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly(ethylene terephthalate). *ScienceDirect*.

- Lei, Y y Wu, Q. (2012, January). High density polyethylene and poly(ethylene terephthalate) in situ sub-micro-fibril blends as a matrix for wood plastic composites. *ScienceDirect*.
- Loayza, E (2015). Diseño de elementos constitutivos para el espacio interior mediante el reciclaje de plástico PET. Obtido de (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay): <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4717>
- López , Y (2016). Generación de Residuos Sólidos Urbanos y su Reciclaje : Determnantes y sus efectos en la Economía Mexicana. México: Instituto Politécnico Nacional .
- McConnell, R. (2015). Environmental Geology Today. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=sW4rAQAAQBAJ&pg=PA719&dq=Environmental+Geology+Today+2015&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjU4eyf7ILZAhWqxVvKkHZ7FCNIQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Environmental%20Geology%20Today%202015&f=fals>.
- Majewski, T y Błędzki, A. (2013). Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales. Obtido de [http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2013/pdfs/A3/A3\\_141.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2013/pdfs/A3/A3_141.pdf)
- Majka , T. M. (2011). Application of waste plastics for efficient flood protection. *Environment*.
- Mansilla, L y Ruiz, M. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. *Ingeniería Industrial*, (27), 123-137.
- Matuana, L (1999). Foaming of woodfiber-plastic composites. The Fifth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites.
- Meré, M. M (2009). Estudio del Procesado de un Polímero Termoplástico basado en almidón de Patata amigable con el Medio Ambiente. Madrid : Trab.09.
- Minam. (2009). Manual de residuos sólidos. Obtido de <http://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39096>
- Moreno, P. A., Ballerini, A., Gacitúa, W y Rodrigue, D. (2017). Extrusion of foamed wood-plastic composites. Part I: Physical and morphological characterization. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3), 385-400.
- Moura, M. C. (2011). Desenvolvimento e caracterização de compósitos poli(tereftalato de etileno) reciclado (PET reciclado) com flocos de vidro. *Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.*, V-129.
- Nirmal, U., Hashim, J., Lau, S., & My, Y. (2012). Betelnut fibres as an alternative to glass fibres to reinforce thermoset composites: *A comparative study*. Obtido de <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0040517512439945>
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en residuos solidos en gestión municipal provincial. Obtido de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=13926](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13926)

- Ortiz , V y Aurora , M. (2015). Evaluación de las propiedades fisicomecánicas de la madera plástica elaborada a partir de mezclas de residuos de aserrín y polietilentereftalato reciclado (Pet reciclado). Obtido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3214/>
- Park, P. H y Kim, S. H. (2014). Using PET (polyethylene terephthalate) waste for buildings. *Civil Eng. Installations*.
- Perez, L. M. (2012). Estudio del uso del plietileno tereftalato (PET) como material de restitución suelos baja capacidad de carga. Obtido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2514/1/TESIS.pdf>
- Picasso, G., & Son Kou, M. R. (2008). Aplicaciones tecnológicas de las arcillas modificadas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*.
- Pinto, M. (2009). Régimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos. Colombia: U. Externado de colombia. Obtido de <http://publicaciones.uexternado.edu.co/regimen-juridico-y-ambiental-de-los-residuos-solidos-derecho-ambiental.html>
- Quevarra, L., Reyes Inca, P y Bocanegra, L. (S.F). Evaluación de residuos de aserrio. Obtido de [http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/folia5\\_articulo13.pdf](http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/folia5_articulo13.pdf)
- Rutiaca. (2002). Pérdida de peso de la Biodegradabilidad
- Santiso, J. (2006) ¿ Realismo mágico? China e India en América Latina y África. *Economía Exterior*. Obtido de <http://www.oecd.org/dev/38447180.pdf>
- Solís, M y Lisperguer , J. (2002). Compuestos kixtos a base de plásticos y madera . *Dirección de Investigación de la Universidad del Bio- Bio* , 35-40.
- Solís, M y Lisperguer , J (2005). *Información Tecnologica*. Obtido de Impact and Tensile Strength of Wood-Plastic Composites: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642005000600004&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642005000600004&script=sci_arttext&tlng=en)
- Stoughton , P. (2014). plastics technology mexico.
- Tadeusz, M y Błędzki, A. (2013). Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales. Obtido de [http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2013/pdfs/A3/A3\\_141.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2013/pdfs/A3/A3_141.pdf)
- Tadmor, Z y Gogos, C. (2006). Principles of polymer processing. Em Z. Tadmor, & C. G. Gogos. Willey. Obtido de <https://www.wiley.com/en-pe/Principles+of+Polymer+Processing,+2nd+Edition-p-9780471387701>
- Téllez , A. M (2012). La complejidad de la Problemática ambiental de los residuos plásticos. *Universidad Nacional de Colombia* .
- Turku, I., Keskisari, A., Karki, T y Purtinen, A. (2017). Characterization of wood plastic composites manufactured from recycled plastic blends. *ScienceDirect*.

- Vinces, R y Poggi, J. (2014). Aprovechamiento sostenible de los residuos forestales para la producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada“. *Revista de al ingenieria de USIL*, 04.
- Webb, K., Arnott, J., Crawford, R y Ivanova, E. (2012). Plastic Degradation and Its Environmental Implications with Special Reference to Poly(ethylene terephthalate). 5(1), 1-18.
- Wei Chou, T., Gao, L., Thostenson, E., Zhang, Z y Hyung, J. (Enero de 2010). Composites Science and Technology. Obtido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353809003674>
- Yong, L y Qinglin, W. (Mayo de 2010). Bioresource Technology. Obtido de Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly(ethylene terephthalate): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409017349>
- Zambrano, E. A. (2013). Análisis del impacto económico ambiental en las industrias plásticas de Ecuador: *Diseño de una planta reprocesadora de residuos plásticos PET que impulse el consumo local*. Guayaquil : Universidad Politécnica Salesiana .

## ANEXOS

*Anexo 1.* Proceso de obtención de materia prima de botellas plásticas PET hasta gránulos.



*Anexo 2.* Lavado de materia prima gránulos de PET y aserrín de madera.



**Anexo 3.** Secado de aserrín de madera por capas en una estufa a 105°C



**Anexo 4.** Granulometría de PET reciclado.





**Anexo 5.** Procedimiento de granulometría del aserrín de madera



**Anexo 6.** Aserrín de madera para el experimento de plástico madera.



**Anexo 7.** Procedimiento para el desarrollo de densidad (g/ml) para Gránulos de PET.



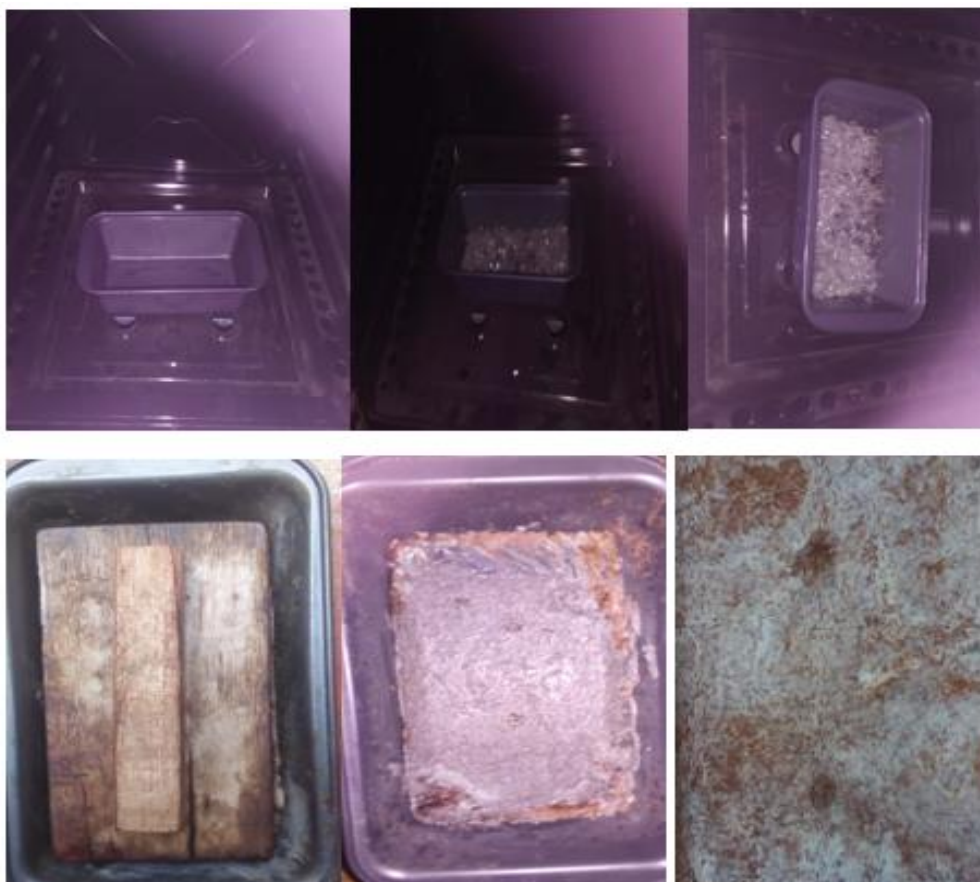
**Anexo 8.** Procedimiento para el desarrollo de Densidad (g/ml) para Aserrín (g).



*Anexo 9. Procedimiento para el cálculo de Humedad de los gránulos de PET.*

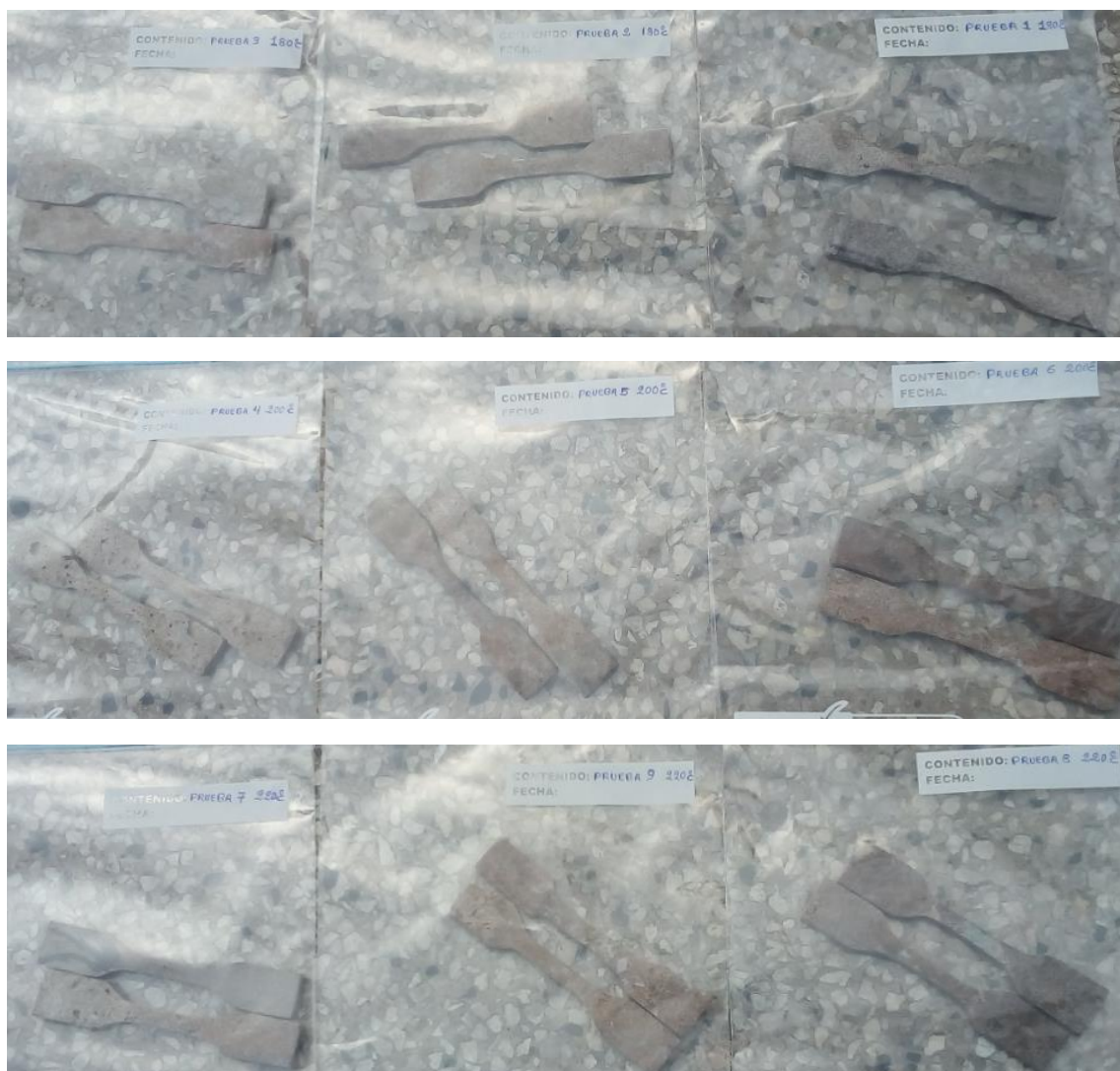


*Anexo 10. Procedimiento para obtención de cuerpos de plástico madera.*





**Anexo II.** Cortes según normas ASTM D638 tipo IV para las nueve probetas por duplicata.



Anexo 12. Resultados de ruptura de tracción (MPa) y Elongación (%)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LABICER (LABORATORIO N° 12)  
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 2277 – 18 – LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
  - 1.1 SOLICITANTES : LIZBETH QUISPE BALDEÓN  
SANTA REYNA POLANCO RAMIREZ
  - 1.2 D.N.I. : 70241361  
74028704
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 23 / 11 / 2018
  - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 26 / 11 / 2018
  - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 28 / 11 / 2018
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ENSAYO DE RESISTENCIA DE TRACCIÓN Y ELONGACIÓN
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : 09 MUESTRAS DE CONFORMADAS DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ASERRÍN Y ARCILLA. TODAS LAS MUESTRAS TIENEN 110 GRAMOS DE PELLETS RECICLADO.

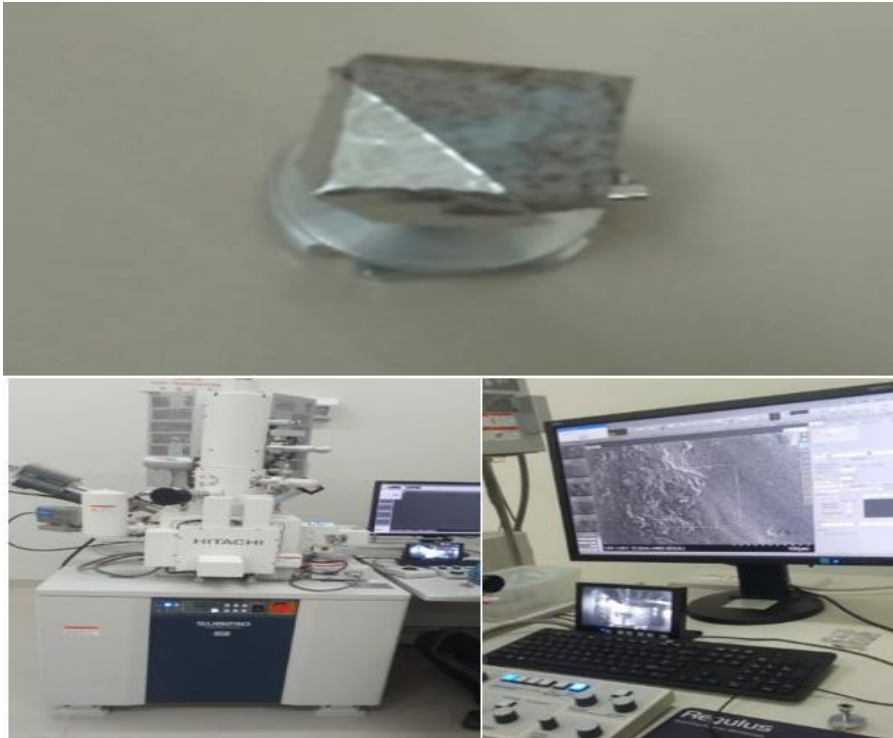
MUESTRA	CODIFICACIÓN
M1	PRUEBA 1 - 180 °C
M2	PRUEBA 2 - 180 °C
M3	PRUEBA 3 - 180 °C
M4	PRUEBA 4 - 200 °C
M5	PRUEBA 5 - 200 °C
M6	PRUEBA 6 - 200 °C
M7	PRUEBA 7 - 220 °C
M8	PRUEBA 8 - 220 °C
M9	PRUEBA 9 - 220 °C

5. **LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 22.2°C; Humedad relativa: 63%
7. **EQUIPO UTILIZADO** : MAQUINA DE TRACCIÓN UNIVERSAL. ZWICK ROELL Z010
8. **MÉTODO UTILIZADO** : ASTM D 638
9. **RESULTADOS**

9.1 RESULTADOS DE LA MUESTRA M1

N° REPETICIÓN	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN MÁXIMA (MPa)	ELONGACION EN LA TRACCIÓN MÁXIMA (%)	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)
1	7461	2,2	5,1	7,86
2	7045	2,9	4,68	7,71
PROMEDIO	7253	2,6	4,89	7,79

**Anexo 13.** Analices de morfología de plástico-madera.



**Anexo 14.** Equipo de rayos difracción X (DRX)



*Anexo 15.* Biodegradabilidad en el Mes de Enero



*Anexo 16.* Biodegradabilidad en el Mes de Febrero



*Anexo 17.* Biodegradabilidad en el Mes de Marzo



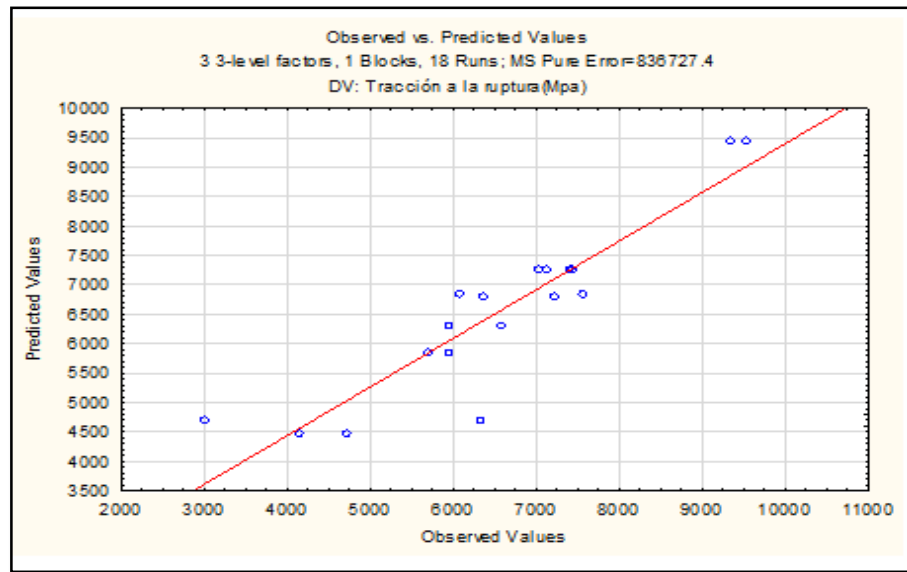


*Anexo 18.* Biodegradabilidad en el Mes de Mayo





**Anexo 19.** Linealidad de los valores experimentales con los predichos de ruptura de tracción (Mpa).



**Anexo 20.** Linealidad de los valores experimentales con los predichos de Elongación (%).

