



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
INDUSTRIAL**

**“ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE
POLÍMEROS POST CONSUMO”**

AUTOR: LUIS ALEJANDRO ALBÁN JÁCOME

DIRECTOR: Ing. ANDRÉS RODOLFO CRUZ HERRERA, MSc.

IBARRA, ENERO 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003285523		
APELLIDOS Y NOMBRES:	ALBÁN JÁCOME LUIS ALEJANDRO		
DIRECCIÓN:	IBARRA-LA ESPERANZA-BARRIO SAN FRANCISCO		
E-MAIL:	laalbanj@utn.edu.ec		
TELÉFONO:	(06) 2660 180	TELÉFONO MÓVIL:	099 241 0120

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE POLÍMEROS POST CONSUMO
AUTOR (ES):	ALBÁN JÁCOME LUIS ALEJANDRO
FECHA:	18 – Enero - 2019
PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO INDUSTRIAL
DIRECTOR:	Ing. ANDRÉS RODOLFO CRUZ HERRERA, MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

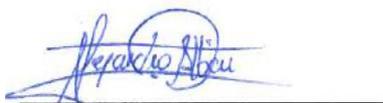
Yo, Luis Alejandro Albán Jácome, con cédula de identidad Nro. 1003285523-3, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo tanto, asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de Enero del 2019

AUTOR:



Luis Alejandro Albán Jácome
C.C: 1003285523



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DECLARACIÓN

Yo, Luis Alejandro Albán Jácome, con cédula de identidad Nro. 100328552-3, declaro bajo juramento que el trabajo de grado con el tema **“ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE POLÍMEROS POST CONSUMO”**, corresponde a mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Además, a través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ibarra, a los 18 días del mes de Enero del 2019

AUTOR:

Luis Alejandro Albán Jácome
C.C: 1003285523



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Ingeniero Andrés Rodolfo Cruz Herrera Director de Trabajo de Grado desarrollado por el señor estudiante LUIS ALEJANDRO ALBÁN JÁCOME

CERTIFICA

Que, el Proyecto de Trabajo de grado titulado **“ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA A PARTIR DE POLÍMEROS POST CONSUMO”**, ha sido elaborado en su totalidad por el señor estudiante Luis Alejandro Albán Jácome, bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingeniero Industrial. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Industrial, autoriza su presentación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.

Ibarra, a los 18 días del mes de Enero del 2019

Ing. ANDRÉS RODOLFO CRUZ HERRERA, MSc.
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DEDICATORIA

El presente trabajo, dedico primeramente a Dios y a la Virgen María por haberme guiado a lo largo de mi carrera, por permitirme alcanzar nuevas metas y sueños.

A mis amados padres Luis Albán y Marina Jácome, por ser un gran ejemplo en mi vida, por su sacrificio, amor, sabiduría, comprensión y apoyo en todo momento.

A mis hermanos, Álvaro, Fabián, Analía por estar siempre a mi lado en todo momento, a mis queridos sobrinos Marianne y Josué por su cariño y fuente de inspiración.

A mis demás familiares por su gran apoyo y compartir momentos especiales.

A todos ustedes, con cariño

Luis Alejandro Albán Jácome



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen María por brindarme sabiduría, salud y sus bendiciones a lo largo de mi camino.

A mis padres y hermanos y familiares por confiar en mí y estar siempre a mi lado en todo momento, por su constante motivación y apoyo.

A la Universidad Técnica del Norte por abrirme sus puertas y por su excelente formación académica.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Industrial por brindarme las herramientas para lograr todos los objetivos planteados a lo largo de mi permanencia en la universidad. A mi tutor de trabajo de grado por su colaboración, apoyo y guiarme a cumplir esta meta.

A mis compañeros y amigos en general por compartir siempre momentos inolvidables.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN	2
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR PLÁSTICO	5
2.2 RECICLAJE	6
2.2.1 SIMBOLOGÍA DEL RECICLAJE.....	7
2.2.1.1 CÍRCULO DE MÖBIUS	7
2.2.1.2 PUNTO VERDE.....	7

2.2.1.3 TIDYMAN.....	8
2.2.2 COLORES DEL RECICLAJE	9
2.2.2.1 CLASIFICACIÓN GENERAL	9
2.2.2.2 CLASIFICACIÓN ESPECÍFICA.....	10
2.2.3 BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES	11
2.2.4 ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS.....	12
2.2.4.1 REDUCIR	12
2.2.4.2 REUTILIZAR	13
2.2.4.3 RECICLAR.....	14
2.2.5 CICLO DEL RECICLAJE.....	15
2.3 COMPUESTOS DE MADERA PLÁSTICA (WPC).....	17
2.3.1 VENTAJAS DE LOS WPC.....	18
2.3.2 APLICACIONES DE WPC.....	19
2.3.3 EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL WPC.....	20
2.4 MATERIAS PRIMAS	21
2.4.1 PLÁSTICO	21
2.4.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS	22
2.4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS	23
2.4.3.1 TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET O PETE).....	24
2.4.3.2 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)	25
2.4.3.3 CLORURO DE POLIVINILO (V O PVC)	26

2.4.3.4 POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LDPE)	28
2.4.3.5 POLIPROPILENO (PP).....	29
2.4.3.6 POLIESTIRENO (PS)	30
2.4.3.7 OTROS	32
2.5 FIBRAS DE REFUERZO.....	32
2.5.1 FIBRAS NATURALES.....	32
2.5.1.1 FIBRAS VEGETALES	33
2.5.1.1.1 FIBRAS VEGETALES DE TALLOS.....	34
2.5.1.1.2 FIBRAS VEGETALES DE SEMILLAS.....	35
2.5.1.1.3 FIBRAS VEGETALES DE HOJAS.....	35
2.5.1.1.4 FIBRAS VEGETALES DE FRUTOS.....	36
2.5.2 FIBRAS VEGETALES, REFUERZO DE MATERIALES COMPUESTOS.....	36
2.6 TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE	37
2.7 METODOLOGÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA	38
2.7.1 MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN	38
2.7.2 DIAGRAMA DE FLUJO	39
2.7.3 DIAGRAMA SIPOC	40
2.7.4 DIAGRAMA CON EQUIPOS	41
CAPÍTULO III.....	43
METODOLOGÍA.....	43
3.1 DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	43

3.1.1 REVISIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE.....	44
3.1.2 REVISIÓN DE LOS PROCESOS DE ELABORACIÓN.....	44
3.1.3 MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN COMBINADA	44
3.1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS	44
3.1.4.1 MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS.....	45
3.1.4.2 FICHA DEL PROCESO.....	45
3.1.4.3 MATRIZ SIPOC	46
3.1.4.4 DIAGRAMA DE FLUJO	46
3.1.4.5 DIAGRAMA DE FLUJO CON EQUIPOS.....	46
3.2 DEFINICIÓN DE LOS POLÍMEROS POST CONSUMO	46
3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS	46
3.3 DETERMINACIÓN DE LOS POLÍMEROS POST CONSUMO	47
3.3.1 SELECCIÓN DE POLÍMEROS.....	47
3.4 FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS PARA CADA COMPUESTO.....	47
CAPÍTULO IV	48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1 DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	48
4.1.1 TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE	48
4.1.2 PROCESOS DE ELABORACIÓN	51
4.1.3 MATRIZ COMBINADA PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN	53
4.1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS	55

4.1.4.1 MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS.....	55
4.1.4.2 FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS.....	56
4.1.4.3 MATRIZ SIPOC.....	57
4.1.4.4 DIAGRAMA DE FLUJO.....	58
4.1.4.5 DIAGRAMA DE FLUJO CON EQUIPOS.....	59
4.2 DEFINICIÓN DE LOS POLÍMEROS POST CONSUMO.....	60
4.2.1 CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS.....	60
4.3 DETERMINACIÓN DE LOS COMPUESTOS DE POLÍMEROS.....	63
4.3.1 SELECCIÓN DE POLÍMEROS.....	63
4.4 ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA.....	64
4.4.1 FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS PARA CADA COMPUESTO.....	64
4.4.1.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	64
4.4.1.2 PROCESO PRIMARIO.....	66
4.5 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS.....	77
4.5.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	77
4.6 RESULTADOS APARENTES DE PROTOTIPOS DE MADERA PLÁSTICA.....	84
4.6.1 PROCESO SECUNDARIO.....	84
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación general de los colores del reciclaje	9
Tabla 2. Clasificación específica de los colores del reciclaje	10
Tabla 3. Ventajas de los compuestos de madera plástica (WPC)	18
Tabla 4. Características del tereftalato de polietileno (PET)	24
Tabla 5. Datos técnicos del PET	25
Tabla 6. Características del polietileno de alta densidad (HDPE)	25
Tabla 7. Datos técnicos del HDPE.....	26
Tabla 8. Características del cloruro de polivinilo (PVC).....	27
Tabla 9. Datos técnicos del PVC	27
Tabla 10. Características del polietileno de baja densidad (LDPE).....	28
Tabla 11. Datos técnicos del LDPE	28
Tabla 12. Características del polipropileno (PP)	29
Tabla 13. Datos técnicos del PP.....	30
Tabla 14. Características del poliestireno (PS).....	30
Tabla 15. Datos técnicos del PS.....	31
Tabla 16. Características de otro tipo de plásticos.....	32
Tabla 17. Fibras vegetales de tallo.....	34
Tabla 18. Fibras vegetales de semillas.....	35
Tabla 19. Fibras vegetales de hojas	35
Tabla 20. Fibras vegetales de frutos.....	36
Tabla 21. Tecnologías de reciclaje.....	37
Tabla 22. Plantilla de una matriz de caracterización	38
Tabla 23. Plantilla de una ficha del proceso	45

Tabla 24. Matriz de caracterización de las tecnologías de reciclaje	48
Tabla 25. Matriz de caracterización de los procesos	51
Tabla 26. Matriz de caracterización combinada	54
Tabla 27. Matriz de caracterización en cada proceso de producción.....	56
Tabla 28. Matriz SIPOC.....	57
Tabla 29. Flujograma del proceso de fabricación	58
Tabla 30. Matriz de caracterización del proceso con equipos	59
Tabla 31. Matriz de caracterización del compuesto.....	60
Tabla 32. Resultados de la matriz de caracterización del compuesto	63
Tabla 33. Ficha del proceso de selección.....	65
Tabla 34. Ficha del proceso de triturado	68
Tabla 35. Ficha del proceso de pulverizado.....	70
Tabla 36. Composiciones.....	71
Tabla 37. Ficha del proceso de mezcla	72
Tabla 38. Rangos de tiempo y temperatura.....	74
Tabla 39. Ficha del proceso de moldeado.....	75
Tabla 40. Ficha del proceso de compactado	77
Tabla 41. Datos del compuesto HDPE+Caña de azúcar según la característica 1	79
Tabla 42. Datos del compuesto HDPE+Caña de azúcar según la característica 2	80
Tabla 43. Datos del compuesto HDPE+Totora según la característica 1	82
Tabla 44. Datos del compuesto HDPE+Totora según la característica 2	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Simbología círculo de Möbius	7
Figura 2. Simbología punto verde.....	8
Figura 3. Simbología Tidyman	9
Figura 4. Qué son las buenas prácticas ambientales.....	11
Figura 5. Reducir	13
Figura 6. Reutilizar	14
Figura 7. Reciclar.....	15
Figura 8. Ciclo del reciclaje.....	16
Figura 9. Composición de la madera plástica	17
Figura 10. Tablero de madera plástica.....	20
Figura 11. Clasificación del plástico.....	22
Figura 12. Nomenclatura de identificación de los plásticos	23
Figura 13. Clasificación de las fibras.....	33
Figura 14. Simbología de un diagrama de flujo.....	40
Figura 15. Diagrama SIPOC	41
Figura 16. Diagrama con equipos	42
Figura 17. Plástico HDPE.....	64
Figura 18. Fibras vegetales	65
Figura 19. Trituradora.....	67
Figura 20. Escama HDPE	67
Figura 21. Pulverizadora.....	69
Figura 22. Fibras pulverizadas.....	69
Figura 23. Colocación de material en el molde	71

Figura 24. Horno.....	73
Figura 25. Mediciones de temperatura	73
Figura 26. Fundición del compuesto.....	74
Figura 27. Prensado	76
Figura 28. Retiro del prototipo del molde.....	76
Figura 29. Curvas del compuesto HDPE + Caña de azúcar, característica 1	80
Figura 30. Curvas del compuesto HDPE + Caña de azúcar, característica 2	81
Figura 31. Curvas del compuesto HDPE + Totora, característica 1	82
Figura 32. Curvas del compuesto HDPE + Totora, característica 2	83
Figura 33. Corte de prototipos	84
Figura 34. Resultados del corte.....	85
Figura 35. Perforación	85
Figura 36. Prototipo perforado.....	86
Figura 37. Uniones.....	86
Figura 38. Lijado de prototipos.....	87
Figura 39. Prototipos lijados	87
Figura 40. Aplicación del barniz.....	88
Figura 41. Prototipos terminados.....	88
Figura 42. Producto final	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 LAYOUT

Anexo 1.1 Layout del proceso de fabricación	108
--	-----

Anexo 2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA PARA CADA COMPUESTO

Anexo 2.1 Tabla informativa de HDPE + Maíz	109
Anexo 2.2 Tabla informativa de HDPE + Cáscara de guaba	109
Anexo 2.3 Tabla informativa de HDPE + Totora.....	110
Anexo 2.4 Tabla informativa de HDPE + Caña de azúcar	110
Anexo 2.5 Tabla informativa de HDPE + Cabuya	111

Anexo 3 WPC SEGÚN ORDEN DE PRODUCCIÓN

Anexo 3.1 Especificaciones de la orden de producción	111
Anexo 3.2 Característica 1 de la composición HDPE + fibra de totora	112
Anexo 3.3 Característica 2 de la composición HDPE + fibra de totora	113
Anexo 3.4 Característica 1 de la composición HDPE + caña de azúcar	113
Anexo 3.5 Característica 2 de la composición HDPE + caña de azúcar	114
Anexo 3.6 Probetas terminadas	115

Anexo 4 PROCESO DE FABRICACIÓN

Anexo 4.1 Triturado de material y obtención de la escama	115
Anexo 4.2 Mezcla de polímero y fibra según cada medición.....	116
Anexo 4.3 Control de temperatura en el molde	116
Anexo 4.4 Compactado de la masa fundida	116
Anexo 4.5 Viruta resultante en el proceso de corte del WPC	117

Anexo 4.6 Pruebas de Resistencia de tracción 117

Anexo 5 EXPOSICIONES

Anexo 5.1 Exposición en Yachay Tech 118

Anexo 5.2 Entrevista en el programa Yachana UTV – Canal 24..... 118

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se desarrolló la fabricación de prototipos de madera plástica a partir de polímeros post consumo. Al iniciar la elaboración en primer lugar se diseñó el proceso de producción, para lo cual se realizó una revisión general del estado del arte a través de diferentes revisiones bibliográficas correspondientes a los compuestos de madera plástica (WPC), dando como resultado los siguientes procesos claves: selección, triturado, pulverizado, mezcla, moldeado y compactación. A continuación, se procedió a definir los polímeros que serán utilizados en la elaboración de madera plástica, se desarrolló varias pruebas de experimentación y ensayos con los diferentes polímeros, de los cuales se estableció al polietileno de alta densidad (HDPE) como el polímero adecuado para la fabricación de los prototipos de madera plástica. Seguidamente se realizaron distintos compuestos con la utilización de diferentes fibras naturales vegetales mediante la cual se determinó la relación 80% (HDPE) y 20% (fibra). Posteriormente se realizaron los ensayos de resistencia a la tracción de acuerdo a la normativa ISO 527-1-2012. Una vez terminado la elaboración de prototipos de madera plástica se procedió a realizar las manipulaciones básicas necesarias con las que se trabaja en una madera de origen natural como son: corte, perforaciones, lijado, entre otras y finalmente se elaboró una silla con estructura mixta como aplicación final.

ABSTRACT

The present work of degree treats the manufacture of prototypes of plastic wood from post-consumer polymers. At the beginning of the elaboration in the first place, the production process was designed, for which a general revision of the state of the art was made through different bibliographic revisions corresponding to the plastic wood compounds (WPC), resulting in the following key processes: selection, crushing, pulverizing, mixing, molding and compaction. Next, we proceeded to define the polymers that will be used in the manufacture of plastic wood, developed several tests of experimentation and testing with different polymers, of which was established high density polyethylene (HDPE) as the polymer suitable for the manufacture of plastic wood prototypes. Next, different compounds were made using different natural vegetable fibers, through which the 80% (HDPE) and 20% (fiber) ratio was determined. Subsequently, the tensile strength tests were carried out according to ISO 527-1-2012. Once the elaboration of prototypes of plastic wood was finished, the necessary basic manipulations were carried out with which we worked on a wood of natural origin such as: cutting, drilling, sanding, among others and finally a chair with a mixed structure was elaborated. final application.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

A nivel global se estima la generación de desechos sólidos en 1 billón de toneladas por año, Estados Unidos continúa siendo el país que más contamina con 236 millones de toneladas por año, seguido de Rusia con 200 millones de toneladas por año. España que se sitúa en la catorceava posición a nivel del PIB, se generan casi 120 millones de toneladas anuales de residuos. (Borras, 2018)

En el Ecuador se genera alrededor de 4,1 millones toneladas por año de residuos sólidos, de los cuales el 61,4% son material orgánico, el 9,4% son papel/cartón, el 11% es plástico, el 2.6% es vidrio, el 2.2% es chatarra y el 13.3% son otro tipo de residuos. El 25% del total generado corresponden a residuos potencialmente reciclables; es decir, chatarra, papel, cartón, plástico y vidrio. En el 2014 se recuperó un aproximado de 245.000 toneladas métricas, es decir el 24% del total potencialmente reciclable. (Ministerio del Ambiente, 2016)

En la provincia de Imbabura del 100% de la basura que se genera tan solo se recolecta un 74%, de esta cantidad se procesa de manera inadecuada el 99%, el cual termina en un relleno sanitario a cielo abierto, y tan solo el 1% de los residuos se reciclan. El 26% que no se recolecta suma un poco más de 50 toneladas métricas de basura diaria, generando al año más de 18.300 toneladas métricas que terminan al aire libre contaminando el medio ambiente. (Pinto Landeta, 2014)

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar prototipos de madera plástica a partir de polímeros post consumo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el proceso de producción de madera plástica a partir de polímeros post consumo.
- Definir los polímeros post consumo que se van a utilizar en la elaboración de madera plástica.
- Determinar los compuestos de polímeros post consumo que se van aplicar en la elaboración de madera plástica.
- Fabricar prototipos de madera plástica para cada compuesto.

1.3 ALCANCE

Elaboración de prototipos de madera plástica a partir de la composición de polímeros post consumo existentes en los Centros de Acopio de la ciudad de Ibarra.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el medio ambiente está sujeto a varios cambios y eso provoca que se deteriore rápidamente y por esta razón la vida humana está viviendo ciertos cambios ambientales en todos los aspectos. Es de gran importancia desarrollar nuevas tecnologías que contribuyan al desarrollo de la sociedad, comprometidos con la responsabilidad social, además de establecer soluciones que permitan disminuir los riesgos ambientales futuros, mediante la utilización de materiales reciclables.

El desarrollo de nuevos materiales que permitan mejorar la eficiencia, bajar costos y

contribuir la preservación del medio ambiente se conoce como los Eco materiales que son una alternativa económica sostenible para la construcción de nuevos bienes. “El uso de materiales reciclables como materia prima en la manufactura de nuevos productos ayuda a conservar recursos naturales renovables y no renovables” (INEC, 2016)

Según el documento técnico del INEN referente a la Información Ambiental en Hogares del 2016 establece que “el plástico fue el residuo con mayor clasificación (34.08%) en comparación al papel-cartón (24.53%) y vidrio (15.10 %).”

Este proyecto además está sustentado bajo la normativa ecuatoriana que se detalla a continuación:

- Numeral 2 del artículo 278 de la Constitución de la República del Ecuador, señala que, para la consecución del buen vivir, a las personas y a las colectividades, y sus diversas formas organizativas les corresponde, producir, intercambiar y consumir bienes y servicios con responsabilidad social y ambiental;
- El literal c) del artículo 4 del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, señala como uno de sus fines principales: el fomentar la producción nacional, comercio y consumo sustentable de bienes y servicios, con responsabilidad social y ambiental, así como su comercialización y uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas;
- El artículo 232 del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, establece, que se entenderán como procesos productivos eficientes el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto; adoptadas para reducir los efectos negativos y los daños en la salud de los seres humanos y del medio ambiente. Estas medidas comprenderán aquellas cuyo

diseño e implementación permitan mejorar la producción, considerando el ciclo de vida de los productos, así como el uso sustentable de los recursos naturales;

- El literal c del numeral 4.4.5 de la Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos no Peligrosos del Libro VI Anexo 6 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, identifica a plásticos limpios como desechos reciclables.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se procede a realizar la base teórica fundamental y necesaria para la elaboración de madera plástica, en las que constan los siguientes fundamentos:

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

2.1 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR PLÁSTICO

La contaminación por plástico está causando un grave daño irreparable al planeta, este en vez de disminuir cada vez agudiza cada día lo cual representa un problema tanto ambiental como económico. Es evidente que el plástico es necesario para muchas aplicaciones, sin embargo, los usos innecesarios de este material terminan desechados en vertederos o abandonados en el entorno, “gracias a ello tenemos que lidiar con 8300 millones de toneladas de este material”. (Parker , 2018)

Entre los diez datos importantes de la contaminación del plástico menciona que “China es el principal productor de plásticos, seguido de Europa, Norte América y Asia. Dentro de Europa, más de dos tercios de la demanda de plásticos se concentran en cinco países: Alemania (24,9%), Italia (14,3%), Francia (9,6%), Reino Unido (7,7%) y España (7,4%)”. (Del Real, 2018)

En América Latina los gobiernos están aplicando medidas para tratar de disminuir la contaminación por plástico entre las medidas está crear leyes y políticas que impulse una nueva economía del plástico, con prohibiciones de bolsas u otros artículos de plásticos desechables o nuevas leyes sobre gestión de tratamiento de residuos. (Lasso, 2018)

En el Ecuador se produjeron alrededor de 4'139.512 tm/año de residuos, de los cuales 11% fue plástico según Gustavo Domínguez, profesor de la Facultad de Ciencias de la Vida de la ESPOL. (Andrade , 2018)

2.2 RECICLAJE

Al reciclaje se lo define como la “operación de separar, clasificar a los residuos sólidos para reutilizarlos. El término reciclaje se utiliza cuando los residuos sólidos clasificados sufren una transformación para luego volver a utilizarse”. (NTE INEN 2841-2014-03, 2014)

“El reciclaje es una práctica eco-amigable que consiste en someter a un proceso de transformación un desecho o cosa inservible para así aprovecharlo como recurso que nos permita volver a introducirlos en el ciclo de vida sin tener que recurrir al uso de nuevos recursos naturales”. (Isan, 2017)

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

En el Ecuador se producen aproximadamente 4 millones de toneladas de desechos al año, pero no toda esta cantidad debería terminar en los rellenos. Del millón de toneladas de residuos sólidos que podrían reciclarse en el país, únicamente entre un 15 y un 25% logra este fin”. (Alarcón, 2017)

2.2.1 SIMBOLOGÍA DEL RECICLAJE

En el reciclaje se presentan algunas simbologías las cuales nos permiten con solo visualizarlas saber para qué sirven o cuál es su función, a continuación, se hace mención de las más principales.

2.2.1.1 CÍRCULO DE MÖBIUS

Este símbolo indica que el material utilizado para el embalaje es reciclable. Se trata de un pictograma internacionalmente reconocido y recogido en los estándares de embalaje cuyo diseño se remonta a 1970. (Europac, 2018). A continuación, en la Figura 1 se representa de manera gráfica el círculo de Möbius



Figura 1. Simbología círculo de Möbius

Fuente: (Europac, 2018)

Como se puede apreciar en la Figura 1 la simbología círculo de Möbius está representada por tres flechas una tras otra que va en dirección horaria a las manecillas de un reloj.

2.2.1.2 PUNTO VERDE

El punto verde – aunque no siempre es verde, sino que se funde con el color de las etiquetas – fue creado en Alemania en 1991, y señala que la empresa envasadora financia el reciclado del envase a través del Sistema Integrado de Gestión de Residuos de Envases (SIG) como

establece la ley. (Fernández Muerza, 2017). En la Figura 2 está representada gráficamente la simbología punto verde



Figura 2. Simbología punto verde

Fuente: (Fernández Muerza, 2017)

Como se representa en la Figura 2 la simbología punto verde se trata de un símbolo con forma circular que engloba dos flechas ligadas que siguen un eje vertical. La flecha superior tiene que ir dirigida hacia la derecha de color verde oscuro y la flecha inferior necesariamente debe ir dirigida hacia la izquierda y tiene que ser de color verde claro.

2.2.1.3 TIDYMAN

“El símbolo Tidyman representa una Figura humana que deposita un residuo en una papelerera. Su objetivo es claro: responsabilizar a quien quiere deshacerse del mismo para que lo haga en un lugar adecuado”. (Gestores de Residuos, 2016). Como se muestra en la Figura 3 se encuentra la simbología Tidyman.



Figura 3. Simbología Tidyman

Fuente: (Gestores de Residuos, 2016)

Como se aprecia en la Figura 3 el consumidor, en exclusiva, es el que se responsabiliza a propiciar un lugar correcto de depósito del producto

2.2.2 COLORES DEL RECICLAJE

Según la Norma INEN 2841 – 2014 “establece los siguientes códigos de colores de acuerdo con el tipo de manejo que tengan los residuos puede optarse por realizar una clasificación general o específica”, como se indica a continuación:

2.2.2.1 CLASIFICACIÓN GENERAL

En la Tabla 1 se observa la clasificación general de los colores del reciclaje según la norma INEN 2841-2014

Tabla 1. Clasificación general de los colores del reciclaje

TIPO DE RESIDUO	COLORES DE RECIPIENTES		DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO A DISPONER
Reciclables	Azul		Todo material susceptible a ser reciclado, reutilizado. (vidrio, plástico, papel, cartón, entre otros)
No reciclables, no peligrosos	Negro		Todo residuo no reciclable
Orgánicos	Verde		Origen Biológico, restos de comida, cáscaras de fruta, verduras, hojas, pasto, entre otros. Susceptible de ser aprovechado

Peligrosos	Rojo		Residuos con una o varias características citadas en el código C.R.E.T.I.B.
Especiales	Naranja		Residuos no peligrosos con características de volumen, cantidad y peso que ameritan un manejo especial.

Fuente: (NTE INEN 2841-2014-03, 2014)

En la Tabla 1 indica los diferentes colores que debe contener cada recipiente de acuerdo con el tipo de residuo que representa según la descripción de este, el color azul con descripción de tipo de residuo reciclable será con el que se desarrollará el proyecto.

2.2.2.2 CLASIFICACIÓN ESPECÍFICA

En la Tabla 2 representa la clasificación específica de los colores del reciclaje de acuerdo con la normativa INEN 2841-2014

Tabla 2. Clasificación específica de los colores del reciclaje

TIPO DE RESIDUO	COLORES DE RECIPIENTES		DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO A DISPONER
Plástico / Envases multicapa	Azul		Plástico susceptible de aprovechamiento, envases multicapa, PET Botellas vacías y limpias de plástico de: agua, yogurt, jugos, gaseosas, etc. Fundas Plásticas, fundas de leche, limpias. Recipientes de champú o productos de limpieza vacíos y limpios.
Desechos	Negro		Materiales no aprovechables: pañales, toallas sanitarias, servilletas usadas, papel adhesivo, papel higiénico, papel carbón desechos con aceite, entre otros. Envases plásticos de aceites comestibles, envases con resto de comida.
Orgánico / reciclables	Verde		Origen Biológico, restos de comida, cáscaras de fruta, verduras, hojas, pasto, entre otros.
Vidrio / Metales	Blanco		Botellas de vidrio, refrescos, jugos, bebidas alcohólicas. Frescos de aluminio, latas de atún, sardina, conservas, bebidas. Deben estar vacías, limpias y secos.

Papel / Cartón	Gris		Papel limpio en buenas condiciones: revistas, folletos publicitarios, cajas y envases de cartón y papel. De preferencia que no tengan grapas, papel periódico, propaganda, bolsas de papel, hojas de papel, cajas, empaques de huevo, envolturas.
Especiales	Naranja		Escombros y asimilables a escombros, neumáticos, muebles, electrónicos.

Fuente: (NTE INEN 2841-2014-03, 2014)

Como se aprecia en la Tabla 2 se detallada específicamente el tipo de residuo, el color del recipiente y la descripción del residuo a disponer, permitiendo identificar qué artículos desechables pertenecen a cada tipo de residuo. Los productos de limpieza, así como botellas transparentes de bebidas son las que más se reciclan.

2.2.3 BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

Las Buenas Prácticas Ambientales (BPAs) son un conjunto de recomendaciones sencillas, útiles y didácticas que sirven para modificar o mejorar prácticas personales en el domicilio, la escuela, el barrio, la oficina. Implican un cambio de actitud y comportamiento en cuanto a nuestras prácticas cotidianas que afectan al medio ambiente. (Ministerio del Ambiente, 2015). En la Figura 4 se define lo que son las buenas prácticas ambientales.



Figura 4. Qué son las buenas prácticas ambientales

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

Según la Figura 4 las buenas prácticas ambientales están definidas en cuatro aspectos que establece un fácil manejo de acciones en las cuales se debe actuar de manera responsable y amigable con el medio ambiente.

2.2.4 ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

El reciclaje, al margen de su complejo proceso de transformación, es uno de los puntos básicos de estrategia de tratamiento de residuos 3R. (Inforeciclaje, s.f.)

Las tres erres (3R) ecológicas es una regla para cuidar el medio ambiente, específicamente para reducir el volumen de residuos o basura generada. En pocas palabras, las 3R pretenden desarrollar hábitos de consumo responsable y te concientizan a tirar menos basura, ahorrar dinero y ser un consumidor más responsable, así reduciendo tu huella de carbono. (Seisdedos, 2014)

2.2.4.1 REDUCIR

Una alternativa que favorecerá la calidad de vida a los seres humanos es la de REDUCIR la utilización y el consumo de materias primas y energía, recurriendo a fuentes renovables y minimizando los residuos durante el ciclo de vida de los productos. (Pardavé Livia, 2007)

Son muchas las formas posibles de reducir la cantidad y peligrosidad de la basura que se genera. Algunas recomendaciones:

- Siempre que puedas compra productos a granel o en paquetes grandes. Evita los productos individuales y huye de los artículos de usar y tirar (platos, cubiertos, servilletas...)
- Evita el uso de productos peligrosos o sustitúyelos por otros menos dañinos (baterías recargables, tintas basadas en vegetales o en agua, limpiadores ecológicos, etc.). En caso

de ser imprescindibles asegúrate de usar sólo lo necesario. (Eco Use , s.f.)



Figura 5. Reducir

Fuente: (Seisdedos, 2014)

En la Figura 5 se presenta la simbología de reducir, este diseño consta de una flecha con dirección hacia abajo dentro de un círculo.

2.2.4.2 REUTILIZAR

Es la acción por la cual el residuo sólido con una previa limpieza es utilizado directamente para su función original o para alguna relacionada, sin adicionarle procesos de transformación. No siempre es posible recuperar todos los residuos que se quiere puesto que no se cuenta con tecnología apropiada. (Repaveca, s.f.)

La importancia de reutilizar es sumamente importante en la ecología por estos factores:

- Reduce la producción de basura de cada habitante.
- Permite elaborar soluciones con materiales alternativos.
- No tiene costo alguno, crea fantásticas obras de arte, herramientas y utilidades sin gastar mucho dinero.
- Es la palabra más importante en el universo de la ecología luego del reciclaje.
- Ayuda a cambiar la forma de ver el mundo, reduciendo el consumismo diario en nuestras

vidas. (ECOLOGIAHOY, 2018)



Figura 6. Reutilizar

Fuente: (Seisdedos, 2014)

En la Figura 6 se presenta la siguiente simbología la cual está representada por dos flechas en el mismo sentido de forma circular dentro de un círculo.

2.2.4.3 RECICLAR

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

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

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



Figura 7. Reciclar

Fuente: (Seisdedos, 2014)

En la Figura 7 se presenta el sello de reciclar, este diseño está representado por la simbología de Möbius dentro de un círculo.

2.2.5 CICLO DEL RECICLAJE

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

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

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

A continuación, en la Figura 8 se representa de manera gráfica el ciclo de reciclaje, la cual

está representado mediante una enumeración para cada actor que interviene en este proceso.



Figura 8. Ciclo del reciclaje

Fuente: (Cruz A. , 2016)

En la Figura 8 se detallada las partes involucrada dentro del ciclo de reciclaje según su enumeración:

- El número 1 representa al consumidor final que es la persona que después de la utilización del producto lo desecha en un contenedor de residuos.
- El número 2 representa el reciclador primario es el individuo(s) que recolectan los desechos reciclados de los contenedores de residuos en hogares, escuelas, parques, calles, entre otros.
- El número 3 representa el centro de acopio, no es más que el lugar donde se almacenan todos los residuos de los recolectores primarios para luego ser clasificados y compactados de acuerdo con el mismo tipo de residuo.

- El número 4 representa al reciclador final en las cuales están las industrias que se encargan del proceso de transformación a través de medios mecánicos, químicos y térmicos las diferentes materias primas reciclables, lo que da como resultado un bien de consumo o un bien intermedio.
- El número 5 representa a la industria la cual es la empresa o fábrica que se encarga de la transformación de la materia prima reciclable en la producción de nuevos productos los cuales no necesitan generar nuevas extracciones en la naturaleza.

2.3 COMPUESTOS DE MADERA PLÁSTICA (WPC)

Los compuestos de madera plástica o WPC (Wood Plastic Composite) por sus siglas en inglés son materiales que se encuentran formados por la combinación de dos componentes principales: la matriz polimérica y partículas de refuerzo a base de celulosa (madera harina, astillas o fibras) y aditivos químicos (lubricantes, ligantes, retardantes de llama, fungicidas, estabilizantes a la luz, pigmentos, etc.). Los componentes se mezclan a altas temperaturas y luego mediante técnicas de extrusión, moldeo por inyección, o calandrado, se utilizan para la conformación de productos finales. (Hutyrová, y otros, 2015). En la Figura 9 se representa como está compuesta la madera plástica

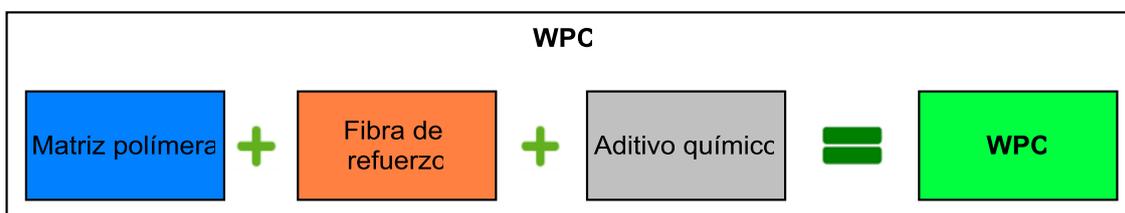


Figura 9. Composición de la madera plástica

Fuente: (Hutyrová, y otros, 2015)

Como se muestra en la Figura 9 la composición de madera plástica está compuesta por tres

componentes que constan de una matriz polímera agregada la fibra de refuerzo más el aditivo químico que da como resultado un WPC.

El enfoque de estos compuestos de madera y plástico completamente biogénicos (bio-WPC) es que la cantidad de CO₂ generada por el procesamiento del material compuesto es compensado parcial o completamente por el CO₂ consumidos en la fase de crecimiento de las plantas utilizadas como materia prima. (Zierdt, y otros, 2015)

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

2.3.1 VENTAJAS DE LOS WPC

Como se presenta en la Tabla 3 los WPC posee las características únicas frente a otros tipos de materiales

Tabla 3. Ventajas de los compuestos de madera plástica (WPC)

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

Fuente: (Petchwattana & Covavisaruch, 2013)

Como se muestra en la Tabla 3 constan las siguientes ventajas de los WPC:

- **Alta durabilidad.** - es un material que tiene una larga vida útil ya que está formado por plástico el cual tarda muchos años en degradarse
- **Baja absorción de humedad.** - este material no permite la penetración de sustancias líquidas como el agua.
- **Bajo costo.** - la materia prima de cual está formado es barata.
- **Biodegradabilidad.** - puede descomponerse como cualquier material plástico.
- **Buenas propiedades de aislamiento.** - no es conductor de corriente eléctrica.
- **Capacidad de reciclaje.** - este material puede ser reciclado y reutilizado para cualquier aplicación.
- **Mejor comportamiento térmico.** - mejor comportamiento al calor.
- **Mejor resistencia.** - resistente a golpes, difícil de romper y deteriorarse, etc.
- **Mejor rigidez.** - resistente a las deformaciones elásticas.
- **Resistencia a los hongos.** - no permite que se formen hongos ya que es un material que no concentra humedad.

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

2.3.2 APLICACIONES DE WPC

Estos compuestos combinan calidad y sostenibilidad con estética y funcionalidad, además

de dar una solución de muy bajo costo. Su comportamiento es similar o mejor que la madera tradicional la que la hacen ideal para proyectos residenciales, institucionales, artesanales, automotrices, hoteleros y comerciales. La mayoría de estos compuestos son utilizados como tableros, madera de paisaje, mesas de jardinería, pisos industriales, muebles del hogar, perfiles de puertas y ventanas, entre otras aplicaciones. En la Figura 10 se presenta una aplicación de WPC



Figura 10. Tablero de madera plástica

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 10 se observa un prototipo madera plástica elaborado a base de un material polímero y fibra vegetal.

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

2.3.3 EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL WPC

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

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

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

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

2.4 MATERIAS PRIMAS

Las materias primas directas que interviene en este proyecto para la elaboración de madera plástica son dos, el plástico y las fibras de refuerzo.

2.4.1 PLÁSTICO

Los plásticos son materiales orgánicos formados por polímeros constituidos por largas cadenas de átomos que contienen fundamentalmente carbono. Otros elementos que contienen los plásticos pueden ser oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y azufre. (AreaTecnologica, s.f.). A continuación, en la Figura 11 se establece la clasificación de la obtención del plástico.

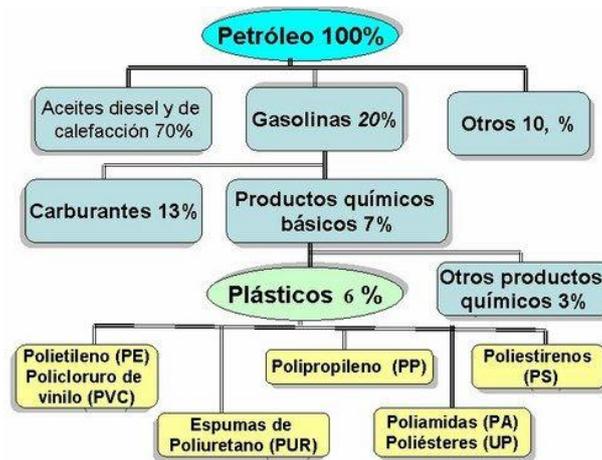


Figura 11. Clasificación del plástico

Fuente: (AreaTecnologica, s.f.)

Como se observa en la Figura 11 a través de un organizador gráfico el plástico proviene de los productos químicos básicos correspondientes de la gasolina la cual es derivada del petróleo.

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

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

2.4.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

La Sociedad de las Industrias Plásticas (SPI por sus siglas en inglés) fue la primera en desarrollar el sistema de código de identificación de resinas (RIC por sus siglas en inglés), un

medio para clasificar los diferentes tipos de plásticos en los residuos domésticos, en 1988. El sistema RIC asigna un número de 1 a 7, con un símbolo de flechas que rodean el número, a una pieza de plástico que indica su tipo. (ASTM, 2010). En la Figura 12 se presenta la nomenclatura de cómo podemos identificar a los diferentes tipos de plástico.

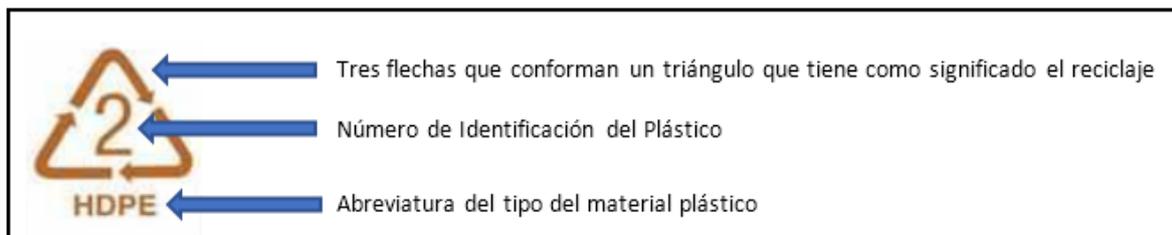


Figura 12. Nomenclatura de identificación de los plásticos

Fuente: (ASTM, 2010)

Como se representa en la Figura 12 para identificar a los plásticos cuenta de tres factores como es la identificación de reciclaje con su correspondiente símbolo de Möbius, luego la numeración de identificación del plástico y la abreviatura del tipo de material plástico que corresponda.

2.4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Los plásticos se clasifican bajo la siguiente nomenclatura según la normativa NTE INEN 100-2014 “Materiales y Artículos Plásticos destinados a estar en contacto con los Alimentos.”

- 1.- PET (Tereftalato de Polietileno)
- 2.- HDPE (Polietileno de Alta Densidad)
- 3.- PVC o V (Cloruro de polivinilo)

4.- LDPE (Polietileno de Baja Densidad)

5.- PP (Polipropileno)

6.- PS (Poliestireno)

7.- OTROS

2.4.3.1 TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET O PETE)

A continuación, en la Tabla 4 se indica las características que presenta el Tereftalato de Polietileno.

Tabla 4. Características del tereftalato de polietileno (PET)

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

Fuente: (NTE INEN 100, 2014)

En la Tabla 4 presenta las principales características que tiene el plástico PET, por lo general este tipo de material está presente en la mayoría de los envases.

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

- Transparencia y brillo con efecto lupa,
- Excelentes propiedades mecánicas,
- Barrera de los gases,

- De bajo costo,
- 100% reciclable,
- Liviano. (QuimiNet, 2012)

Este tipo de material es usado como materia prima para diferentes aplicaciones tanto en la industria como en otros campos, por tal razón es fundamental conocer los datos técnicos que presenta el PET. En la Tabla 5 se presenta los datos técnicos que tiene el plástico PET

Tabla 5. Datos técnicos del PET

Características	PET
Valor límite de la viscosidad medido en ácido dicloroacético a 25 °C	1.07
Densidad [g/cm ³] aprox.	0.85
Punto de fusión [°C]	Aprox. 252/260
Acetaldehído	Ppm < 1
Contenido en grupos carboxílicos [mval/Kg]	20

Fuente: (Textos Científicos, 2005)

Como se describe en la Tabla 5 estos datos técnicos son útiles al momento de trabajar con este tipo de material plástico, en la que su densidad es aproximadamente de 0.85g/cm³.

2.4.3.2 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)

A continuación, en la Tabla 6 se indica las características que presenta el Polietileno de Alta Densidad.

Tabla 6. Características del polietileno de alta densidad (HDPE)

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

Fuente: (NTE INEN 100, 2014)

En la Tabla 6 presenta las principales características que tiene el plástico HDPE, por lo general este tipo de material se encuentra en envases opacos.

Presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) y mejor resistencia química y térmica que el polietileno de baja densidad, debido a su mayor densidad. Además, es resistente a las bajas temperaturas, impermeable, inerte (al contenido), con poca estabilidad dimensional y no tóxico. (PYDSA, s.f.). En la Tabla 7 se presenta la ficha técnica del HDPE.

Tabla 7. Datos técnicos del HDPE

Características	HDPE
Grado de cristalinidad [%]	60 hasta 90
Densidad [g/cm ³] aprox.	0.94 hasta 0.97
Temperatura de cristalización [°C]	130 hasta 150
Estabilidad química	Excelente
Estrés de ruptura [N/mm ²]	20.0 – 30.0
Elongación de ruptura [%]	12
Módulo elástico E [N/mm ²]	1000
Temperatura máxima permisible [°C]	100
Temperatura de reblandecimiento [°C]	140

Fuente: (Casiopea, 2015)

Como se describe en la Tabla 7 los datos técnicos de este material presentan ciertas características que se tiene que tener en cuenta al momento de trabajar o manipular con este tipo de material plástico como es su densidad.

2.4.3.3 CLORURO DE POLIVINILO (V O PVC)

A continuación, en la Tabla 8 se indica las características que presenta el Cloruro de Polivinilo

Tabla 8. Características del cloruro de polivinilo (PVC)

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

Fuente: (NTE INEN 100, 2014)

En la Tabla 8 presenta las principales características que tiene el plástico PVC, este tipo de material es usado generalmente en mangueras y tuberías además este plástico no recomendado como envase para alimentos.

“Por sí solo es el más inestable de los termoplásticos, pero con aditivos es el más versátil y puede ser sometido a variados procesos para su transformación, lo que le ha hecho ocupar, por su consumo, en el segundo lugar mundial detrás del Polietileno”. (QuimiNet, 2010). Este tipo de material también presenta las siguientes características técnicas que se presenta el PVC en la Tabla 9.

Tabla 9. Datos técnicos del PVC

Características	PVC
Ductibilidad	Elevada
Densidad [g/cm ³] aprox.	1.4
Resistencia a tracción [Kg/cm ²]	450 - 500
Resistencia a compresión [Kg/cm ²]	610
Temperatura máx. trabajo [°C]	50 - 70
Temperatura mín. trabajo [°C]	-20
Módulo elástico [Kg/cm ²]	30000
Reciclable	100

Fuente: (Emac, 2010)

Como se muestra en la Tabla 9 constan los datos técnicos del plástico PVC en las que constan la densidad y la temperatura máxima de trabajo como características principales. Este material posee gran elasticidad de 30000 kg/cm² con respecto a los otros plásticos.

2.4.3.4 POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LDPE)

A continuación, en la Tabla 10 se indica las características que presenta el Polietileno de Baja Densidad.

Tabla 10. Características del polietileno de baja densidad (LDPE)

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

Fuente: (NTE INEN 100, 2014)

En la Tabla 10 presenta las principales características que tiene el plástico LDPE, por lo general este tipo de material eta presente en bolsas para transportar alimentos.

El polietileno de baja densidad presenta con ciertas características: alta resistencia al impacto, resistencia térmica, resistencia química, se puede procesar por inyección o extrusión, tiene una mayor flexibilidad en comparación con el polietileno de alta densidad, su coloración es transparente, aunque se opaca a medida que aumenta su espesor, difícilmente permite que se imprima, pegue o pinte en su superficie. (QuimiNet, 2012). En la Tabla 11 se indica las características técnicas que presenta el plástico LDPE.

Tabla 11. Datos técnicos del LDPE

Características	LDPE
Grado de cristalinidad [%]	40 hasta 50
Densidad [g/cm ³]	0.915 - 0.935
Temperatura de cristalización [°C]	105 hasta 110
Estabilidad química	buena
Estrés de ruptura [N/mm ²]	8.0 - 10
Módulo elástico E [N/mm ²]	200
Temperatura máxima permisible [°C]	80
Temperatura de reblandecimiento [°C]	110

Fuente: (Casiopea, 2015)

Como se observa en la Tabla 11 señala algunos de los datos técnicos que presenta este material en el cual hace referencia a la densidad en la que nos permite comparar que esta es menor que el polietileno de alta densidad lo cual justifica su nombre de polietileno de baja densidad.

2.4.3.5 POLIPROPILENO (PP)

A continuación, en la Tabla 12 se indica las características que presenta el Polipropileno

Tabla 12. Características del polipropileno (PP)

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

Fuente: (NTE INEN 100, 2014)

En la Tabla 12 presenta las principales características que tiene el plástico PP, por lo general este tipo de material está presente en envases para alimentos y también como hilo de fibra sintético.

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

- Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.

- El polipropileno tiene múltiples aplicaciones, por lo que es considerado como uno de los productos termoplásticos de mayor desarrollo en el futuro.
- Es un producto inerte, totalmente reciclable, su incineración no tiene ningún efecto contaminante, y su tecnología de producción es la de menor impacto ambiental. (QuimiNet, 2012)

En la Tabla 13 se presenta a detalle algunas de las características técnicas de este material.

Tabla 13. Datos técnicos del PP

Características	PP
Resistencia dieléctrica [Ohm]	$> 10^{13}$
Densidad [g/cm ³]	0.91
Conductividad térmica [23 °C][W/k-m]	0.22
Resistencia al impacto	No rompe
Temperatura de fusión [°C]	165
Elongación de ruptura [%]	650
Temperatura de degradación [°C]	287

Fuente: (Elaplas, 2016)

Como se detalla en la Tabla 13 este tipo de material tiene la cualidad de soportar al impacto además de que tiene un gran porcentaje de elongación antes de tener alguna ruptura.

2.4.3.6 POLIESTIRENO (PS)

A continuación, en la Tabla 14 se indica las características que presenta el Poliestireno

Tabla 14. Características del poliestireno (PS)

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

Fuente: (NTE INEN 100, 2014)

En la Tabla 14 presenta las principales características que tiene el plástico PS, generalmente

este tipo de material lo podemos encontrar en planchas de espuma flex la cual su uso sirve para realizar diferentes aplicaciones.

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

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

A continuación, en la Tabla 15 se presentan las características de una manera cuantitativas del poliestireno

Tabla 15. Datos técnicos del PS

Características	PS
Densidad 7 gravedad específica [g/cm ³]	1.03 – 1.06
Densidad aparente [g/cm ³]	0.60 – 0.65
Tensión [23 °C][PSI]	3590 - 7590
Resistencia a la flexión [23 °C][PSI]	8350 - 15000
Absorción de agua [%]	0.03 – 0.10
Dureza [Rockwell]	71 – 115
Temperatura de masa fundida [°C]	211 – 241 aprox.

Fuente: (Prospector, 2018)

Como se observa en la Tabla 15 este tipo de material contiene características importantes como la temperatura al momento de ser expuesto a una fundición de este plástico.

2.4.3.7 OTROS

A continuación, en la Tabla 16 se indica las características que presenta OTROS tipos de plásticos.

Tabla 16. Características de otro tipo de plásticos

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

Fuente: (NTE INEN 100, 2014)

En la Tabla 16 presenta las principales características que tienen los OTROS tipos de plástico, este tipo de material es resultado de combinaciones de resinas de plástico, es difícil de encontrar este material ya que su producción es muy baja.

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

2.5 FIBRAS DE REFUERZO

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

2.5.1 FIBRAS NATURALES

En cuanto a sus ventajas para el medio ambiente y la salud, la utilización de forma sostenible

de las fibras de origen vegetal y animal proporciona un recurso natural y renovable, evitando el impacto de los materiales sintéticos, que utilizan principalmente sustancias derivadas del petróleo. (Ecogaia, s.f.). En la Figura 13 se presenta un mapa conceptual de la clasificación de las fibras naturales

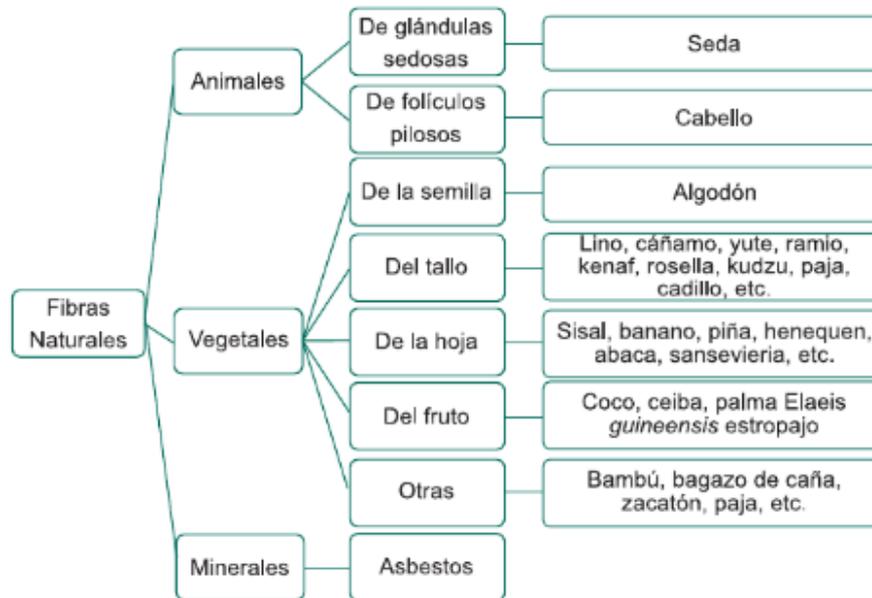


Figura 13. Clasificación de las fibras

Fuente: (Jhon & Thomas, 2008)

Como se observa en la Figura 13 las fibras naturales abarcan tres factores en las cuales para este proyecto se centrará en la utilización de fibras vegetales ya que está compuesta de varios elementos que se los puede encontrar en el entorno.

2.5.1.1 FIBRAS VEGETALES

“Las fibras vegetales se están convirtiendo en una alternativa realmente llamativa para aplicaciones industriales por su bajo costo, peso ligero y por ser una materia prima renovable con propiedades superiores a otros materiales cuando se utiliza como refuerzo en materiales

compuestos de matriz polimérica”. (Velásquez, Peláez, & Giraldo, 2016)

Dentro de las fibras vegetales como se detallan en la Figura 13 se encuentran las que se pueden obtener del tallo, de las semillas, de las hojas, de los frutos.

2.5.1.1.1 FIBRAS VEGETALES DE TALLOS

En este segmento se encuentran todas las fibras que provienen del tallo de las plantas sean éstas de tamaño grande medio o pequeño. En la Tabla 17 presenta algunas de las fibras más comunes que se utilizan en la elaboración de diferentes productos

Tabla 17. Fibras vegetales de tallo

FIBRAS VEGETALES DE TALLO	DESCRIPCIÓN
Lino	Las fibras de lino examinadas al microscopio se presentan en largos tubitos de extremos puntiagudos y con pequeñas grietas transversales. Las fibras sueltas tienen como término medio 50 cm. de largo.
Bambú	La fibra no contiene ningún aditivo químico, condición de toda fibra ecológica. El bambú puede ser hilado solo o en mezcla con algodón, seda, modal y otras fibras artificiales de celulosa regenerada.
Cáñamo	El futuro de la fibra de cáñamo está vinculado a su integración a la producción de textiles de algodón, lana, cachemira y seda, y en su mezcla con fibras sintéticas, debido a nuevas técnicas de procesamiento y separación de la lignina (desengomado).
Banana	Las propiedades de estas fibras han demostrado poca utilidad en la confección de prendas de vestir, por lo que su uso se dirige a la confección de sombreros, carteras, canastas, bandejas y otros accesorios.
Kenaf	Para la obtención de las fibras se utiliza solo la corteza externa del tallo que constituye el 25% del peso del mismo. La planta es originaria del centro este de África, donde ha sido cultivada desde miles de años atrás para la producción de alimentos y fibras.
Yute	La fibra del yute es extraída de la corteza del yute blanco y en menor medida del yute rojo. Es una de las fibras vegetales más fuertes con propiedades antiestáticas y aislantes de baja conductividad térmica.

Fuente: (CuidaTuAlfombra, 2013)

Como se describe en la Tabla 17 la mayoría de estas fibras son utilizadas como filamentos naturales en la producción de prendas de vestir o de cualquier otro accesorio ya que tienen

grandes propiedades.

2.5.1.1.2 FIBRAS VEGETALES DE SEMILLAS

A continuación, en la Tabla 18 se presenta las fibras vegetales que provienen de las semillas

Tabla 18. Fibras vegetales de semillas

FIBRAS VEGETALES DE SEMILLAS	DESCRIPCIÓN
Algodón	El algodón es una fibra única en muchos aspectos: sus fibras son blandas y aislantes y resisten a la rotura y el desgarro por tracción en grado suficiente como para permitir la confección de tejidos.
Ceiba	Las fibras representan el 21% del peso en seco del fruto y se usan en almohadas, colchones, cinturones, salvavidas y otros artículos textiles.

Fuente: (CuidaTuAlfombra, 2013)

Como se muestra en la Tabla 18 no existen muchas fibras vegetales proveniente de semillas que sean utilizadas como materia prima de refuerzo, las que más son conocidas son el algodón y la ceiba que son semillas utilizados en la producción de artículos textiles.

2.5.1.1.3 FIBRAS VEGETALES DE HOJAS

En la Tabla 19 se presenta las fibras vegetales de hojas que son más utilizadas como material de refuerzo.

Tabla 19. Fibras vegetales de hojas

FIBRAS VEGETALES DE HOJAS	DESCRIPCIÓN
Abacá	El abacá es valorado por su gran resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño por agua salada y por el largo de su fibra (más de 3m). Su uso se destina a la producción de sogas, bramantes, cordeles, líneas de pesca y redes

Cabuya	De las fibras de cabuya se elaboran hilos, de sus hojas papel, de sus espinas agujas y el extracto jabonoso de sus hojas se utiliza como detergente.
Esparto	Con las fibras de esta planta se elaboran sogas, alpargatas, cestos y estropajos.

Fuente: (CuidaTuAlfombra, 2013)

Como se muestra en la Tabla 19 las fibras vegetales de las hojas son utilizadas en la elaboración de sogas, cuerdas, redes de pesca, entre otras debido a que poseen una gran resistencia mecánica.

2.5.1.1.4 FIBRAS VEGETALES DE FRUTOS

En la Tabla 20 se presenta a un solo fruto que sirven como fibra de refuerzo para la elaboración de materiales compuestos.

Tabla 20. Fibras vegetales de frutos

FIBRAS VEGETALES DE FRUTOS	DESCRIPCIÓN
Coco	Es una planta muy longeva puede alcanzar los cien años de vida. Las fibras del coco se extraen del mesocarpio de los frutos del cocotero y sirven para la fabricación de cordeles, tapetes y esteras; no teniendo otra aplicación en la industria textil.

Fuente: (CuidaTuAlfombra, 2013)

Como se muestra en la Tabla 20 el fruto que se utiliza como fibra es la estopa de coco ya que posee grandes propiedades de elasticidad y también propiedades como aislante sonoro. (Navarro Arellano, 2005)

2.5.2 FIBRAS VEGETALES, REFUERZO DE MATERIALES COMPUESTOS

Las regulaciones de los gobiernos y el creciente sentido ambientalista en todo el mundo han exigido el diseño de materiales que cumplan con su función y que además sean amigables con el medio ambiente. Por esto el uso de fibras naturales y especialmente las vegetales como

refuerzo de plásticos se ha incrementado en los últimos años. (Páez Moscoso, 2007)

2.6 TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE

Las tecnologías de reciclaje que comúnmente se utilizan para la elaboración de madera plástica consta de tres: mecánica, térmica, química. En la Tabla 21 se describe cada una de las tres tecnologías

Tabla 21. Tecnologías de reciclaje

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

Química	Tratamiento Químico	Se basa en la combinación de materias primas con agentes químicos especiales la cual requiere tener maquinaria especializada para este proceso, la utilización de esta tecnología es muy poco usada.
---------	---------------------	--

Fuente: (Aréstegui, 2017)

Como se detalla en la Tabla 21 las tecnologías de reciclaje constan de tres: mecánica, térmica y química. Para la elaboración de compuestos de madera plástica existen varios procesos para poder aplicarlos, ya depende de la maquinaria instalada con la que se cuente al momento de la fabricación.

2.7 METODOLOGÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA

Permite organizar y clasificar la información obtenida de manera sistemática a través de herramientas útiles con el fin de identificar las relaciones de los procesos involucrados que se llevarán a cabo en la elaboración de madera plástica mediante la utilización de matrices de caracterización, diagramas de flujo, matriz SIPOC, diagramas con equipos.

2.7.1 MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN

Es una herramienta que permite detallar e identificar de manera general o específica los diferentes componentes que se va a analizar o a desarrollar, además representa todas las características o elementos fundamentales para que un proceso se lleve a cabo. En la Tabla 22 se muestra una plantilla de una matriz de caracterización.

Tabla 22. Plantilla de una matriz de caracterización

MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN						
	Entrada	Salida	Recursos	Indicadores	Costo	Normativa
Proceso 1						
Proceso 2						

Proceso 3						
Proceso 4						

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 22 representa un ejemplo en el cual se puede resumir la información que se necesite, por lo que resulta interpretar los resultados de una mejor manera.

2.7.2 DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo es una herramienta fundamental para facilitar el análisis de los procesos involucrados en la producción de bienes o servicios. Estos diagramas no sólo deben considerar los flujos del proceso, sino que también los insumos, los clientes, los proveedores y los trabajadores en el diseño de mejores procesos. (Schroeder, Meyer, & Rungtusanatham, 2011)

Los diagramas de flujo no tienen un formato preciso y por lo general se trazan con cuadros (que contienen una breve descripción del paso), y con líneas y flechas para indicar las secuencias. La forma rectangular es la opción más común para un cuadro, aunque otras formas (círculo, óvalo, triángulo, trapecio, rombo) pueden diferenciar varios tipos de pasos (operación, retraso, almacenamiento, inspección y cosas por el estilo). (Krajewsky, Ritzman, & Malhotra, 2008). En la Figura 14 se presenta una simbología común para representar un diagrama de flujo.

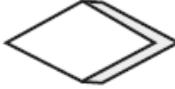
Símbolo	Significado
 Finalización	Este símbolo muestra el principio y el final del diagrama de flujo, especificando con ello las fronteras del proceso de transformación a estudiar. Las palabras PRINCIPIO y FINAL deben escribirse en la parte interior del símbolo con propósitos de claridad.
 Proceso	Este símbolo denota un paso operacional o una actividad que deberá ejecutarse. Debe escribirse una breve descripción del paso operacional o de la actividad incluida dentro del símbolo con propósitos de claridad.
 Decisión/evaluación	Este símbolo representa una decisión, una evaluación, o una condición SI-ENTONCES que tiene múltiples resultados posibles (por ejemplo: ramas de flechas). La decisión, evaluación o condición debe escribirse adecuadamente dentro del símbolo con propósitos de claridad. Cada rama de la flecha Decisión/Evaluación debe estar bien etiquetada para denotar el significado del resultado de la decisión, evaluación o condición.
 Flujo	Este símbolo expresa la dirección del flujo dentro del diagrama; el flujo podría ser de materiales, información o personas (por ejemplo: clientes).

Figura 14. Simbología de un diagrama de flujo

Fuente: (Schroeder, Meyer, & Rungtusanatham, 2011)

Como se muestra en la Figura 14 los componentes del diagrama de flujo presentada por el autor constan de cuatro representaciones gráficas: elipse, rectángulo, rombo, flecha, las cuales significan: inicio/fin, proceso, decisión, dirección del flujo.

2.7.3 DIAGRAMA SIPOC

Es una herramienta de diagrama de proceso que permite identificar los proveedores, las entradas, los procesos mismo, sus salidas y los usuarios o clientes.

Proveedores o Supplier (S). - se encarga de proporcionar los recursos para las entradas.

Entrada o In (I). - Recursos que se necesitan para realizar el proceso.

Procesos o Process (P). - Secuencia de actividades de transformación que añaden valor.

Salida u Output (O). - Bien o servicio resultante del proceso.

Cliente o Customer (C). - Usuario final de la salida del proceso.

En la Figura 15 se muestra un ejemplo de un diagrama SIPOC

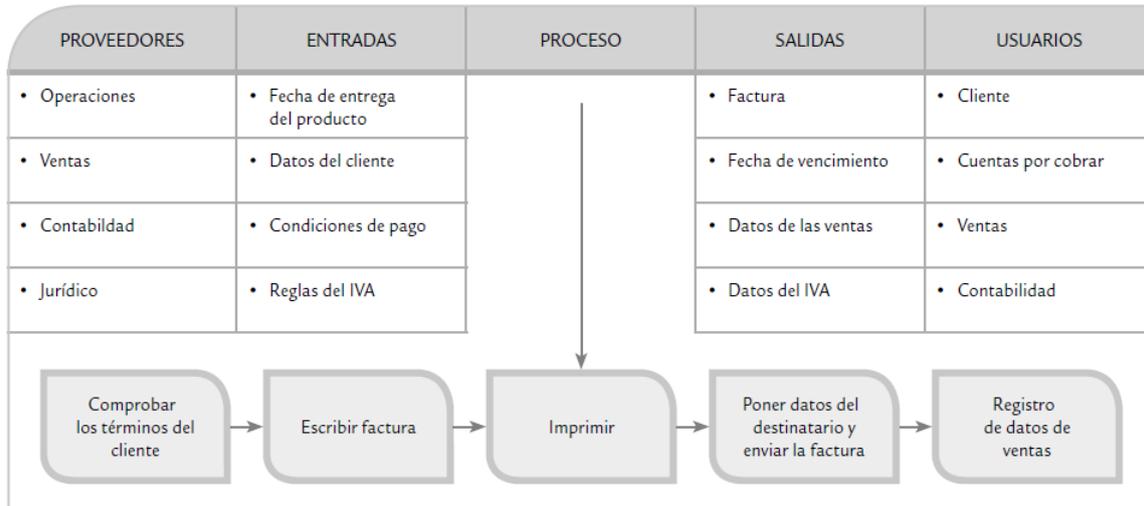


Figura 15. Diagrama SIPOC

Fuente: (Gutiérrez & De La Vara, 2009)

Como se muestra en la Figura 15 constan todos los componentes de un diagrama SIPOC la cual nos permite observar de manera más gráfica todo el desarrollo del proceso.

2.7.4 DIAGRAMA CON EQUIPOS

Es una herramienta que permite identificar los equipos utilizados en los procesos industriales, los equipos se unen con flechas que indican el movimiento de los recursos, en cada uno de los equipos se registra la información de las condiciones de la operación. A continuación, en la Figura 16 se muestra un ejemplo de un diagrama mediante la utilización de equipos.

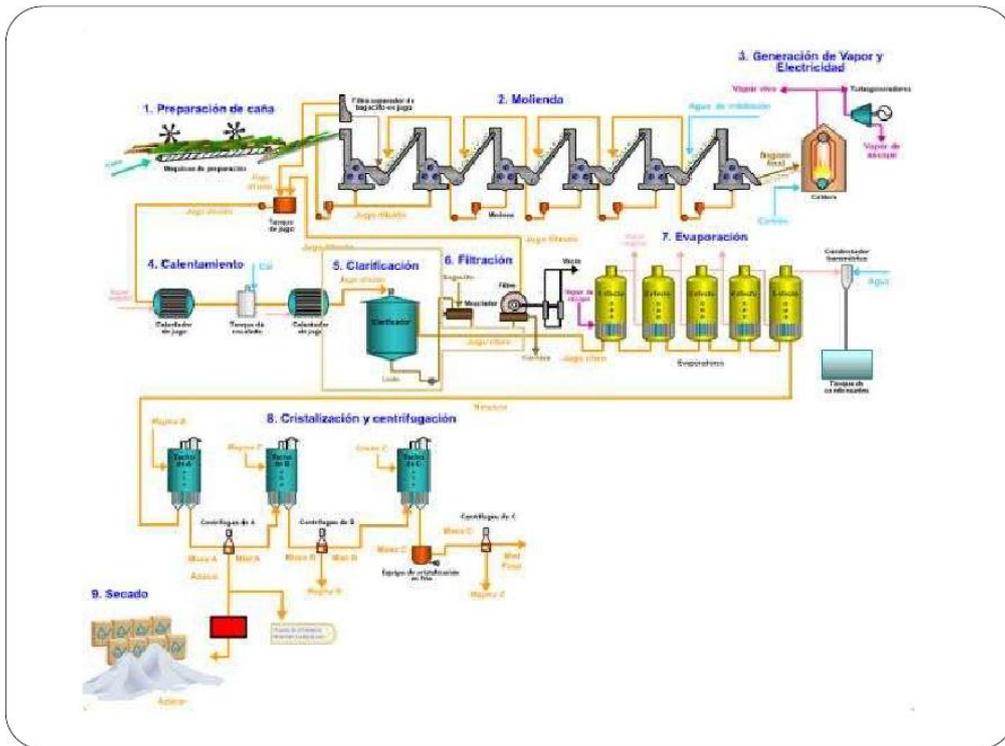


Figura 16. Diagrama con equipos

Fuente: (Academia, 2018)

Como se presenta en la Figura 16 podemos observar la utilización grafica de los equipos en cada uno de los procesos involucrados en la elaboración del producto.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este capítulo se procede a realizar la metodología que se va a aplicar en la elaboración de madera plástica mediante cuatro componentes:

1. Diseño del proceso de producción de madera plástica a partir de polímeros post consumo
2. Definición de los polímeros post consumo que se van a utilizar en la elaboración de madera plástica.
3. Determinación de los polímeros post consumo que se van a aplicar en la elaboración de madera plástica.
4. Fabricación de prototipos de madera plástica para cada compuesto.

3.1 DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

En este componente se procederá a realizar la descripción de cada una de las etapas por las cuales se logrará obtener el diseño del proceso de elaboración de madera plástica mediante la revisión del estado del arte a través de la metodología correspondiente. Las etapas son:

- Revisión de las tecnologías de reciclaje
- Revisión de los procesos de elaboración
- Matriz de caracterización combinada
- Descripción de los procesos

3.1.1 REVISIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE

Para determinar las tecnologías de reciclaje (mecánicas, térmicas y químicas) se realizó mediante la revisión del estado para la elaboración de madera plástica a través de una matriz de caracterización la cual contiene la información bibliográfica de revistas y artículos científicos.

3.1.2 REVISIÓN DE LOS PROCESOS DE ELABORACIÓN

Se realizó la revisión bibliográfica a través del estado del arte de los procesos involucrados en la producción de madera plástica, la cual se detalló mediante una matriz de caracterización los procesos más relevantes, los cuales fueron fundamentales para establecer la secuencia de los procesos.

3.1.3 MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN COMBINADA

A partir de los puntos anteriores se procedió a realizar una matriz de caracterización de la línea de producción de madera plástica reciclada a través de la combinación y articulación entre la matriz de caracterización de tecnologías de reciclaje y la matriz de caracterización de procesos, en la cual se obtuvo información más específica.

3.1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

En esta etapa se procede a realizar una descripción de la metodología a utilizarse para la descripción de los procesos involucrados, para ello se desarrollará una matriz de caracterización en cada proceso de producción, una ficha del proceso, una matriz SIPOC, diagrama de flujo y diagrama de flujo con equipos.

3.1.4.1 MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS

Para la realización de esta matriz se logró tener la información correspondiente de la matriz de caracterización combinada en la que constan los componentes necesarios de la línea de producción. En esta matriz constan todos los procesos involucrados en la elaboración de madera plástica.

3.1.4.2 FICHA DEL PROCESO

La ficha del proceso describe de una manera específica la información de los componentes de cada uno de los procesos que intervienen en la fabricación de madera plástica. A continuación, en la Tabla 23 se muestra la plantilla que se va a utilizar.

Tabla 23. Plantilla de una ficha del proceso

FICHA DEL PROCESO	
NOMBRE DEL PROCESO	
ENTRADA	SALIDA
FLUJOGRAMA	
PROCESO ANTERIOR	
RECURSOS	INDICADORES

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 23 consta el nombre del proceso, las entradas y salidas, además consta de un

flujograma del proceso, el proceso antecesor, así como los recursos e indicadores que lleva cada uno.

3.1.4.3 MATRIZ SIPOC

Se desarrolló la matriz SIPOC para analizar de una manera más detallada los componentes en cada proceso en las cuales constan las partes involucradas en las cuales se tiene que tener en cuenta cuales son los proveedores, las entradas, el proceso, las salidas y el destino final.

3.1.4.4 DIAGRAMA DE FLUJO

Se detalló gráficamente los procesos que conforman la elaboración de madera plástica mediante un diagrama de flujo en el cual están representados todos los componentes que conforman todo el proceso productivo a través de una matriz.

3.1.4.5 DIAGRAMA DE FLUJO CON EQUIPOS

Se representa de manera gráfica mediante una matriz de caracterización de los procesos con equipos la cual se detalla todo el flujo productivo de la elaboración de madera plástica a partir de polímeros post consumo, además constan las entradas, salidas, íconos del equipo.

3.2 DEFINICIÓN DE LOS POLÍMEROS POST CONSUMO

Para la realización de este componente se procederá a realizar una revisión del estado del arte de los diferentes polímeros que son utilizados y así poder definir los compuestos de madera plástica a través de la matriz de caracterización de compuestos.

3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS

A través de la revisión bibliográfica tanto de revistas como de artículos científicos se desarrolló por medio del estado del arte la composición de la madera mediante la aplicación de

una matriz de caracterización de compuestos (polímero y fibra), en la cual se definen el tipo de polímero y fibra con sus cantidades correspondientes.

3.3 DETERMINACIÓN DE LOS POLÍMEROS POST CONSUMO

Para determinar el o los polímeros que se van a utilizar se procederá a seleccionar el polímero en el cual se va a desarrollar el proyecto según la matriz de caracterización del compuesto.

3.3.1 SELECCIÓN DE POLÍMEROS

La selección del polímero estará fundamentada en los resultados obtenidos en la revisión de la matriz de caracterización del compuesto, así también en la disponibilidad del material en el entorno. la cual proveerá la información específica del polímero que va a ser utilizado en el proceso de fabricación.

3.4 FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS PARA CADA COMPUESTO

En este componente a través de la revisión del estado del arte se definirá las condiciones operacionales para cada uno de los procesos para la fabricación de madera plástica para lo cual se determinará mediante la realización detallada del procedimiento en cada proceso.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos de los análisis realizados mediante la información realizada a través del estado del arte y la experimentación que se realizó para la elaboración de madera plástica en el laboratorio de procesos físicos de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica del Norte.

4.1 DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Se procede a presentar los resultados que se obtuvieron a través de la aplicación de las metodologías mencionadas en el capítulo anterior.

4.1.1 TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE

Para determinar las tecnologías de reciclaje (mecánicas, térmicas y químicas) se realizó mediante la revisión del estado para la elaboración de madera plástica a través de una matriz de caracterización la cual contiene la información bibliográfica de revistas y artículos científicos. En la Tabla 24 se presenta la matriz de caracterización de las tecnologías de reciclaje.

Tabla 24. Matriz de caracterización de las tecnologías de reciclaje

Matriz de caracterización tecnologías de reciclaje para la elaboración de madera plástica					
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA			TECNOLOGÍAS		
Nro.	Tema	Autor y Año	Mecánica	Térmica	Química
1	Fibra de madera extraída con agua caliente para producción de compuestos plásticos de madera	(Pelaez, Yadama, Lowell , Amidon, & Chaffee, 2013)	1	1	
2	Efectos del tamaño y contenido de partículas del casco de arroz en las propiedades mecánicas y apariencia visual de compuestos plásticos de madera preparados a partir de poli (cloruro de vinilo)	(Petchwattana & Covavisaruch, 2013)	1		

3	Compuesto plástico de madera con nanoplaquetas de grafeno	(Sheshmani, Ashori, & Arab Fashapoyeh, 2013)	1	1	
4	Predicción mediante simulación numérica del comportamiento mecánico de las estructuras que lindan con la madera compuesta / plástico (Compuesto plástico de madera -WPC)	(Sammouda & Mbarek, 2013)	1		1
5	Ecotoxicidad y deterioro fúngico de compuestos reciclados de polipropileno / madera: Efecto del contenido de madera y acoplamiento	(Sudár , y otros, 2013)	1	1	1
6	Caracterización física y mecánica de un polipropileno reciclado y harina de madera sin aditivos.	(Battistelle, Viola, Bezerra, & Valarelli, 2014)	1	1	
7	La influencia de diferentes rellenos de tipo de carbono en la mecánica y Propiedades físicas del WPC coextruido basado en PP	Turku, I., Kärki, T. (2014)	1		1
8	Preparación de láminas compuestas de plástico de madera por extrusión lateral de maderas sólidas usando su fluidez	(Tsunehisa, y otros, 2014)	1	1	
9	Torneado de compuestos plásticos de madera por chorro de agua y chorro de agua abrasiva	(Hutyrová, y otros, 2015)	1		
10	Compuestos de madera y plástico sostenibles a partir de poliamida de base biológica 11 y fibras de haya químicamente modificadas	(Zierdt, y otros, 2015)	1	1	1
11	Potenciales de sustitución de HDPE reciclado y partículas de madera de residuos de envases post consumo en compuestos de madera y plástico	(Sommerhuber, Philipp; Welling, Johannes; Krause, Andreas, 2015)	1	1	
12	Reometría en línea de polipropileno, compuestos de polímero de madera	(Mazzanti & Mollica, 2015)	1	1	
13	Uso potencial de madera en descomposición en la producción de madera	(Ayrlimis, Kaymakci, & Güleç, 2015)	1	1	
14	La evaluación del ciclo de vida de los materiales compuestos de madera y plástico: análisis de materiales alternativos e identificación de una opción de fin de vida útil para el medio ambiente	(Sommerhuber, Wenker, Rüter, & Krause, 2016)	1	1	
15	Análisis de propiedades físico-mecánicas de compuestos basados en Polilactida y fibras de madera térmicamente modificadas	(Galyavetdinov, Sagin, & Voronin, 2016)	1	1	
16	Degradación fúngica de compuestos plásticos de madera hechos con residuos de madera térmicamente modificados	(Kuka, y otros, 2016)	1	1	1
17	Propiedades mecánicas y térmicas de las fibras de madera reforzadas con poli (ácido láctico) / compuestos de almidón termoplástico	(Raghu, Kale, Raj, Aggarwall, & Chauhan, 2017)	1	1	

18	Compuestos de plástico de madera preparados a partir de poli (succinato de butileno) biodegradable y aserrín de Birmania Padauk (Pterocarpus macrocarpus): cinética de absorción de agua e investigaciones de la exposición a la luz del sol.	(Petchwattana, Sanetuntikul, Sriromreun, & Narupai, 2017)	1	1	
19	Preparación y caracterización del compuesto plástico de madera compuesto por fibra de cáscara de Durian y espuma de poliestireno reciclado	(Chun Koay, y otros, 2017)		1	1
20	Compuestos plásticos de madera (WPC) basados en alta densidad contrachapado de madera de polietileno y abedul residuos de producción	(Kajaks, Kalnins, & Naburgs, 2017)	1	1	
21	Propiedades mecánicas de los compuestos de madera y plástico hechos de varias especies de madera con diferentes compatibilizadores	(Effah, Van Reenen, & Meincken, 2018)	1	1	
22	Uso potencial de diferentes tipos de carbono en producción de compuesto de plástico de madera descompuesto	(Ge, Ma, Jiang, Liu, & Peng, 2017)	1	1	1
23	Monitoreo de las dimensiones de la fibra después de un nuevo enfoque de composición de madera y plástico	(Mertens, Benthien, & Kause , 2017)	1	1	
24	Procesamiento de compuesto híbrido de madera y plástico reforzado con fibras cortas de PET	(Perisic, y otros, 2017)	1	1	1
25	Estudio de materiales compuestos de madera-plástico reutilizado con polietileno de alta densidad y serrín de madera	(Horta, Simões, & Mateus, 2017)	1	1	
26	Compuestos plásticos de madera (WPC) basados en residuos de producción de madera contrachapada de polietileno y abedul de alta densidad	(Kajaks, Kalnins, & Naburgs, 2017)	1	1	
27	Compuestos de madera y plástico basados en HDPE e iónicos aditivos líquidos	(Croitoru, y otros, 2017)	1		1
28	Matrices poliméricas alternativas para compuestos de madera y plástico: efectos sobre las propiedades mecánicas y la resistencia a la intemperie natural	(Ratanawilai & Taneerat, 2018)	1	1	
29	Propiedades mecánicas de compuestos de madera y plástico hechos de varias especies de madera con diferentes compatibilizadores	(Effah, Van Reenen, & Meincken, 2018)	1	1	
30	Durabilidad de los compuestos de madera y plástico fabricados con plástico reciclado	(Turku, Kärki , & Puurtinen, 2018)	1	1	1
Total:			29	25	10
% Participación:			45%	39%	16%

Fuente: Elaboración Propia

Como se indica en la Tabla 24 se procedió a seleccionar treinta citas referentes a los WPC en las que constan que las tecnologías mecánica y térmica son comúnmente más utilizadas en la fabricación de compuestos de madera plástica. un 45% mecánica y un 39% térmica lo cual

no representa una gran diferencia debido a que ambas trabajan conjuntamente en muchos de los casos. Con respecto a la tecnología química ésta representa un 16% debido a que se la utiliza para casos especiales.

4.1.2 PROCESOS DE ELABORACIÓN

Se realizó la revisión bibliográfica a través del estado del arte de los procesos involucrados en la producción de madera plástica, la cual se detalló mediante una matriz de caracterización los procesos más relevantes entre los que constan los siguientes: acondicionamiento, molido, mezcla, moldeado, compactado. A continuación, en la Tabla 25 se presenta la matriz de caracterización de los procesos involucrados en los compuestos de madera plástica.

Tabla 25. Matriz de caracterización de los procesos

Matriz de caracterización de procesos para la elaboración de madera plástica reciclada							
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA			PROCESOS				
Nro.	Tema	Autor y Año	Selección	Trituración	Mezcla	Moldeado	Compactado
1	Fibra de madera extraída con agua caliente para producción de compuestos plásticos de madera	(Pelaez, Yadama, Lowell , Amidon, & Chaffee, 2013)			1		
2	Efectos del tamaño y contenido de partículas del casco de arroz en las propiedades mecánicas y apariencia visual de compuestos plásticos de madera preparados a partir de poli (cloruro de vinilo)	(Petchwattana & Covavisaruch, 2013)	1	1	1		
3	Compuesto plástico de madera con nanoplaquetas de grafeno	(Sheshmani, Ashori, & Arab Fashapoyeh, 2013)		1	1	1	1
4	Predicción mediante simulación numérica del comportamiento mecánico de las estructuras que lindan con la madera compuesta / plástico (Compuesto plástico de madera -WPC)	(Sammouda & Mbarek, 2013)			1	1	1
5	Ecotoxicidad y deterioro fúngico de compuestos reciclados de polipropileno / madera: Efecto del contenido de madera y acoplamiento	(Sudár , y otros, 2013)	1	1			
6	Caracterización física y mecánica de un polipropileno reciclado y harina de madera sin aditivos.	(Battistelle, Viola, Bezerra, & Valarelli, 2014)	1	1	1	1	1
7	La influencia de diferentes rellenos de tipo de carbono en la mecánica y Propiedades físicas del WPC coextruido basado en PP	(Turku, Kärki , & Puurtinen, 2018)			1		
8	Preparación de láminas compuestas de plástico de madera por extrusión lateral de maderas sólidas usando su fluidez	(Tsunehisa, y otros, 2014)	1		1		
9	Torneado de compuestos plásticos de madera por chorro de agua y chorro de agua abrasiva	(Hutyrová, y otros, 2015)			1		

10	"Compuestos de madera y plástico sostenibles a partir de poliamida de base biológica 11 y fibras de haya químicamente modificadas "	(Zierdt, y otros, 2015)	1		1		
11	Potenciales de sustitución de HDPE reciclado y partículas de madera de residuos de envases post consumo en compuestos de madera y plástico	(Sommerhuber, Philipp; Welling, Johannes; Krause, Andreas, 2015)	1	1	1	1	1
12	Reometría en línea de polipropileno, compuestos de polímero de madera	(Mazzanti & Mollica, 2015)	1		1		
13	Uso potencial de madera en descomposición en la producción de madera	(Ayrilmis, Kaymakci, & Güleç, 2015)	1	1	1	1	1
14	La evaluación del ciclo de vida de los materiales compuestos de madera y plástico: análisis de materiales alternativos e identificación de una opción de fin de vida útil para el medio ambiente	(Sommerhuber, Wenker, Rüter, & Krause, 2016)	1	1	1		
15	Análisis de propiedades físico-mecánicas de compuestos basados en Polilactida y fibras de madera térmicamente modificadas	(Galyavetdinov, Sagin, & Voronin, 2016)	1	1	1	1	1
16	Degradación fúngica de compuestos plásticos de madera hechos con residuos de madera térmicamente modificados	(Kuka, y otros, 2016)		1	1	1	1
17	Propiedades mecánicas y térmicas de las fibras de madera reforzadas con poli (ácido láctico) / compuestos de almidón termoplástico	(Raghu, Kale, Raj, Aggarwall, & Chauhan, 2017)			1	1	1
18	Compuestos de plástico de madera preparados a partir de poli (succinato de butileno) biodegradable y aserrín de Birmania Padauk (Pterocarpus macrocarpus): cinética de absorción de agua e investigaciones de la exposición a la luz del sol.	(Petchwattana, Sanetuntikul, Sriromreun, & Narupai, 2017)			1	1	1
19	Preparación y caracterización del compuesto plástico de madera compuesto por fibra de cáscara de Durian y espuma de poliestireno reciclado	(Chun Koay, y otros, 2017)			1	1	1
20	Compuestos plásticos de madera (WPC) basados en alta densidad contrachapado de madera de polietileno y abedul residuos de producción	(Kajaks, Kalnins, & Naburgs, 2017)		1	1	1	1
21	Propiedades mecánicas de los compuestos de madera y plástico hechos de varias especies de madera con diferentes compatibilizadores	(Effah, Van Reenen, & Meincken, 2018)		1	1	1	
22	Uso potencial de diferentes tipos de carbono en producción de compuesto de plástico de madera descompuesto	(Ge, Ma, Jiang, Liu, & Peng, 2017)		1	1	1	1
23	Monitoreo de las dimensiones de la fibra después de un nuevo enfoque de composición de madera y plástico	(Mertens, Benthien, & Kaue, 2017)		1	1	1	1
24	Procesamiento de compuesto híbrido de madera y plástico reforzado con fibras cortas de PET	(Perisic, y otros, 2017)	1	1	1	1	1
25	Estudio de materiales compuestos de madera-plástico reutilizado con	(Horta, Simões, & Mateus, 2017)		1	1	1	1

	polietileno de alta densidad y serrín de madera						
26	Compuestos plásticos de madera (WPC) basados en residuos de producción de madera contrachapada de polietileno y abedul de alta densidad	(Kajaks, Kalnins, & Naburgs, 2017)	1	1	1	1	1
27	Compuestos de madera y plástico basados en HDPE e iónicos aditivos líquidos	(Croitoru, y otros, 2017)		1	1	1	1
28	Matrices poliméricas alternativas para compuestos de madera y plástico: efectos sobre las propiedades mecánicas y la resistencia a la intemperie natural	(Ratanawilai & Taneerat, 2018)		1	1	1	1
29	Propiedades mecánicas de compuestos de madera y plástico hechos de varias especies de madera con diferentes compatibilizadores.	(Effah, Van Reenen, & Meincken, 2018)		1	1	1	
30	Durabilidad de los compuestos de madera y plástico fabricados con plástico reciclado	(Turku, Kärki, & Puurtinen, 2018)		1	1	1	
Total:			12	20	29	21	18
% Participación:			12%	20%	29%	21%	18%

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 25 se realiza una ponderación de “1” si existe o se deja la casilla en blanco en el caso de que no exista el proceso en la elaboración de compuestos de madera plástica realizados por otros autores. Con la revisión de las treinta citas el resultado de participación obtenido indica que no existe mucha diferencia porcentual lo cual demuestra que los procesos planteados: selección cuenta con un 12%, triturado un 20%, mezcla un 29%, moldeado un 21%, y compactado un 18%, agregándole el proceso de pulverizado son los que se van a utilizar en la elaboración de madera plástica a partir de polímeros post consumo.

4.1.3 MATRIZ COMBINADA PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Se procedió a realizar una matriz de caracterización de la línea de producción de madera plástica reciclada a través de la combinación y articulación entre la matriz de caracterización de tecnologías de reciclaje y la matriz de caracterización de procesos, en la cual se obtuvo información más específica. En la Tabla 26 se muestra la matriz de la línea de producción de madera plástica.

Tabla 26. Matriz de caracterización combinada

Matriz de caracterización de la línea de producción de madera plástica						
Tecnologías y Procesos	Mecánico	Térmico	OTROS	Variables	Condición Proceso	Norma
Selección			*Selección manual de los diferentes polímeros y fibras de acuerdo con su clasificación	*Tipo de polímeros *Tipo de fibras	*Envases limpios *Fibras sin contaminantes	
Triturado	*Polímero: *Maquinaria: Trituradora - Molino *Método: por medio de molinos se tritura una escama de acuerdo con la proporción seleccionada de acuerdo con el tipo de material *Resultado: escama			*Humedad *Tamaño de escama	*Escama de 3 a 9,5mm *1mm de tamaño de malla	
Pulverizado	*Maquinaria: Molino marca Swissmex Modelo LX 300 *Método: Las fibras son reducidas de acuerdo con el tamaño de la malla específica			Tamaño de las partículas	*Tamizador de malla 14 (1.41 mm), 20 (0.84mm), 30 (0.59mm) y 40 (0.42mm)	
Mezcla	*Maquinaria: Mezcladora *Método: Se realiza la mezcla de acuerdo con el porcentaje tanto de polímero como de fibra			*Porcentaje de polímero *Porcentaje de fibra de madera *Peso	*100% polímero *90% polímero, 10% fibra de madera *80% polímero, 20% fibra de madera *70% polímero, 30% fibra de madera	
Moldeado	*Maquinaria: Horno *Método: moldeo por transferencia de placas de 6,35mm de espesor	*Temperatura de los platos a 200°C		*Temperatura *Tiempo	*Tiempo en el horno: 30 minutos a 275°C * 1 hora adicional	*ASTM D-638-10 *ASTM D256-00 *ASTM D570 -98 *ASTM D1238 -10 *ASTM G 155-05

Compactado	* Maquinaria: Prensa de metal * Tamaño del marco de metal de 250 170 4 mm3 usando un Siempelkamp computarizado	*La temperatura de las placas de prensa 180°C.		* Fuerza * Temperatura	*La presión se ajusta a 16 ton durante 60 min.	*ASTM D4703
-------------------	---	--	--	------------------------------	--	----------------

Fuente: Elaboración Propia

Como se detalla en la Tabla 26 muestra los resultados, las variables y las condiciones que intervienen en cada proceso de manera específica según la experimentación realizada por otros autores la cual nos brinda la información necesaria que se debe tomar en cuenta al momento de realizar la experimentación propia, en las cuales la parte más fundamental se encuentra en las condiciones de cada proceso.

4.1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

Se establecen los procesos involucrados a través de diferentes herramientas como son: matriz de caracterización de procesos, ficha del proceso, matriz SIPOC, diagrama de flujo y diagrama de flujo con equipos.

4.1.4.1 MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS

En la Tabla 27 se presenta otra matriz de caracterización en cada proceso de producción de una manera más específica con los procesos involucrados con los que se va a trabajar en la línea de producción de madera plástica.

Tabla 27. Matriz de caracterización en cada proceso de producción

Matriz de caracterización de la línea de producción de madera plástica						
Nombre del Proceso	Selección	Triturado		Mezcla	Moldeado	Compactado
		Molido	Pulverizado			
Actividades	*Descartar polímeros de acuerdo con el programa de producción. *Clasificar los polímeros generados en el descarte inicial.	Triturar de los diferentes polímeros de acuerdo con el programa de producción	Pulverizar las fibras de madera según el programa de producción.	Establecer la cantidad de materia prima que se va a utilizar en el proceso	Se realiza la fusión de la mezcla compuesta mediante el proceso térmico	Compactar la masa fundida mediante el prensado
Entradas	*Polímeros *Fibras de madera	Polímeros seleccionados	Fibras de seleccionadas	Escama y fibras pulverizadas	Escama parametrizada	Material compuesto fundido
Salidas	*Polímeros seleccionados *Fibras seleccionadas	Escama	Fibras pulverizadas	Escama parametrizada	Material compuesto fundido	Probetas de madera plástica
Recursos	*Personal *Banda de selección manual	*Personal *Molino *Recipientes de almacenamiento *EPP (Equipos de protección personal) *Energía	*Personal *Pulverizadora *Recipientes de almacenamiento *EPP (Equipos de protección personal) *Energía	*Personal *Mezcladora *Balanzas *Patrones de peso *Energía	*Personal *Horno *EPP (Equipos de protección personal) *Energía	*Personal *Prensadora *EPP (Equipos de protección personal) *Energía
Condición del Proceso	*Tipo de polímero en buenas condiciones *Tipo e fibra en buen estado	*Tamaño de malla *Tamaño de escama	*Tamaño de la fibra	*Peso * % de polímero * % de fibra	*Temperatura *Tiempo	*Tiempo *Fuerza
Indicador	* Envases limpios * Fibras sin contaminantes	*Agujero de la malla de 8 mm *Escama de 8 mm	*Tamizador de malla 14 (1.41 mm), 20 (0.84mm), 30 (0.59mm) y 40 (0.42mm)	*% de polímero + % de fibra	* La temperatura se encuentra alrededor de 275°C por un tiempo determinado de 30 min	* Se aplica presión cercana a los 16 Ton durante alrededor de 60 min.

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 27 se detalla de manera específica los requerimientos para cada proceso en los que constan las entradas, salidas, los recursos que se van a utilizar, las condiciones en las que tiene que estar el proceso y el más importante en este caso son los indicadores ya que son fundamentales para al momento de tomar decisiones.

4.1.4.2 FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS

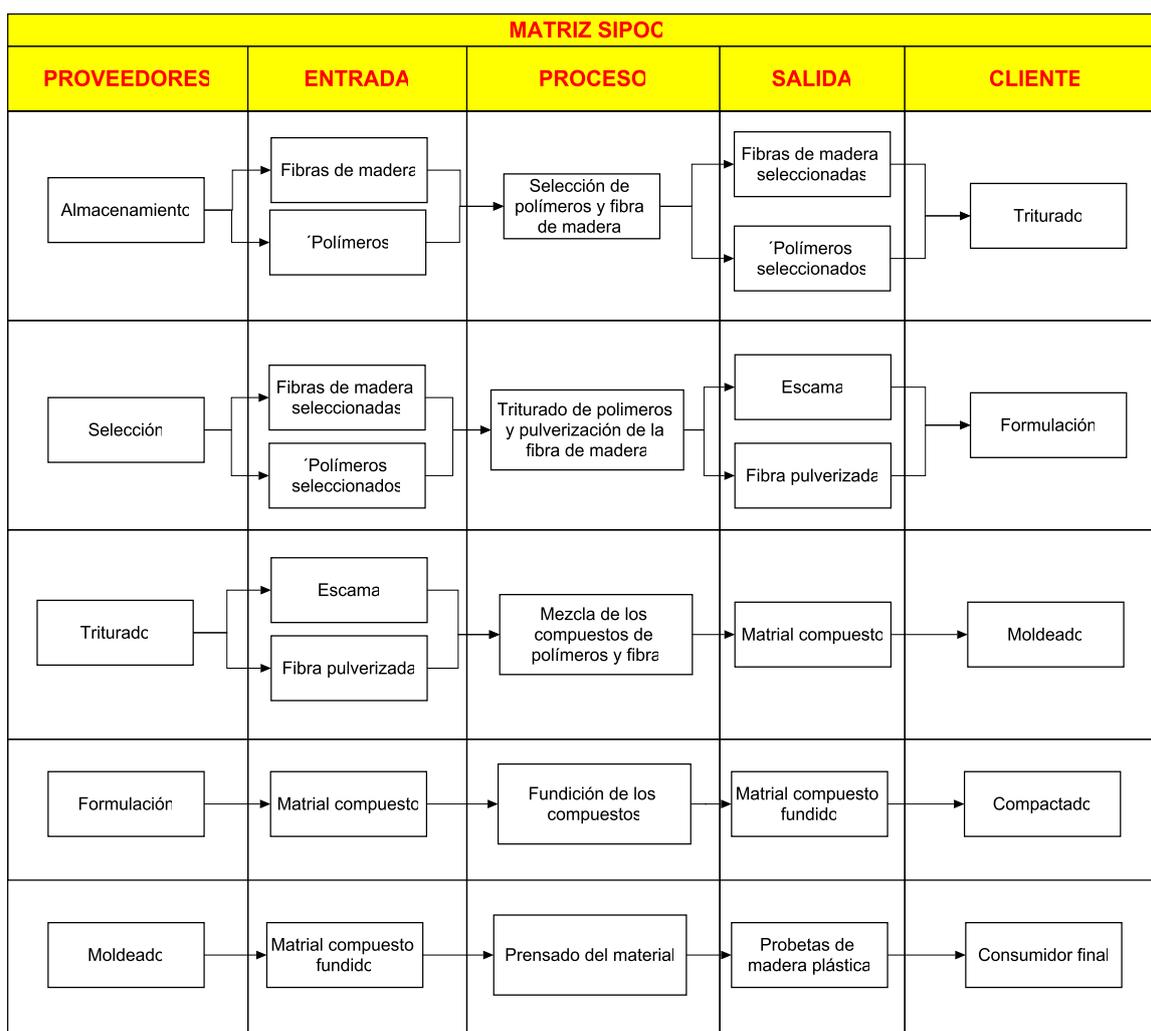
Los procesos involucrados en la elaboración de madera plástica están detallados en una ficha

de caracterización del proceso que se estableció en la Tabla 23. Estas tablas se encuentran dentro del numeral 4.4.1 “FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS PARA CADA COMPUESTO” en cada uno de los procesos correspondientes.

4.1.4.3 MATRIZ SIPOC

Se desarrolló la matriz SIPOC para analizar de una manera más detallada los componentes en cada proceso en las cuales constan las partes involucradas en las que intervienen los proveedores, las entadas, el proceso, las salidas y el destino final. En la Tabla 28 se presenta la matriz SIPOC.

Tabla 28. Matriz SIPOC



Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 28 la matriz SIPOC está compuesta por cinco filas una para cada proceso. En la fila superior se encuentra el proceso de selección seguido del proceso de trituración y pulverizado, en la tercera fila se encuentra el proceso de mezcla, seguido del proceso de moldeado y en la última fila se encuentra el proceso de compactado.

4.1.4.4 DIAGRAMA DE FLUJO

Se detalló gráficamente los procesos que conforman la elaboración de madera plástica mediante un diagrama de flujo en el cual están representados todos los componentes que conforman todo el proceso productivo. En la Tabla 29 se muestra la matriz de caracterización del flujograma.

Tabla 29. Flujograma del proceso de fabricación

MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN					
FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MADERA PLÁSTICA					
DETALLE	SELECCIÓN	TRITURADO	MEZCLA	MOLDEADO	COMPACTADO
Diagrama de Flujo	<pre> graph TD INICIO([INICIO]) --> SELECCION[Selección de polímeros y fibra de madera] SELECCION --> MOLINO[Molido de los polímeros] SELECCION --> PULVERIZADO[Pulverizado de las fibras de madera] MOLINO --> MEZCLA[Mezcla del polímero con la fibra de madera] PULVERIZADO --> MEZCLA MEZCLA --> HORNEADO[Horneado del material compuesto] HORNEADO --> Prensado[Prensado del material compuesto fundido] Prensado --> FIN([FIN]) </pre>				
Entradas	Polímeros Fibras vegetales	Polímeros seleccionados Fibras seleccionadas	Escama Fibra pulverizada	Material compuesto	Material compuesto fundido
Salidas	Polímeros seleccionados Fibras seleccionadas	Escama Fibra pulverizada	Material compuesto	Material compuesto fundido	Prototipos de madera plástica

Fuente: Elaboración Propia

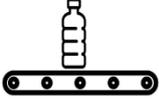
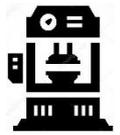
Recursos	Personal Banda se selección manual	Personal Molino Pulverizadora Recipientes de almacenamiento EPP (Equipos de protección personal) Energía	Personal Balanzas Patrones de medidas Energía	Personal Horno EPP (Equipos de protección personal) Energía	Personal Prensadora EPP (Equipos de protección personal) Energía
-----------------	---------------------------------------	---	--	--	---

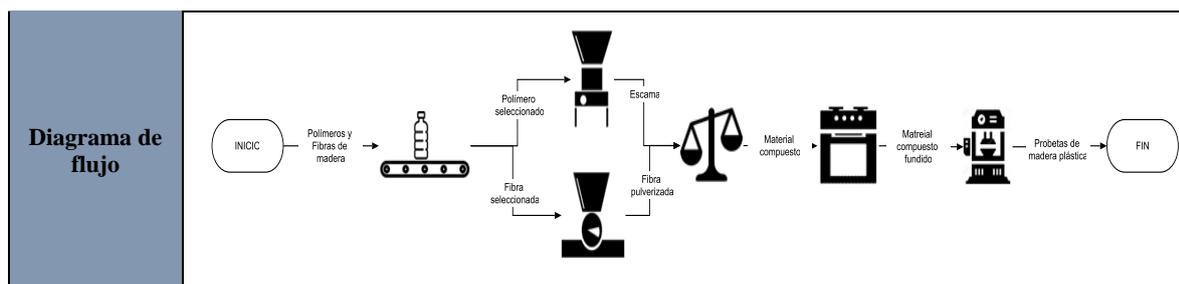
Como se muestra en la Tabla 29 la matriz está compuesta por el diagrama de flujo en la fila superior la cual nos indica la secuencia del proceso de elaboración de madera plástica, seguido tenemos las entradas y salidas que intervienen en cada proceso y finalmente los recursos necesarios los cuales son importantes tener en cuenta al momento de ejecutar cada proceso.

4.1.4.5 DIAGRAMA DE FLUJO CON EQUIPOS

Se representa de manera gráfica mediante una matriz de caracterización de los procesos con equipos la cual se detalla todo el flujo productivo de la elaboración de madera plástica a partir de polímeros post consumo. En la Tabla 30 representa la matriz de los procesos con sus correspondientes equipos.

Tabla 30. Matriz de caracterización del proceso con equipos

MATRIZ DE CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO CON EQUIPOS					
Proceso	SELECCIÓN	TRITURADO	MEZCLA	MOLDEADO	COMPACTADO
Entrada	*Polímeros *Fibras de madera	*Polímeros seleccionados *Fibras seleccionadas	Escama Fibra pulverizada	Material compuesto	Material compuesto fundido
Salida	*Polímeros seleccionados *Fibras seleccionadas	Escama Fibra pulverizada	Material compuesto	Material compuesto fundido	Probetas de madera plástica
Equipo	Bandas transportadoras	Molino Pulverizadora	Mezcladora	Horno	Prensa
Ícono del Equipo					



Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 30 la matriz está compuesta por el nombre de cada proceso, las entradas y salidas correspondientes, los nombres de los equipos que se van a utilizar, el símbolo de cada equipo el cual es fundamental al momento de reconocer de forma gráfica el tipo de proceso y finalmente el diagrama de flujo con equipos de los procesos que intervienen en la fabricación de madera plástica.

4.2 DEFINICIÓN DE LOS POLÍMEROS POST CONSUMO

En esta sección se procede a realizar la utilización del porcentaje de polímero como el porcentaje de fibra que se utilizó en experimentos anteriores por otros autores mediante una matriz de caracterización de compuestos

4.2.1 CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS

A través de la revisión bibliográfica tanto de revistas como de artículos científicos se desarrolló por medio del estado del arte la composición de la madera mediante la aplicación de una matriz de caracterización de compuestos (polímero y fibra), en la cual se definen el tipo de polímero y fibra con sus cantidades correspondientes. En la Tabla 31 se presenta la matriz de caracterización del compuesto.

Tabla 31. Matriz de caracterización del compuesto

Matriz de caracterización del compuesto para la elaboración de madera plástica reciclada

Nro.	Revisión Bibliográfica		Compuesto			
	Tema	Autor y Año	Polímero	Fibra	% de polímero	% de fibra
1	Compuestos de plástico de madera preparados a partir de poli (succinato de butileno) biodegradable y aserrín de Birmania Padauk (Pterocarpus macrocarpus): cinética de absorción de agua e investigaciones de la exposición a la luz del sol.	(Petchwattana, Sanetuntikul, Sriromreun, & Narupai, 2017)	Succinato de butileno	Aserrín de Birmania	*90% *80% *70%	*10% *20% *30%
2	Explorando el potencial del tallo de algodón en la fabricación de plástico de madera	(Jamalirad, Aminian, & Hedjazi, 2018)	Polipropileno (PP)	Tallo de algodón	*60%	*40%
3	Caracterización física y mecánica de un polipropileno reciclado y harina de madera sin aditivos.	(Battistelle, Viola, Bezerra, & Valarelli, 2014)	Polipropileno (PP)	Pinus taeda y Pinus elliotti	*100% *90% *80% *70%	*0% *10% *20% *30%
4	Monitoreo de las dimensiones de la fibra después de un nuevo enfoque de composición de madera y plástico	(Mertens, Benthien, & Kause, 2017)	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Astillas de abeto	*50%	*50%
5	Estudio de materiales compuestos de madera-plástico reutilizado con polietileno de alta densidad y serrín de madera	(Horta, Simões, & Mateus, 2017)	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Aserrín de madera	*45%	*55%
6	Caracterización mecánica y morfológica de Termoplásticos reciclados espumados reforzados con Sub productos de madera	(Moreno, Rodrigue, Giroux, Ballerini, & Gacitúa, 2013)	(PET, PVC [cloruro de polivinilo], PEAD, PP, PEBD, PS [Poliestireno], Otros	Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret & Golfari	*50%	*50%
7	Compuestos plásticos de madera (WPC) basados en residuos de producción de madera contrachapada de polietileno y abedul de alta densidad	(Kajaks, Kalnins, & Naburgs, 2017)	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Abedul	*30% *40% *50%	*70% *60% *40%
8	Reometría en línea de polipropileno Compuestos de polímero de madera	(Mazzanti & Mollica, 2015)	Polipropileno (PP)	Abeto	*70%	*30%
9	Preparación de láminas compuestas de plástico de madera por extrusión lateral de maderas sólidas usando su fluidez	(Tsunehisa, y otros, 2014)	Fenol formaldehído (PF)	Cryptomeria japonica	*30%	*70%
10	Matrices poliméricas alternativas para compuestos de madera y plástico: efectos sobre las propiedades mecánicas y la resistencia a la intemperie natural	(Ratanawilai & Taneerat, 2018)	DPE, HDPE, PVC, PP, PS	harina de caucho (RWF)	*60% *50% *40%	*40% *50% *60%
11	Madera plástica con PET de post consumo y paja de trigo	(García, Amado, Casados, & Brito, 2013)	PET	Paja de trigo	*70% *60% *50% *40%	*60% *50% *40% *30%
12	Fabricación de madera plástica a partir de serrín de hueso de aceituna y polipropileno.	(Naghmouchi, y otros, 2013)	Polipropileno (PP)	Aserrín de hueso de aceituna	*60%	*40%
13	El efecto de cuatro métodos de activación de superficie para mejorar la adhesión de compuestos de madera y polímero (WPC)	(Dimitriou, Hale, & Spear, 2016)	Polipropileno (PP)	Abeto de noruega	*40%	*60%
14	Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los tableros de madera plástica producidos en Cuba respecto a los tableros convencionales	(Martínez, Fernández, Álvarez, García, & Martínez, 2014)	(PEAD, PEBD, PP, PET)	Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret & Golfari	*40%	*60%

15	La influencia de la meteorización acelerada sobre las propiedades mecánicas y físicas de los compuestos de madera y plástico	(Kallakas, Poltimäe, Maaja Süld, Kers, & Krumme, 2015)	Polipropileno (PP)	Chips de Abedul	*80%	*20%
16	Evaluación de las propiedades mecánicas de los perfiles extruidos a partir de mezclas de polímeros reciclados para la fabricación de estibas de maderas plásticas en Maderpol S.A.	(Ospina Restrepo, 2014)	*Polietileno (PE) *Polipropileno (PP)		*50% PE *50% PP	
17	Estudio del uso de las composiciones de plástico, madera y madera plástica	(Müzel, 2017)	Polipropileno (PP)	Harina de madera	*30%	*60%
18	Evaluación de los parámetros de operación adecuados para el procesamiento de la madera plástica, fabricada a partir de residuos de aserrín y polietileno de baja densidad de reciclado primario	(Guerra Salazar, María Eugenia, 2014)	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Aserrín	*50% *40% *30%	*50% *60% *70%
19	Optimización de un compuesto plástico de madera para arquitectura	(Martins, Antunes, Mateus, & Malça, 2017)	*Polietileno de alta densidad (HDPE)		*70%	*30%
20	Obtención experimental de un material biocompuesto a base de una matriz polimérica y reforzada con fibras naturales de guadúa angustifolia, proveniente del Ecuador	(Valarezo Jaramillo, 2013)	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Guadúa	*90%	*10%
21	Propuesta de plan de negocios para la implementación de una empresa productora de madera plástica a partir del reciclaje de polietileno de alta densidad y otros materiales termoplásticos	(Rodríguez Salas, 2016)	*Polietileno de alta densidad (HDPE) *PET		*75% HDPE *15% PET	
22	Los efectos de los rellenos lignocelulósicos sobre las propiedades mecánicas, morfológicas y térmicas de los compuestos de polímeros de madera	(Sözan, Aydemir, & Zor, 2017)	Polipropileno (PP)	Harina de madera	*100% *90% *80% *70% *60%	*0% *10% *20% *30% *40%
23	Preparación y propiedades de compuestos plásticos de madera hechos de polietileno reciclado de alta densidad	(2013) (Nourbakhsh & Ashori, 2009)	Polietileno de alta densidad (HDPE)	fibra de álamo (Populus deltoides)	*20% *30% *45%	*80% *70% *55%
24	Evaluación técnica y plan de negocios para la Producción de mobiliario de "madera plástica", Formulada con PET reciclado y aserrín	(Blanco Alcalá, 2006)	PET	Aserrín	*10%	*90%
25	Compuestos de madera y plástico como posibles aplicaciones de plásticos reciclados de desechos electrónicos y tableros de partículas reciclados	(Sommerhuber, Wenker, Rüter, & Krause, 2016)	Poliestireno	piceas de Noruega	*70%	*30%
26	Propiedades mecánicas de un compuesto de plástico de madera extruido	(Hugot & Cazaurang, 2009)	Polietileno de alta densidad HDPE	Aserrín	*40%	*60%
27	Efectos del contenido de harina de corteza y madera de pinus radiata sobre la biodegradación acelerada de compuestos madera-plástico.	(Moya, Osés, Poblete, & Valenzuela, 2014)	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Pinus radiata	*80% *60%	*20% *40%
28	Material compuesto de matriz polipropileno (PP) y fibra de cedro: influencia del compatibilizante PP-g-MA.	(Caicedo, Vásquez, Crespo, De La Cruz, & Ossa, 2015)	Polipropileno (PP)	Fibra de cedro	*80%	*20%
29	Uso potencial de madera en descomposición en la producción de madera	(Ayrlimis, Kaymakci, & Güleç, 2015)	Polipropileno (PP)	Pinus sylvestris	*70%	*30%
30	Estudio de la implementación de residuos de madera, plásticos y poliestirenos para diversas aplicaciones en la industria de la construcción	(Chanhou, Padonou, Codjo Adjovi, Olodo, & Doko, 2018)	Poliestireno	Aserrín	*80%	*20%

Fuente: Elaboración Propia

Como se detalla en la Tabla 31 de las treinta citas nos indica las composiciones que son utilizadas las cuales están mayor relacionadas las siguientes composiciones: 90% de polímero con 10% de fibra, 80% de polímero con 20% de fibra, 70% de polímero con 30% de fibra, 60% de polímero con 40% de fibra. Para la realización de los prototipos de madera plástica se utilizará la composición 80% de polímero con 20% de fibra debido a que esta relación presentó mejores resultados. A continuación, en la Tabla 32 muestra el resultado de los polímeros utilizados en la Tabla 31.

Tabla 32. Resultados de la matriz de caracterización del compuesto

Polímero	Cantidad	Porcentaje
PET	5	15,15%
HDPE	9	27,27%
LDPE	4	12,12%
PP	15	45,45%
Total	33	100,00%

Fuente: Elaboración Propia

Como se indica en la Tabla 32 muestra los porcentajes de cada polímero utilizado en la Tabla 32 que indica al Polipropileno como el polímero que más se usa con un 45,45% seguido del Polietileno de alta densidad con un 27.27%, luego está el Tereftalato de polietileno con un 15.15% y finalmente el polietileno de baja densidad con un 12.12%.

4.3 DETERMINACIÓN DE LOS COMPUESTOS DE POLÍMEROS

En esta etapa se procede a realizar la selección del polímero que se va a utilizar en la elaboración de madera plástica.

4.3.1 SELECCIÓN DE POLÍMEROS

A través de la realización de la matriz de caracterización del compuesto utilizado en la

elaboración de madera plástica según la revisión del estado del arte de acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 32 y la disponibilidad existente en el entorno, además el comportamiento del material en el proceso de moldeo se procedió a seleccionar al polietileno de alta densidad (HDPE) como polímero para la elaboración de madera plástica.

4.4 ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA

En esta sección se procede a realizar la elaboración de prototipos de madera plástica para cada compuesto.

4.4.1 FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS PARA CADA COMPUESTO

Con lo mencionado anteriormente y los resultados obtenidos se procede a realizar la fabricación de prototipos de madera plástica para cada compuesto.

4.4.1.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Polímero. - Para la fabricación de madera plástica se utilizará envases vacíos sin ninguna impureza de polietileno de alta densidad (HDPE). En la Figura 17 se muestra el plástico de numeración 2 correspondiente al polietileno de alta densidad (HDPE).



Figura 17. Plástico HDPE

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 17 se observa los recipientes de polietileno de alta densidad, este material se encuentra en envases de alimentos, botellas para detergentes entre otros.

Fibra. - Se utilizará las siguientes fibras recolectadas en el entorno: maíz, cáscara de guaba, totora, caña de azúcar, y cabuya. En la Figura 18 se presentan las fibras vegetales con las que se va a desarrollar el proyecto.



Figura 18. Fibras vegetales

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 18 las fibras vegetales con las que se va a realizar los compuestos son: maíz, cáscara de guaba, totora, caña de azúcar y cabuya. En la Tabla 33 se presenta la ficha del proceso de selección

Tabla 33. Ficha del proceso de selección

FICHA DEL PROCESO	
NOMBRE DEL PROCESO	
Selección	
ENTRADA	SALIDA
Polímeros Fibras	Polímeros seleccionados Fibra seleccionada
FLUJOGRAMA	
<pre> graph TD INICIC([INICIC]) --> SELECCION[SELECCIÓN DE POLÍMEROS Y FIBRAS] SELECCION --> POLIMERO[POLÍMERO Y FIBRA SELECCIONADO] SELECCION --> FIN([FIN]) POLIMERO --> FIN </pre>	
PROCESO ANTERIOR	
Almacenamiento	
RECURSOS	INDICADORES

*Personal *Banda de selección manual	* Envases limpios
---	-------------------

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 33 se toma en cuenta todos los parámetros para el proceso de selección.

4.4.1.2 PROCESO PRIMARIO

Constituyen los procesos clave que intervienen en la fabricación de madera plástica. En el proceso primario constan los siguientes: triturado, pulverizado, mezcla, moldeado y compactado.

TRITURADO. - En este proceso el material plástico es ingresado a través de la tolva que se encuentra en la trituradora la cual es impulsado por un motor eléctrico de 220 voltios, la máquina cuenta con un acople donde se ingresa el agua para lograr que el plástico triturado tenga mejor fluidez al momento de salir, la escama obtenida se recepta en una criba la cual permite que el material se libere del agua con la cual fue triturada. A continuación, en la Figura 19 se muestra la máquina de triturado



Figura 19. Trituradora

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 19 se encuentra la máquina que se utilizó para triturar el plástico de polietileno de alta densidad para obtener la escama que se usará como materia prima. En la Figura 20 se presenta la materia prima en forma de escama



Figura 20. Escama HDPE

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Figura 20 se observa la escama resultante del proceso que se obtiene

al momento de triturar el polietileno de alta densidad. En la Tabla 34 se indica la ficha del proceso de triturado

Tabla 34. Ficha del proceso de triturado

FICHA DEL PROCESO	
NOMBRE DEL PROCESO	
Triturado	
ENTRADA	SALIDA
Polímeros seleccionados	Escama
FLUJOGRAMA	
<pre> graph TD INICIC([INICIC]) --> TRITURACION[TRITURACIÓN DE LOS POLÍMEROS] POLIMEROS[/POLÍMEROS SELECCIONADOS/] --> TRITURACION TRITURACION --> ESCAMA[/ESCAMA/] TRITURACION --> FIN([FIN]) </pre>	
PROCESO ANTERIOR	
Selección	
RECURSOS	INDICADORES
*Personal *Molino *Recipientes de almacenamiento *EPP (Equipos de protección personal) *Energía	*Agujero de la malla de 8 mm *Escama de 8 mm

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 34 se toma en cuenta todos los parámetros para el proceso de triturado.

PULVERIZADO. - Para la elaboración de los prototipos de madera plástica se requirió utilizar la fibra lo más pequeña posible en el caso del maíz, cáscara de guaba, totora y caña de azúcar, para el caso de la cabuya se utilizó la fibra de forma de filamentos. Para este proceso dese utilizó una pulverizadora impulsado con un motor de 220 voltios. A continuación, en la

Figura 21 se muestra la máquina de pulverizado.



Figura 21. Pulverizadora

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 21 se encuentra la máquina que se utilizó para pulverizar las fibras vegetales como el maíz, la cáscara de guaba, totora y la caña de azúcar. En la Figura 22 se muestran las fibras trituradas.



Figura 22. Fibras pulverizadas

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 22 se observa las fibras de maíz, cáscara de guaba, totora, caña de azúcar y totora las cuales serán utilizadas para la elaboración de madera plástica. En la Tabla 35 se indica la ficha del proceso de pulverizado.

Tabla 35. Ficha del proceso de pulverizado

FICHA DEL PROCESO	
NOMBRE DEL PROCESO	
Pulverizado	
ENTRADA	SALIDA
Fibras seleccionadas	Fibras pulverizadas
FLUJOGRAMA	
<pre> graph TD INICIO([INICIO]) --> PULVERIZADO[PULVERIZADO DE LAS FIBRAS] FIBRAS_MADERA[/FIBRAS DE MADERA/] --> PULVERIZADO PULVERIZADO --> FIBRA_PULVERIZADA[/FIBRA PULVERIZADA/] PULVERIZADO --> FIN([FIN]) </pre>	
PROCESO ANTERIOR	
Almacenamiento	
RECURSOS	INDICADORES
*Personal *Pulverizadora *Recipientes de almacenamiento *EPP (Equipos de protección personal) *Energía	*Tamizador de malla 14 (1.41 mm), 20 (0.84mm), 30 (0.59mm) y 40 (0.42mm)

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 35 se toma en cuenta todos los parámetros para el proceso de pulverizado.

MEZCLA. - Para la realización de la formulación se tomó en cuenta las dimensiones del molde que consta de 28cm de largo x 18cm de ancho x 11cm de altura. Las proporciones para cada compuesto se estableció en un 80% de polietileno de alta densidad y un 20% de fibra seleccionada. En la Tabla 36 se describe las cantidades utilizadas para cada compuesto.

Tabla 36. Composiciones

POLÍMERO SELECCIONADO	FIBRA SELECCIONADA	PESO	
		HDPE	FIBRA
Poliétileno de Alta Densidad (HDPE)	Maíz	0,6 kg	0,15 kg
	Cáscara de guaba	0,6 kg	0,15 kg
	Totora	0,6 kg	0,15 kg
	Caña de azúcar	0,6 kg	0,15 kg
	Cabuya	0,6 kg	0,15 kg
	Total	0,75 kg para cada compuesto	

Fuente: Elaboración Propia

Como se detalla en la Tabla 36 las proporciones del polietileno con las diferentes fibras es la misma cantidad para cada compuesto que va a ser colocada en el molde, eso equivale que el peso va a estar distribuido de 0.6 kg de polietileno de alta densidad y 0.15 kg de fibra lo que da un total de 0.75 kg.

Una vez seleccionado el polímero con la fibra se procede a colocarlas en el molde en forma de capas donde se mezclan de manera perfecta hasta obtener un material homogéneo. En la Figura 23 se procede a la colocación del polímero y la fibra dentro del molde.

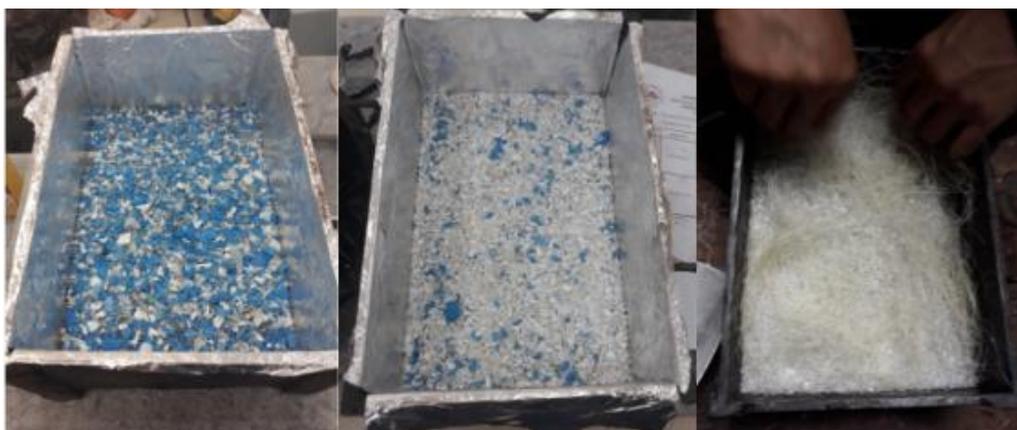


Figura 23. Colocación de material en el molde

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 23 se observa la colocación del polietileno de alta densidad con la respectiva

fibra de manera homogénea dentro del molde. En la Tabla 37 se indica la ficha del proceso de mezclado.

Tabla 37. Ficha del proceso de mezcla

FICHA DEL PROCESO	
NOMBRE DEL PROCESO	
Mezcla	
ENTRADA	SALIDA
*Escama *Fibras pulverizadas	Material Mezclado
FLUJOGRAMA	
<pre> graph TD INICIO([INICIO]) --> MEZCLADO[MEZCLADO DE LAS PARTICULAS] ESCAMA[/ESCAMA/] --> MEZCLADO FIBRA[/FIBRA PULVERIZADA/] --> MEZCLADO MEZCLADO --> MATERIAL[/MATERIAL MEZCLADO/] MEZCLADO --> FIN([FIN]) </pre>	
PROCESO ANTERIOR	
Triturado Pulverizado	
RECURSOS	INDICADORES
*Personal *Mezcladora *Balanzas *Patrones de peso *Energía	*80 % de polímero y 20% de fibra correspondiente

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 37 se toma en cuenta todos los parámetros para el proceso de mezclado.

MOLDEADO. - Para este proceso se utilizó un horno a gas al cual se le realizaron varias adecuaciones para lograr una mejor facilidad para el ingreso y salida del molde. A continuación, en la Figura 24 se muestra el horno a gas.



Figura 24. Horno

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 24 se observa el horno a gas el cual permitirá fundir el material compuesto dentro del molde.

Una vez ingresado el molde al horno se procede a realizar la medición de la temperatura mediante un pirómetro según la estimación de tiempo a través de un reloj o un cronómetro. En la Figura 25 se muestra la medición de temperatura.



Figura 25. Mediciones de temperatura

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 25 se observa la utilización del pirómetro que es un instrumento que permite medir la temperatura mediante un puntero láser. En la Tabla 38 se indica los rangos de temperatura según el tiempo.

Tabla 38. Rangos de tiempo y temperatura

	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
1	0 - 5	0 - 100
2	5 - 10	100 - 150
3	10 - 15	150 - 210
4	15 - 20	210 - 240
5	20 - 25	240 - 270
6	25 - 30	270 - 280

Fuente: Elaboración Propia

Como se evidencia en la Tabla 38 se establece los rangos de temperatura de acuerdo al tiempo transcurrido desde que ingresó al horno. El tiempo óptimo para que el material se encuentre fundido es de 275°C con una desviación de $\pm 5^\circ\text{C}$. A continuación, en la Figura 26 se muestra el molde dentro del horno.

**Figura 26.** Fundición del compuesto

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 26 se observa cómo el material va fundiéndose hasta quedar definitivamente ya fundido con el transcurso del tiempo. En la Tabla 39 se indica la ficha del proceso de moldeo.

Tabla 39. Ficha del proceso de moldeo

FICHA DEL PROCESO	
NOMBRE DEL PROCESO	
Moldeo	
ENTRADA	SALIDA
Material Mezclado	Material compuesto fundido
FLUJOGRAMA	
<pre> graph TD INICIO([INICIO]) --> MOLDEADO[MOLDEADO DEL MATERIAL] MATERIAL_MEZCLADO[/MATERIAL MEZCLADO/] --> MOLDEADO MOLDEADO --> MATERIAL_FUNDIDO[/MATERIAL COMPUESTO FUNDIDO/] MOLDEADO --> FIN([FIN]) </pre>	
PROCESO ANTERIOR	
Mezcla	
RECURSOS	INDICADORES
*Personal *Horno *EPP (Equipos de protección personal) *Energía	* La temperatura se encuentra alrededor de $275^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un tiempo determinado de 30min

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 39 se toma en cuenta todos los parámetros para el proceso de moldeo. En el ANEXO 3 se encuentran las Tablas de las mediciones de temperatura para cada compuesto.

COMPACTADO. - Una vez que el molde con la masa fundida es retirado del molde se procede a colocarla en una prensa manual, a continuación, se coloca una lámina de acero para tapar el molde. Se prensa durante 60 min aproximadamente hasta que el material quede

compactado completamente. En la Figura 27 se muestra el molde en la prensadora.



Figura 27. Prensado

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 27 el molde una vez retirado del horno es trasladado hacia la prensadora para que el material quede completamente compactado.

Concluido el tiempo de prensado se realiza el retiro del molde de la prensadora, a continuación, se procede a sacar el tablero compactado completamente del molde para luego ponerlo a enfriar a temperatura ambiente antes de ser manipulado. A continuación, en la Figura 28 se presenta las probetas ya compactadas



Figura 28. Retiro del prototipo del molde

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 28 se observa el retiro del prototipo de madera plástica una vez ya compactado del molde, además se aprecia que el molde queda limpio sin residuos de material fundido. En la Tabla 40 se indica la ficha del proceso de compactado.

Tabla 40. Ficha del proceso de compactado

FICHA DEL PROCESO	
NOMBRE DEL PROCESO	
Compactado	
ENTRADA	SALIDA
Material compuesto fundido	Prototipos de madera plástica
FLUJOGRAMA	
<pre> graph TD INIC([INICIC]) --> COMPACTADO[COMPACTADO DEL MATERIAL] MATERIAL[MATERIAL COMPUESTO FUNDIDO] --> COMPACTADO COMPACTADO --> PROTOTIPOS[/PROTOTIPOS DE MADERA PLÁSTICA/] COMPACTADO --> FIN([FIN]) </pre>	
PROCESO ANTERIOR	
Moldeado	
RECURSOS	INDICADORES
*Personal *Prensadora *EPP (Equipos de protección personal) *Energía	* Se aplica presión cercana a las 16 Ton alrededor de 1 hora aproximadamente

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 40 se toma en cuenta todos los parámetros para el proceso de compactado.

4.5 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

4.5.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Para la realización de las pruebas de resistencia a la tracción se basó de acuerdo a la orden de producción descrita en el Anexo 3. La selección del compuesto para este ensayo fue: HDPE con caña de azúcar y HDPE con totora, se escogieron estas dos fibras debido a la gran existencia en la zona de Imbabura.

DEFINICIÓN

Cuando un material se estira de manera que la longitud aumenta y disminuye la sección transversal, resistencia a la tracción es la cantidad de estrés que el material es capaz de soportar.

NORMATIVA

Para la evaluación de la resistencia a la tracción se realizó mediante la normativa ISO 527-2012 “Plásticos-Determinación de las propiedades de tracción” en la que se establece en el literal 1.3 lo siguiente:

- Materiales termoplásticos moldeados, extruidos y fundidos, rígidos y incluidos los compuestos rellenos y reforzados, además de los tipos sin rellenar; Termoplásticos rígidos y semirrígidos.
- Materiales termoestables reforzados con fibra y compuestos termoplásticos que incorporan unidireccional o no unidireccional refuerzos, como esteras, tejidos, mechas tejidas, hilos cortados, combinación e híbridos refuerzos, mechas y fibras molidas; hoja hecha de materiales pre impregnados.

DIMENSIONES DE LAS PROBETAS

Las dimensiones de las probetas utilizadas para este ensayo se especifican mediante la orden de producción que se encuentra detallada en el Anexo 3 con la composición 80% - 20% respectivamente.

EQUIPO DE PRUEBA

Para realizar las pruebas de resistencia a la tracción se utilizó un dinamómetro James Heal con una capacidad de 5000 N que además contiene un software que permite obtener los datos

instantáneos de los ensayos realizados.

ENSAYOS

Se procederá a realizar los ensayos correspondientes a los siguientes compuestos citados en la orden de producción en el Anexo 3.

Los diferentes ensayos se realizaron mediante la siguiente configuración del procedimiento de acuerdo con las especificaciones del dinamómetro:

- Detección de rotura = 20%
- Velocidad = 50,00 mm/min

A continuación, en la Tabla 41 se establecen los datos obtenidos de las mediciones realizadas a las dos probetas de polietileno de alta densidad con fibra de caña de azúcar según la característica 1 establecida en la orden de producción.

Tabla 41. Datos del compuesto HDPE + Caña de azúcar según la característica 1

Probetas de HDPE + Caña de azúcar	Fuerza máxima (N)	Alargamiento en fuerza máxima (%)	Fuerza de ruptura (N)	Alargamiento de ruptura (%)
Probeta 1 (250*25*2,5) mm	561,79	3,14	438,61	3,57
Probeta 2 (250*25*2,5) mm	600,05	2,92	397,83	2,96
Media	580,92	3,03	418,22	3,27
Min	561,79	2,92	397,83	2,96
Max	600,05	3,14	438,61	3,57
Rango	38,26	0,22	40,78	0,61
Mediana	580,92	3,03	418,22	3,27
Desviación típica	27,05	0,16	28,84	0,43
Coefficiente de Variación	4,66%	5,13%	6,89%	13,21%

Fuente: Software: Dinamómetro James Heal

En la Tabla 41 se observa que las cantidades relacionadas con la desviación típica en términos porcentuales no representan mucha diferencia de acuerdo con el valor del

alargamiento en fuerza máxima del 0.16% como del alargamiento de ruptura del 0.43%. A continuación, en la Figura 29 se representa las curvas generadas.

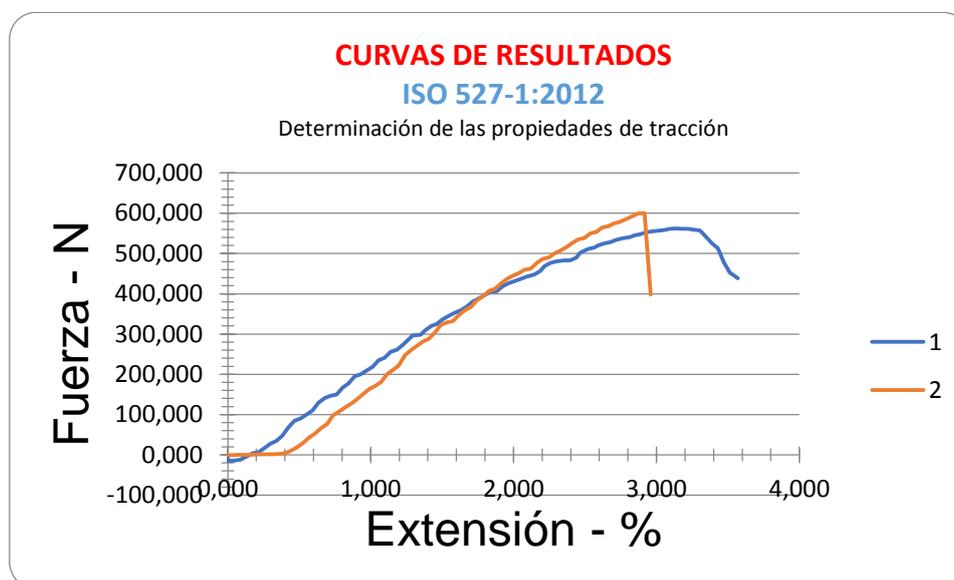


Figura 29. Curvas del compuesto HDPE + Caña de azúcar, característica 1

Fuente: Software: Dinamómetro James Heal

En la Figura 29 se observa los puntos máximos que alcanzaron las dos probetas hasta el momento en el que se procedió a la ruptura del material, se puede apreciar que la fuerza generada representa una diferencia de 38.26 N.

En la Tabla 42 se muestra los datos obtenidos de las dos probetas correspondientes al compuesto de HDPE con fibra de caña según la característica 2 de la orden de producción.

Tabla 42. Datos del compuesto HDPE + Caña de azúcar según la característica 2

Probetas de HDPE + Caña de azúcar	Fuerza máxima (N)	Alargamiento en fuerza máxima (%)	Fuerza de ruptura (N)	Alargamiento de ruptura (%)
Probeta 1 (160*13*4) mm	1178,26	3,14	438,61	3,57
Probeta 2 (160*13*4) mm	2100,27	7,46	1679,2	20,10
Media	1639,27	5,3	1058,905	11,84
Min	1178,26	3,14	438,61	3,57
Max	2100,27	7,46	1679,2	20,10
Rango	922,01	4,32	1240,59	16,53

Mediana	1639,27	5,3	1058,905	11,84
Desviación típica	651,96	3,05	877,23	11,69
Coefficiente de Variación	39,77%	57,64%	82,84%	98,76%

Fuente: Software: Dinamómetro James Heal

En la Tabla 42 se observa que las cantidades relacionadas con el coeficiente de variación tienen valores porcentuales altos debido a que la probeta 1 contenía fallas de composición ya que su distribución no fue uniformemente homogénea en el proceso de mezclado lo que da como resultado que se presente una gran diferencia al momento de realizar la medición. En la Figura 30 se puede evidenciar la diferencia de las dos probetas.

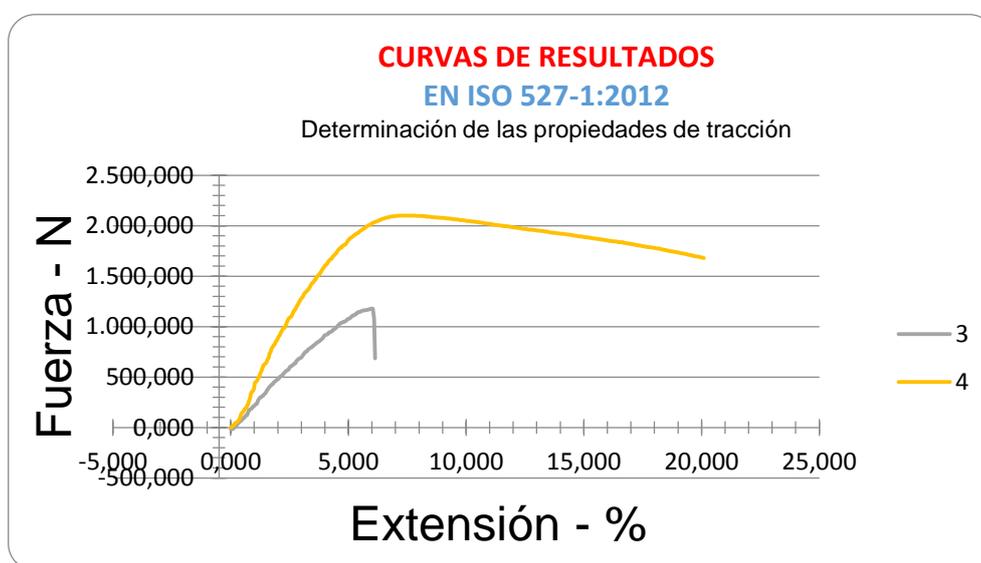


Figura 30. Curvas del compuesto HDPE + Caña de azúcar, característica 2

Fuente: Software: Dinamómetro James Heal

En la Figura 30 se puede evidenciar de manera gráfica la diferencia que existe en la probeta 1 representada por el color gris con respecto a la probeta 2 que fue correctamente elaborada que se encuentra de color amarillo, la diferencia de la fuerza aplicada es de 922,01 N.

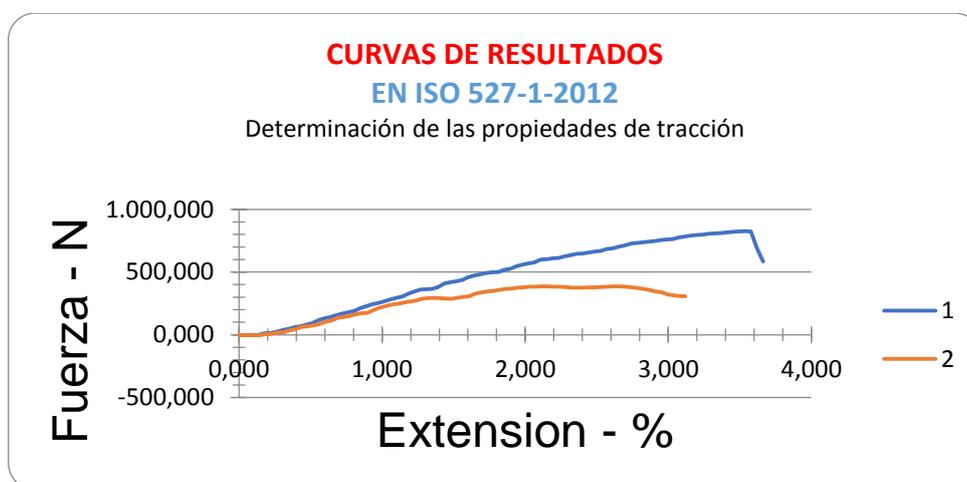
A continuación, en la Tabla 43 se presentan los datos obtenidos del compuesto de HDPE con Totorá según la característica 1 establecido en la orden de producción.

Tabla 43. Datos del compuesto HDPE + Totora según la característica 1

Probetas de HDPE + Totora	Fuerza máxima (N)	Alargamiento en fuerza máxima (%)	Fuerza de ruptura (N)	Alargamiento de ruptura (%)
Probeta 1 (250*25*2,5) mm	825,38	3,53	585,62	3,66
Probeta 2 (250*25*2,5) mm	385,45	2,62	306,06	3,12
Media	605,415	3,075	445,84	3,39
Min	385,45	2,62	306,06	3,12
Max	825,38	3,53	585,62	3,66
Rango	439,93	0,91	279,56	0,54
Mediana	605,415	3,075	445,84	3,39
Desviación típica	311,08	0,64	197,68	0,38
Coefficiente de Variación	51,38%	20,93%	44,34%	11,26%

Fuente: Software: Dinamómetro James Heal

En la Tabla 43 se observa que las cantidades relacionadas a la fuerza de ruptura de las dos probetas existe la diferencia de 279,56 N lo cual representa una significativa variación. En la Figura 31 se puede evidenciar la diferencia de las dos probetas.

**Figura 31.** Curvas del compuesto HDPE + Totora, característica 1

Fuente: Software: Dinamómetro James Heal

En la Figura 31 se puede evidenciar de manera gráfica la fuerza máxima aplicada en cada probeta, la diferencia es de 439.93 N. A continuación, en la Tabla 44 se presentan los datos

obtenidos del compuesto de HDPE con Totorá según la característica 2 establecido en la orden de producción.

Tabla 44. Datos del compuesto HDPE + Totorá según la característica 2

Probetas de HDPE + Totorá	Fuerza máxima (N)	Alargamiento en fuerza máxima (%)	Fuerza de ruptura (N)	Alargamiento de ruptura (%)
Probeta 1 (160*13*4) mm	878,83	6,08	588,16	6,25
Probeta 2 (160*13*4) mm	750,6	4,89	579,34	4,97
Media	814,715	5,485	583,75	5,61
Min	750,6	4,89	579,34	4,97
Max	750,6	6,08	588,16	6,25
Rango	0	1,19	8,82	1,28
Mediana	814,715	5,485	583,75	5,61
Desviación típica	90,67	0,84	6,24	0,91
Coefficiente de Variación	11,13%	15,34%	1,07%	16,13%

Fuente: Software: Dinamómetro James Heal

En la Tabla 44 se observa que los datos pertenecientes a la fuerza de ruptura de las dos probetas tienen una diferencia de 8,82 N lo que significa que su variación es de 1,07%. En la Figura 32 se presenta la gráfica de las curvas de las dos probetas.

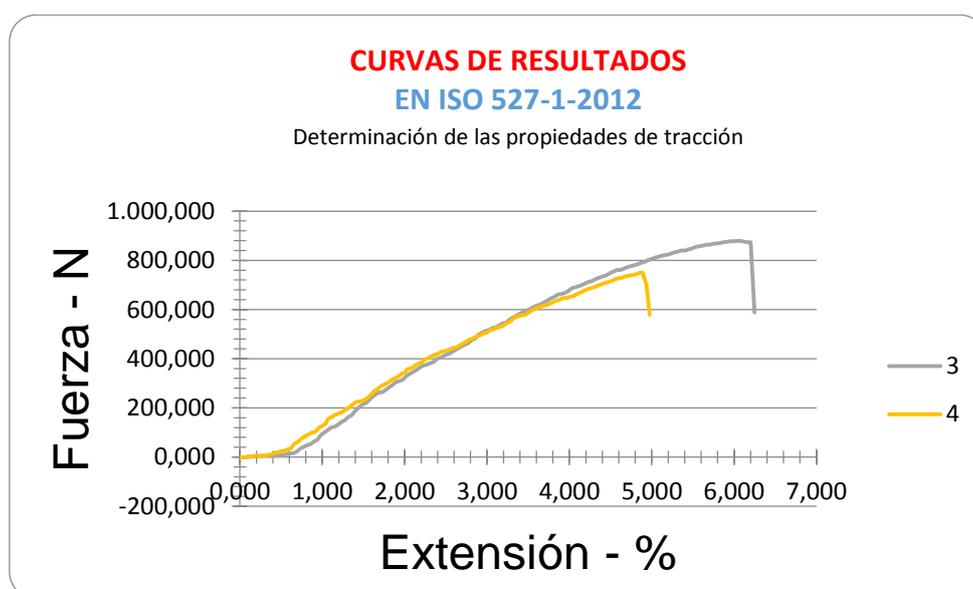


Figura 32. Curvas del compuesto HDPE + Totorá, característica 2

Fuente: Software: Dinamómetro James Heal

En la Figura 32 se observa la gráfica de las curvas de cada una de las probetas en la cual se evidencia el alargamiento de ruptura, es decir el tiempo que se demoró cada una en romperse teniendo una desviación de 0,91%.

4.6 RESULTADOS APARENTES DE PROTOTIPOS DE MADERA PLÁSTICA

Una vez que ya se obtiene los prototipos de madera plástica para cada compuesto se procede a realizar las manipulaciones básicas necesarias a las que es expuesta una madera de origen natural.

4.6.1 PROCESO SECUNDARIO

Constituyen los procesos que intervienen en la manipulación de la madera plástica. Los procesos secundarios más utilizados son: corte, perforaciones, uniones, lijado y aplicación de barniz.

CORTE. - Para este caso se procede a cortar el tablero de madera plástica mediante la utilización de una sierra eléctrica para cortes rectos y una caladora eléctrica para dar forma a cortes circulares. En la Figura 33 se muestra la utilización de la maquinaria para realizar los cortes.



Figura 33. Corte de prototipos

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 33 la madera plástica es cortada mediante una sierra eléctrica y a través de un serrucho. En la Figura 34 se muestra la madera plástica realizado los cortes correspondientes.



Figura 34. Resultados del corte

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Figura 34 podemos observar el resultado que queda después de realizar los cortes rectos y circulares en la madera plástica.

PERFORACIÓN. - Mediante la utilización de un taladro fijo de perforación eléctrico se procede a realizar agujeros mediante brocas de distintas dimensiones al tablero de madera plástica para verificar que no existan grietas. En la Figura 35 se presenta realización de las perforaciones mediante la utilización de herramientas



Figura 35. Perforación

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 35 se está realizando las perforaciones a través de un taladro de fijación o precisión y un taladro móvil. En la Figura 36 se muestra una probeta realizada una perforación.



Figura 36. Prototipo perforado

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 36 se observa cómo queda la madera plástica después de realizada la perforación sin grietas alrededor

UNION. - Los tableros de madera plástica responden al paso tanto del tornillo como el de un clavo sin que el material presente fisuras o se quiebre. A continuación, en la Figura 37 se presenta la utilización de un tornillo y un clavo.



Figura 37. Uniones

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 37 se está realizando la unión de dos prototipos de madera plástica mediante la utilización de tornillos como de clavos.

LIJADO. - El tablero de madera plástica es sometido tanto a una lijadora eléctrica como a un lijado de manera manual el cual permite que la superficie quede totalmente lisa sin que exista alguna área áspera. En la Figura 38 se presenta las herramientas utilizadas en el lijado de la madera plástica.



Figura 38. Lijado de prototipos

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 38 se realiza el lijado de la madera plástica a través de una lijadora estática, una lijadora eléctrica y un lijado manual. A continuación, en la Figura 39 se muestra los prototipos de madera plástica lijados



Figura 39. Prototipos lijados

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 39 se observa cómo quedan los tableros de madera plástica sin áreas ásperas

después de realizar el lijado.

ACABADO. - Antes de la colocación del barniz en el tablero de madera plástica primero es colocado una capa de sellador el cual se le aplica a la madera tradicional para que este tenga un mejor acabado, luego se procede a realizar un lijado suave de manera manual para luego realizar la aplicación de barnizado. Se aplica el barniz para darle al tablero un acabado perfecto También se puede realizar la aplicación de pintura, pero ocultaría el color natural que tiene la madera plástica. A continuación, en la Figura 40 se muestra el proceso de aplicación del barniz



Figura 40. Aplicación del barniz

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la Figura 40 los prototipos de madera plástica se le está aplicando el barniz para que tengan un mejor acabado y una mejor presentación. En la Figura 41 se muestra el material después de la aplicación del barniz



Figura 41. Prototipos terminados

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 41 se observa el brillo que queda al momento de aplicarle el barniz a la madera plástica la cual conserva su color natural.

PRODUCTO FINAL. - Con la utilización de los tableros de madera plástica para cada compuesto se procedió a realizar una base y el espaldar de una silla que está formada por una estructura metálica como producto final. En la Figura 42 se muestra el producto final



Figura 42. Producto final

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Figura 42 la base y el espaldar de la silla está hecha a partir de los prototipos de madera plástica.

CONCLUSIONES

- Con la revisión del estado del arte y la maquinaria instalada se determinaron los siguientes procesos: selección, triturado, pulverizado, mezcla, moldeado y compactado como procesos clave para la elaboración de madera plástica a partir de polímeros post consumo. Éstos fueron desarrollados y ejecutados en el laboratorio de procesos físicos de la carrera de Ingeniería Industrial.
- A través de varias pruebas de experimentación, maquinaria instalada, disponibilidad de materia prima y la realización de ensayos con los diferentes polímeros post consumo se determinó al polietileno de alta densidad (HDPE) como principal polímero para la elaboración de madera plástica debido a que la escama fundida de este material al momento de ser compactado, éste se comprime de manera uniforme sin generar poros o grietas en su interior.
- Mediante la realización de diferentes composiciones de polímero y fibra se estableció la proporción 80% de HDPE y el 20% de fibra vegetal debido a que la composición 70% - 30% fue muy vulnerable a la ruptura y la composición 90% - 10% en cambio era muy resistente, pero al momento de la manipulación a través de los diferentes cortes, las herramientas de trabajo sufrían mayor desgaste en las cuchillas, por lo tanto, se estableció en un punto medio.
- El moldeado es el proceso crítico dentro de la fabricación de la madera plástica, debido a que se tiene que tomar en cuenta el control de temperatura, ya que de esta depende que la masa fundida pueda ser compactada. Para este proyecto de acuerdo a las dimensiones del molde se estableció el punto óptimo de fundición del compuesto en $275^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura.

- La realización de pruebas de ensayo de resistencia a la tracción de los compuestos: polietileno de alta densidad con caña de azúcar y de polietileno de alta densidad con totora, permitió que los resultados obtenidos cumplen con los diferentes parámetros establecidos en la norma ISO 527-1-2012.
- Se realizó pruebas de taller para verificar que los prototipos de madera plástica pueden ser trabajadas, manipuladas, cortadas, lijadas, pintadas al igual que la madera tradicional por lo cual estos prototipos cumplen con las estimaciones y satisfacciones de las personas que trabajan en este arte.

RECOMENDACIONES

- Verificar que la maquinaria instalada en el laboratorio de procesos físicos de la carrera de Ingeniería Industrial se encuentre en perfecto funcionamiento y con sus instalaciones de energía adecuados.
- Establecer nuevas tecnologías, nuevos procedimientos y diferentes metodologías para una mejor optimización en los diferentes procesos de fabricación de madera plástica para reducir tiempos de fabricación, desperdicios de material, energía, entre otros.
- Realizar las diferentes pruebas de ensayo tanto físicas como mecánicas de cada uno de los compuestos de madera plástica. En este proyecto solo se realizó la prueba de tracción, las demás pruebas no se las realizó debido al alto costo que tienen y además que no se contó con el presupuesto ni los equipos necesarios para realizar dichas pruebas.
- Utilizar equipos de protección personal para cada proceso, ya que la o las personas están expuestas a varios riesgos, entre los cuales pueden ocasionar cortes, amputaciones, quemaduras, golpes, electrocuciones, entre otros que puedan afectar con la salud y la integridad de la o las personas.
- Promover nuevos proyectos con una visión sustentable con lo cual beneficie a disminuir la contaminación ambiental a través de la utilización de polímeros post consumo como materia prima para desarrollar bienes tangibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Jamalirad, L., Aminian, H., & Hedjazi, S. (2018). Exploring the potential of milkweed stalk in wood plastic manufacture. *Journal of Natural Fibers*.
- Academia. (2018). *Operaciones unitarias y diagramas de símbolos*. Obtenido de William Quinchia:
http://www.academia.edu/15168896/UNIDAD_III_Operaciones_unitarias_y_diagramas_de_s%C3%ADmbolos
- Alarcón, I. (28 de Abril de 2017). Ecuador tiene un déficit en reciclar. *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-deficit-reciclar-basura-contaminacion.html>
- Andrade , M. (23 de Abril de 2018). *El Telégrafo*. Obtenido de Plástico invade el planeta: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/septimo/1/plastico-invade-al-planeta>
- APR. (2016). *Standar Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for resin identification*. Obtenido de ASTM D7611/D7611M-13:
https://www.plasticsrecycling.org/images/pdf/news_media/ASTM_D-7611-Revision_Final_Draft_02-2016.pdf
- AreaTecnologica. (s.f.). *¿Qué son los plásticos?* Obtenido de Plásticos:
<http://www.areatecnologia.com/LOS%20PLASTICOS.htm>
- Aréstegui. (15 de Septiembre de 2017). *Aréstegui Maquinaria*. Obtenido de Método de extrusión su proceso y aplicación: <https://www.aristegui.info/metodo-de-extrusion-su-proceso-y-aplicacion/>

- ASTM. (Diciembre de 2010). *Identificación de Resinas*. Obtenido de ASTM Standarization News: https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND10/d2095_spnd10.html
- ASTM D4703. (s.f.). *Standar Practice for Compression Molding Thermoplastic Materials into Test Specimens, Plaques, or Sheets*. American Society of Testing Materials.
- Ayrlmis, N., Kaymakci, A., & Güleç, T. (2015). Potential use of decayed wood in production of wood plastic composite. *Industrial Crops and Products*, 279-284.
- Battistelle, R., Viola, N., Bezerra, B., & Valarelli, I. (2014). Caracterización física y mecánica de un polipropileno reciclado y harina de madera sin aditivos.
- Blanco Alcalá, G. (2006). *Evaluación Técnica y Plan de Negocios para la Producción de Mobiliario de "Madera Plástica", Formulada con PET Reciclado Y Aserrín*. Tesis Postgrado, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey , Monterrey.
- Borrás, C. (Febrero de 2018). *¿Cuánto se recicla en el mundo?* Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/cuanto-se-recicla-en-el-mundo-590.html>
- Cabrera Chiriboga, A., & Culcay Cherrés, A. (2014). *Experimentación con la fibra Titora*. Universidad del Azuay, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3903>
- Caicedo , C., Vásquez, A., Crespo, L., De La Cruz, H., & Ossa, Ó. (2015). Cedar fiber / polypropylene (PP) matriz composites: influence of the compatibilizer PP-g-MA. *Revista Informador Técnico*.
- Canale, G. J. (2015). *Materiolteca: perfil Ambiental de Materiales*. Nobuko.

- Casiopea. (2015). *HDPE: Polietileno de Alta Densidad*. Obtenido de Clase Construcción y Estructura Náutica 2015: https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d4/Clase_3_construcci%C3%B3n_1_n%C3%A1utica_2015_HDPE.pdf
- Chanhoun, M., Padonou, S., Codjo Adjovi, E., Olodo, E., & Doko, V. (2018). Study of the implementation of waste wood, plastics and polystyrenes for various applications in the building industry. *Construction and Building Materials*, 936-941.
- Chun Koay, S., Subramanian, V., Yeng Chan, M., Meng Pang, M., Yeow Tsai, K., & How Cheah, K. (2017). Preparation and characterization of wood plastic composite made up of Durian Husk fibers and recycled polystyrene foam. *MATEC Web of Conferences*.
- Croitoru, C., Varodi, A., Timar, M., Roata, I., Stanciu, E., & Pascu, A. (2017). Wood and plastic compounds based on HDPE and ionic liquid additives.
- Cruz, A. (2016). *Mejora de la productividad del proceso de soremá en la empresa Enkador S.A. a través de la implementación de la metodología de desarrollo de proveedores*. Tesis de Postgrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Cruz, J., Alonso, S., & Zitzumbo, R. (2015). development of an environmentally-friendly alternative to the manufacture of auxiliary wood structures. *Sociedad y Ambiente*.
- CuidaTuAlfombra. (23 de Abril de 2013). *cuidatualfombra.com*. Obtenido de Fibras vegetales de tallo: <https://www.cuidatualfombra.com/blog/fibras-vegetales-de-tallo/>

- Del Real, J. (13 de Junio de 2018). *expok*. Obtenido de 10 datos importantes en la contaminación del plástico: <https://www.expoknews.com/10-datos-importantes-de-la-contaminacion-por-plastico/>
- Dimitriou, A., Hale, M., & Spear, M. (2016). The effect of four methods of surface activation for improved adhesion of wood polymer composites (WPCs). *International Journal of Adhesion and Adhesives*.
- Eco Use . (s.f.). *Las estrategias de las 3 R's*. Obtenido de Eco Use: <http://www.ecouse.com.mx/index.php/noticias/7-ecotips/8-la-estrategia-de-las-3-ras>
- Ecogaia. (s.f.). *Las ventajas de las fibras naturales*. Obtenido de Ecogaia: <http://www.ecogaia.com/las-ventajas-de-las-fibras-naturales.html>
- ECOLOGIAHOY. (10 de Junio de 2018). *¿Qué es reutilizar?* Obtenido de ECOLOGIAHOY: <https://www.ecologiahoy.com/reutilizar>
- EcuRed. (s.f.). *Caña de azúcar*. Obtenido de EcuRed: https://www.ecured.cu/Ca%C3%B1a_de_az%C3%BAcar
- Effah, B., Van Reenen, A., & Meincken, M. (2018). Mechanical properties of wood-plastic composites made from various wood species with defferent compatibilisers. *Eur. J. Wood Prod.*, 57-68.
- Elaplas. (2016). *elaplas*. Obtenido de Polipropileno: <http://www.elaplas.es/wp-content/uploads/Ficha-tecnica-Polipropileno-PP1.pdf>
- Emac. (11 de Junio de 2010). *Construnario*. Obtenido de Construnario: https://www.construnario.com/bc3/3647/FT_PVC.pdf

- Europac. (9 de Abril de 2018). *Símbolos en el packaging*. Obtenido de Europac: <https://www.europacgroup.com/es/blog/empresa/posts/simbolos-en-el-packaging>
- Fernández Arias, J. M. (2015). *Variación de la composición química, contenido de fenoles totales y actividad antioxidante de plantas nativas de la Provincia de Zamora Chinchipe, pertenecientes al género Inga (Guaba)*. Investigación, Universidad Técnica Particular de Loja. Obtenido de https://smartland.utpl.edu.ec/sites/default/files/variacion_composicion_quimica.pdf
- Fernández Muerza, A. (23 de Marzo de 2017). *Símbolos del reciclaje: claves y curiosidades*. Obtenido de Hablando en Vidrio: <https://hablandoenvidrio.com/simbolos-del-reciclaje-claves-y-curiosidades/>
- Galyavetdinov, N., Sagin, R., & Voronin, A. (2016). Analysis of physico-mechanical properties of compounds based on Polylactide and thermally modified wood fibers.
- García, Á., Amado, M., Casados, M., & Brito, R. (2013). Madera plástica con PET de post consumo y paja de trigo. *Ciencia y Tecnología*, 25-40.
- Ge, S.-b., Ma, J.-j., Jiang, S.-c., Liu, Z., & Peng, W.-x. (2017). Potential use of defferent kinds of carbon in production of decoyed wood plastic composite. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Gestores de Residuos. (13 de Junio de 2016). *¿Conoces el significado de todos los símbolos del reciclaje?* Obtenido de Gestores de Residuos: <https://gestoresderesiduos.org/noticias/conoces-el-significado-de-todos-los-simbolos-del-reciclaje>

- Gozdecki, C., Wilczynski, A., Kociszewki, M., & Zajchowski, S. (2015). Properties of wood-plastic composites made of milled particle board and polypropylene. *Eur. J. Wood Prod.*, 87-95.
- Guerra Salazar, M. E. (2014). *Evaluación de los Parámetros de Operación Adecuados para el Procesamiento de la Madera Plástica, Fabricada a partir de Residuos de Aserrín Y Polietileno de Baja Densidad de Reciclado Primario*. Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma* (Segunda Edición ed.). Mc Graw Hill.
- Horta, J., Simões, F., & Mateus, A. (2017). Study of wood-plastic composites with reused High Density Polyethylene and wood sawdust. *Procedia Manufacturing*, 221-228.
- Hugot, F., & Cazaurang, G. (2009). Mechanical properties of an extruded wood plastic composite. *Mécanique & Industries*, 519-524.
- HutYROVÁ, Z., Scucka, J., Hloch, S., Hlavacel, P., & Zelenák, M. (2015). Turning of wood plastic composites by water jet and abrasive water jet. *Int J Adv Manuf Technol*.
- INEC. (2016). *Ecuadorencifras*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2016/Documento%20tecnico.pdf
- Inforeciclaje. (s.f.). *Qué es el reciclaje*. Obtenido de Inforeciclaje: <http://www.inforeciclaje.com/que-es-reciclaje.php>
- Isan, A. (22 de Noviembre de 2017). *Definición de reciclaje*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/definicion-de-reciclaje-240.html>

- Jhon, M., & Thomas, S. (2008). Biofibras and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 343-364.
- Jurado Arturo, F. M., & Checa Gordillo, C. M. (2014). *Mejoramiento de la calidad de la fibra de cabuya y su aplicación*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2658>
- Kajaks, J., Kalnins, K., & Naburgs, R. (2017). Wood plastic composites (WPC) based on high-density polyethylene and birch wood plywood productions residues. *International Wood Products Journal*.
- Kallakas, H., Poltimäe, T., Maaja Süld, T., Kers, J., & Krumme, A. (2015). The influence of accelerated weathering on the mechanical and physical properties of wood-plastic composites. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*.
- Krajewsky, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Administración de Operaciones - Procesos y cadena de valor* (Octava Edición ed.). Pearson.
- Kuka, E., Cirule, D., Kajaks, J., Janberga, A., Andersone, I., & Andersons, B. (2016). Fungal degradation of wood plastic composites made with thermally modified wood residues. *Key Engineering Materials*, 8-12.
- Lasso, M. A. (30 de Mayo de 2018). *ONU Medio Ambiente*. Obtenido de América Latina y el Caribe, lucha contra el plástico en el Día Mundial del Medio Ambiente: <http://www.worldenvironmentday.global/es/am%C3%A9rica-latina-y-el-caribe-lucha-contra-el-pl%C3%A1stico-en-el-d%C3%ADa-mundial-del-medio-ambiente>
- Lidervet. (23 de Abril de 2015). *LA ROSA: propiedades, usos y simbología*. Obtenido de lidervet: <https://bloglidervet.com/2015/04/23/la-rosa-propiedades-usos-y-simbologia>

- Martínez, Y., Fernández, R., Álvarez, D., García, M., & Martínez, E. (2014). Evaluation of physico-mechanical properties of wood-plastic boards produced in Cuba compared to conventional boards. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*.
- Martins, G., Antunes, F., Mateus, A., & Malça, C. (2017). Optimization of a wood plastic composite for architectural applications. *ScienceDirect*, 203-220.
- Massot, D. (24 de Noviembre de 2017). *En el futuro vestiremos con fibra de banano*. Obtenido de Aleteia: <https://es.aleteia.org/2017/11/24/en-el-futuro-vestiremos-con-fibra-de-banano>
- Mazzanti, V., & Mollica, F. (2015). In-line rheometry of polypropylene based Wood Polymer Composites. *Polymer Testing*, 30-35.
- Mertens, O., Benthien, J., & Kause, A. (2017). Monitoring of fibre dimensions after a novel wood-plastic compounding approach. *Eur. J. Wood Prod.*
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía de buenas prácticas Ambientales*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/BPA-Buenas-Pr%C3%A1cticas-Ambientales1.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Reciclaje en Ecuador*. Quito.
- Moreno, P., Rodrigue, D., Giroux, Y., Ballerini, A., & Gacitúa, W. (2013). Morphological and Mechanical Characterization of Recycled Thermoplastic Foams Reinforced with Wood Sub Products. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 3-16.
- Moya, C., Osés, R., Poblete, H., & Valenzuela, L. (2014). Effects of wood and bark flour content of pinus radiata on the accelerated decay of Wood-Plastic Composites. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 37-48.

- Mutjé, P., Méndez, J. A., Vilaseca, F., López, J., Flández, J., Barberá, L., . . . Pélach, M. A. (2008). *Residuos de tallo de maíz como refuerzo de polipropileno*. Artículo, Universidad de Girona, Castellon.
- Müzel, S. D. (2017). *Estudo da Usinagem dos Compósitos Plástico Madeira e Madeira Plástica*. Tesis de Postgrado, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- Naghmouchi, I., Boufi, S., Delgado, M., Granda, L., Vilaseca, F., & Mutjé, P. (2013). Fabricación de madera plástica a partir de serrín de hueso de aceituna y polipropileno. *Conference: SAM CONAMET*.
- Navarro Arellano, J. F. (2005). *Elaboración y Evaluación de Tableros Aglomerados a base de Plástico de Alta Densidad y Fibra de Estopa de Coco*. Tesis , Universidad de Colima, Coquimatlan - México.
- Nourbakhsh, A., & Ashori, A. (2009). Preparation and Properties of Wood Plastic Composites Made of Recycled High-density Polyethylene. *Journal of Composite Materials*.
- NTE INEN 100. (2014). *Materiales y artículos plásticos destinados a estar en contacto con los alimentos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 2841-2014-03. (2014). *Gestión Ambiental, Estandarización de colores para recipientes de depósitos y almacenamiento temporal de residuos sólidos. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Obtenido de <https://docplayer.es/5755214-Nte-inen-2841-2014-03.html>
- OPEMED. (26 de Septiembre de 2015). *El (complejo) proceso del plástico*. Obtenido de OPEMED: <http://gestionderesiduosonline.com/el-complejo-proceso-del-reciclaje-del-plastico/>

- Ospina Restrepo, C. A. (2014). *Evaluación de las Propiedades Mecánicas de los Perfiles Extruidos a partir de Mezclas de Polimeros Reciclados para la Fabricación de Estibas de Maderas Plásticas en Maderpol S.A.S.* Tesis de Grado, Universidad EAFIT, Medellín.
- Páez Moscoso, J. C. (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión.* Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Pardavé Livia, W. (2007). *Estrategias Ambientales de las 3R a las 10R.* Ecoe Ediciones. Obtenido de <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2015/07/Estrategias-ambientales-de-las-3R-a-las-10-R-1ra-Edici%C3%B3n.pdf>
- Parker, L. (5 de Julio de 2018). *National Geographic.* Obtenido de Ahogados en un mar de plástico: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico_12712/1
- Pelaez, M., Yadama, V., Lowell, E., Amidon, T., & Chaffee, T. (2013). Hot water extracted wood fiber for production of wood plastic composites (WPCs). *De Gruyter*, 193-200.
- Pérez Méndez, E. V. (2010). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados.* Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Perisic, S., Radovic, I., Petrovic, M., Marinkovic, A., Stojanovic, D., Uskokovic, P., & Radojevic, V. (2017). Processing of hybrid wood plastic composite reinforced with short-PET fibers.

- Petchwattana, N., & Covavisaruch, S. (2013). Effects of rise hull particle size and content on the mechanical properties and visual appearance of wood plastic composites prepared from poly (vinyl chloride). *Journal of Bionic Engineering*, 110-117.
- Petchwattana, N., Sanetuntikul, J., Sriromreun, P., & Narupai, B. (2017). Wood Plastic Composites Prepared from Biodegradable Poly(butylene succinate) and Burma Padauk Sawdust (*Pterocarpus macrocarpus*): Water Absorption Kinetics and Sunlight Exposure Investigations.
- Pinto Landeta, J. A. (2014). Plan de gestión integral de desechos sólidos para los cantones de Ibarra, Otavalo, Urcuqui, Antonio Ante y Cotacachi, Provincia de Imbabura-Ecuador. Chile: Universidad Santiago de Chile.
- PlasticsEurope. (s.f.). *¿Qué es el plástico?* Obtenido de PlasticEurope: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>
- Prospector. (2018). *PROSPECTOR*. Obtenido de <https://plastics.ulprospector.com/es/generics/43/c/t/poliestireno-ps-properties-processing/sp/2>
- PYDSA. (s.f.). *Tabla de resistencias mecánicas (HDPE)*. Obtenido de PYDSA: <https://plastiductos.com.mx/specs/tabla-de-resistencias-mecanicas.pdf>
- QuimiNet. (7 de Diciembre de 2005). *Todo sobre el poliestireno*. Obtenido de QuimiNet: <https://www.quiminet.com/articulos/todo-sobre-el-poliestireno-3337.htm>
- QuimiNet. (14 de Mayo de 2010). *Características del policloruro de vinilo (PVC)*. Obtenido de QuimiNet: <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-del-policloruro-de-vinilo-pvc-42725.htm>

- QuimiNet. (11 de Enero de 2012). *Características y aplicaciones del polietileno de baja densidad (LDPE)*. Obtenido de QuimiNet: <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-aplicaciones-del-polietileno-de-baja-densidad-ldpe-2663472.htm>
- QuimiNet. (15 de Junio de 2012). *Las característica mas importantes del PET*. Obtenido de QuimiNet: <https://www.quiminet.com/articulos/las-caracteristicas-mas-importantes-del-pet-2784845.htm>
- QuimiNet. (15 de Febrero de 2012). *Los mejores tipos, usos y aplicaciones del polipropileno*. Obtenido de QuimiNet: <https://www.quiminet.com/articulos/los-mejores-tipos-usos-y-aplicaciones-del-polipropileno-2681386.htm>
- Raghu, N., Kale, A., Raj, A., Aggarwall, P., & Chauhan, S. (2017). Mechanical and thermal properties of wood fibers reinforced with poly (lactic acid) / thermoplastic starch composites.
- Ratanawilai, T., & Taneerat, K. (2018). Alternative polymeric matrices for wood-plastic composites: Effects on mechanical properties and resistance to natural weathering. *Construction and Building Materials*, 349-357.
- Real Academia Española. (s.f.). *Significado de Reciclar*. Obtenido de enclave RAE: <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=reciclar>
- Repaveca. (s.f.). *Reducir, reutilizar y reciclar*. Obtenido de Aula Reciclaje: <http://www.repaveca.com.ve/index.php/biblioteca/item/396-reducir-reutilizar-y-reciclar>
- Rodríguez Salas, P. J. (2016). *Propuesta de Plan de Negocios para la Implementación de una Empresa Productora de Madera Plástica a partir del Reciclaje de Polietileno*

de Alta Densidad y otros Materiales Termoplásticos, Arequipa 2015. Tesis de Grado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa.

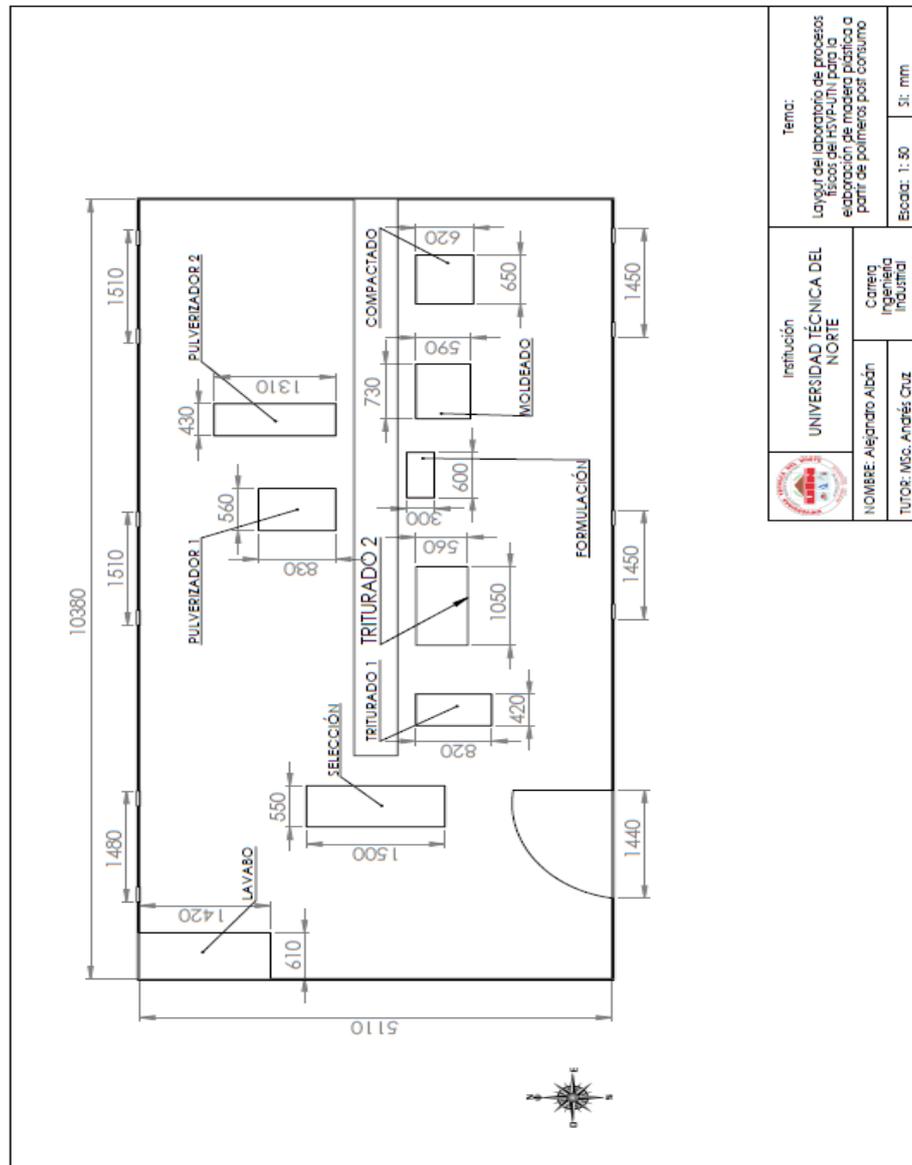
- Sammouda, H., & Mbarek, T. (2013). Prediction by numeral simulation of the mechanical behavior of structures abutting composite wood/plastic.
- Schroeder, R., Meyer, S., & Rungtusanatham, J. (2011). *Administración de Operaciones - Conceptos y casos contemporáneos* (Quinta Edición ed.). Mc Graw Hill.
- Seisdedos, M. R. (2014). *Regla de las tres erres ecológicas: reducir, reutilizar, reciclar*. Obtenido de ifeelmaps: <https://www.ifeelmaps.com/blog/2014/07/regla-de-las-tres-erres-ecologicas--reducir--reutilizar--reciclar>
- Sheshmani, S., Ashori, A., & Arab Fashapoyeh, M. (2013). Wood plastic composite using graphene nanoplatelets. *International Journal of Biological Mracomolecules*, 1-6.
- Smart Klean . (25 de Julio de 2011). *Plásticos tóxicos: Sabes cuáles son?* Obtenido de Blog Smart Klean: <https://smartkleanblog.wordpress.com/2011/07/25/como-evitar-plasticos-toxicos/>
- Sommerhuber, P., Welling, J., & Krause , A. (2015). Substitucion potenciales of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood-Plastic Composites. *Waste Management*.
- Sommerhuber, P., Wenker, J., Rüter, S., & Krause, A. (2016). Life cycle assessment of wood-plastic composites: Analysing alternative materials and identifying and enviromental sound end-of-life option. *Resources, Conservation and Recycling*.

- Sözan, E., Aydemir, D., & Zor, M. (2017). The Effects of Lignocellulosic Fillers on Mechanical, Morphological and Thermal Properties of Wood Polymer Composites. *Drvna Industrija*, 195-204.
- Sudár , A., López, M., Keledi, G., Vargas, C., Suárez, F., Moreno, J., . . . Pukánszky, B. (2013). Ecotoxicity and fungal deterioration of recycled polypropylene/wood composites: Effect of wood content and coupling. *Chemosphere*, 408-414.
- Textos Científicos. (4 de Septiembre de 2005). *Textos Científicos*. Obtenido de PET: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>
- Tsunehisa, M., Masako, S., Soichi, T., Nobuo, S., Ichinori, S., & Icozo, K. (2014). Preparation of wood plastic composite sheets by lateral extrusion of solid woods using their fluidity. *Procedia Engineering*, 580-585.
- Turku, I., Kärki , T., & Puurtinen, A. (2018). Durability of wood plastic composites manufactured from recycled plastic. *Heliyon*.
- Valarezo Jaramillo, L. E. (2013). *Obtención experimental de un material biocompuesto a base de una matriz polimérica y reforzada con fibras naturales de guadúa angustifolia proveniente del Ecuador*. Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Velásquez, S., Peláez, G., & Giraldo, D. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador Técnico*, 77-86.
- Yadama , V., Lowell, E., Chaffee, T., Amidon, T., & Pelaez, M. (2013). Hot water extracted wood fiber for production of wood plastic composites (WPCs). *DE GRUYTER*, 193-200.

- Zierdt, P., Theumer, T., Kulkarni, G., Däumlich, V., Klehm, J., Hirsch, U., & Weber, A. (2015). Sustainable wood-plastic composites from bio-based polyamide 11 and chemically modified beech fibers. *Sustainable Materials and Technologies*.

ANEXOS

ANEXO 1. LAYOUT



Anexo 1.1 Layout del proceso de fabricación

La siguiente gráfica es el Layout del laboratorio de procesos físicos de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica del Norte ubicado en el antiguo hospital San Vicente de Paúl ubicado en la ciudad de Ibarra.

ANEXO 2. MEDICIÓN DE TEMPERATURA PARA CADA COMPUESTO.

En las siguientes Tablas se describen de manera específica la medición de la temperatura en el proceso de moldeado para cada compuesto en la fabricación de madera plástica.

HDPE + MAÍZ

FIBRA		POLÍMERO	PROBETA
			
TIEMPO	TEMPERATURA	PESO	PORCENTAJE
1	87 °C	0,750 Kg	80% HDPE, 0,6 kg
2	143 °C		
3	189 °C		
4	226 °C		20% fibra de maíz, 0,150 kg
5	254 °C		
6	278 °C		

Anexo 2.1 Tabla informativa de HDPE + Maíz

HDPE + CÁSCARA DE GUABA

FIBRA		POLÍMERO	PROBETA
			
TIEMPO	TEMPERATURA	PESO	PORCENTAJE
1	73 °C	0,750 Kg	80% HDPE, 0,6 kg
2	130 °C		
3	150 °C		
4	222 °C		20% cáscara de guaba, 0,150 kg
5	245 °C		
6	276 °C		

Anexo 2.2 Tabla informativa de HDPE + Cáscara de guaba

HDPE + TOTORA

FIBRA		POLÍMERO	PROBETA
			
TIEMPO	TEMPERATURA	PESO	PORCENTAJE
1	89 °C	0,750 Kg	80% HDPE, 0,6 kg
2	143 °C		
3	189 °C		
4	218 °C		20% totora, 0,150 kg
5	246 °C		
6	277 °C		

Anexo 2.3 Tabla informativa de HDPE + Totora**HDPE + CAÑA DE AZÚCAR**

FIBRA		POLÍMERO	PROBETA
			
TIEMPO	TEMPERATURA	PESO	PORCENTAJE
1	90 °C	0,750 Kg	80% HDPE, 0,6 kg
2	128 °C		
3	204 °C		
4	232 °C		20% caña de azúcar, 0,150 kg
5	252 °C		
6	274 °C		

Anexo 2.4 Tabla informativa de HDPE + Caña de azúcar

HDPE + CABUYA

FIBRA		POLÍMERO	PROBETA
			
TIEMPO	TEMPERATURA	PESO	PORCENTAJE
1	93 °C	0,750 Kg	80% HDPE, 0,6 kg
2	133 °C		
3	186 °C		
4	235 °C		20% cabuya, 0,150 kg
5	269 °C		
6	275 °C		

Anexo 2.5 Tabla informativa de HDPE + Cabuya

ANEXO 3. WPC SEGÚN ORDEN DE PRODUCCIÓN.

Se realizó probetas de madera plástica mediante una orden de producción la cual consta de las siguientes especificaciones.

COMPUESTO	COMPOSICIÓN	CARACTERÍSTICAS
HDPE + TOTORA	70% - 30%	Rectangular simple Discontinuo -> 1 Largo: 250mm Ancho: 25mm ± 1% Espesor: 2,5mm ± 4%
	80% - 20%	
	90% - 10%	
	70% - 30%	Rectangular simple 2 Largo: 160mm Ancho: 13mm Espesor: 4mm
	80% - 20%	
	90% - 10%	
HDPE + CAÑA DE AZÚCAR	70% - 30%	Rectangular simple Discontinuo -> 1 Largo: 250mm Ancho: 25mm ± 1% Espesor: 2,5mm ± 4%
	80% - 20%	
	90% - 10%	
	70% - 30%	Rectangular simple 2 Largo: 160mm Ancho: 13mm Espesor: 4mm
	80% - 20%	
	90% - 10%	

Anexo 3.1 Especificaciones de la orden de producción

La siguiente Ilustración está diseñada para dos compuestos: polietileno de alta densidad con totora y con caña de azúcar respectivamente. En la columna de composición están dadas las proporciones porcentuales de polímero y fibra respectivamente. En la columna de características se detalla las medidas de las probetas.

Polietileno de Alta Densidad con Fibra de Totora

- Composiciones para la característica 1

Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + totora	70%-30%	1) 70°C 2) 108°C
	130 gr - HDPE 26,5 gr - totora	3) 179°C 4) 228°C 5) 260°C 6) 273°C
Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + totora	80%-20%	1) 95°C 2) 150°C
	145 gr - HDPE 11 gr - totora	3) 209°C 4) 239°C 5) 267°C 6) 279°C
Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + totora	90%-10%	1) 99°C 2) 148°C
	150 gr - HDPE 7,5 gr - totora	3) 208°C 4) 223°C 5) 254°C 6) 275°C

Anexo 3.2 Característica 1 de la composición HDPE + fibra de totora

- Composiciones para la característica 2

Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + totora	70%-30%	1) 81°C 2) 128°C
	300 gr - HDPE 34,4 gr - totora	3) 181°C 4) 223°C 5) 244°C 6) 272°C

Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + totora	80%-20%	1) 89°C 2) 136°C 3) 194°C 4) 230°C 5) 250°C 6) 273°C
	330 gr - HDPE 13,2 gr - totora	
Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + totora	90%-10%	1) 74°C 2) 147°C 3) 186°C 4) 228°C 5) 258°C 6) 275°C
	340 gr - HDPE 8,2 gr - totora	

Anexo 3.3 Característica 2 de la composición HDPE + fibra de totora

Polietileno de Alta Densidad con Fibra de Caña de Azúcar

- Composiciones para la característica 1

Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + caña de azúcar	70%-30%	1) 85°C 2) 145°C 3) 176°C 4) 221°C 5) 257°C 6) 278°C
	130 gr - HDPE 26,5 gr - caña de azúcar	
Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + caña de azúcar	80%-20%	1) 88°C 2) 132°C 3) 189°C 4) 219°C 5) 248°C 6) 272°C
	145 gr - HDPE 11 gr - caña de azúcar	
Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + caña de azúcar	90%-10%	1) 90°C 2) 136°C 3) 172°C 4) 217°C 5) 247°C 6) 272°C
	150 gr - HDPE 7,5 gr - caña de azúcar	

Anexo 3.4 Característica 1 de la composición HDPE + caña de azúcar

- Composiciones para la característica 2

Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + caña de azúcar	70%-30%	1) 86°C 2) 147°C 3) 204°C 4) 220°C 5) 250°C 6) 274°C
	300 gr - HDPE 34,4 gr - caña de azúcar	
Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + caña de azúcar	80%-20%	1) 75°C 2) 104°C 3) 150°C 4) 219°C 5) 258°C 6) 276°C
	330 gr - HDPE 13,2 gr - caña de azúcar	
Compuesto	Composición	Temperatura
HDPE + caña de azúcar	90%-10%	1) 88°C 2) 145°C 3) 206°C 4) 238°C 5) 268°C 6) 278°C
	340 gr - HDPE 8,3 gr - caña de azúcar	

Anexo 3.5 Característica 2 de la composición HDPE + caña de azúcar

RESULTADOS DE LAS PROBETAS



Identificación	Comprobación	Características
174 - Cacha de 174	174 - 174	174 - 174
175 - Cacha de 175	175 - 175	175 - 175
176 - Cacha de 176	176 - 176	176 - 176
177 - Cacha de 177	177 - 177	177 - 177
178 - Cacha de 178	178 - 178	178 - 178
179 - Cacha de 179	179 - 179	179 - 179
180 - Cacha de 180	180 - 180	180 - 180
181 - Cacha de 181	181 - 181	181 - 181
182 - Cacha de 182	182 - 182	182 - 182
183 - Cacha de 183	183 - 183	183 - 183

Anexo 3.6 Probetas terminadas

ANEXO 4. PROCESO DE FABRICACIÓN



Anexo 4.1 Triturado de material y obtención de la escama



Anexo 4.2 Mezcla de polímero y fibra según cada medición



Anexo 4.3 Control de temperatura en el molde



Anexo 4.4 Compactado de la masa fundida



Anexo 4.5 Viruta resultante en el proceso de corte del WPC



Anexo 4.6 Pruebas de Resistencia de tracción

ANEXO 5. EXPOSICIONES



Anexo 5.1 Exposición en Yachay Tech



Anexo 5.2 Entrevista en el programa Yachana UTV – Canal 24