

DESARROLLO DE UN MATERIAL AGLOMERADO A PARTIR DE RESIDUOS
ORGÁNICOS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE FRUTO DE PALMA DE ACEITE,
(ELAEIS GUINEENSIS)

ANA CECILIA AREVALO VERJEL

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS CIVIL Y AMBIENTAL
PAMPLONA

2018

DESARROLLO DE UN MATERIAL AGLOMERADO A PARTIR DE RESIDUOS
ORGÁNICOS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE FRUTO DE PALMA DE ACEITE, -
ELAEIS GUINEENSIS

ANA CECILIA AREVALO VERJEL

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Ingeniería Ambiental

Director:

BLADIMIR RAMÓN VALENCIA

Dr. Ingeniería de Materiales

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS CIVIL Y AMBIENTAL
PAMPLONA

2018

Dedicatoria

Este proyecto lo dedico con todo mi amor a Dios y a la Virgen de Torcoroma que me regalan la
vida y la capacidad para lograr mis metas...

A mi nieto Martin Felipe, que llego a esta vida solo a llenarme de felicidad y a mostrarme lo
bello que puede ser el mundo...

A mis padres quienes siempre han confiado en mí, me apoyan en todo y me dieron el impulso
para hacer esta maestría...

A Natalia, Ángel Uriel, Diana, Tina y Gustavo quienes me han acompañado con mucha paciencia
en este proceso...

A toda mi familia y a mis amigos, que siempre me apoyan en todos mis emprendimientos...

Agradecimientos

- A la Universidad de Pamplona, a través del programa de Maestría de Ingeniería Ambiental, direccionado por el Doctor Jacipt Ramón Valencia, quien se esmera fuertemente, por lograr que todos nosotros cumplamos nuestras metas.
- Al Doctor Bladimir Ramón Valencia quien me acompañó como director del proyecto, ayudándome a enfocar los objetivos, guiándome y apoyándome con sus conocimientos durante el desarrollo. Igualmente, agradecida por su exigencia y a la vez por su paciencia y tiempo que le dedico para lograr un excelente resultado.
- A la Planta Extractora Palmas de Risaralda (COOPAR), quien nos suministró el material de la fibra de palma para el estudio realizado.
- A los laboratorios de la Universidad de Pamplona: Química, Biocalorimetría por las pruebas de TGA. Laboratorio de Materiales del programa de Ingeniería Mecánica (Holger Cacua), por el acompañamiento en la caracterización de las pruebas mecánicas, junto con el profesor William Mora, por aclararme dudas relacionadas con el análisis térmico.
- Al Laboratorio de Nanociencia y Nanotecnología de la Universidad Pontificia Bolivariana (Sede Bucaramanga), por su colaboración con las imágenes de SEM de los residuos de fibra.
- Al Departamento de Construcciones Civiles de la Universidad Francisco de Paula Santander, por las asesorías en la evaluación del prototipo.

- A la empresa PRIMADERA S.A.S. quien me permitió poder conocer al detalle el proceso de elaboración de aglomerados, en su planta de Gachancipá- Cundinamarca.
- A la ingeniera Diana Villamizar y al diseñador Andrés Díaz, quienes me apoyaron, e hicieron muy agradable esta experiencia, compartimos momentos de mucho trabajo muy divertidos.

Resumen

Existe gran preocupación a nivel mundial y local sobre la producción de residuos agroindustriales generados, así mismo sobre la forma de agregarles valor. Por tanto, en la siguiente investigación, el objetivo principal consiste en el desarrollo de un nuevo material aglomerado sostenible ambientalmente y de alto valor agregado, representado en: El incremento de los ingresos económico para el sector, generación de empleo, disminución de uso de materias primas tradicionales como la madera y productos petroquímicos, apropiación de conocimiento en la comunidad científica y el sector.

En la primera parte, se realizó la caracterización fisicoquímica de los residuos de fibra de palma de aceite, mediante normas estandarizadas TAPPI, para el cálculo de los porcentajes de los constituyentes primarios (lignina, celulosa, hemicelulosa, cenizas, solubilidad en NaOH). La determinación de humedad se llevó a cabo mediante técnica termogravimétrica, mientras que en las curva de TGA se analizó la pérdida de masa de la fibra en un barrido de temperatura. Por medio de microscopia electrónica de barrido se observó la estructura del residuo para determinar la relación entre la pared celular y los microcomponentes fibrosos.

En la segunda parte, se realizó la manufactura de los tableros aglomerados, en diferentes concentraciones de resina de urea-formaldehído. Se evaluaron las propiedades físicas de los tableros, como la densidad, porcentaje de humedad e hinchamiento. Igualmente, se realizaron ensayos de termogravimetría y resistencia mecánica a la flexión, para determinar el módulo elástico y de ruptura. Entre los resultados más representativos se encuentra que la densidad de los tableros aglomerados, se ven afectados por la absorción de agua y el hinchamiento de forma inversamente proporcional, mientras que el módulo de ruptura y de elasticidad no se ven

influenciados.

Finalmente, se obtiene que los tableros elaborados a partir de los residuos de fibra de palma de aceite (RFPA), representan una alternativa ecológica y sostenible para la sustitución de materias primas convencionales. Adicionalmente, estos tableros fueron sometidos a un uso industrial, en este caso como formaleta para la construcción, obteniendo como resultado un producto viable técnico, financiero y económicamente según el estudio realizado.

NOMENCLATURA

ASTM: Métodos estándar para la evaluación de las propiedades de tableros aglomerados a base de fibras de madera y partículas

ANSI: Instituto nacional estadounidense de estándares

CPKO: Aceite crudo de palmiste (Crude kernel oil)

CPO: Aceite crudo de palma (Crude palm oil)

DIN: Instituto Alemán de estandarización

FEDEPALMA: Federación de palmicultores de Colombia

RFFPA: Residuos de Fibra de palma de Aceite

HDF: Tablero de alta densidad

RFF: Racimo de fruta fresca

MDF: Tablero de fibra de densidad media

MDP: Tablero de partículas de densidad media

MOE: Modulo de elasticidad

MOR: Modulo de ruptura

NTC: Normas técnica colombiana

SEM: Microscopia electrónica de barrido

TAPPI: Asociación técnica de la industria del papel y la pulpa

TGA: Termogravimetría

DTG: Derivada de la pérdida de la masa

TG: Pérdida de la masa porcentual

UNE: Una norma española

UFA: Urea-formaldehído

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	18
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1 Generalidades de la agroindustria de palma de aceite (<i>Elaeis Guineensis</i>)	23
2.1.1 Origen, taxonomía y descripción del cultivo	23
2.1.2 Producción de aceite de palma	27
2.2 Generalidades de la biomasa	32
2.2.1 Residuos generados en el proceso de extracción de palma de aceite crudo.....	33
2.2.2 Usos de la biomasa residual de la palma de aceite.....	34
2.2.3 Constituyentes de la pared celular de los residuos lignocelulósicos	37
2.3 Generalidades de los tableros aglomerados	42
2.3.1 Definición de los tableros aglomerados	44
2.3.2 Clasificación de los tableros aglomerados	45
2.3.3 Proceso de producción de tableros aglomerados.....	46
2.3.4 Características físicas y mecánica de los tableros aglomerados	55
2.3.5 Comportamiento de la industria de tableros aglomerados	57
2.4 Normatividad ambiental y técnica.....	60
2.4.1 Normatividad ambiental en Colombia para la industria forestal.....	60
2.4.2 Normatividad técnica para tableros aglomerados	61
2.5 Antecedentes de residuos agrícolas en diferentes aplicaciones.....	62
3. OBJETIVOS.....	68
3.1 Objetivo general	68
3.2 Objetivos Específicos	68
4. PARTE EXPERIMENTAL.....	69
4.1 Materiales	69
4.1.1 Fibra de palma de aceite.....	69
4.1.2 Resina urea-formaldehído	70
4.2 Caracterización de los residuos de fibra de palma de aceite (RFPA)	71
4.2.1 Propiedades químicas de los RFPA	71
4.2.2 Caracterización física de los RFPA.....	78
4.3 Fabricación de los tableros aglomerados	80

4.3.1 Pruebas preliminares y parámetros del proceso de elaboración.....	80
4.3.2 Etapas para la elaboración de los tableros aglomerados	83
4.4 Caracterización de los tableros con RFPA	89
4.4.1 Absorción e hinchamiento.....	89
4.4.2 Cálculo de la densidad de los tableros	90
4.4.3 Caracterización térmica por termogravimetría (TGA).....	91
4.4.4 Resistencia a la flexión estática (MOR – MOE).....	91
4.5 Elaboración de un prototipo para una posible aplicación industrial	94
4.6 Evaluación financiera y económica del proyecto.....	94
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES	98
5.1 Composición química de los residuos de fibra de palma de Aceite - RFPA	98
5.2 Caracterización física de los RFPA.....	103
5.2.1 Determinación de humedad.....	104
5.2.2 Caracterización térmica por TGA	105
5.2.3 Análisis morfológico por SEM	107
5.3 Caracterización física de los tableros	109
5.3.1 Absorción de agua e hinchamiento	109
5.3.2 Densidad de los tableros RFPA.....	113
5.3.3 Caracterización térmica por TGA.	114
5.4 Caracterización mecánica de los tableros de RFPA.....	121
5.4.1 Módulo de ruptura – MOR.....	121
5.4.2 Módulo de elasticidad – MOE	123
5.4.3 Análisis de las variables respuestas Vs la variable manipulada.....	125
5.5 Elaboración del prototipo para una aplicación industrial.....	129
5.6 Evaluación financiera y económica a escala industrial del nuevo material	132
5.6.1 Análisis de la comercialización y determinación del precio	133
5.6.2 Evaluación financiera y análisis de sensibilidad del proyecto	134
5.6.3 Aspectos económicos que influyen en el proyecto	138
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	140
BIBLIOGRAFÍA.....	144
RESULTADOS DE CARÁCTER CIENTÍFICO OBTENIDOS A PARTIR DE LA INVESTIGACIÓN.....	161
ANEXOS.....	164

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la palma de aceite	24
Tabla 2. Composición de la biomasa resultante del proceso de extracción de aceite	34
Tabla 3. Uso de los residuos de las planas extractoras de aceite de palma (2013)	35
Tabla 4. Normatividad para tableros aglomerados.....	61
Tabla 5. Resumen de los métodos utilizados para la caracterización química	78
Tabla 6. Cantidad de resina aplicada por cada tratamiento.....	85
Tabla 7. Composición química determinada para la fibra de palma de aceite.....	98
Tabla 8. Comparación de la composición química de la fibra	100
Tabla 9. Comparación de la composición química de la fibra con materias primas de tableros de partículas	102
Tabla 10. Análisis estadístico de la prueba solubilidad de la fibra en Hidróxido de sodio al 1%	103
Tabla 11. Resultados determinación de humedad de la fibra de palma de aceite	104
Tabla 12. Clasificación de los tableros a partir de FPA según la norma ASTM 1554 D 10.....	114
Tabla 13. Resultados obtenidos caracterización físico-mecánica	125
Tabla 14. Flujo de caja del proyecto (escenario 1) (miles \$)	135
Tabla 15. Análisis de sensibilidad (escenario 1) (miles \$).....	135
Tabla 16. Flujo de caja del proyecto (escenario2) (miles \$)	136
Tabla 17. Análisis de sensibilidad (escenario 2) (miles \$).....	137
Tabla 18. Análisis de sensibilidad (escenario 2) (miles \$).....	138
Tabla 19. Análisis de sensibilidad (escenario 3) (miles \$).....	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Palma de aceite edad adulta	24
Figura 2. Fruto de palma de aceite	25
Figura 3. Etapas y productos de la cadena productiva de Aceite de Palma	26
Figura 4. Etapas del proceso de Extracción de palma y productos finales del proceso	27
Figura 5. Etapas del proceso de Extracción de palma y productos finales del proceso	28
Figura 6. Producción de grasas y aceites en el mundo	29
Figura 7. Distribución geográfica de la producción mundial de aceite de palma en 2015	29
Figura 8. Delimitación de zonas palmeras en Colombia.....	30
Figura 9. Área sembrada de palma de aceite en Colombia	31
Figura 10. Área cosechada y producción	31
Figura 11. Relación de producción de Biomasa por RFF procesado	33
Figura 12. Principales usos de los residuos de palma	36
Figura 13. Estructura parcial de la celulosa	38
Figura 14. Estructura parcial de las hemicelulosas	39
Figura 15. Estructura parcial de la lignina	40
Figura 16. Relación de la resistencia frente a la densidad del material, para varias familias de materiales	44
Figura 17. Descripción del proceso industrial de producción de tableros de partículas	47
Figura 18. Proceso de selección de madera.....	49
Figura 19. Pilas de material después del proceso de astillado	49
Figura 20. Proceso de molienda o viruteado	50
Figura 21. Proceso de secado	51
Figura 22. Proceso de tamizado	52

Figura 23. Proceso de encolado.....	52
Figura 24. Proceso de formación de colchón.	53
Figura 25. Salida del proceso de prensado	54
Figura 26. Proceso curado y lijado.....	55
Figura 27. Producción de tableros de madera en el mundo 2010-2014.....	58
Figura 28. Distribución de Importaciones en Colombia por tipo de tablero.....	59
Figura 29. Mapa de áreas de deforestadas y frontera agrícola de Colombia	61
Figura 30. Ubicación de recolección de la muestra	69
Figura 31. Fibra de palma de aceite – Planta COOPAR	70
Figura 32. Presentación comercial resina UFA.....	70
Figura 33. Proceso de determinación de cenizas.....	72
Figura 34. Proceso para determinación de extraíbles.....	73
Figura 35. Determinación de lignina para los RFPA	74
Figura 36. Determinación de celulosa para los RFPA	75
Figura 37. Determinación de hemicelulosa para los RFPA	76
Figura 38. Determinación de solubilidad en hidróxido de sodio	77
Figura 39. Determinación de humedad para los RFPA.....	79
Figura 40. Proceso de elaboración de tableros de FPA.....	81
Figura 41. Pruebas preliminares con la fibra de palma y resina poliéster insaturada	82
Figura 42. Diseño del experimento	83
Figura 43. Tamizado de la fibra de palma.....	84
Figura 44. Proceso de mezclado de la fibra con la resina	85
Figura 45. Equipo aglomerador de la Universidad de Pamplona.....	87
Figura 46. Prensado de la mezcla en el equipo aglomerador	88

Figura 47. Proceso de curado de los tableros	89
Figura 48. Prueba de absorción e hinchamiento	90
Figura 49. Determinación de la densidad.....	90
Figura 50. Determinación de MOE Y MOR de los tableros aglomerados	91
Figura 51. Esquema de elaboración y caracterización de los tableros aglomerados.....	93
Figura 52. Ruta para la definición del prototipo	94
Figura 53. Composición de la fibra del mesocarpio/tusa de la palma de aceite	100
Figura 54. Composición de diferentes maderas utilizadas en la producción de aglomerados versus la fibra de palma.....	102
Figura 55. Determinación de humedad de la fibra en función del tiempo	105
Figura 56. TGA/DSC para la fibra de palma de aceite	106
Figura 57. TGA/DSC para la fibra de palma de aceite	107
Figura 58. Fotografía SEM fibra de palma	108
Figura 59. Absorción de agua de los tableros RFPA las 2 y 24 horas después.....	110
Figura 60. Hinchamiento en los tableros FPA a las 2 y 24 horas después; Error! Marcador no definido.	
Figura 61. Densidad de los tableros de los RFPA.....	113
Figura 62. TGA/DSC para la fibra tablero PFA (R5)	116
Figura 63. TGA/DSC para la fibra el tablero de RPFA (R10).....	117
Figura 64. TGA/DSC para la fibra tablero RPFA (R15).....	118
Figura 65. TGA/DSC Comparativo fibra de palma con el tablero aglomerado de RFPA (R5-R10-R15).....	120
Figura 66. Resultados obtenido en módulo de ruptura – MOR para tableros con RFPA	122
Figura 67. Resultados obtenidos en módulo de elasticidad – MOE para tableros con RFPA	124

Figura 68. Densidad de los tableros FPA + UFA Vs hinchamiento y absorción de humedad	126
Figura 69. Densidad de los tableros RFPA + U-FA Vs MOR - MOE.....	127
Figura 70. Definición del prototipo para un posible uso industrial del tablero obtenido.....	130
Figura 71. Aplicación industrial del tablero aglomerado como formaleta.....	131
Figura 72. Producto obtenido a partir del uso industrial propuesto	132

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Granulometría fibra de palma de aceite.....	175
Anexo 2. Ficha técnica Resina de Urea Formaldehido.....	176
Anexo 3. Caracterización química de la FPA.....	177
Anexo 4. Planteamiento del experimento.....	179
Anexo 5. Cálculo de Módulo de Ruptura.....	180
Anexo 6. Cálculo de módulo de elasticidad.....	181
Anexo 7. Cálculo de la absorción de agua 2 y 24 horas después.....	182
Anexo 8. Cálculo del hinchamiento 2 y 24 horas después.....	183
Anexo 9. Determinación de la densidad.....	184
Anexo 10. Concepto técnico de Formaleta de tablero aglomerado de residuo de palma.....	185
Anexo 11. Evaluación económica y financiera del proyecto.....	187
Anexo 12. Certificados de participación en eventos.....	192

1. INTRODUCCIÓN

La palma de aceite en Colombia es uno de los principales renglones del sector agroindustrial del país, con 465.985 Ha plantadas (Boletín Económico - FEDEPALMA, 2016), participa en la producción mundial con el 2%, cifra que lo ubica en el cuarto puesto a nivel mundial, procesando más de 5 millones de toneladas de racimos de fruto fresco (RFF), con una producción aproximada de 1.272.522 ton de aceite crudo (Boletín Económico - FEDEPALMA, 2016) equivalentes entre el 20-22% de RFF.

Haciendo una estimación de la producción actual de residuos orgánicos en Colombia, en las 65 plantas extractoras existentes, se estima que se generan alrededor de 4 millones de toneladas de estos desechos al año; (para el año 2020 el sector espera elevar 4 veces su valor). De acuerdo con las proyecciones del sector (Mesa, Molina, Gutt, Eder, & Dangond, 2016); la producción es inferior frente a los datos reportados para países como Malasia con un rendimiento de residuos para el 2013 de 39 millones de toneladas (Ramirez, Arevalo, & Garcia, 2015). Entre los principales residuos que genera esta agroindustria están: las tusas o racimos vacíos, fibra resultante del prensado del fruto, el cuesco obtenido del rompimiento de la nuez, las cenizas producidas por la quema de fibra y los lodos.

El cultivo de palma de aceite en el mundo tiene tantos detractores como promotores, en Europa hay comunidades que lo han vetado por razones ambientales y socioeconómicas. Sin embargo, quienes lo defienden aseveran que la contribución ambiental del cultivo es muy importante puesto que absorbe 20 veces más el CO₂ que otros monocultivos por su follaje. Además, cuentan con la certificación RSPO como cultivos catalogados con producción verde, con buenas prácticas agrícolas y libre del empleo infantil, generando plantaciones sustentables (Mesa et al., 2016).

Es así, que desde hace varios años, ya se vienen estudiando las composiciones físico- químicas de los residuos de dicha agroindustria; con el fin de dar un mayor aprovechamiento de ellos. En la Conferencia XVIII Internacional de palma de aceite, realizada en Cartagena de Indias en el año 2015 (Anexo 12) una temática del congreso estuvo dedicado a la importancia de estos residuos; presentando los principales usos en el mundo; destacando el empleo en el campo energético, producción de pulpa y composites, paneles y tableros (Dam, 2015). Así mismo, estas biofibras son catalogadas como una fuente abundante y económica de material lignocelulósico; con altas propiedades estructurales para la producción textil, alimentos, enzimas, productos químicos, además de las mencionadas anteriormente (Reddy & Yang, 2005).

Los principales constituyentes de la madera son: lignina, celulosa y hemicelulosa (Martín, Molina, García, & Rodríguez, 2004), siendo los componentes estructurales de las paredes celulares, pero que varían según la fuente de procedencia (Ferrer, 2013).

Algunas fibras naturales se han utilizado como refuerzo en materiales compuestos para la fabricación de partes de automotores, equipos, empaques paneles de madera; estas presentan una alternativa más ecológica, llegando a desplazar los materiales convencionales en algunas aplicaciones industriales, en especial los compuestos elaborados con fibras sintéticas de vidrio y resinas derivadas del petróleo (Mora-Espinosa & Ramón-Valencia, 2017). Las fibras naturales permiten disminuir la dependencia de la industria petroquímica, debido a las propiedades mecánicas que éstas ofrecen; alta resistencia al impacto y flexibilidad (Ramón, Lopez, Ramón, Ramón, & Ibla, 2014). Trabajos realizados destacan la importancia del sector de la palma de aceite en el mundo; en Malasia se enfocan los esfuerzos para la reducción en la dependencia de los combustibles fósiles, desarrollando biodiesel y energías alternativas (Doherty, Mousavioun, & Fellows, 2011). En Argelia se busca la valorización de la fibra de palma en las construcciones,

permitiendo desarrollar materiales que mejoren las condiciones del concreto como aislante térmico a costos factibles (Abani, Hafsi, Kriker, & Bali, 2015).

Se han desarrollado nuevas técnicas de procesamiento y métodos de modificación química y física, para poder mejorar rendimiento de los materiales entre resinas y fibras naturales (Madurwar, Ralegaonkar, & Mandavgane, 2013). En Ecuador en el año 2012, se realizó la elaboración de tableros aglomerados auto adheridos a partir de fibra de raquis de palma africana, logrando definir las condiciones del proceso de termo-conformado del material. El RFPA se ha utilizado para el desarrollo de materiales compuestos junto a matrices poliméricas tales como el caucho natural, polipropileno, cloruro de polivinilo, fenol formaldehído, poliuretano, resinas epoxi y de poliéster (Shinoj, Visvanathan, Panigrahi, & Kochubabu, 2011), mostrando resultados favorables al ser sometidos a cargas mecánicas en ensayos de tracción, flexión e impacto, de gran importancia en aplicaciones estructurales (Sreekala, Kumaran, Joseph, & Thomas, 2001).

En los últimos años, la proyección de la tecnología de los tableros aglomerados se ha hecho generalizada en el contexto mundial. En China y otros países asiáticos, se producen tableros aglomerados y contrachapados a partir de gramíneas como el bambú (*Bambusa vulgaris*) y guadua (*Guadua angustifolia*) (Hidalgo, 1989), la caña brava (*Gynerium sagittatum*) (Contreras et al., 1999b); así como proyecciones respecto al uso de residuos agroindustriales de las plantaciones de plátano, banana o cambur (W. C. Miranda, Ballester, & Contreras, 2005). FEDEPALMA en el año 2010 realizó un diagnóstico de la generación y uso de la biomasa de palma de aceite en Colombia, obteniendo como resultado la disponibilidad de más de 600.000 toneladas de biomasa, para formular alternativas de aprovechamiento, por tal razón se ha evaluado la viabilidad del aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos en el país, obteniendo briquetas como alternativa a los combustibles fósiles (González, Rincón, Camargo,

Dévora, & Sierra, 2014).

Diferentes residuos lignocelulósicos han sido evaluados para la fabricación de tableros aglomerados, como el pasto elefante y la guasca de plátano, (Gaitán et al., 2016). Así mismo, se ha desarrollado el método “steam exploded” para la elaboración de tableros aglomerados auto adheridos a partir de cascara de banano (G. Quintana, Velásquez, Betancourt, & Gañán, 2009). Según FEDEPALMA en el año 2010, Colombia contaba con una disponibilidad de más de 600.000 toneladas de biomasa de palma de aceite para formular alternativas de aprovechamiento que generen un valor agregado en la cadena productiva del sector. (García N. & Yañez A., 2010)

A partir de la relevancia que presenta esta producción de biomasa en el mundo, en Colombia, y la creciente demanda de tableros aglomerados; en el presente proyecto de investigación se realizó el análisis físico-químico del residuo de fibra de palma del mesocarpio, es decir la fibra contenida en el fruto (Then et al., 2013). Para tal propósito, se tomaron muestras de la planta Extractora COOPAR, ubicada en Norte de Santander – Colombia; de tal forma de practicarles una análisis cuantitativo para determinar los contenidos lignocelulósicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone un óptimo y eficiente aprovechamiento de estos recursos disponibles, como una alternativa limpia, que permita sustituir materiales como los polímeros, que tardan en degradarse, provenientes de fuentes no renovables como el petróleo y de recursos renovables como la madera, siendo dos industrias que su explotación impactan considerablemente el medio ambiente. De esta manera, el objetivo principal de la presente investigación, se centra en el desarrollo un material aglomerado a partir del aprovechamiento de los residuos orgánicos, que se generan durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma de africana (*Elaeis guineensis*), representando beneficios como: incremento de los ingresos

económicos para el sector, generación de empleo, disminución de uso de materias primas tradicionales como la madera y productos petroquímicos, apropiación de conocimiento en la comunidad científica y el sector.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades de la agroindustria de palma de aceite (*Elaeis Guineensis*)

Las palmas oleaginosas son todas aquellas de las cuales se puede extraer aceite de su fruto, la variedad *Elaeis Guineensis* es una de ellas, también conocida como palma africana, siendo una planta que presenta niveles de eficiencia 10 veces más alto que las demás plantas oleaginosas tales como la soja, razón por la cual es el aceite que más se produce en el mundo (Mejia Almeida, 2012).

2.1.1 Origen, taxonomía y descripción del cultivo

El aceite de palma se ha consumido a lo largo de la historia de la humanidad, pues desde hace más de 5000 años los indígenas, obtenían diferentes productos alimenticios a partir de este producto, (C. E. I. De la Palma, 2010).

Esta planta proviene de Guinea Occidental, a partir del siglo XV fue introducida a otras zonas de África, Sudeste Asiático y Latinoamérica, como cultivos espontáneos, y apenas hasta este siglo, se establece como cultivo propiamente dicho. En Malasia fue introducida como cultivo ornamental, fracasando los primeros intentos de plantaciones grandes y después de la primera guerra mundial se extendió rápidamente, siendo junto con Indonesia los mayores productores de aceite de palma en el mundo, con el 85% del mercado actual (Ferrer, 2013).

La planta de *Elaeis Guineensis*, cuyo nombre común es palma de aceite o palma africana por su origen, es una palmera monoica, perenne, de un solo tronco de 30-60 cm de diámetro, con presencia de cicatrices de las hojas viejas y de polinización cruzada (Mejia Almeida, 2012).

En la tabla 1, se presenta su clasificación taxonómica (Tinker, 2003):

Tabla 1. Taxonomía de la palma de aceite

Clasificación	Nombre
Reino	Plantae
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Arecales
Familia	Arecaceae
Subfamilia	Coryphoideae
Género	Elaeis
Especie	<i>E. guineensis</i> Jacq.

Fuente: Tinker, 2003.

En la figura 1, se muestra una palma adulta, alcanzando un crecimiento en su bulbo de 30 a 60 cm por año y en su sistema radicular aproximadamente 4,4 mm/día, hasta una longitud máxima de 50 cm (Tinker, 2003).



Figura 1. Palma de aceite edad adulta

Fuente: Manual Palma Aceitera

Una planta de palma de aceite logra llegar hasta los 50 años; pero normalmente debido a los rendimientos y para facilitar la cosecha, esta es reemplazada a los 25 años; llegando así a su edad

madura, donde alcanza hasta 20 metros de altura, con hojas de hasta 5 metros de largo, sin ramas. Una palma comienza a producir a los tres años de su siembra, siendo su fruto de color rojizo, creciendo en grandes racimos que alcanzan un peso hasta de 50 kg; a su vez, el corozo o fruto de palma de aceite mide entre 3cm (ancho) x 3cm (largo) x 1.5cm (espesor); aproximadamente la mitad corresponde al mesocarpio o parte carnosa, la cual recubre una semilla, también rica en aceite, como se evidencia en la figura 2 (CMSPA, 2015).

En los primeros tres años del cultivo se logran producciones de 10 toneladas de RFF, obteniendo los mayores rendimientos por hectárea a los ocho y diez años, con producciones entre 18 y 22 toneladas, las cuales se pueden mantener los siguientes veintitrés años (DANE, 2012).

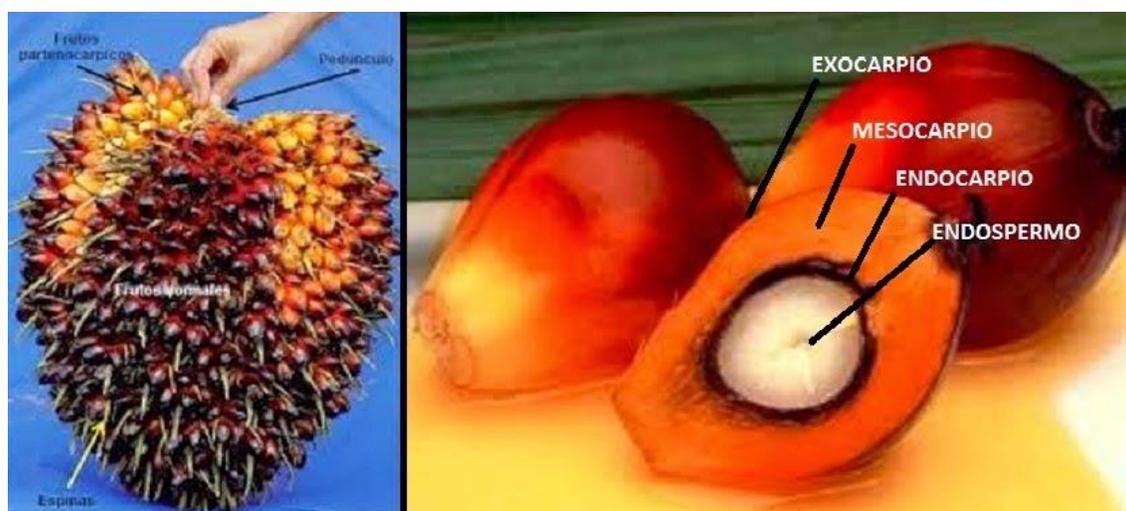


Figura 2. Fruto de palma de aceite
Fuente: Fedepalma, 2017

El aceite crudo de palma encontrado en la literatura como CPO, es obtenido a partir de un proceso de trituración del mesocarpio, donde se libera el corozo, del cual se obtiene posteriormente el aceite crudo de palmiste, referenciado en la literatura como CPKO; estas etapas del proceso comprende la fase agroindustrial (Figura 3), luego el aceite crudo de palma de aceite es trasladado al proceso industrial que comprende el refinado, filtrado y blanqueado.

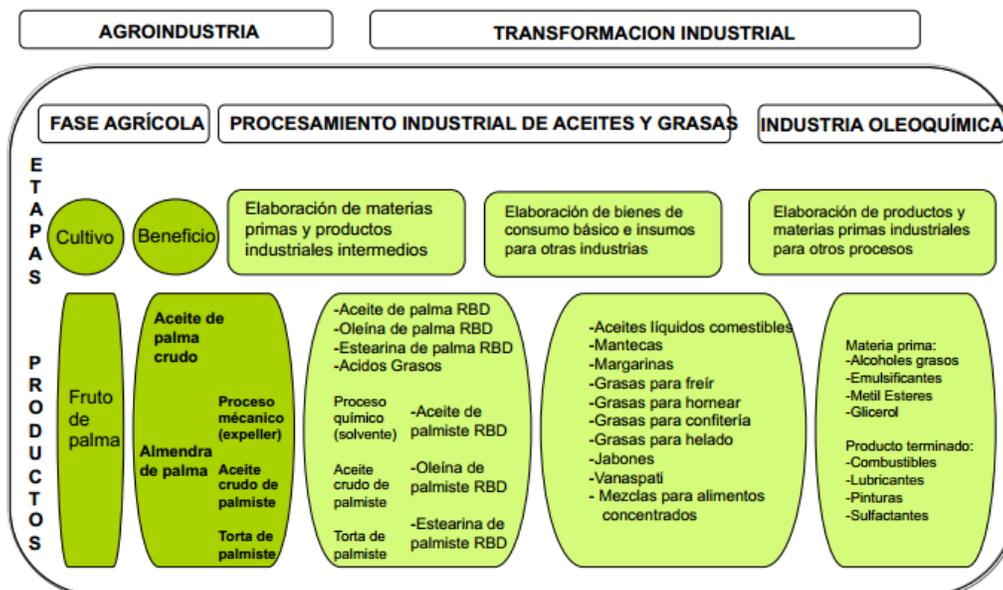


Figura 3. Etapas y productos de la cadena productiva de Aceite de Palma

Fuente: Fedepalma, 2017

En la figura 3, se presenta gráficamente las etapas de la cadena productiva del cultivo de aceite de palma, en donde se observa, que el presente proyecto de investigación interviene en el primer eslabón de la cadena, que incluye el cultivo y beneficio de este.

Este proceso de beneficio comprende a su vez, el proceso de extracción de aceite crudo de palma; el cual consta de una serie de etapas tales como: esterilización, desfrutado, digestión, prensado, clarificación y palmistería, etapas donde es producido la mayor cantidad de residuos objeto de estudio. (Proaño, 2015).

En la figura 4, se muestra las etapas del proceso de beneficio mencionadas, así como los productos y subproductos que se derivan de cada una de ellas, según análisis realizado por (Ramirez, Arevalo, & Garcia, 2015)

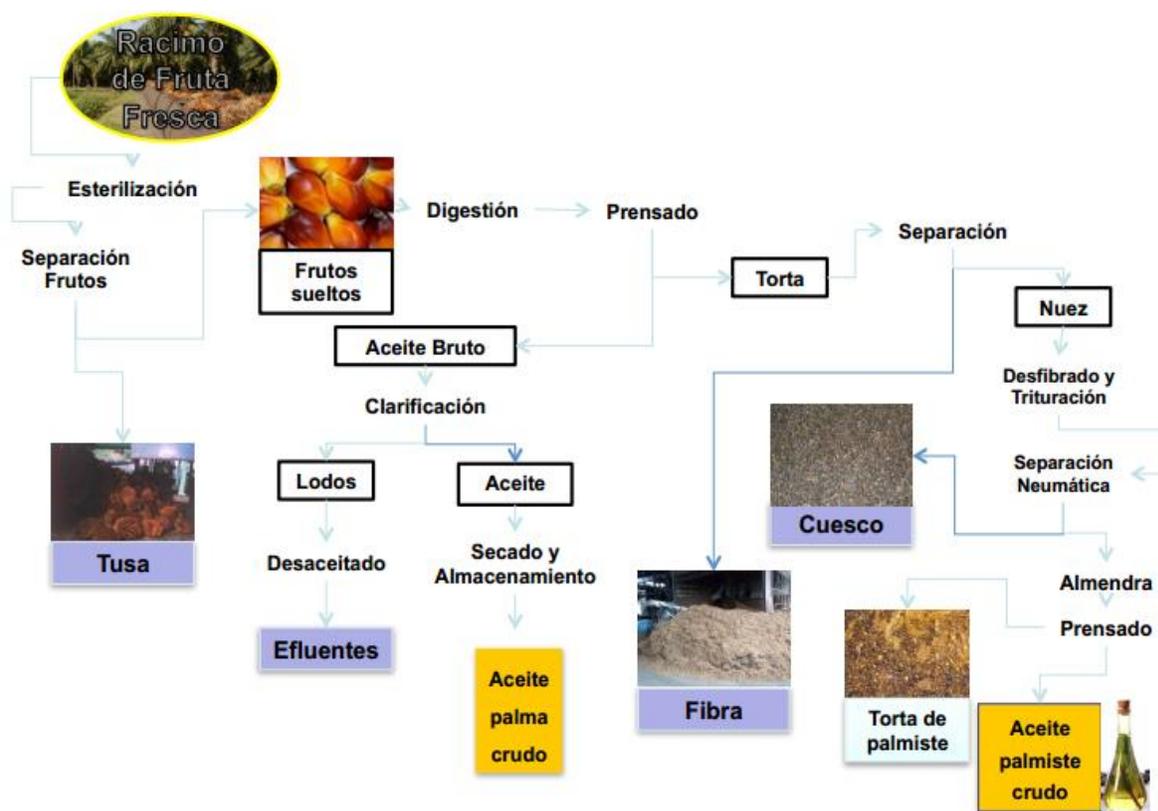


Figura 4. Etapas del proceso de Extracción de palma y productos finales del proceso
Fuente: Proaño, 2015.

Este proceso de beneficio se lleva a cabo en una planta extractora, generalmente ubicada muy cerca a las plantaciones; allí se obtiene como producto principal el aceite de palma crudo y como subproducto la torta de palmiste, además los residuos de: tusa o racimo, fibra, el cuesco y los efluentes (ver figura 4) (Proaño, 2015).

2.1.2 Producción de aceite de palma

El aceite de palma tiene una infinidad de usos, el más conocido es la producción para productos comestibles como aceites vegetales, siendo el principal componente de los aceites culinarios, margarinas, heladería, confitería, alimentos infantiles entre otros. El aceite de palmiste se usa principalmente en oleoquímica, aplicaciones en la industria cosmética, del aseo personal y del hogar.

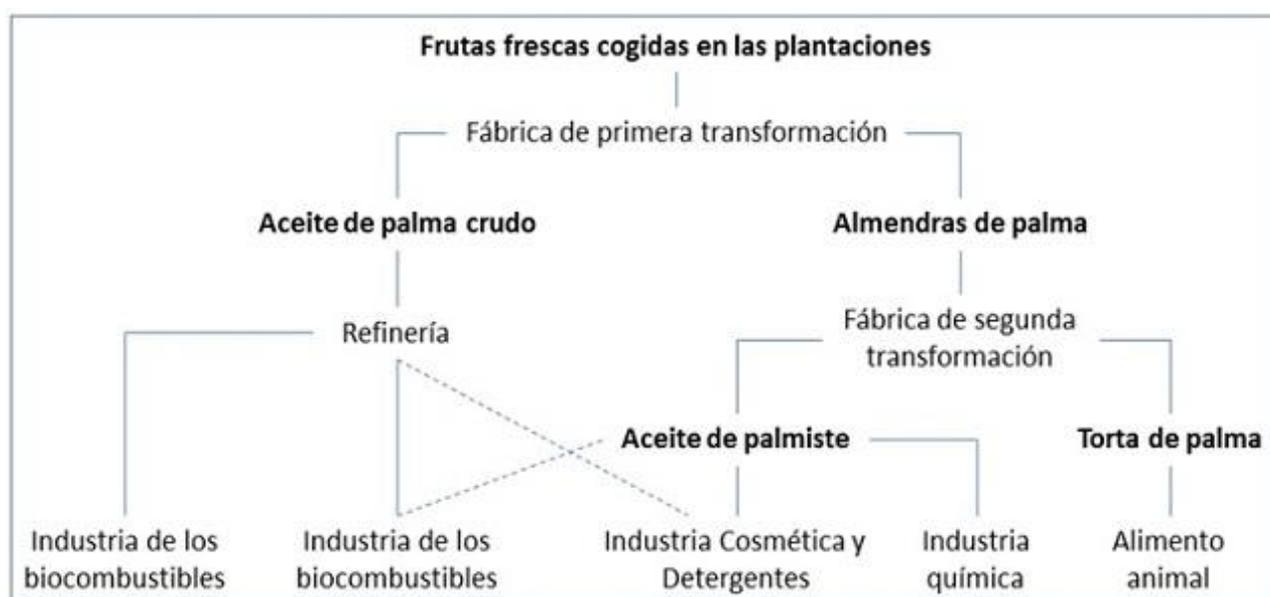


Figura 5. Etapas del proceso de Extracción de palma y productos finales del proceso

Fuente: CMSPA, 2015.

En la figura 5 se presentan otros usos del aceite de palma; sin embargo, las estimaciones mundiales asignan el 80% del uso, a los productos comestible, el 15% a la industria del cuidado personal y un 5% a la producción de biocombustibles (CMSPA, 2015).

- **A nivel internacional:** La producción de aceite de palma africana lidera la producción de aceite y grasas en el mundo; tal como se muestra en la figura 6, representando el 34% con 272 toneladas métricas TM, entre palma y palmiste, seguido por la soya que produce el 23% del total de la producción mundial de grasa y aceites, continuado por canola, girasol con el 13 y 8% respectivamente, y el 22% restante lo ocupan la manteca de cerdo, sebos y grasas, mantequilla y otros (FEDEPALMA, 2016).

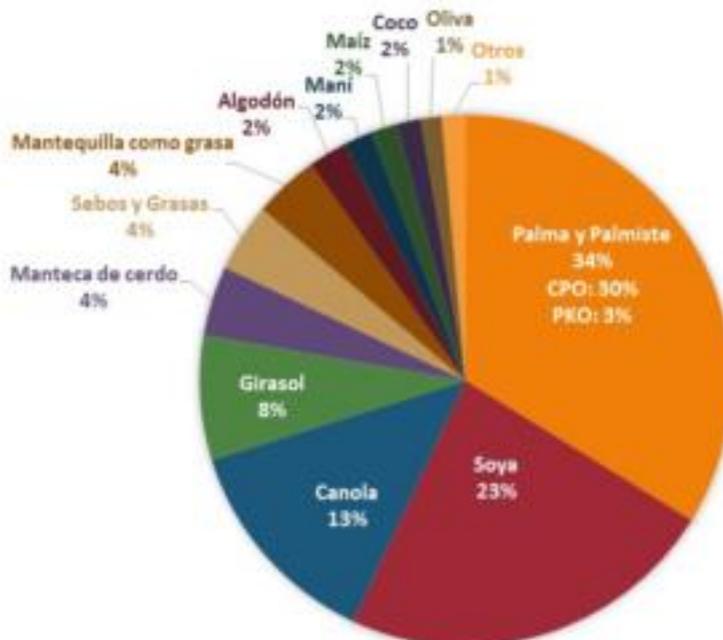


Figura 6. Producción de grasas y aceites en el mundo
Fuente: Fedepalma, 2016

Esta producción de aceite de palma en el mundo se concentra principalmente en Asia, continente encargado del 89% de la producción mundial de este rubro, América participa con el 6%, seguido por África con el 4% y Oceanía que participa con el 1% de la participación mundial, como se muestra en la figura 7.

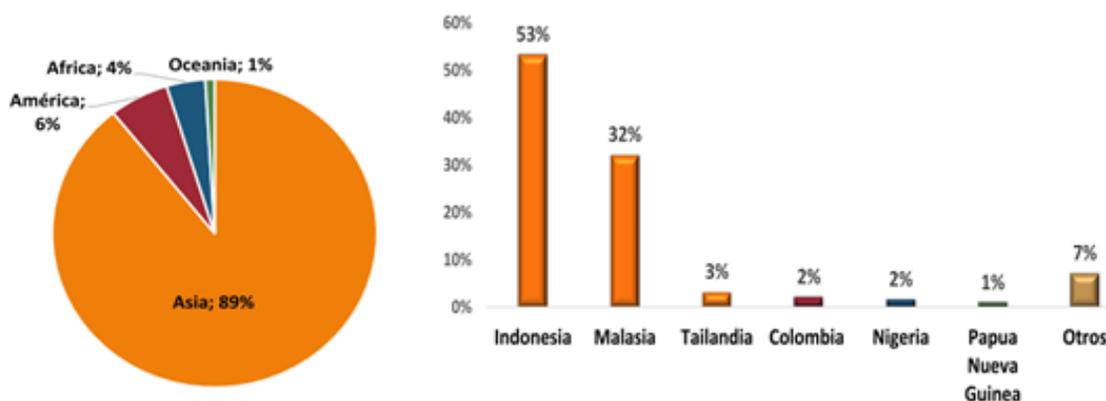


Figura 7. Distribución geográfica de la producción mundial de aceite de palma en 2015
Fuente: Fedepalma, 2016

En la figura 7, se puede observar también la distribución de la producción mundial por países, siendo Indonesia el mayor productor con más de la mitad de la producción de aceite crudo de palma, seguido por Malasia y Tailandia, luego encontramos a Colombia en el cuarto lugar con el 2% de la producción mundial, ubicándose así, como el líder de la producción en América latina (Fedepalma, 2016).

- **A nivel nacional:** La producción de aceite de palma en Colombia ha crecido en los últimos años, pues en la década de los 60's contaba con un área sembrada de 18.000 Ha (G. C. Quintana, Arroyave, & Suárez, 2008), y según reportes oficiales del año 2016 se reporta un área sembrada 465.985 Has (Fedepalma, 2016).

A su vez, FEDEPALMA define cuatro zonas geográficas, para su estructura organizativa, por lo tanto, la información oficial y datos reportados del sector es presentada por cada zona (figura 8).



Figura 8. Delimitación de zonas palmeras en Colombia
Fuente: Fedepalma, 2012

Adicionalmente, se presenta en la figura 9 las hectáreas sembradas en cada una de las zonas delimitadas en el país, encontrando una clara concentración en la zona oriental, con más de 181.000 Ha sembradas, seguido por la zona central con 143.000 Has, zona a la que pertenece Norte de Santander con cerca de 25.000 Has, ubicadas hacia el noreste del departamento.



Figura 9. Área sembrada de palma de aceite en Colombia
Fuente: Fedepalma, 2016.

En Colombia el aceite crudo de palma presenta un crecimiento importante en los últimos 8 años, pues en el 2007, producía un poco más de 500 mil toneladas de aceite crudo y para el año 2016 ascendió a 3 millones de toneladas.

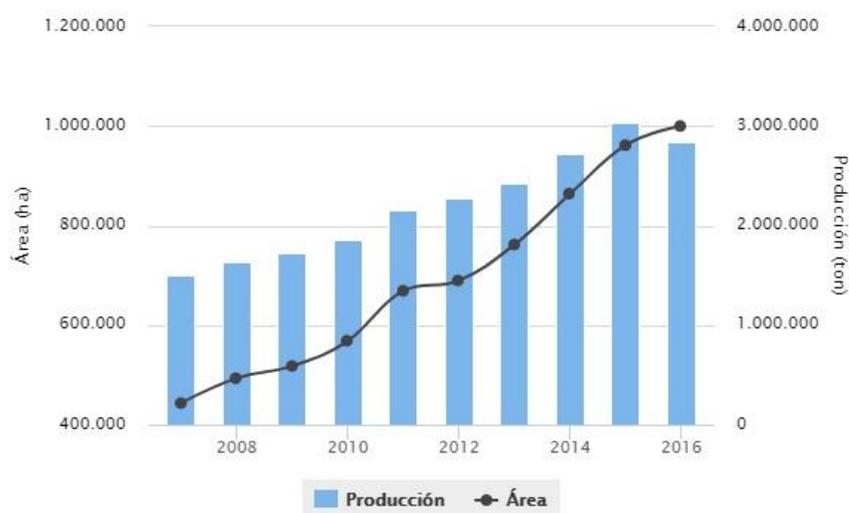


Figura 10. Área cosechada y producción
Fuente: Fedepalma, 2016.

En la figura 10, se puede observar que entre los años 2011 y 2012 no se evidencia un crecimiento

tan marcado, debido a fuertes problemas sanitarios, que afectaron principalmente la zona central, sin embargo, a partir del 2012 se ve un incremento importante en la producción de fruto, con más del 70% de incremento en su producción hasta el año 2015.

2.2 Generalidades de la biomasa

Es importante definir el concepto de biomasa, ya que en la literatura se pueden encontrar una gran variedad de conceptos. La Real Academia Española (RAE), reconoce dos grandes definiciones; primera: *“es materia orgánica que se genera a través de un proceso biológico (ya sea inducido o espontáneo) y que puede emplearse para producir energía; segunda: la biomasa es la totalidad de la materia de los organismos que habitan en un cierto lugar, que se expresa en peso por unidad de volumen o de área”* (RAE, 2017).

Sin embargo, se encuentra en el ámbito científico un enfoque muy marcado al uso del término de biomasa, y conduce a la utilización de material orgánico como fuente de energía natural (Clotario, Paredes, Simbaña, & Bermúdez, 2006). Por tanto, se reconoce la biomasa como la principal fuente alternativa de abastecimiento energético (Eras, 2015); presentando este recurso como la fuente más limpia y amigable con el medio ambiente para reemplazar combustibles y productos químicos provenientes de fuentes no renovables (García & Yañez, 2010).

Para el desarrollo del presente proyecto se tomará el término biomasa, como los residuos orgánicos biodegradables, resultante de los procesos agroindustriales o silviculturales, los cuales van destinados a diferentes usos; entre ellos: fuente de energía, desarrollo de nuevo productos como: alimentos balanceados, tableros aglomerados, producción de papel, productos para el sector de la construcción, entre otros.

2.2.1 Residuos generados en el proceso de extracción de palma de aceite crudo

Los residuos orgánicos o biomasa resultante del proceso de extracción de aceite crudo de palma, son principalmente los racimos o tusas, donde se ubica el fruto; la fibra de palma, que resulta del proceso de presando y de donde se extrae el aceite crudo, y el cuesco, el cual recubre la almendra. Estos son los tres principales residuos, los demás son considerados como subproductos: aceite de almendra o de palmiste y la torta de palmiste, debido al valor y el uso que poseen en la cadena productiva.

En la figura 11, García & Yáñez presentan de forma gráfica los principales productos, subproductos y residuos del proceso de agroindustrial de la palma con los respectivos porcentajes de producción.

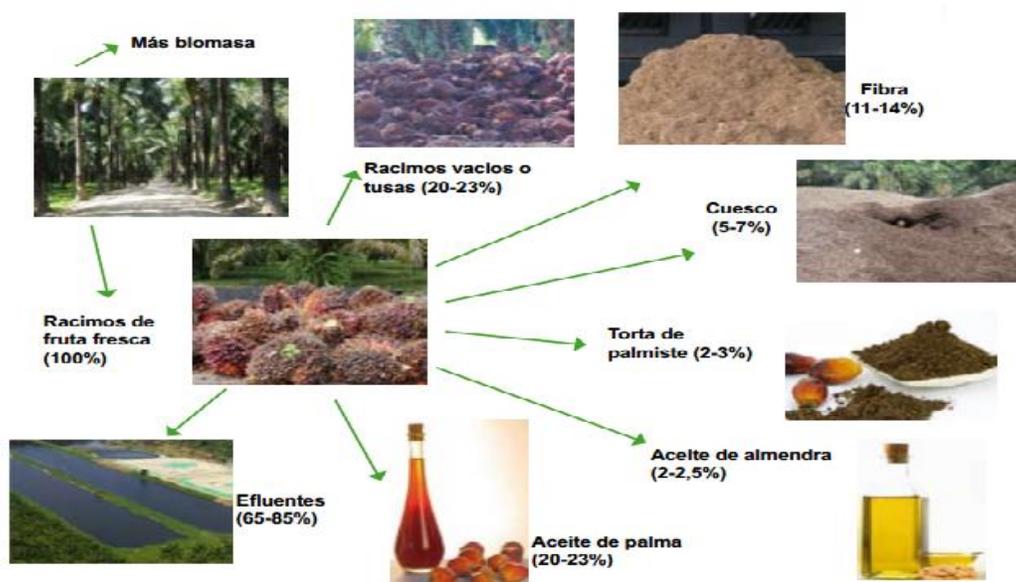


Figura 11. Relación de producción de Biomasa por RFF procesado

Fuente: García & Yáñez 2010.

Observando la figura 11 se puede evidenciar que el proceso de extracción de palma de aceite es un alto generador de biomasa, pues del 100% de la fruta se obtiene cerca del 20-23% de aceite

crudo y entre 4 - 6% de subproductos de aceite y la torta de palmiste, el resto queda como residuos agroindustriales.

En cambio otras agroindustrias como: la industria de la cerveza emplea el 8% del grano, y el 92% se convierte en un residuo; la industria del café utiliza el 9.5%, el 90.5% restante es residuo. En la fabricación de papel se usa alrededor del 30%, lo demás también es un residuo. (Saval, 2012); por lo tanto, el sector agroindustrial es un alto generador de residuos o biomasa.

Debido al potencial tan importante que tiene el sector de la palma de aceite en la generación de residuos, estos se han venido estudiando, con el fin de determinar sus usos significativos, que mitiguen el impacto ambiental y generen valor a lo largo de la cadena productiva. Por lo tanto, la tabla 2, muestra la composición química de los residuos más importante en el proceso de extracción de palma.

Tabla 2. Composición de la biomasa resultante del proceso de extracción de aceite

BIOMASA	CUESCO	TUSA	FIBRA
PRODUCCION % RFF	5,35	20,94	13,02
	Componentes C/uno		
Lignina (%)	49,58	10,23	21,79
Celulosa (%)	30,28	44,97	33,21
Hemicelulosa (%)	12,72	19,92	16,58
Extractivos (%)	7,13	19,32	19,34
Poder calorífico superior (KJ/Kg)	21,445	8,16	19,2

Fuente: Ramirez et al., 2015.

2.2.2 Usos de la biomasa residual de la palma de aceite

Son diferentes los usos, en los que se han desarrollado diferentes métodos para el beneficio de los residuos de palma de aceite, y que en algunos casos han terminado con éxito y otros son solo alternativas evaluadas sin llegar a ser soluciones innovadoras importantes que hayan logrado gran impacto tanto económico, ambiental como social.

En la tabla 3, se presenta un consolidado de la generación y usos de la biomasa de las plantas de beneficio de Colombia, estudio realizado en el año 2013, en donde se encuestaron 27 plantas de beneficio que representan el 72,2% de la producción nacional, ubicadas en 3 zonas palmeras de Colombia; norte, central y oriental.

Tabla 3. Uso de los residuos de las planas extractoras de aceite de palma (2013)

Residuos	Biomasa sólida generada		Biomasa potencial para nuevo usos	
	%RFF	Cantidad (t)	%RFF	Cantidad (t)
Tusa	20,22	728.847	15,21	548.354
Fibra	13,65	492.142	2,78	100.152
Cuesco	5,63	202.974	1,59	57.468

Fuente: Ramirez et al., 2015.

De acuerdo con la tabla anterior, la producción nacional en el año 2013 de aceite crudo de palma fue de 3.604.319 toneladas (72%); lo cual representó una biomasa estimada de 1.443.847 toneladas, equivalentes al 40% RFF, y efluentes en valores que ascienden a 2.497.359 metros cúbicos.

En la actualidad colombiana, estos residuos se destinan a diferentes aplicaciones, las cuales han sido estudiadas en detalle por el Centro de Investigaciones de la palma de aceite CENIPALMA. En la figura 12, se representa de forma gráfica los principales usos de los residuos sólidos, obtenidos del tratamiento de la palma (tusa, cuesco, fibra y cenizas de las calderas) hasta el año 2013.

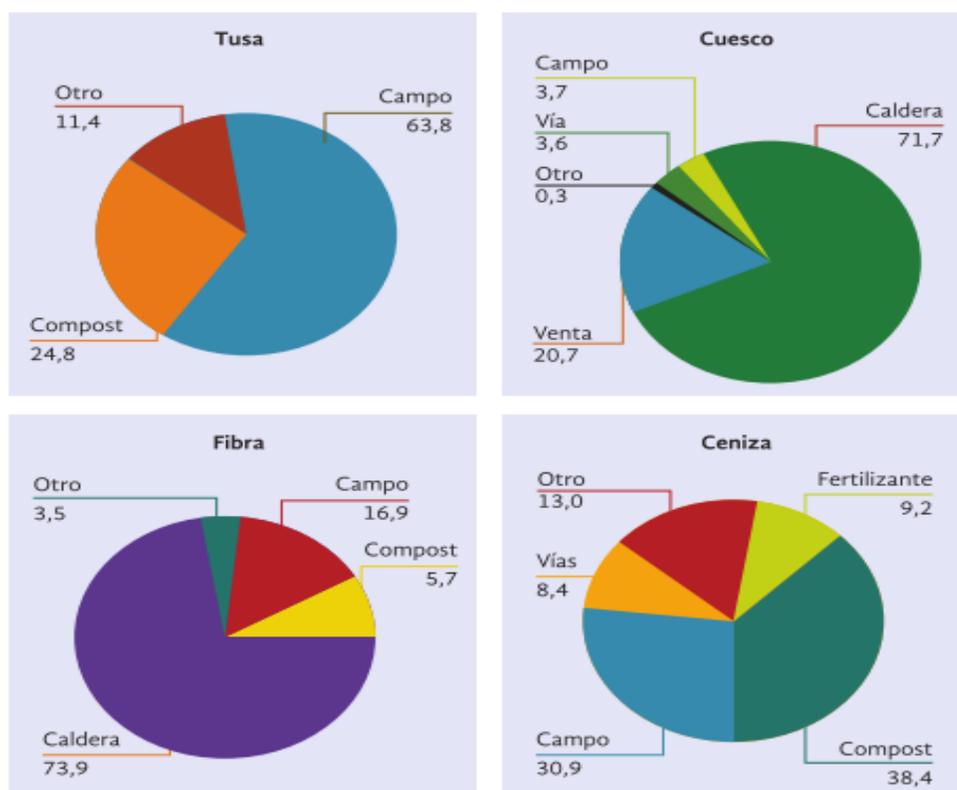


Figura 12. Principales usos de los residuos de palma
Fuente: Ramirez et al., 2015.

Como se observa en la figura 12, el principal uso de la tusa resultante del proceso de extracción, es como acondicionador de suelos, el 63,8% de la tusa regresa a las plantaciones nuevamente y se distribuye alrededor del tallo, siendo una práctica muy común en Colombia. Sin embargo, se pueden presentar algunos inconvenientes debido a la proliferación de la mosca de los establos (*Stomoxys calcitrans*) (Ramirez et al., 2015), las cuales pueden generar problemas al ganado que se encuentre cerca a las plantaciones, por tanto, la práctica más recomendada es llevar esta tusa al proceso de compostación antes de ser incorporada al suelo nuevamente.

Los principales usos reportados por las plantas extractoras para el cuesco, es como combustible para las calderas de las mismas plantas extractoras, debido a su alto poder calorífico, tan solo un 20% logra venderse y/o es usado en las mismas vías de las fincas.

Así mismo, los RFPA son utilizados principalmente como biomasa para calderas (73,9 %), el 5,7 % es llevado a plantas de compostación y el 16,9 es retornado al campo al igual que la tusa. El estudio evaluó el uso de la cenizas residuales en las calderas de las plantas extractoras, en el cual termina incorporándose de nuevo al proceso de compostación (38,4%) o aplicándolo directamente (30,9 %).

2.2.3 Constituyentes de la pared celular de los residuos lignocelulósicos

La composición química de la pared celular de las plantas de palma de aceite, tiene gran importancia, debido al efecto de estos componentes en la calidad de los subproductos que se generan a partir de los materiales lignocelulósicos.

Los constituyentes mayoritarios de los residuos lignocelulósicos son la lignina, hemicelulosa y celulosa, siendo estos los componentes estructurales de la pared celular, pero varían según la fuente de procedencia (Ferrer Carrera, 2013). Los componentes no estructurales de la pared celular existen como sustancias inorgánicas (minerales) y extraíbles con solventes orgánicos (ceras, grasas y resinas) (Rutiaga, Pedraza, & López, 2010).

Los componentes estructurales de la pared celular de los materiales lignocelulósicos se describen a continuación:

• **Celulosa:** La celulosa es la sustancia química orgánica más abundante en la superficie de la tierra. Es un polímero de fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$ formado por unidades D-glucopiranosas, que están unidas entre sí por enlaces β - (1 \rightarrow 4) glucosídicos. El bloque de construcción para la celulosa es en realidad celobiosa, debido a que la unidad de repetición en la celulosa corresponde a dos azúcares (R. Rowell, Pettersen, Han, Rowell, & Tshabalala, 2012).

Las moléculas de celulosa están orientadas aleatoriamente y tienden a formar puentes de hidrógeno intra e intermoleculares. Las propiedades fisicoquímicas de la celulosa principalmente son el grado de polimerización, la cristalinidad y la porosidad. (Vásquez, 2013). A medida que aumenta la densidad de empaquetamiento de la celulosa, se forman regiones cristalinas, (Figura 13).

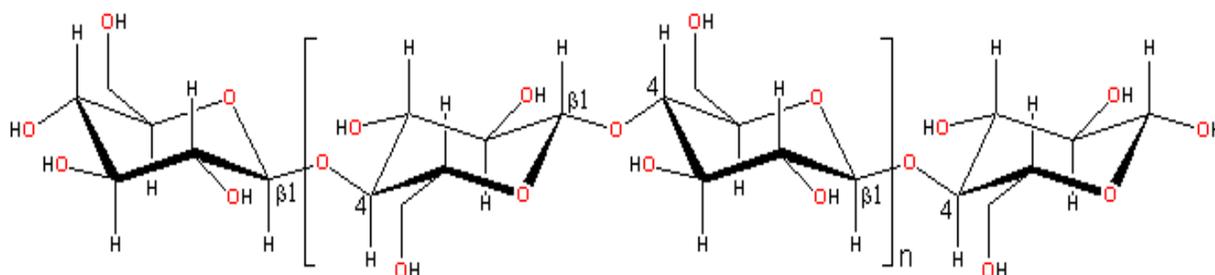


Figura 13. Estructura parcial de la celulosa
Fuente: <http://www1.lsbu.ac.uk/water/cellulose.html>

Las paredes de las células vegetales están formadas por microfibrillas de celulosa que se encuentran formadas por regiones de celulosa cristalina y amorfa (Espitia Sibaja, 2010). Estas microfibrillas son las principales responsables de las propiedades mecánicas de los materiales lignocelulósicos. La estructura cristalina de las microfibrillas de celulosa presenta excelentes propiedades mecánicas, con un módulo elástico cerca de 150 GPa, mayor que el presentado por las fibras de vidrio (85 GPa) y de aramida (65 GPa). (Morán, 2008)

• **Hemicelulosa:** La hemicelulosa está presente en un rango del 25 al 35% del peso en materiales lignocelulósicos secos (Pettersen, 1984). Algunos polisacáridos que hacen parte de las hemicelulosas son las pentosas (D-xilosa, L-arabinosa), Hexosas (D-glucosa, D-manosa y D-galactosa), los ácidos uránicos (ácido D-glucourónico, ácido 4-O-metil-D-glucourónico y ácido D-galactourónico) y 6-deoxihexosas (L-ramnosa y L-fucosa) (Ferrer Carrera, 2013).

La función principal de la hemicelulosa es participar en la construcción de la estructura de la pared celular y la regulación del proceso de crecimiento celular (Chen, 2014), (Figura 14).

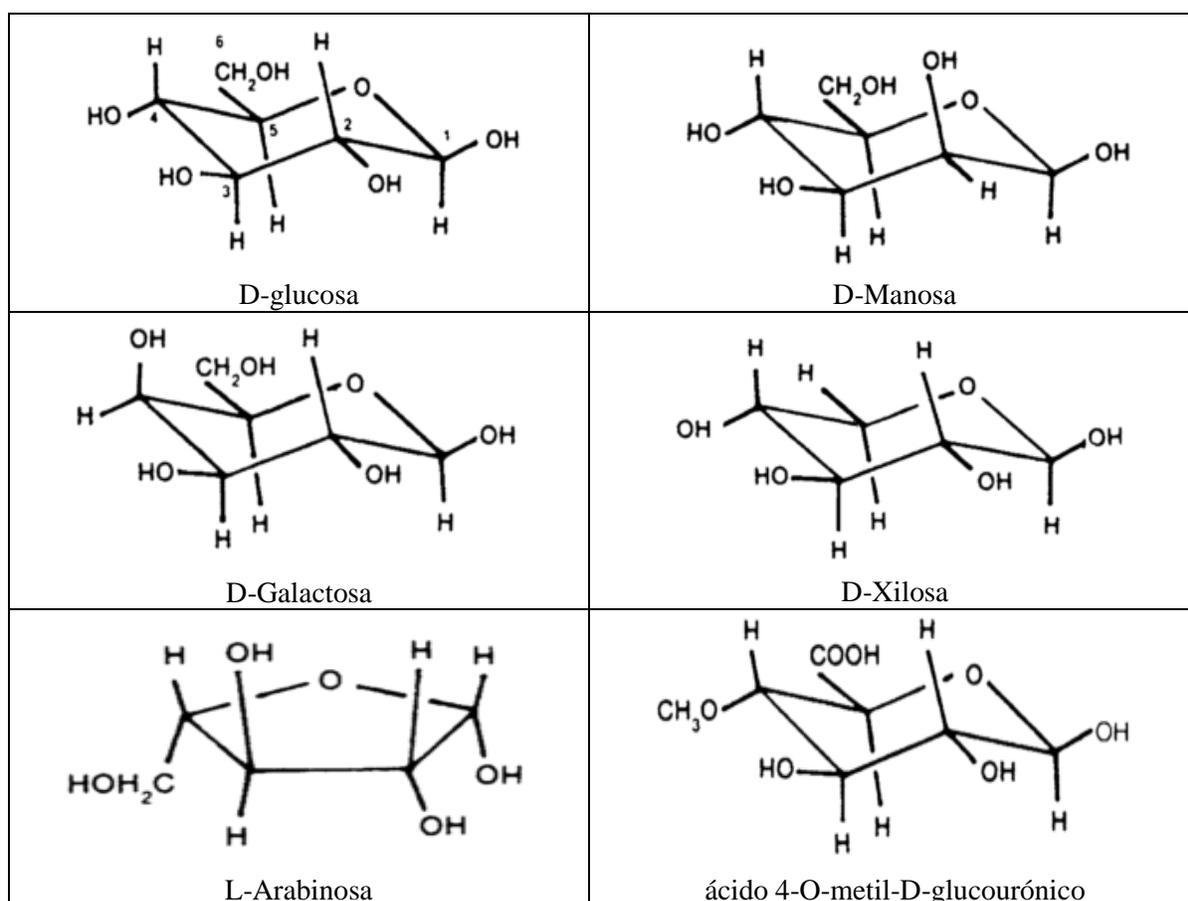


Figura 14. Estructura parcial de las hemicelulosas

Fuente: Rowell et al., 2012.

Las hemicelulosas de los materiales lignocelulósicos funcionan brindando el soporte para las

microfibrillas de celulosa (Ferrer Carrera, 2013), almacenan sustancias de reserva en la pared celular, teniendo así una función reguladora, estructural y también de control del tamaño celular. Además, promueven los enlaces entre celulosa-lignina, mediante puentes de hidrogeno que actúan acoplándolos a través de enlaces covalentes con los grupos $-CH_2OH$ de las cadenas de celulosa y los oxígenos glucosídicos de las hemicelulosas. (Scheller & Ulvskov, 2010).

- **Lignina:** La lignina es la segunda sustancia orgánica más abundante e importante en el mundo vegetal, es un polímero amorfo tridimensional, constituido por estructuras fenilpropano metoxiladas (Zakzeski, Bruijninx, Jongerius, & Weckhuysen, 2010). (figura 15).

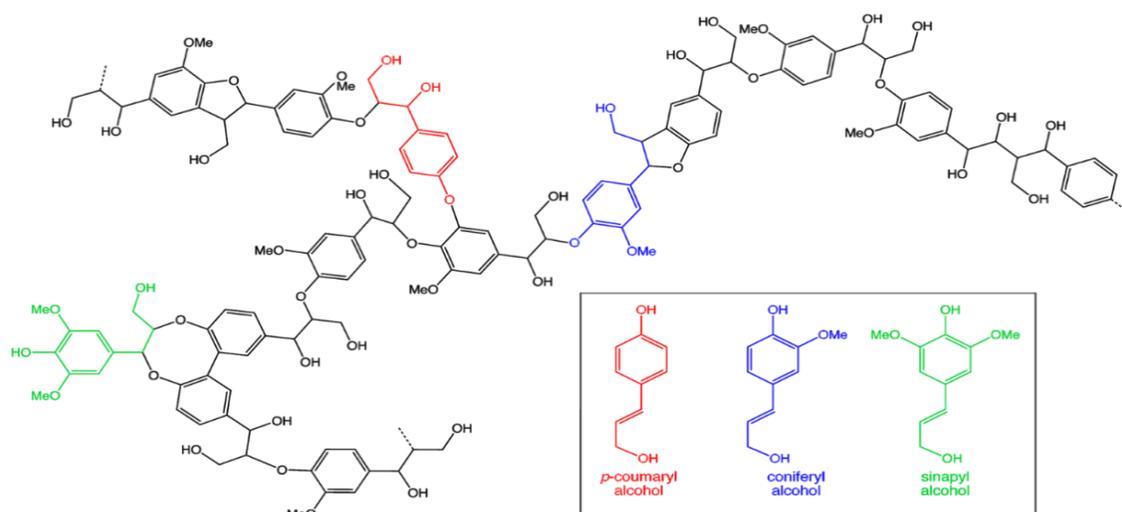


Figura 15. Estructura parcial de la lignina
Fuente: Zakzeski et al., 2010.

Los componentes no estructurales aportan en los materiales lignocelulósicos entre un 0,1 y 10% del peso seco (Ferrer Carrera, 2013); estos no influyen en la morfología de la pared celular, pero sus funciones fisiológicas son de vital importancia para la célula vegetal (Prinsen, 2013).

- **Extraíbles:** Los extractivos son un grupo de productos químicos de la pared celular, que consisten principalmente en grasas, ácidos grasos, alcoholes grasos, fenoles, terpenos, esteroides,

ácidos resínicos, colofonia, ceras y muchos otros compuestos orgánicos menores (R. Rowell et al., 2012). Se pueden extraer con agua o solventes orgánicos o ser volatilizados con vapor, cerca de 3 % a 10% del peso de la madera en base seca consiste de extraíbles (Aguilar Rivera, 2004).

Los compuestos extraíbles de los materiales lignocelulósicos se clasifican según la solubilidad en compuestos extraíbles; en disolventes apolares, que incluyen los extraíbles lipofílicos (lípidos), y compuestos extraíbles en disolventes polares (extraíbles hidrofílicos) (Prinsen, 2013).

La presencia de determinados compuestos extraíbles en los materiales lignocelulósicos, a pesar de que sean de bajo contenido, puede llegar a tener un gran impacto durante el procesamiento industrial de dichos materiales. La proporción de extraíbles disminuye el hinchamiento, y que es proporcional al espacio ocupado por los extraíbles en la pared celular. (Elena & Antonio, 2012)

- **Cenizas:** El contenido inorgánico de una madera se conoce usualmente como las cenizas, estas son una medida aproximada de las sales minerales y otras materias inorgánicas en la fibra, después de la combustión a una temperatura de $575 \pm 25^{\circ}\text{C}$. (R. Rowell et al., 2012). Las cenizas de los materiales lignocelulósicos corresponden a elementos como el Calcio, Magnesio y Potasio; estos elementos existen en las plantas como oxalatos, carbonatos y sulfatos o se unen a grupos carboxilo en materiales pépticos. (Ju & Ter, 2011).

Las cenizas presentes en materiales lignocelulósicos contienen sílice, que produce efectos indeseables, debido a que reduce la digestibilidad del material e interfiere con el proceso de pulpa, formando escamas en la superficie de los reactores, lo que conduce a que el proceso de combustión de los materiales sea más difícil (Reddy & Yang, 2005). Además de esto, las cenizas aportan la regulación de la carga hidrostática dentro de la pared celular (Mejia Almeida, 2012).

- **Humedad:** De los materiales lignocelulósicos, se considera el estado en el cual se encuentran; si están en estado verde contienen una gran cantidad de humedad. Esta humedad existe en dos formas diferentes: como agua libre que está contenida como líquido en los poros o capilares del propio material, y como agua unida que está atrapada dentro de las paredes celulares (Eric, 2016).

2.3 Generalidades de los tableros aglomerados

Las épocas de la humanidad se conocen según el tipo de material utilizado en cada una de ellas, desde los 3.000 años A.C (Bizarro, 2013), que inicia la edad de piedra, seguida por la edad de bronce hasta llegar a la edad de hierro, marcando el desarrollo tecnológico de la sociedad a través de la evolución de la metalurgia.

Es así como se demarca la importancia de los materiales para el desarrollo de la humanidad, en donde el hombre a través de la experimentación, investigación y aplicación de conocimiento logra cada día más, avances significativos que permiten satisfacer la demanda de la sociedad.

Los nuevos materiales compuestos representan en el mercado mundial un renglón muy importante, pues abarcan muchos sectores, por sus diversas aplicaciones y precios, cada vez más competitivos, si se comparan con los materiales tradicionales; por lo tanto, la industria está constantemente transformando y reconvirtiendo los usos hacia materiales compuestos, buscando su permanencia en el mercado.

En esta medida se han logrado obtener entre 40.000 a 80.000 nuevos materiales a partir de la combinación, transformación y descubrimiento de diferentes insumos. Sin embargo, en las condiciones de demanda del mercado, por el mismo crecimiento demográfico, cambios en hábitos de consumo entre otras razones, el hombre ha caído en una cultura consumista que ha alterado el funcionamiento normal de los ecosistemas. Por tanto, cada día, es mayor la

preocupación en desarrollar soluciones y alternativas de uso de materiales amigables con el medio ambiente, marcando así una tendencia en el uso de residuos agroindustriales para la fabricación de materiales sostenibles con menor impacto en el ecosistema.

En esta vía, el sector de la industria de derivados de la madera, es un claro ejemplo de ello; con un mercado que demanda cada vez más productos con nuevas funcionalidades, condiciones estéticas que van de acuerdo con las tendencias y moda; exigiendo innovación y nuevos desarrollos que permitan mejorar su posición competitiva.

La creación de nuevos materiales para el sector maderables busca principalmente, un mejora sostenible (preservación del medio ambiente), la diversificación (nuevos materiales para acceder a nuevos nichos o nuevos canales), automatización y tecnificación de los procesos (flexibilidad al cambio que atienda las tendencias del mercado).

Los materiales se clasifican de acuerdo a su cristalinidad en amorfos (desorden atómico) y en cristalinos (orden a largo alcance) y a partir de sus propiedades en las siguientes familias (Bizarro, M, 2013): metales, cerámicos, composites, polímeros y elastómeros.

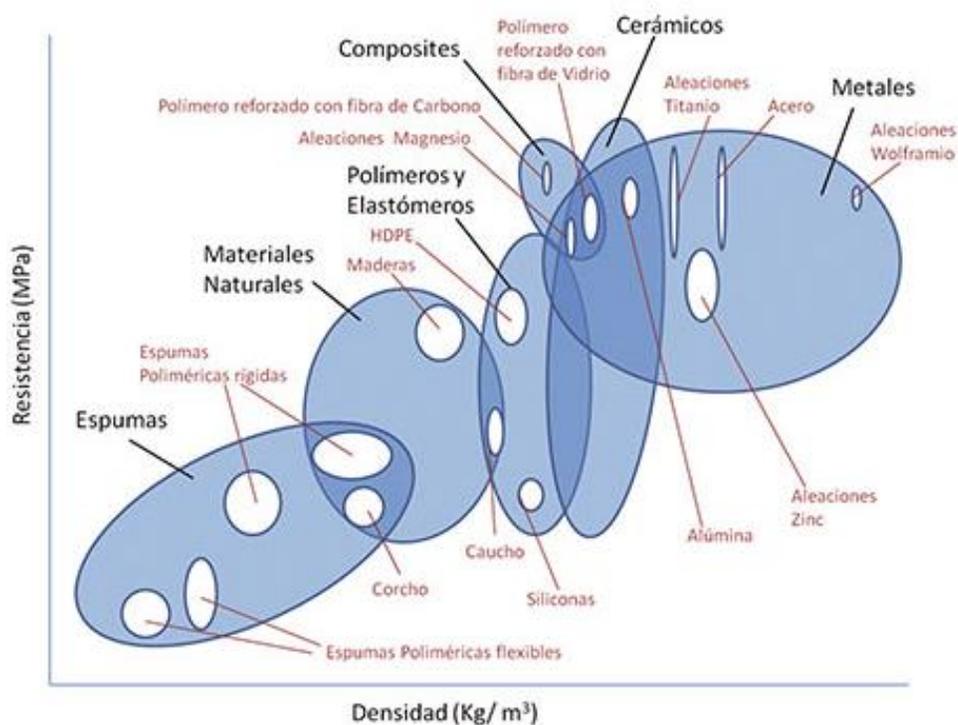


Figura 16. Relación de la resistencia frente a la densidad del material, para varias familias de materiales

Fuente: Sánchez, 2012

La figura 16, muestra la diferencia que existe entre los diferentes materiales relacionando la densidad y la resistencia, y posibles combinaciones que se pueden presentar en algunos de ellos. Como se puede observar en la figura los materiales composites se encuentran entre los materiales de mayor resistencia después de los cerámicos y metálicos.

2.3.1 Definición de los tableros aglomerados

Los antecedentes de los aglomerados datan de los principios del siglo XX, donde se pretendía aprovechar al máximo el recurso maderero. La primera evidencia de un aglomerado fue encontrada en los escudos utilizados por los soldados romanos quienes utilizaban capas superpuestas de madera para lograr resistencias mayores, posteriormente fue Alfred Nobel quien perfeccionó la fabricación de contrachapados logrando contraponer capas con adhesivos

sintéticos para lograr una estabilidad en el tablero con espesores y tamaños estandarizados.

Estas acciones dieron paso a los tableros de fibras y partículas de madera, aplicando el principio de las capas sobre puestas, logrando un mejor aprovechamiento de la madera y potencializando sus propiedades físicas y mecánicas.

Por lo tanto, los tableros aglomerados, se pueden definir también como el producto del procesamiento de diferentes tipos de materias primas lignocelulósicas, principalmente madera tales como hojuelas, astillas y virutas (Martín et al., 2004).

Otro componente fundamental de la producción de tableros aglomerados es la resina o adhesivo; que complementan el proceso. Algunas de estas resinas o encolados que se utilizan en el proceso de formación de tableros aglomerados son las siguientes (Klebstoffe, 2009): resina urea formaldehído, resina de tanino formaldehído, resinas fenólicas, isocianatos y melamina-urea-fenólico-formaldehído (resinas MUPF).

2.3.2 Clasificación de los tableros aglomerados

Existen diferentes tipos de clasificación de los tableros aglomerados; a continuación, se describen 3 tipos de tableros de acuerdo con el proceso y materia prima utilizada:

- **Tableros de partículas:** Se conocen en el mercado como aglomerados, y son producidos a través de partículas de tamaños y formas diferentes, aglutinadas mediante resinas.
- **Tableros contrachapados:** Estos tableros son fabricados con láminas o astillas de madera orientadas de forma alterna, es decir cruzadas unas con otras.
- **Tableros de fibra:** Según la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

un tablero de fibra es: “Una lámina de material manufacturado a partir de fibras de madera u otros elementos lignocelulósicos fibrosos, cuyo principal ligamento deriva del ordenamiento de las fibras y sus inherentes propiedades adhesivas. Agentes encolantes u otros materiales pueden ser agregados durante su fabricación”.

A su vez la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) recomienda una clasificación para los tableros de fibra basada en su densidad:

- Tableros no prensados: Tableros de Baja Densidad (0,02-0,4 gr/cm³)
- Tableros Prensados: Tableros Media Densidad (MDF) (0,4-0,8 gr/cm³)
- Tableros Alta Densidad: (Hardboard) (0,8-1,2 gr/cm³)

2.3.3 Proceso de producción de tableros aglomerados

El proceso de fabricación de un tablero aglomerado de partículas se basa en el principio de estratificar las partículas por su tamaño, siendo las más finas las que ocupen las caras externas del tablero y las más gruesas forman parte de la capa interna, este proceso es acompañado con adhesivos que garantizan la unión entre las partes, conformando aproximadamente el 15% del tablero.

La industria de tableros aglomerados tiene la gran ventaja que puede utilizar cualquier especie de madera, además de otros materiales lignocelulósicos no maderables, por lo tanto se puede abastecer de cualquier tipo de madera no comercial para otras industrias, además se pueden utilizar las ramas, rolas defectuosas, tocones etc. Así mismo, se hace un buen aprovechamiento de especies de ciclos cortos como pinos (*Pinus caribaea var. Hondurensis*), teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*).

En la industria de tableros aglomerados de países asiáticos, como China utilizan gramíneas como Bambu (*Bambusa vulgaris*), guadua (*Guadua angustifolia*), caña brava (*Gynerium sagittatum*) y avanzan hacia la producción de tableros a partir de residuos agroindustriales de plátano y banano (M, C, Garay, & Yoston, 1999).

Esta industria es un generador de valor de los productos forestales, por lo que demanda un consumo importante de ellos, sin embargo, también viene complementándose con algún otro tipo de producto lignocelulósico (W. C. Miranda et al., 2005), es así que los RFPA por su composición química, recobra gran importancia en la elaboración de dichos tableros.

En la figura 17, se puede observar de forma resumida los procesos unitarios desarrollados en la elaboración de tableros aglomerados a nivel industrial:

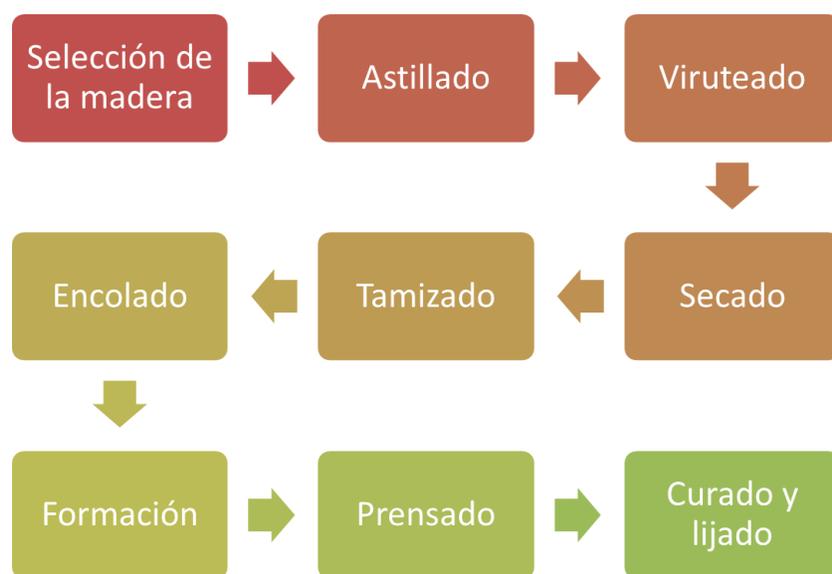


Figura 17. Descripción del proceso industrial de producción de tableros de partículas

Tal como se describe en la figura 17, para la fabricación a nivel industrial de tableros aglomerados de partículas de última generación conocidos como MDP, se desarrollan una serie

de etapas, que básicamente tiene como objetivo, preparar la madera que va a ser mezclada con las resinas, para luego formar el tablero y perfeccionarlo de acuerdo al uso y las condiciones que el mercado exija; a continuación, se describen cada una de estas etapas:

- **Etapa 1 - Selección de la madera:** Siendo la madera el mayor aporte en la fabricación de los tableros aglomerados, es de suma importancia tener en cuenta aspectos como la longitud de la fibra, diámetro del tronco, humedad, disponibilidad de la especie, ph, presencia de corteza, altura, entre otros. Es de anotar que las coníferas son por excelencia las especies de mayor utilización para la fabricación de aglomerados, dado que, por su mejoramiento genético, se ha logrado disminuir los tiempos de crecimiento, con mayores diámetros de tronco. Sin embargo no es una condición, por lo que está basada en el hecho de la oferta mundial y la tendencia a sustituir cultivos por especies que se ajusten a condiciones de terreno donde se cultiven. Otras especies utilizadas son los eucaliptos, cupresáceas, alisos, acacias, entre otras. Una tendencia mundial es la utilización de subproductos de procesos de transformación de la madera, materiales de reciclaje de postconsumo con una participación menor en la receta de fabricación y posibilitando incluir variedad de especies maderables. (Ver figura 18).



Figura 18. Proceso de selección de madera y madera post consumo

Fuente: Visita industrial PRIMADERA S.A.S.

- **Etapa 2 - Astillado:** Para obtener la astilla se utilizan stranders o chiper, que convierten la madera de troncos a partículas de tamaños que varían de acuerdo con el tipo de cuchilla o dispositivo utilizado, esto garantiza darle un tratamiento homogéneo a cada parte del árbol, homogenizando las propiedades. (Ver figura 19).



Figura 19. Pilas de material después del proceso de astillado

Fuente: Visita industrial PRIMADERA S.A.S.

• **Etapa 3 - Viruteado:** Consiste en llevar la astilla a un tamaño menor (1mm), por medio de dispositivos que aprovechan la fuerza centrífuga, obligando a las astillas pasar por cuchillas de corte fijas con separación entre ellas, de acuerdo con el espesor final requerido. En este proceso se obtiene una dispersión de partículas de diferentes tamaños, que permiten una conformación estratificada del tablero de acuerdo con las capas externas e internas. (Ver figura 20).



Figura 20. Proceso de molienda o Viruteado
Fuente: Visita industrial PRIMADERA S.A.S.

• **Etapa 4 - Secado:** Consiste en homogenizar los contenidos de humedad de la madera, llevándolos a los mínimos requeridos, que se ajustan a un promedio de 4% a la salida del secador, esto con el fin de que los elementos que se le incluyen durante los procesos siguientes, tengan el mismo comportamiento en todas las partículas. (Ver figura 21).



Figura 21. Proceso de secado
Fuente: Visita industrial PRIMADERA S.A.S

• **Etapa 5 -Tamizado:** En el proceso de tamizado se separan las partículas por tamaño, siendo las más finas las que se usan en la capa externa y aquellas que están ubicadas en la malla de 1.5cm son utilizadas para la capa interna del tablero. La separación se realiza por dos razones: la primera porque la fórmula del pegante se diferencia en cada capa, y la segunda porque permite la estratificación del material para cada capa. La selección por el método de mallas genera partículas de mayor tamaño que no son aptas para la capa externa y son enviadas a un molino refinador que las convierte en material apto para la capa externa. (Ver figura 22).



Figura 22. Proceso de tamizado
Fuente: Visita industrial PRIMADERA S.A.S

- **Etapa 6 - Encolado:** La participación del pegante o resina en el proceso esta aproximadamente en un 15% (p/p), siendo la capa externa la que más contenido de resina tiene, esto obedece a que la participación de esta capa es mayor que la capa interna. (Ver figura 23).



Figura 23. Proceso de encolado
Fuente: Visita industrial PRIMADERA S.A.S

• **Etapa 7 - Formación del colchón:** Permite crear por capas y por tamaños de partícula un colchón que llega a tener hasta 3 veces el espesor nominal, ubicando partículas más finas (polvo) en la capa interna y medias en la capa interna. La responsabilidad decorativa se imputa a la capa externa, mientras que la calidad estructural es consecuencia de la ubicación de la capa interna.

El MDP se diferencia de otros tableros aglomerados de partículas, debido a que sus partículas de la capa interna son esbeltas siendo más delgadas y más largas, para lograr una superficie de contacto mayor entre ellas. La formación de este colchón se realiza mediante diferentes sistemas, tales como: sistemas de mallas, sistemas de peso de capas, por separación de rodillos o la combinación de varios de estos sistemas. Este es un factor clave en el proceso de fabricación de un tablero, puesto que, dependiendo de la velocidad de armado, se genera la altura del colchón quien determinara el espesor final de este producto. (Ver figura 24).

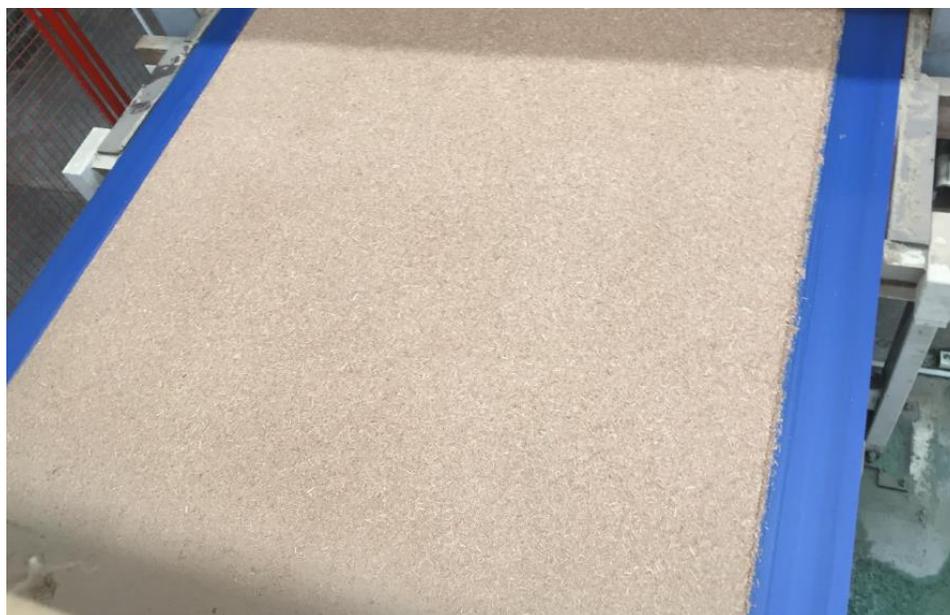


Figura 24. Proceso de formación de colchón.
Fuente: Visita industrial PRIMADERA S.A.S

Etapa 8 - Prensado: Proceso mediante el cual se aplica presión y temperatura en un tiempo

determinado, para garantizar que el adhesivo cure y mantenga unidas las partículas, la acción de estas tres variables permite que se produzca una reacción química entre el monómero y su endurecedor. La resina ureica utilizada, permite endurecerse frente a la presencia de temperatura y un medio ácido, el catalizador (sulfato de amonio o cloruro de amonio), los cuales se transforman en ácido sulfúrico o ácido clorhídrico respectivamente, generando las cadenas de monómeros irreversibles.

El tiempo de prensa depende del espesor del tablero, de la temperatura de la prensa y de la presión ejercida. Las prensas son de dos tipos: de plato o continuas, estas últimas son más productivas y disipan menos temperatura, generando eficiencia en el proceso además marcan la diferencia entre el tablero aglomerado tradicional y el MDP. Los tableros por efecto de la presión y la temperatura salen temperados y deben sufrir un proceso de enfriamiento en ruedas de radios que se integran al proceso de prensa. (Ver figura 25).



Figura 25. Salida del proceso de prensado
Fuente: Visita industrial PRIMADERA S.A.S

• **Etapa 9 - Curado y lijado:** No obstante haber enfriado el tablero en el proceso anterior, las cadenas de monómeros aún no se han terminado de realizar, por eso deben permanecer un tiempo aproximado de 72 horas, hasta tanto no se garantice el curado total y el enfriamiento de la placa. Luego del tiempo de reposo el tablero debe ser calibrado y satinado mediante lijas abrasivas de diferentes granos hasta darles el espesor definitivo y la calidad superficial requerida por eso debe iniciarse con grano #40 aumentando el grano a #100 y terminando con lijas # 160 y posterior al lijado los tableros son dimensionados y empacados. (Ver figura 26).



Figura 26. Proceso curado y lijado
Fuente: Visita industrial PRIMADERA S.A.S

2.3.4 Características físicas y mecánica de los tableros aglomerados

Las propiedades de los tableros aglomerados se ven afectadas por diversos factores del proceso de producción, las propiedades físicas y mecánicas reflejan la viabilidad de los parámetros establecidos en cada etapa del proceso. El control de la calidad asegura una buena

comercialización de los tableros aglomerados.

- **Características físicas de los tableros aglomerados:** Los tableros aglomerados presentan propiedades físicas similares a las maderas, aunque sin valores iguales a estas (Vignote Peña, 2011).
- Las propiedades físicas que más afectan la calidad de los tableros aglomerados son la densidad, la absorción e hinchamiento, la degradación térmica y la morfología de la especie.

En la densidad de los tableros aglomerados se aprecia la interacción entre las partículas que forman el tablero y la resina aglomerante (Cogswell et al., 2015). Las partículas más pequeñas aumentan la densidad de los tableros.

La absorción de agua e hinchamiento son indicadores de como el tamaño de las partículas afectan la calidad de los tableros, generalmente, estos son higroscópicos; hinchando o mermando según tomen o cedan el agua. (Zambrano, Moreno, Muñoz, & Durán, 2013), durante las dos primeras horas de inmersión en agua las paredes celulares de las fibras que componen los tableros aglomerados se saturan, esta absorción produce un hinchamiento y a la vez el tablero se deforma y pierde estabilidad dimensional. (Elena & Antonio, 2012a).

La termogravimetría permite identificar los cambios térmicos relacionados con las variaciones de masa en el material (García, García, & Das, 2009a) y requiere de una selección de los parámetros experimentales para limitar las reacciones secundarias.

La morfología de los tableros aglomerados permite observar la cohesión entre las fibras y la resina aglomerante. Los resultados de las pruebas morfológicas están fuertemente influenciados por el tipo de fibra, la naturaleza de la matriz y el relleno, la compatibilidad entre ellos, la

tecnología y las condiciones de procesamiento de materiales. (Chikhi, 2016).

- **Características mecánicas de los tableros aglomerados:**

Los materiales comúnmente se encuentran en servicio y están sometidos a cargas. El módulo de ruptura (MOR) está básicamente en función de la carga máxima que soporta el material hasta la ruptura (Tapia Bastidas, 2007). El módulo elástico (MOE) corresponde a la variación de la fuerza (N) aplicada frente a la deformación (mm) en la región elástica, y representa la relación entre la tenacidad y la deformación del material. (Monteiro et al., 2011).

2.3.5 Comportamiento de la industria de tableros aglomerados

Alemania y Suiza fueron los primeros países en incursionar en la fabricación de tableros aglomerados, cerca al año 1941 (Martín et al., 2004), es decir, hace aproximadamente 76 años se da comienzo a la industria de maderas procesadas; la cual se extendió rápidamente a los demás países, siendo el desarrollo de resinas termofijas tales como la urea-formaldehído y el fenol-formaldehído, un factor clave en el crecimiento de esta industria. Desde esa época hasta nuestros tiempos, la industria se ha caracterizado por importantes desarrollos tecnológicos, que han permitido un mejoramiento continuo en procesos y productos, generando mayor oferta y estimulando la demanda de tableros, a través de la diversificación de los usos y mejoramiento de la calidad.

- **A nivel internacional:** A partir del informe de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, sobre productos forestales, que abarcan 54 categorías de productos, de 245 países, que presenta en el Anuario FAO de productos forestales (Fao, 2014), se presentan las cifras oficiales del sector teniendo en cuenta lo siguiente:

La FAO clasifica los tableros de madera de acuerdo con las siguientes categorías: hojas de chapa, madera terciada, tableros de partículas y de fibra.

La figura 27 presenta el comportamiento mundial de la producción mundial de tableros desde el año 2010 a 2014.

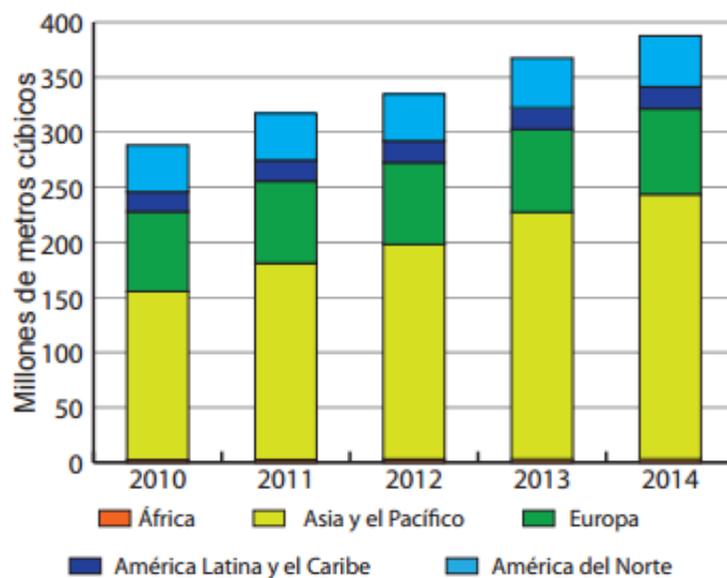


Figura 27. Producción de tableros de madera en el mundo 2010-2014
Fuente: FAO: 2014 Datos y cifras globales de productos forestales

Para el año 2014, la producción de tableros de maderas llegó a 388 millones de m³, con un incremento del 34% en relación al 2010; notándose en la figura 27 que hubo un fuerte incremento en la producción de tableros en la región Asia y Pacífico entre los periodos 2010-2014, alcanzando un incremento del 62%, y en las otras regiones se observa un crecimiento moderado.

Los principales países exportadores de tableros son China, Canadá, Alemania, Malasia y Tailandia, exportando 37 millones de m³ en 2014, lo que equivale al 45 % de las exportaciones del mundo (Villar, 2014).

• **A nivel nacional:** Así como se comporta el mercado mundial, en Colombia también se manifiesta un crecimiento en el consumo de tableros en los últimos años, hasta el 2014 contaba con 2 plantas de producción de tableros: Tablemac y Pizano, en el año 2016 llega al país Primadera, también con una planta de última tecnología que incursiona en la producción de tableros y complementa la demanda del país. Según cifras de la revista MM (Villar, 2014), en el año 2015 importó 259.000 toneladas de tableros, presentando un crecimiento del 17% con respecto al año 2014, como se presenta en la figura 28.

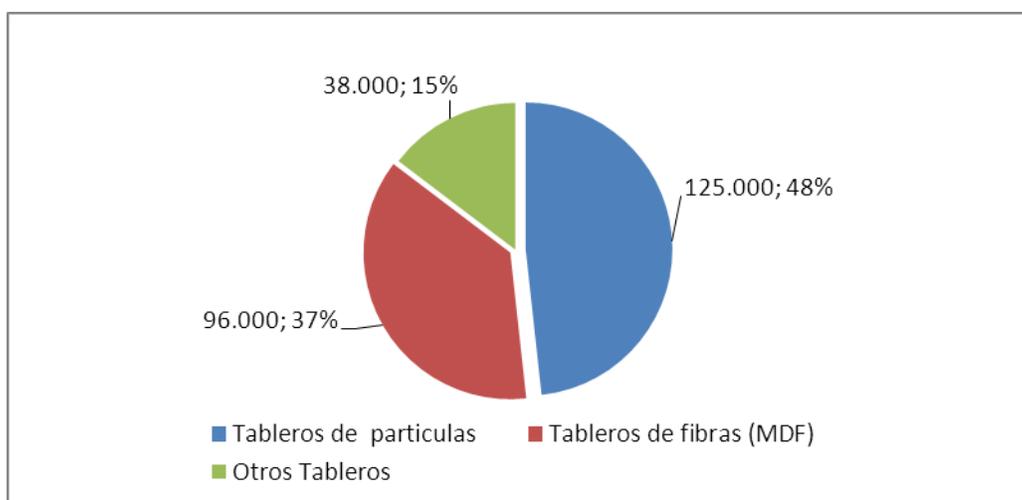


Figura 28. Distribución de Importaciones en Colombia por tipo de tablero

Fuente: Autora - Datos (Villar, 2014)

Mientras tanto las exportaciones hacia países como Panamá, Venezuela y Centroamérica apenas alcanzan 12.465 toneladas, representadas en tableros de partículas con el 75% aproximadamente y el 25% en los demás tipos de tableros. Estas cifras muestran un país consumidor, más que un productor de tableros aglomerados, importando cerca del 40% del producto que demanda el mercado nacional. (Diario El Tiempo de marzo 2016). El consumo per cápita en Colombia es de 13,9 metros cúbicos por cada mil habitantes, cifra que apenas comienza a crecer, si se compara con países como; Chile y Brasil que presentan un consumo per cápita de 103,3 a 47,5 m³ por cada mil habitantes respectivamente.

2.4 Normatividad ambiental y técnica

2.4.1 Normatividad ambiental en Colombia para la industria forestal

En el año 2006 entra en vigencia la ley 1021 por la cual se expide la Ley General Forestal, donde se decreta las normas legales para la promoción del desarrollo sostenible del sector forestal colombiano en el marco del Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Ley en la que se declara prioridad nacional y de importancia estratégica la conservación y el manejo sostenible de los bosques naturales y el establecimiento de plantaciones forestales en suelos con dicha vocación (Congreso de Colombia, 2006).

La Frontera Agrícola Colombiana, es el referente nacional para orientar la formulación de política pública y focaliza la gestión e inversión del sector agropecuario, además de promover el uso eficiente del suelo rural, el ordenamiento productivo y social, contribuyendo a estabilizar y disminuir la pérdida de ecosistemas de importancia ambiental, dando cumplimiento a la Ley 1776 de 2016 (MADR-UPRA, 2018).

En el presente documento se muestra un dato que cabe resaltar: 692.778 ha, fueron deforestadas en el periodo 2010-2015, las cuales quedan como áreas excluidas para la frontera agrícola (Figura 29).

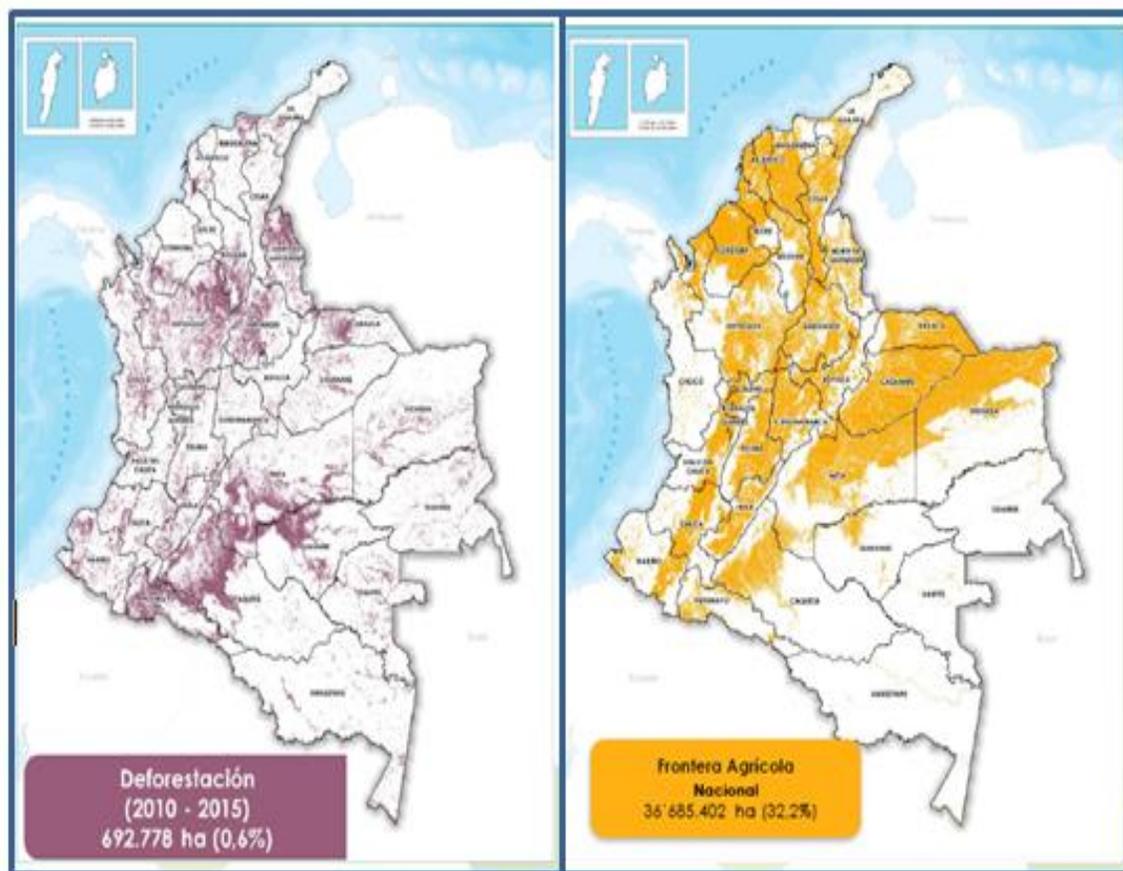


Figura 29. Mapa de áreas de deforestadas y frontera agrícola de Colombia

Fuente: UPRA – 2017

2.4.2 Normatividad técnica para tableros aglomerados

En la tabla 4 se presenta la normatividad nacional e internacional vigente para tableros aglomerados.

Tabla 4. Normatividad para tableros aglomerados

Nombre	Descripción	Aplicación
ASTM: American Society for Testing and Materials. (Sociedad americana de ensayo de materiales)	ASTM D1554-10	Se establece la terminología estándar relacionada para tableros celulósicos o productos de paneles derivados de la madera y de tejido leñoso tales como bagazo lino o paja. (ASTM, 2011).
	ASTM D1037-06	Establece los métodos de ensayo estándar para evaluar las propiedades de los materiales de fibras con base de madera, y paneles de partículas. (ASTM, 2006)
	ASTM D907-00	Esta norma terminológica es una compilación de definiciones utilizadas en la ciencia y la tecnología de la industria de adhesivos.
	ASTM D2559-00	Esta especificación abarca los adhesivos adecuados para la

		<p>unión de madera, incluida la madera tratada, en productos laminados estructurales de madera para construcción general, para uso marítimo o para otros usos en los que se requiere un adhesivo impermeable de alta resistencia.</p> <p>Estos métodos de ensayo están diseñados para usarse para determinar la susceptibilidad de la película adhesiva a la biodegradación y si el adhesivo llevará en la línea de unión suficientes propiedades antifúngicas para evitar el crecimiento de hongos frecuentemente presentes en el equipo de encolado, adheridos o El adhesivo aplicado.</p>
	ASTM D4300-01:	<p>Se describen los requisitos y métodos de ensayo para las tolerancias dimensionales, las propiedades físicas y mecánicas y las emisiones de formaldehído para las aglomeraciones de partículas. Se especifican los métodos para identificar los productos que se ajustan a la Norma. Los requisitos de propiedad se describen en unidades métricas e inglesas.</p>
ANSI (Instituto nacional estadounidense de estándares)	ANSI A208.1-2009	<p>Esta Norma tiene por objeto fijar los métodos de ensayo para los tableros aglomerados de partículas, de prensado plano y de fibras de densidad media, revestidos con placas estratificadas de materiales termoestables con superficie decorativa.</p>
UNE (Una Norma Española)	UNE 56.757	<p>El objetivo de esta norma es realizar la determinación de la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad para tableros de partículas.</p>
	UNE 56.711	<p>Esta norma fija los requisitos para tableros de partículas de uso general estableciendo los términos, propiedades y pruebas que deben cumplir los tableros de partículas.</p>
DIN (Instituto Alemán de Estandarización)	DIN 68761	<p>Expedida el 23 de julio de 2003: establece las características que deben cumplir los tableros de partículas aglomeradas de madera u otro material lignocelulósico lijado sin recubrimiento para aplicaciones interiores no estructurales.</p>
Norma Técnica Colombiana	NTC 2261	

2.5 Antecedentes de residuos agrícolas en diferentes aplicaciones

En la literatura a nivel mundial y nacional se puede encontrar una serie de estudios realizados buscando el uso sustentable de los residuos del proceso de extracción de aceite de palma, así mismo, se encuentran avances importantes sobre diferentes alternativas de materias primas en la fabricación de tableros aglomerados. En Colombia, se encontraron investigaciones de universidades y Centro de Investigaciones de Palma de Aceite de Colombia – CENIPALMA.

Algunos estudios reportados en revistas científicas demuestran la importancia del estudio de

nuevos materiales a partir de desechos agroindustriales. (Gaitán et al., 2016), estudiaron las propiedades físicas de aglomerados de *Pennisetum purpureum schum*, *Philodendron longirrhizum* y *Musa acuminata*". En esta investigación se fabricaron aglomerados a partir de partículas lignocelulósicas provenientes de plantas encontradas en la región del Quindío – Colombia, conocidas con su nombre común como: la "guasca de plátano", el "tripeperro" y el "pasto elefante" para compararlas con aglomerados presentes en el mercado.

- (Cervantes et al.,) elaboraron tableros aglomerado a partir de residuos de coco, "Durabilidad natural de tableros aglomerados de cocotero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales". Esta investigación evaluó la durabilidad de los tableros aglomerados de estopa de coco y de fuste de palma de coco, frente al ataque de hongos xilófagos; empleando la norma ASTM D-2017-71 para durabilidad de madera. El desarrollo consistió en la pérdida de peso y cambio de dimensiones de bloques de prueba (2.5 x 2.5 cm) ante el ataque de hongos, por un periodo de hasta 16 semanas, tomando como referencia un tablero aglomerado de pino comercial. Como resultado de la investigación se concluyó que los tableros aglomerados son altamente resistentes al ataque de estos hongos: *Laetiporus sulphureus*, *Neolentinus suffrutescens*, *Postia placenta* y *Phanerochaete chrysosporium*.

- (Abani et al., 2015). "Valorisation of Date Palm Fibres in Sahara Constructions. Energy Procedia". Debido a las condiciones climáticas de la región del sur de Argelia, donde los veranos son muy cálidos y los inviernos son muy fríos, se desarrollaron materiales que permitieran darle al concreto unas condiciones especiales de aislamiento térmico a costos factibles. Según el estudio, encontraron, que la adición de fibras de palma al yeso mejora las características térmicas y reológicas del material.

- (Proaño F., 2015). “Desarrollo de un material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibra de cabuya y con raquis de palma africana”. En este estudio se evaluaron dos tipos de materiales compuesto de matriz de poliuretano rígido, el primer material compuesto formulado reforzado con fibra de cabuya y el segundo con fibra de raquis de palma africana. Como resultados obtenidos, se presentó una disminución de costos para la producción del material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibra natural, en relación con el material hecho sólo de poliuretano, presentando una disminución en los costos del 16%, mientras que para el compuesto que utilizó fibra de raquis de palma africana, se presentó una disminución de costos del 14,5%, comparado con la fibra de cabuya. Técnicamente el material compuesto con fibra de raquis de palma africana no presenta una diferencia estadísticamente significativa con el material hecho únicamente de poliuretano, lo que hace posible el uso del material compuesto con fibra de raquis en la industria de la construcción o en la tecnología de la refrigeración.
- (Castillo G Y. A., 2014). En el estudio titulado: “Characterization of residuals lignocellulosic materials from oil palm and coconut palm for pellets manufacturing”. Los investigadores tomaron los residuos de palma de aceite y de palma de coco para obtener un combustible alternativo en forma de briquetas. Los resultados arrojaron que los residuos de palma de coco, no se compactaron uniformemente, lo cual presentaban problemas en su almacenamiento y transporte. Por otro lado, las briquetas de palma de aceite presentaron mayor poder calorífico cerca de 17,186.81 kJ/kg, frente a los obtenidos con fibras de coco.
- (Kumar & Kumari, 2014) “Processing and characterization of natural cellulose fibers / thermoset polymer composites”. El objetivo de esta publicación es proporcionar un amplio análisis a profundidad del comportamiento de diferentes fibras naturales, en las diversas

aplicaciones de composites de polímeros verdes. Encontrando que los compuestos reforzados con fibras naturales están emergiendo rápidamente como el potencial sustituto de materiales, metales y cerámicos en diferentes aplicaciones, ofreciendo ventajas en resistencia mecánica, flexibilidad, fácil procesamiento y reutilización sin valor.

- (Ramón, Ramón, Arraiza, & Ramón, 2014). “Impacto de baja energía y resistencia a tracción de laminados bioepoxi-fibra de cáñamo, antes y después de su inmersión en agua de mar”. Evaluaron un biocomposite fabricado a partir de una fibra natural de cáñamo y resina bioepoxica, su impacto al ser sumergida en agua de mar durante un periodo de bioactividad marina de 6 meses. Arrojando resultados de pérdida rigidez del material debido a la degradación por el agua del mar y aumento en la absorción de humedad, que ocasiona un aumento de la energía de impacto disipada por el biocomposite.
- (Garzón et al., 2012). “Durability Evaluation of Agroindustrial Waste -Based Particle Boards Using Accelerated Aging Cycling Tests”. Se evaluaron tableros de partículas obtenidos a partir de residuos agroindustriales; con una composición de 85% de bagazo de caña de azúcar y 15% de resina de poliuretano, a base de aceite de ricino; moldeado a una presión de 5 Mpa, y una temperatura de 100 °C durante 10 min. El tablero fue sometido a prueba de envejecimiento acelerado bajo la norma ASTM D 1037, evaluando los principales factores que causan la degradación del material. Luego mediante pruebas de MOR, MOE, % WA(water absorption), %TS(thickness swelling), determinaron que después de aplicar los 6 ciclos para la prueba de envejecimiento acelerado, los tableros obtenidos presentan un comportamiento mecánico similar a los tableros de baja densidad.
- (Pei et al., 2012). “Waste-to-wealth: green potential from palm biomass in Malaysia”. En

esta publicación los autores hacen una descripción detallada de la importancia que tiene en Malaysia el sector de palma de aceite, con 4,98 MHa, valor que equivale al 73% de su producción agrícola, con una producción de 87Mtn/año de aceite crudo.

- (García N. & Yañez A., 2010). “Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia”. En esta publicación el Centro de Investigaciones de Palmas de Colombia, presenta un diagnóstico de generación y uso de biomasa de palma de aceite en Colombia, tomando como población a 29 plantas extractoras que procesan el 76,7% (2.858.868t) del fruto producido en el ámbito nacional en el 2008. Obteniendo como resultado que hay más de 600.000 toneladas de biomasa disponible anualmente, para formular nuevas alternativas de aprovechamiento.
- (Malkapuram, Kumar, & Negi, 2009). “Recent Development in Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites”. En esta publicación se hace una revisión sobre los desarrollos de compuestos de polipropileno reforzado con fibras naturales, tales como coco, yute y lino; confirmando que las propiedades mecánicas de los compuestos están influenciadas principalmente por la adhesión entre la matriz y las fibras ; se encontró desarrollos sobre nuevas técnicas de procesamiento y métodos de modificación química y física para mejorar la adhesión de la fibra-matriz para mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos.
- (García, Garcia, & Das, 2009b). “Determination of kinetic parameters of thermal degradation of palm oil mill by-products using thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry”. En esta investigación se encuentran los análisis termogravimétrico (TG) y calorimétrico diferencial de barrido (CDB) de la biomasa residual de palma de aceite: racimos vacíos de fruta, fibras y cuesco; logrando determinar la composición química de estos residuos;

obteniendo para el caso de la fibra, objeto de estudio de la presente investigación las siguientes composiciones: Extractivos (etanol-tolueno)=14.9%, lignina=24%, Celulosa=36.6%, hemicelulosa=18,2%; concluyendo que esta estructura puede variar considerablemente entre plantas.

- (Hassan, Sukaimi, & Ramli, 1997). “Pulp and paper from oil palm fibres”. Exponen la experiencia en Malasia como productor líder de aceite de palma en el mundo, en el uso de la biomasa de esta plantación para la producción de pulpa y papel. Encontrando que las características morfológicas de los racimos vacíos, troncos y hojas de la palma de aceite se asemejan a las maderas duras de fibras cortas como el eucalipto y que el alto número de fibras por unidad de peso muestra que el papel hecho con fibras de racimos vacíos presenta excelentes propiedades para la impresión.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Desarrollar un material aglomerado a partir del aprovechamiento de los residuos orgánicos, que se generan durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma de africana (*Elaeis guineensis*).

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico preliminar de los usos que actualmente presentan los residuos orgánicos obtenidos en el proceso de extracción del fruto de palma de aceite, a nivel internacional, nacional y regional.
- Evaluar las propiedades físico-químicas del residuo fibroso, mediante técnicas de análisis instrumental.
- Fabricar el nuevo material aglomerado partir de los residuos de fibra, utilizando técnicas de fabricación convencionales.
- Obtener las propiedades físico-mecánicas del nuevo material, empleando técnicas de caracterización normalizadas.
- Elaborar un prototipo para una posible aplicación industrial del nuevo material aglomerado.
- Evaluar financiera y económicamente la viabilidad de producción a escala industrial del material desarrollado a partir de la fibra, para establecer inversiones, costos de producción y TIR.

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1 Materiales

4.1.1 Fibra de palma de aceite

Las muestras de fibra fueron proporcionadas y recolectadas en la planta de beneficio COOPAR, ubicada en el departamento de Norte de Santander, vía Tibú (figura 30).

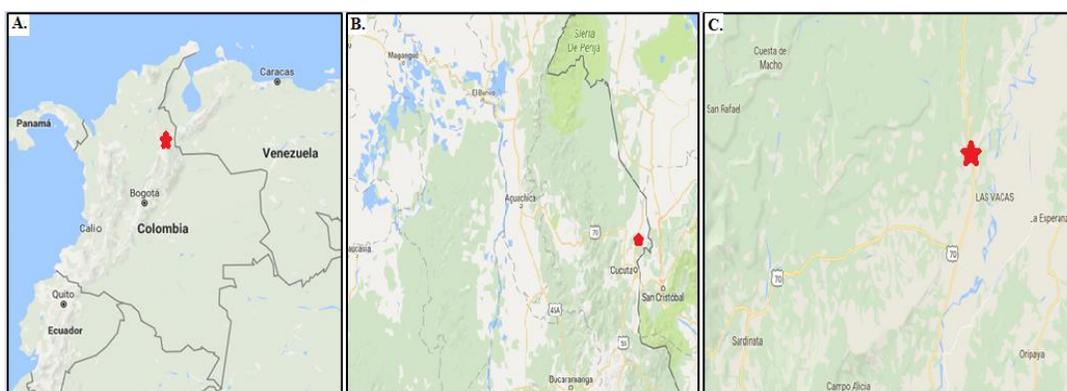


Figura 30. Ubicación de recolección de la muestra
(A) Colombia, (B) Norte de Santander, (C) Localización planta COOPAR

Fuente: Google Maps

La figura 31, muestra una cantidad significativa de fibra de palma en la planta extractora de aceite - COOPAR, que cuenta con una capacidad instalada de 10 TonRFF/hora, (aproximadamente se genera de 1 a 1,5 toneladas de FPA/hora). Las muestras del residuo de fibra de palma de aceite (RFPA), fueron tomadas de la misma planta, para sus respectivas pruebas físicas y químicas, además para la fabricación y caracterización del nuevo material aglomerado propuesto en el presente proyecto.



Figura 31. Fibra de palma de aceite – Planta COOPAR

4.1.2 Resina urea-formaldehido

En el mercado nacional existen varias plantas de fabricación de aglutinantes y resinas, en el presente proyecto fue seleccionada la resina Urea-Formaldehido (U-FA), de la compañía PREFLEX (Figura 32), ubicada en la Ciudad de Bogotá – Colombia, con certificación de calidad ISO 9001 (ANEXO 2). Las especificaciones técnicas de la resina son: porcentaje de sólidos (105°C): 63% - 65%, viscosidad al despacho (25°C): 100 – 1000cP y pH: 8.0 – 9.0.



Figura 32. Presentación comercial resina U-FA

4.2 Caracterización de los residuos de fibra de palma de aceite (RFPA)

4.2.1 Propiedades químicas de los RFPA

Se realizó la determinación de los componentes químicos de la fibra por métodos gravimétricos; teniendo en cuenta la pérdida de masa en cada ensayo según lo indicado por las normas TAPPI. En esta caracterización, se hizo necesario someter la muestra durante 48 horas a una temperatura de 50°C con el objetivo de retirar la humedad presente durante el proceso de prensado en la planta de beneficio. Posteriormente, se llevó a cabo una reducción del tamaño en la recuperadora de materia prima, ubicada en el laboratorio de plásticos y mecanizado de la Universidad de Pamplona, para continuar con el tamizado en mallas normalizadas (ANEXO 1).

• **Determinación de cenizas:** En la figura 33, se representa en un diagrama de flujo, el procedimiento establecido por las normas ANSI/ASTM D1102-56 para el cálculo de porcentaje de cenizas de los RFPA.

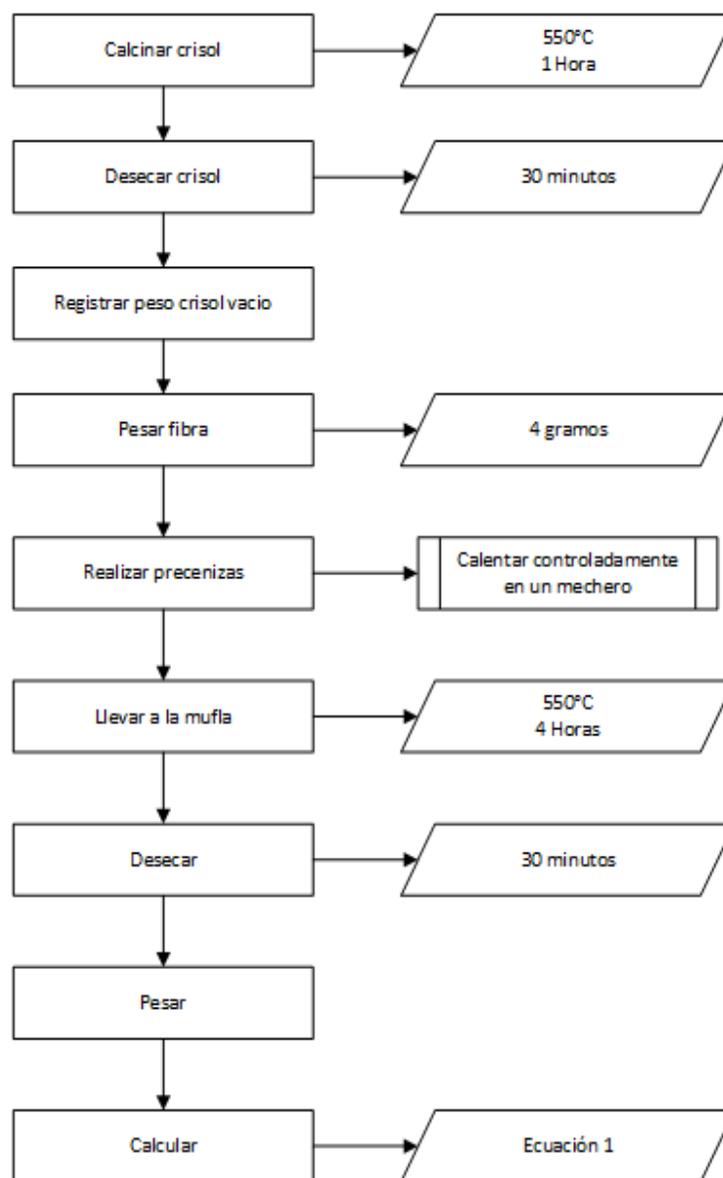


Figura 33. Proceso de determinación de cenizas

• **Determinación de extraíbles:** Según la norma ANSI/ASTM D1105-56 se llevó a cabo el procedimiento para determinar los extraíbles en la muestra de RFPA, tal como se muestra en la figura 34.

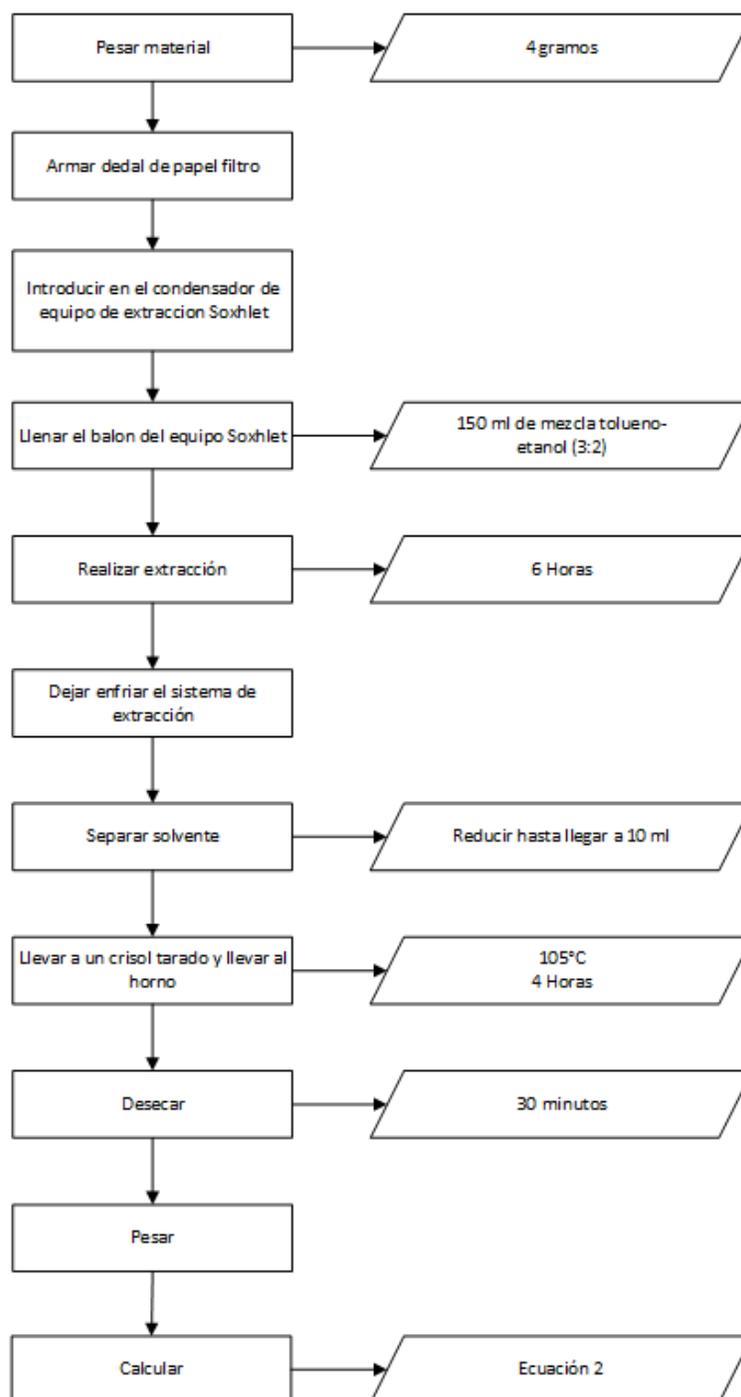


Figura 34. Proceso para determinación de extraíbles

• **Determinación de lignina:** La determinación de lignina se realizó tomando como referencia la norma TAPPI 13-OS-54, así como se presenta en la figura 35.

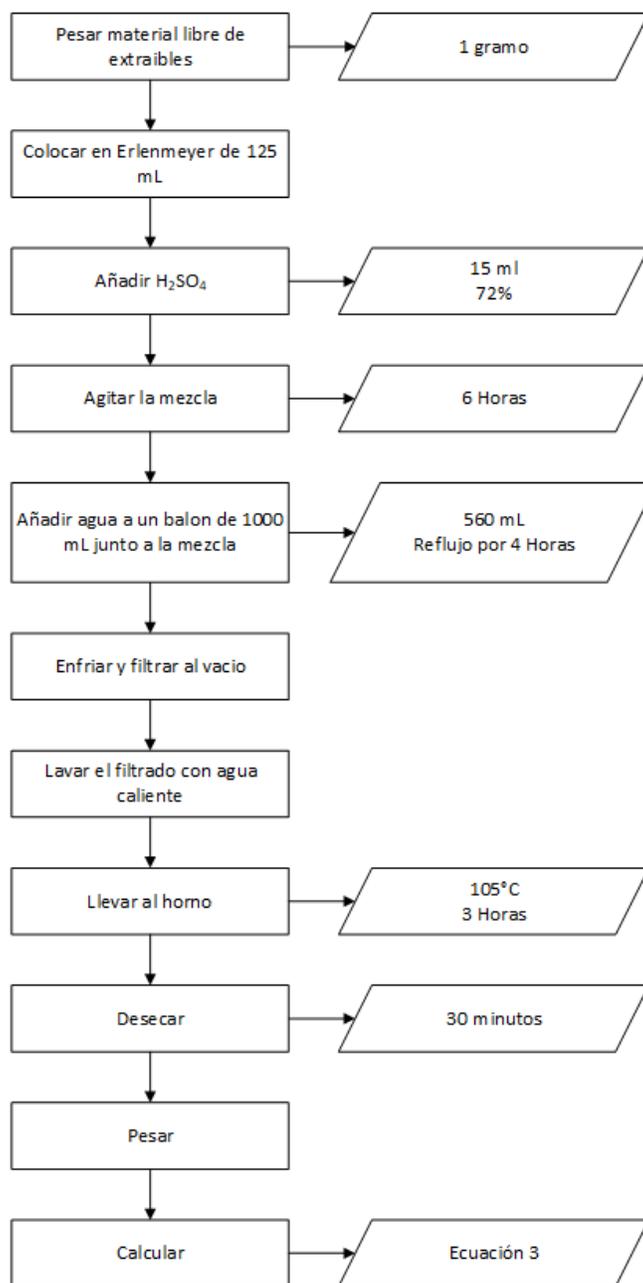


Figura 35. Determinación de lignina para los RFPA

• **Determinación de celulosa:** En la figura 36 se muestra el procedimiento mediante el cual se hizo la determinación de celulosa, basada en la norma TAPPI 17-m-55.

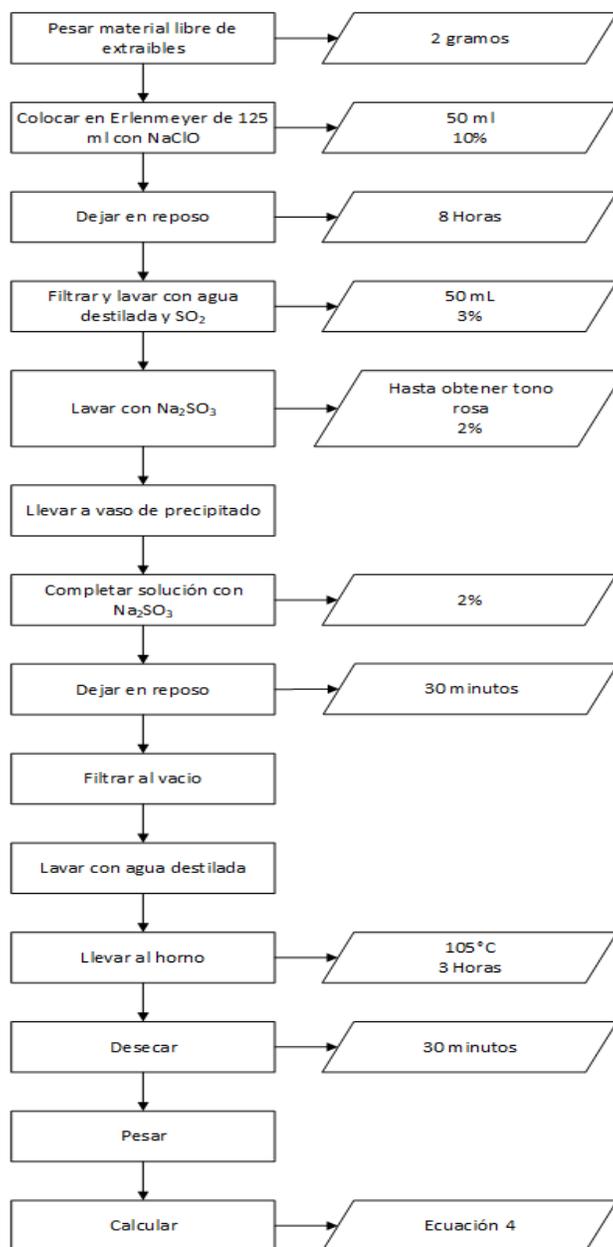


Figura 36. Determinación de celulosa para los RFPA

• **Determinación de hemicelulosa:** La figura 37 muestra los pasos según la norma TAPPI 19 wd-71, para la determinación de hemicelulosa.

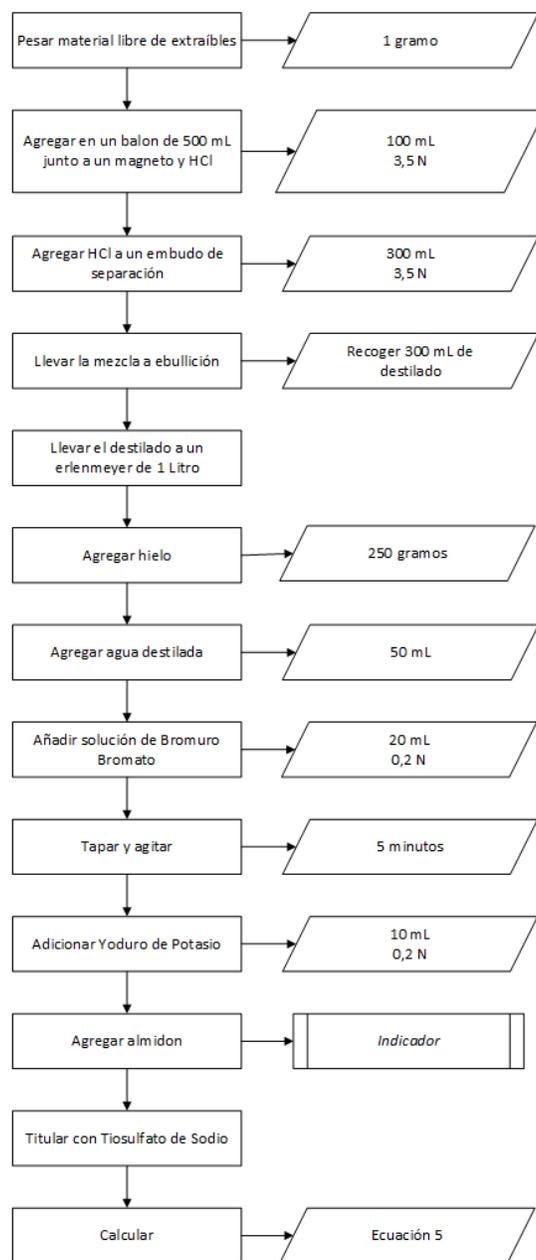


Figura 37. Determinación de hemicelulosa para los RFPA

• **Determinación de solubilidad en hidróxido de sodio:** La determinación de solubilidad en hidróxido de sodio se realizó a partir de la norma TAPPI T212 –om-12, tal como se presenta en la figura 38.

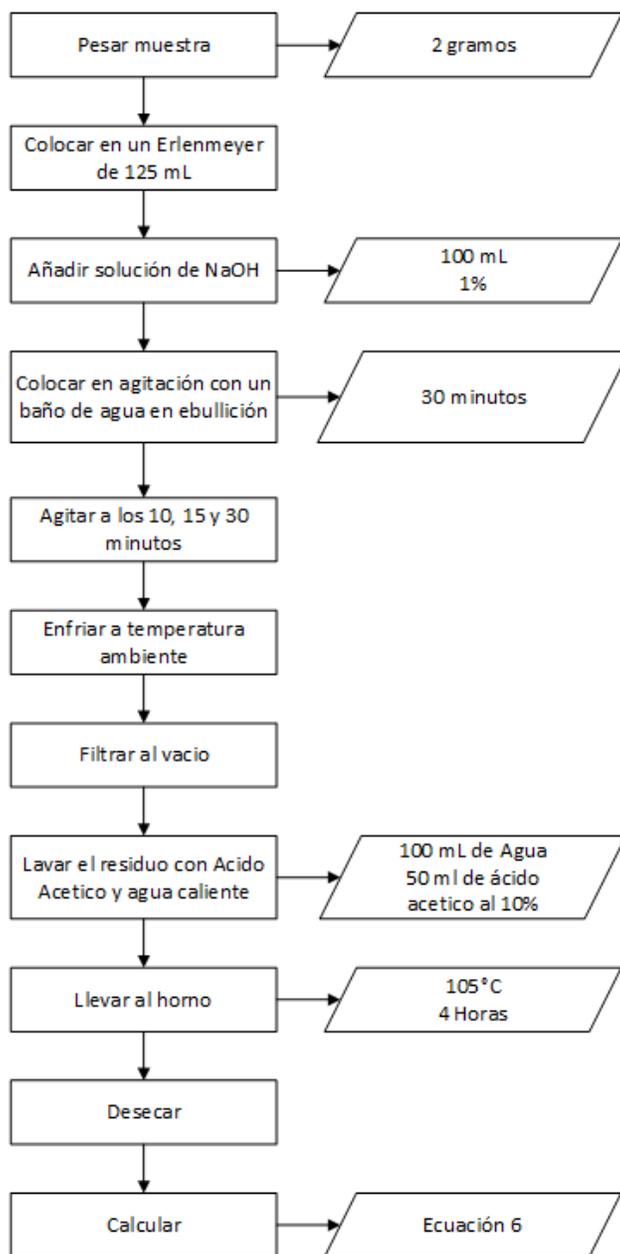


Figura 38. Determinación de solubilidad en hidróxido de sodio

Los métodos realizados para el cálculo de las cantidades de los constituyentes primarios fueron obtenidos mediante normas estandarizadas como se describen en la tabla 5.

Tabla 5. Resumen de los métodos utilizados para la caracterización química

Prueba	Norma
Determinación de cenizas	ANSI/ASTM D1102-56
Determinación de extraíbles	ANSI/ASTM D1105-56
Determinación de lignina	TAPPI 13-os-54
Determinación de celulosa	TAPPI 17 m-55
Determinación de hemicelulosa	TAPPI 19-wd-71
Determinación de solubilidad en NaOH	TAPPI T212 om-12

4.2.2 Caracterización física de los RFPA.

La caracterización física de los RFPA comprende el cálculo de la humedad contenida en la fibra de palma de aceite, la caracterización térmica – TGA, morfología y densidad aparente del residuo.

- **Determinación de humedad:** La determinación de humedad se llevó a cabo en la balanza de humedad modelo PRECISA, XM60, que utiliza el principio básico de termogravimetría. Este método consiste en pesar la muestra antes y después del calentamiento, calculando la proporción de humedad a partir de la diferencia entre ambos valores (Figura 39).

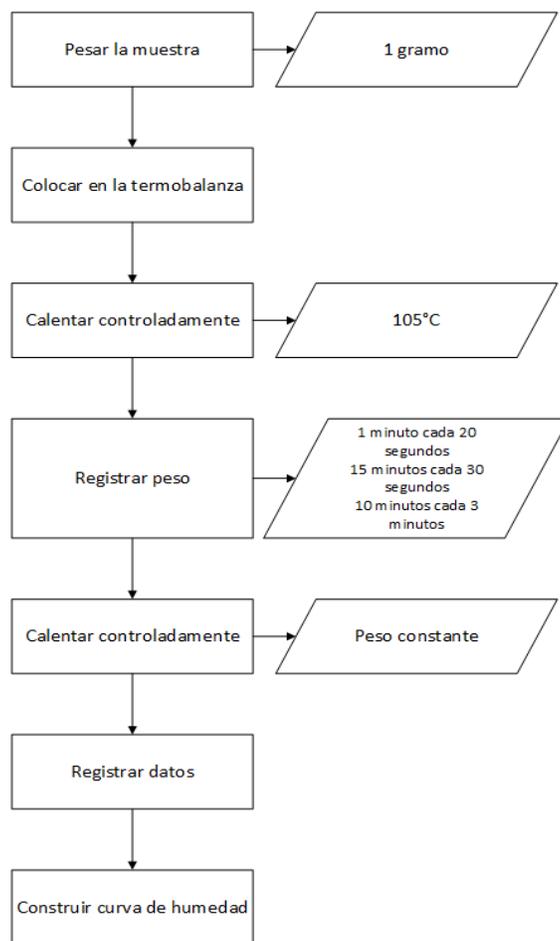


Figura 39. Determinación de humedad para los RFPA

- **Caracterización térmica:** Esta prueba se realizó en un equipo SDT-Q600 de TA Instruments; bajo el principio de pérdida de masa en un barrido de temperatura, en la cual se realizaron dos rampas de calentamiento, con muestras de aproximado de 10 mg en peso, en un intervalo de temperatura de 25 °C y 620°C.

- **Determinación de densidad aparente:** La densidad aparente de las partículas se determinó con base en la norma UNE-EN 13040:1999, haciendo uso de un recipiente que mide la masa y el volumen que ocupa el residuo teniendo en cuenta los poros que contiene.

• **Caracterización morfológica:** La estructura morfológica de las fibras permite predecir las propiedades de aglomeración (Veeresh & Narayana, 2012), y los requerimientos de pretratamientos para ser utilizados con el aglutinante. Según los estudios, la porosidad y estructura es favorable para el proceso de anclaje del adhesivo en la superficie de la fibra, al momento de realizar el material aglomerado (Sreekala, Kumaran, & Thomas, 1997). La morfología del residuo vegetal se examinó a través de microscopía electrónica de barrido mediante el uso de un equipo Marca TESCAN modelo MIRA 3 FEG-SEM.

4.3 Fabricación de los tableros aglomerados

4.3.1 Pruebas preliminares y parámetros del proceso de elaboración

En el marco del presente proyecto y con el fin de evaluar las variables y parámetros del proceso de fabricación se realizaron algunas pruebas preliminares entre la fibra de palma de aceite y una resina poliéster instaurado, datos que son reportados en el proyecto de grado del programa Ingeniera Química de la Universidad de Pamplona, titulado: “Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a partir de residuos agroindustriales de fibra de fruto de palma de aceite y cascara de mazorca de cacao usando una resina termoestable” (Villamizar; Diana, 2017).

Durante estas pruebas preliminares se estableció el proceso mostrado en la figura 40, definiendo las etapas y evaluando las variables del proceso: humedad de los materiales lignocelulósicos, cantidad de material lignocelulósico, tamaño de partícula, presión de operación, tiempo de prensado y cantidad de resina; partiendo de la normatividad internacional ASTM.

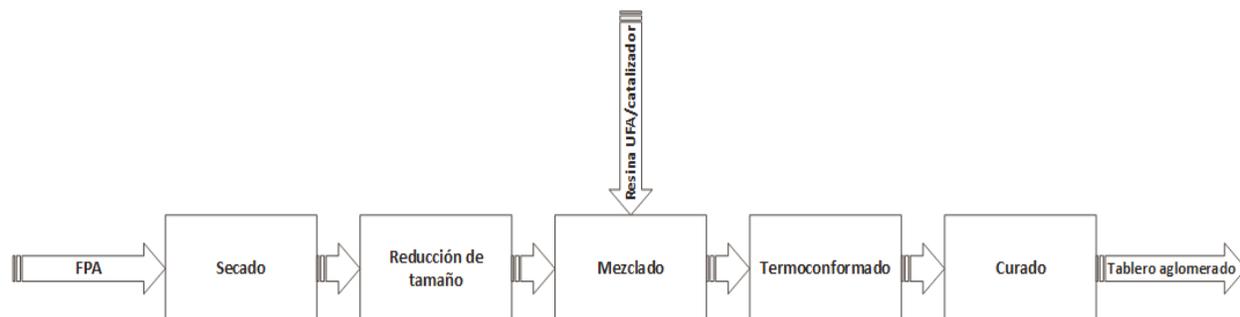


Figura 40. Proceso de elaboración de tableros de FPA

Una vez definidas las variables del proceso de elaboración de los tableros aglomerados, en las pruebas preliminares, se procedió a la elección de la resina con el fin de incorporar el parámetro de temperatura al proceso de prensado. De acuerdo con las especificaciones técnicas recomendadas por el fabricante de la resina de U-FA, corresponde a temperaturas no superiores a 105°C. Las otras variables como el tiempo, la presión y cantidad, fueron tomadas del trabajo realizado con residuos de fibra de palma y resina de poliéster insaturado.

A continuación se presentan las variables definidas durante las pruebas preliminares, parámetros bajo los cuales se desarrollaran los tableros FPA + UFA:

- Temperatura: especificación resina 105°C
- Tiempo de prensado: pruebas preliminares – literatura: 3 minutos.
- Presión: Especificación del equipo – literatura: 550 Kg/cm²
- Humedad de la fibra : Norma ASTM 1037: 13%
- Tamaño de la partícula: Partícula retenida en malla No. 20

En la figura 41, se muestran algunos de los ensayos preliminares realizados para determinar los parámetros del proceso.



Figura 41. Pruebas preliminares con la fibra de palma y resina poliéster insaturada

El experimento se diseñó con una variable independiente en 4 niveles; 5% - 10% - 15% y 20% de concentración de resina de U-FA mezclada con RFPA, en donde se probaron cinco formulaciones para cada porcentaje de resina. En la figura 42, se presenta un diagrama del diseño del experimento, en donde R5, R10, R15 y R20, denotan cada uno de los sistemas en donde el número corresponde al porcentaje de resina en material.

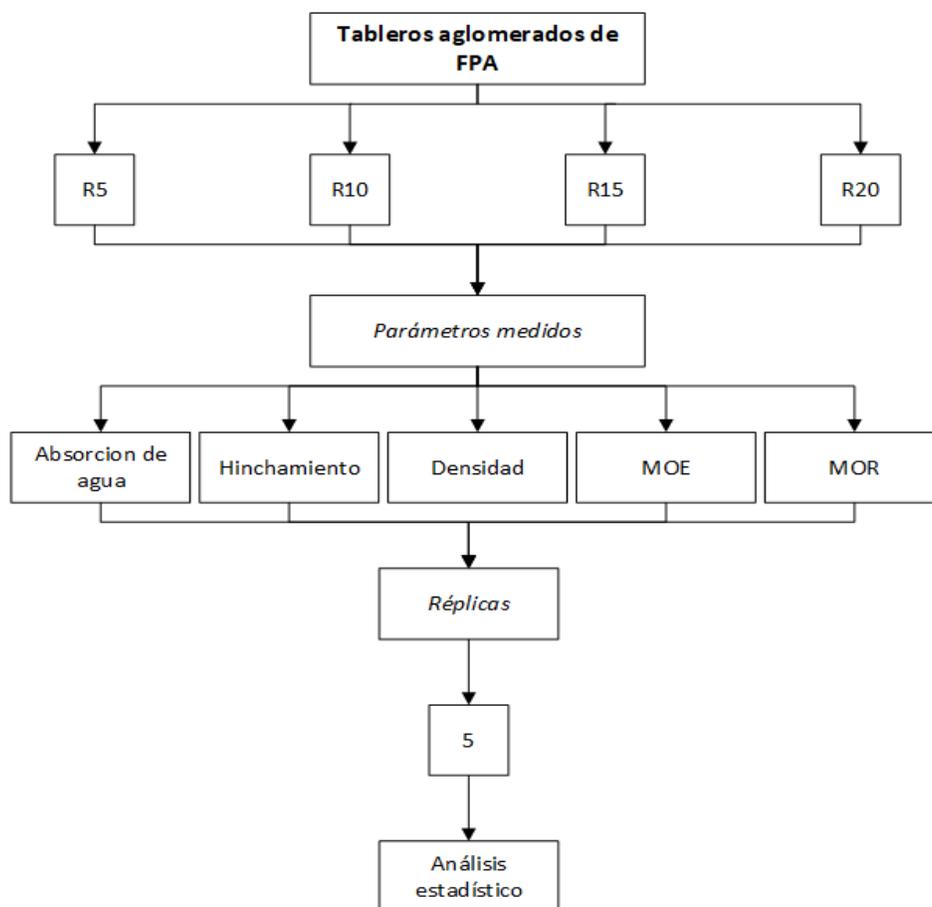


Figura 42. Diseño del experimento

4.3.2 Etapas para la elaboración de los tableros aglomerados

- **Preparación de la muestra:** La norma ASTM-E-871-82 determina que la humedad no debe superar el 13% de su contenido en peso, por lo que la fibra fue sometida a un proceso de secado durante 4 días a 50°C en un horno de bandejas para su secado. Posteriormente, la fibra fue llevada a una recuperadora de material, con el fin de reducir el tamaño. El tamaño de las partículas fue determinado por tamizado, calculando la fracción de masa retenida (x_i) en cada tamiz (ANEXO 1), tal como se muestra en la figura 43 y mediante la siguiente ecuación:

$$x_i = \text{masa retenida en el tamiz} \div \text{masa inicial de la muestra}$$

Ecuación 1. Tamaño de partícula



Figura 43. Tamizado de la fibra de palma

Es importante determinar el tamaño de la partícula (30/40), debido a que existe una relación directa con la resistencia a la flexión de los aglomerados, donde la resistencia y la flexión disminuyen con el aumento de la longitud del tamaño de la fibra (Caicedo, 2011).

- **Mezcla de la fibra con la resina urea-formaldehído:** Esta etapa consistió en impregnar los RFPA con la resina, proceso que depende en gran medida para uniformidad del tablero. La mezcla se realizó manualmente, con el fin de humedecer los residuos con la resina y lograr una uniformidad óptima del laminado durante el prensado. En la figura 44, se muestra el proceso de mezclado residuo y adhesivo.



Figura 44. Proceso de mezclado de la fibra con la resina

Las cantidades de fibra-resina fueron aplicadas partiendo del diseño del experimento, en donde se establece que la variable es la cantidad de resina. Por tanto, a partir de la densidad aparente de cada uno de los dos componentes ($d/resina= 1,28\text{gr}/\text{cm}^3$; $d/fibra=0,36\text{ gr}/\text{cm}^3$) se establecieron las siguientes cantidades para cada uno de los componentes de la mezcla, ver tabla 6.

Tabla 6. Cantidad de resina aplicada por cada tratamiento

V. Independiente		Cantidad de resina aplicada para 400 gr de fibra de palma		
RESINA U-FA		Resina U-FA(gr)	Resina U-FA(cm^3)	Catalizador (Cloruro de amonio gr)
MEZCLA(%p/p)	% R. U-FA			
NIVEL				
1	5%	71,11	55,55	1,46
2	10%	142,22	111	2,92
3	15%	213,33	166,65	4,38
4	20%	284,44	222,2	5,84

• **Proceso de termo-conformado.** En el marco del presente proyecto se desarrolló un equipo de termo-conformado para materiales aglomerados, por parte del Ingeniero Mecánico Brayan Yesid Conde Pabón, quien fabricó el equipo con las especificaciones técnicas requeridas para realizar el proceso de prensado en caliente de los residuos agroindustriales teniendo como base, parámetros fundamentales de dicho proceso (CONDE, 2015) como:

Presión: Esta presión es ejercida por medio de un gato hidráulico con capacidad de 50 Tn, soportado en una estructura metálica diseñada para transmitir o modificar fuerzas dentro del área delimitada (molde).

Temperatura: El calor es un parámetro importante dentro del proceso de la fabricación del tablero por dos razones, la primera complementa el proceso de eliminación de humedad de la fibra, y segundo acelera el proceso de curado de la resina con el catalizador, logrando la adherencia de las fibras con el aglutinante. Por lo tanto, el tiempo de exposición del material en el aglomerador estará determinado por el contenido de humedad de la muestra, la temperatura de degradación de la fibra, y el tiempo de endurecimiento de la resina.

El equipo desarrollado para la producción de tableros aglomerados a escala laboratorio, se presenta en la figura 45, el cual consta de un elevador de carga, gato hidráulico con especificaciones de 50 Ton máxima de carga, dos resistencia eléctrica entre los moldes (110 voltios), termocupla, medidor de presión, molde dispuestos horizontalmente (20 cm * 20 cm y 1 cm de espesor), estructura y conexiones.



Figura 45. Equipo aglomerador de la Universidad de Pamplona

El proceso de prensado se realizó en la prensa hidráulica, la cual cumple con los requerimientos técnicos para lograr aglomerar los RFPA con la resina U-FA y obtener un tablero de aspecto uniforme y estable, ver figura 46. La carga aplicada en el equipo es de aproximadamente 25 toneladas (550 Kg/cm²) (Mejia Almeida, 2012) (Clotario et al., 2006). La temperatura fue definida a partir de la ficha técnica de la resina, y la temperatura de degradación del residuo lignocelulósico obtenido a partir del ensayo de degradación térmica (TGA) para la fibra sola. Por lo tanto, la temperatura de operación fue de 100 °C (± 10 °C), durante un tiempo aproximado de 3 minutos a partir de la aplicación de la fuerza.



Figura 46. Prensado de la mezcla en el equipo aglomerador

Proceso de curado: Una vez transcurrido el tiempo de prensado, se mantuvo durante 30 segundos para liberar lentamente la presión ejercida por la carga. Cabe mencionar que no se debe exceder el tiempo de exposición del material a altas temperaturas (100°C) por razones de postratamientos en el material que perjudicarían el comportamiento en las propiedades mecánicas. Posteriormente, al enfriamiento se procede con el desmolde del tablero, para continuar con el curado del material a temperatura ambiente durante 24 horas, como se observa en la figura 47. En este proceso de curado los vapores de la capa interna del tablero pueden encontrarse con una barrera sólida en el momento de salir, lo que puede traer como consecuencia un aumento de la presión ocasionando fracturas en el material (Buitrago, Henao & Ayala, 2012).



Figura 47. Proceso de curado de los tableros

4.4 Caracterización de los tableros con RFPA

Se probaron 5 formulaciones de los tableros aglomerados obtenidos, los datos se analizaron mediante el software estadístico SPSS v22. (Versión de prueba).

4.4.1 Absorción e hinchamiento

Esta prueba se realizó bajo el procedimiento descrito en la norma (ASTMD1037-06a, 2006), la cual consistió en determinar el incremento en el espesor y masa de cada una de las probetas cortadas según lo establecido en la norma. Se cortaron probetas de 50mm x 50mm, para cinco mediciones por formulación residuo/resina, finalmente se tomaron los registros a las 2 y 24 horas, tal como se muestra en la figura 48.



Figura 48. Prueba de absorción e hinchamiento

4.4.2 Cálculo de la densidad de los tableros

Se tomó las tres dimensiones de cada probeta (largo, ancho y espesor), para determinar el volumen, así como la masa correspondiente, tal como se observa en la figura 49 para finalmente calcular la densidad (densidad = peso/volumen).

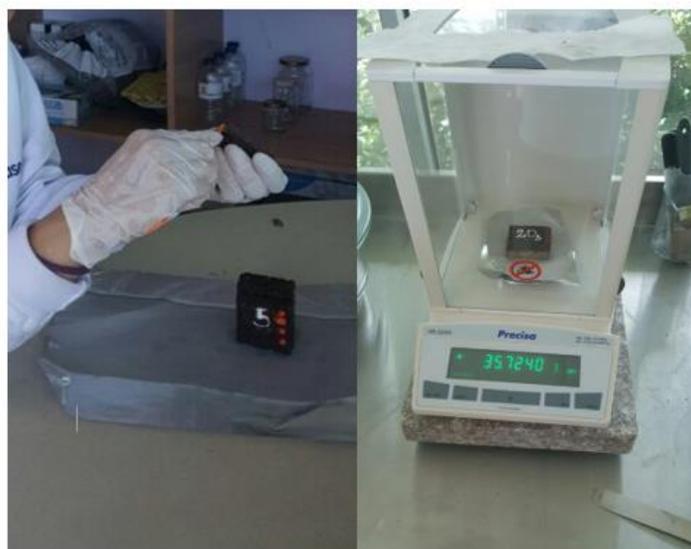


Figura 49. Determinación de la densidad

4.4.3 Caracterización térmica por termogravimetría (TGA)

La caracterización térmica de los tableros aglomerados se realizó en el equipo SDT-Q600 de TA Instruments; en la cual se realizaron dos barridos de temperatura con muestras de 10 mg en peso para tableros de RFPA de 5, 10 y 15% de concentración de resina, en un intervalo de temperatura de 25 °C y 620°C. Mediante esta prueba se buscó determinar el efecto de la cantidad de resina en la estabilidad térmica de los tableros aglomerados e identificar el comportamiento de los mismos a elevadas temperaturas.

4.4.4 Resistencia a la flexión estática (MOR – MOE).

El comportamiento mecánico se llevó a cabo en una máquina universal de ensayos SHIMADZU serie UH – I Modelo 600 KN (Figura 50), ubicada en el laboratorio de materiales de la Universidad de Pamplona. Se realizaron pruebas de flexión que permitió determinar los valores de módulo de ruptura (MOR) y de elasticidad (MOE). Para tal propósito, los ensayos se rigieron bajo la norma (ASTMD1037-06a, 2006), la cual especificaba condiciones de velocidad de deformación a 5 mm/min, humedad 6% y temperatura ambiente entre 20 a 25 grados centígrados, para cinco formulaciones por sistema.



Figura 50. Determinación de MOE Y MOR de los tableros aglomerados

• **Módulo de Ruptura – MOR:** El módulo de ruptura es una variable que determina la tensión máxima que un material pueda soportar en tres puntos hasta la fractura sufrida por el material en tensión (sección de la probeta opuesta a la aplicación de la carga), el cual es expresado en N/mm^2 o MPa; calculado mediante la ecuación 2.

$$MOR = \frac{3 * F_{max} * L}{2 * b * d^2}$$

Ecuación 2. Módulo de ruptura

Dónde:

Fmax = fuerza máxima (N)
 L: distancia entre los apoyos (mm)
 b: Ancho del espécimen (mm)
 d: espesor nominal del espécimen (mm)

• **Módulo de Elasticidad – MOE:** El módulo de elasticidad es la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Entre más alto el valor de MOE, más rígido es el material. El módulo de elasticidad se calcula también bajo las normas internacionales ASTM D1037-6a mediante la ecuación 3.

$$MOE = \frac{l^3}{4 * b * d^3} * \frac{\Delta F}{\Delta \delta}$$

Ecuación 3. Módulo de elasticidad

En donde:
 L: distancia entre los apoyos (mm)
 b: Ancho del espécimen (mm)
 d: espesor nominal del espécimen (mm)
 $\Delta F/\Delta \delta$: pendiente de la curva carga vs deflexión (N/mm)

El proceso de elaboración de los tableros aglomerados de RFPA y resina UFA, junto a la caracterización físico-mecánica se resume en el diagrama mostrado en la figura 51.

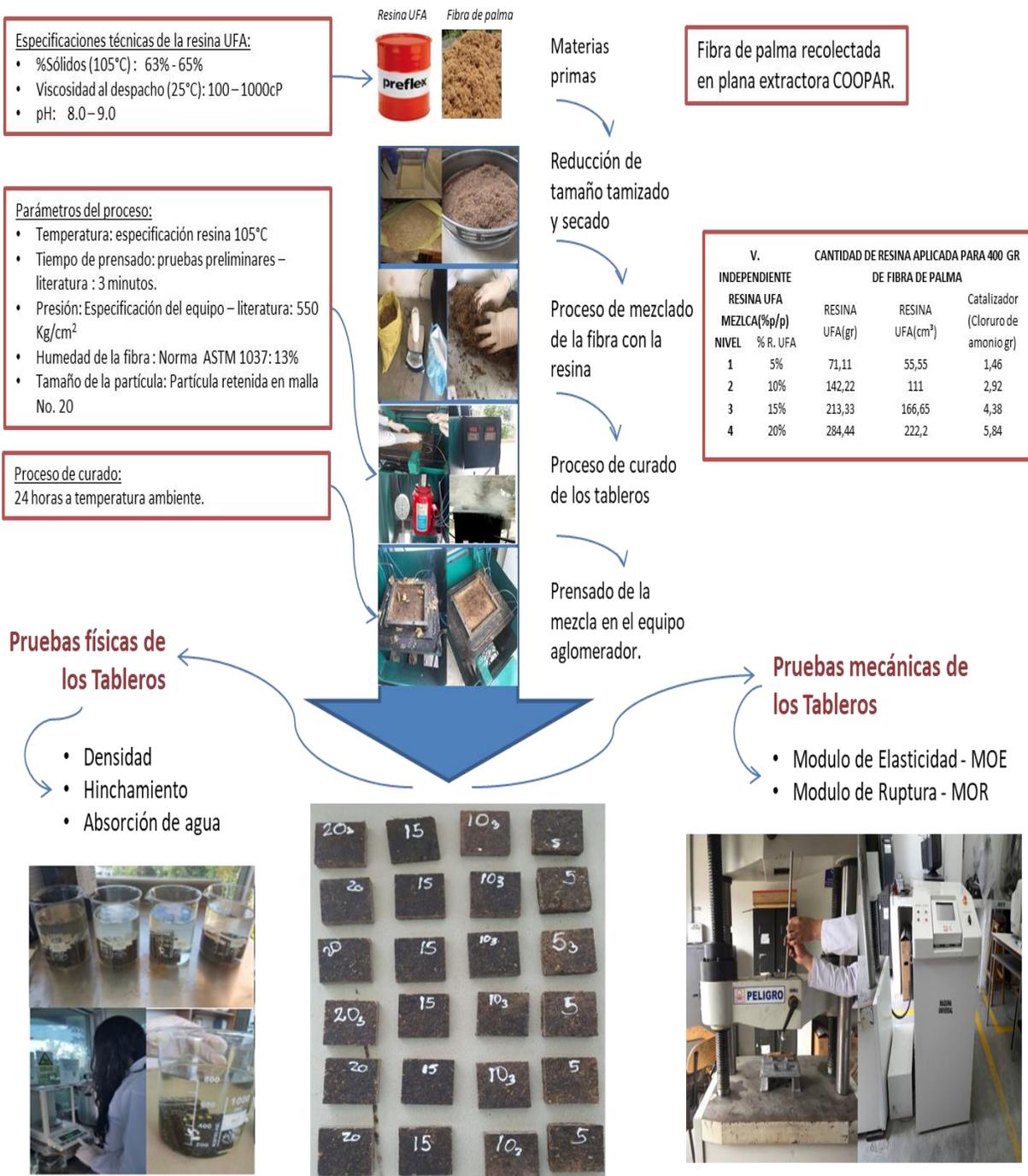


Figura 51. Esquema de elaboración y caracterización de los tableros aglomerados

4.5 Elaboración de un prototipo para una posible aplicación industrial

Un prototipo es un ejemplar o primera versión de un producto, servicio, proceso o modelo de negocio, desarrollado con el fin de validar su funcionalidad, el cual se obtiene a partir de una necesidad del mercado o problemática que se presente. Por lo tanto, a partir de la problemática planteada sobre utilización de residuos de palma de aceite y sus posibles usos, se propuso para la presente investigación, el desarrollo de un prototipo para una aplicación industrial.

Esta posible aplicación se plantea a partir de los resultados obtenidos en la caracterización de la fibra de palma de aceite y las pruebas físico mecánicas realizadas a los tableros aglomerados elaborados a partir de la fibra con la resina urea formaldehído. Para el desarrollo de este objetivo se plantea la ruta, según como se muestra en la figura 52.

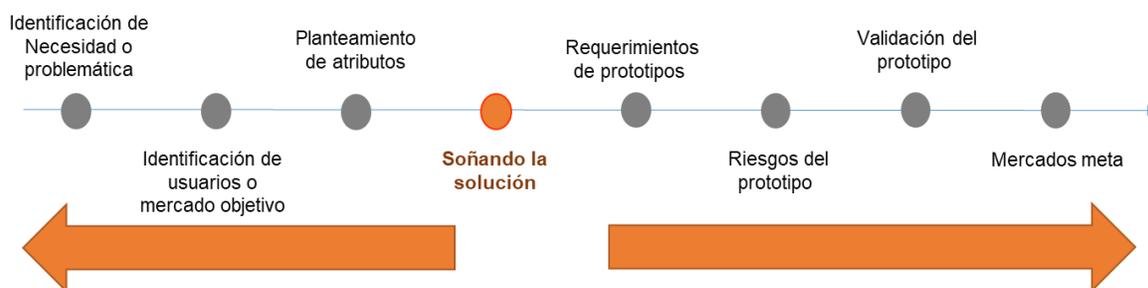


Figura 52. Ruta para la definición del prototipo

A partir de la ruta planteada en la figura 52, se obtuvo el producto mínimo viable que es el resultado final del desarrollo del prototipo, donde se hace una aplicación a pequeña escala y se observa el comportamiento técnico del mismo.

4.6 Evaluación financiera y económica del proyecto

Una vez comprobada la viabilidad técnica y ambiental de fabricar tableros aglomerados a partir

de los RFPA, es importante evaluar la viabilidad financiera y económica de la producción a escala industrial del producto estudiado; que permita señalar la conveniencia, o no, de la inversión. En este caso el proyecto comprende sistemas complejos de negocios por el requerimiento de una planta industrial que demanda la asignación de recursos significativos (Valencia & Pinto, 2013).

La viabilidad financiera, con crédito o con recursos propios del inversionista, se analiza a partir del flujo de fondos proyectado del proyecto durante su vida útil. Los indicadores que consideramos son: la tasa interna de retorno - TIR, el valor presente neto - VPN o VAN y el período de recuperación de la inversión - PRI.

En la evaluación financiera, ayudados por la hoja de cálculo EXCEL (Formulas-Financieras), se consolida la información estimada de ventas, inversión requerida, costos de operación, gastos administrativos, gastos de ventas e impuestos, entre otros; para determinar finalmente cuál será su rentabilidad (TIR), y el valor que agregará a la inversión, tanto inicial como las que se realicen durante la vida útil del proyecto, comúnmente denominado Valor Presente Neto (VPN). Adicionalmente se calculará el período de recuperación de la inversión (PRI) y se realizará un análisis de sensibilidad de este.

El desarrollo del análisis de la viabilidad financiera implica considerar lo siguiente: inversiones necesarias y sus valores aproximados, presupuesto de costos y gastos de funcionamiento, ingresos previstos para cada periodo. (J. J. Miranda, 1997). A continuación se presentan los pasos considerados:

- **Definición de la vida útil del proyecto:** Aunque los equipos a utilizar pueden tener una vida útil de quince años y más, se decidió que sería de diez años, en razón al tiempo máximo en que se

espera recuperar la inversión. También se decidió que los periodos de evaluación serían anuales, por la naturaleza del proyecto y por ser lo más comúnmente usados.

- **Determinación de la tasa de costo oportunidad (To) del inversionista:** Es la mejor tasa de rentabilidad que se podría obtener o que se aspira invirtiendo el mismo dinero en un proyecto de riesgo similar o menor y con buena factibilidad de llevarlo a cabo. En el sector de la construcción una To de 15% o más anual, se considera muy buena.

- **Estimación del monto de inversión inicial y durante el periodo del proyecto:** Establecidas las diferentes etapas del proceso industrial, así como los volúmenes posibles a procesar, se establecieron los equipos, instalaciones y redes de servicios requeridas y se estimaron los valores de adquisición y/o adecuación de estos. Se ha considerado terrenos y galpón en arrendamiento (Anexo 11. Tabla I-II).

- **Estimación de ingresos:** Corresponden a las ventas de conformidad con la capacidad utilizada de la planta, la producción de la misma y el precio competitivo de venta estipulado. (Anexo 11- tabla III).

- **Estimación de egresos:** Costos de Personal, Costos fijos, costos variables, costos de ventas, depreciaciones y gastos de administración. (Anexo 11- Tabla III).

- **Cálculo del flujo neto por periodos (10 años):** Es la diferencia entre ingresos y egresos (movimientos estimados de dinero).

- **Cálculo de VPN ó VAN, TIR y PRI:** A partir del flujo neto se calcularon estos indicadores que determinan la viabilidad financiera del proyecto.

- **Análisis de sensibilidad:** Las variables más sensibles desde el punto de vista financiero, en este caso, tienen que ver con los cambios de valor en las materias primas, el precio de venta del producto y la capacidad utilizada de la instalada.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Composición química de los residuos de fibra de palma de Aceite - RFPA

Se evaluó la composición química de la fibra del mesocarpio del fruto de aceite de palma. Los valores obtenidos fueron el resultado por triplicado para cada medida, y se calculó el promedio con su respectiva desviación estándar y su varianza en el software SPSS v.22 de IBM (versión de prueba), con un grado de confiabilidad del 95%. Es importante destacar que la fibra analizada sale con algunos componentes propios del proceso de prensado, es así, que a simple vista se observaron pequeñas partes de almendra y cuesco. Según (García et al., 2009b) estos residuos comprenden 0,3% de almendra, 0,7% de nueces enteras y 0,4% de cuesco partido.

Tal como se presenta en la tabla 7, se demuestra que la celulosa representa la mayor composición de la fibra con 30,85%, seguido de la lignina que constituye el 23,8% y la presencia de extraíbles con el 16,10%, continuando con el 14,56% que corresponde a la hemicelulosa y finalizando con la presencia de cenizas (minerales) que alcanza al 7,66%.

Tabla 7. Composición química determinada para la fibra de palma de aceite

Componente químico	Media (% p/p)	Desviación estándar	Varianza	Valor comparativo (García et al., 2009b)
Cenizas	7.6635	0.2414	0,0580	-
Solubilidad_NaOH	33.1330	0.2011	0,0400	-
Extraíbles	16.1068	0.7875	0,6200	21,2
Lignina	23.8000	0.6061	0,3670	24,0
Celulosa	30.8531	0.1657	0,0270	36,6
Hemicelulosa	14.5639	0.3778	0,1430	18,2

Este porcentaje de celulosa obtenido es importante, debido al aporte que le puede otorgar en las propiedades mecánicas del material aglomerado. De otro lado, la cantidad de lignina del 23,8% presente en la estructura, se puede analizar como un componente que le puede aportar rigidez al elemento estructural. Esto debido al proceso de polimerización de las cadenas de las fibras, por

efecto de la lignina cuando es sometido a temperatura en el prensado, presentado alta influencia en las propiedades mecánicas. (Morales, Gonzales, & Mesa, 2016).

Los valores obtenidos en la composición química de la fibra de raquis de palma son comparables con los obtenidos por García (García et al., 2009b). Con respecto a la celulosa se observan diferencias de 5,75 puntos porcentuales, pero aun así se encuentran en el rango de 30-40% reportados en otras investigaciones (Ramirez et al., 2015). Estas variaciones pueden ser generadas por las diferentes especies cultivadas en la zona, condiciones del suelo y clima, edad de la planta y mecanismos de extracción (M. D. H. Beg, M. F. Mina, 2015).

La solubilidad de los materiales en Hidróxido de sodio al 1%, (Mejía Almeida, 2012) fue calculada para la fibra obteniendo valores que comprenden el 33.1 %, lo que significa que son sustratos que pueden estar expuestos a degradación por hongos. Al comparar estos datos con las composiciones químicas de algunas especies de árboles utilizados en la industria de tableros, se encuentra que la fibra está en el rango de estas maderas; el eucalipto presenta datos de solubilidad en NaOH por 34,28% (Orea-Igarza & Cordero-machado, 2006).

Con el fin de validar la tabla anterior, los resultados de los análisis químicos fueron comparados con los presentados en el artículo “Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia” de la revista Palmas, donde hacen un estudio detallado de los residuos de 29 plantas extractoras del país, con el fin de confrontar los datos obtenidos en el presente proyecto, tal como se presenta en la tabla 8.

Tabla 8. Comparación de la composición química de la fibra

Sustrato / composición %p/p	Celulosa	Lignina	Hemicelulosa	Cenizas	Extraíbles
Fibra palma autor	30,85	23,8	14,56	7,6	16,1
Fibra palma (García et al., 2009b)	36,6	24	18,2	8,44	21,2
Tusa (García et al., 2009b)	47,7	10,8	21,1	7,87	20,4

Fuente: Autor– Datos ((García N. & Yañez A., 2010)

En la tabla 8, se puede observar que los datos de lignina están muy cercanos a los presentados en el estudio en mención. De igual forma el contenido de hemicelulosa, cenizas y extraíbles se encuentran en los rangos reportados por (M. D. H. Beg, M. F. Mina, 2015), que para el caso de estudio, la planta extractora corresponde a la zona central del mapa palmero de Colombia (Fedepalma, 2013).

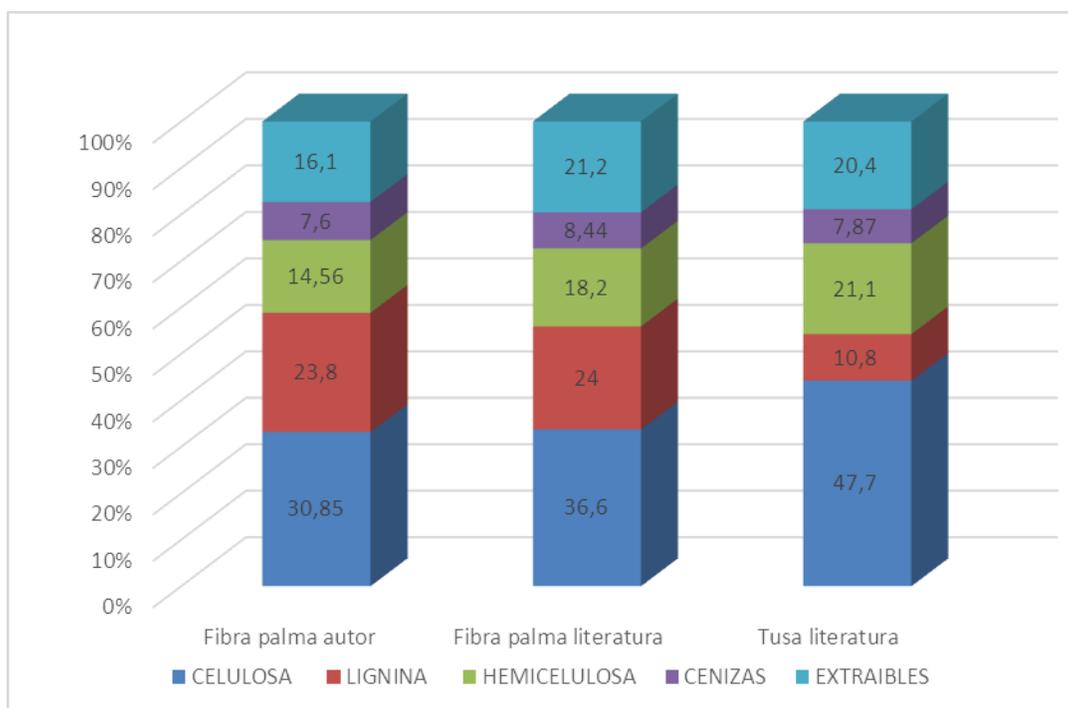


Figura 53. Composición de la fibra del mesocarpio/tusa de la palma de aceite
Fuente: Autor – Datos ((García N. & Yañez A., 2010)

La figura 53 se expone con el fin de comparar los dos tipos de residuos que salen del proceso de extracción de palma de aceite, se presenta la composición química de la tusa, que son los racimos

que contienen el fruto, siendo estos los que se generan en mayor cantidad, cerca del 20-23% frente al 11% producido de fibra del mesocarpio (García N. & Yañez A., 2010). Como se evidencia en la tabla 8, la tusa posee 16,85 puntos porcentuales por encima de la fibra en el contenido de celulosa; sin embargo el contenido de lignina está por encima con esta misma proporción y en el contenido de hemicelulosa, extraíbles y cenizas se encuentran en el mismo rango.

Partiendo de la propiedades adhesivas de la lignina (Ju & Ter, 2011), que es un polímero ramificado, con una estructura muy compleja, conformada en unidades de fenilpropano organizadas en una estructura tridimensional, unidades entre sí a través de diversos tipos de enlaces carbono-carbono y éter. En consecuencia, y debido a su composición química, la lignina juega un papel importante en la protección de la celulosa / hemicelulosa de las condiciones ambientales adversas tales como el agua, la cual actúa como pegamento entre las células individuales y entre las fibrillas que forman la pared celular, penetrando las hemicelulosas y uniendo las fibrillas de la celulosa (Reddy & Yang, 2005).

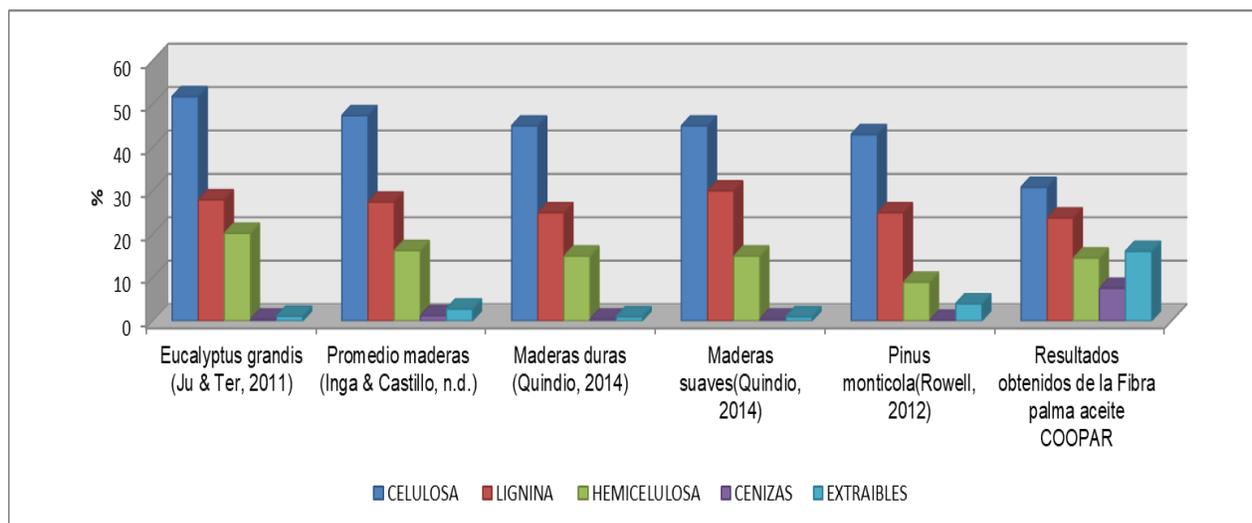
Se considera que la fibra del mesocarpio presenta una composición lignocelulósica con características propias para aplicaciones tales como materiales de construcción, tableros de partículas, tableros aislantes, alimentos y piensos humanos, cosméticos, medicamentos y otros biopolímeros y productos químicos finos (Reddy & Yang, 2005).

En la tabla 9, se hace un breve resumen de las composiciones químicas de algunos tipos de maderas utilizadas en la industria para la producción de tableros, con el fin de evaluar los resultados obtenidos con la fibra del mesocarpio de la palma de aceite y estudiar posibles usos industriales en la producción de tableros de partículas.

Tabla 9. Comparación de la composición química de la fibra con materias primas de tableros de partículas

Sustrato / composición %p/p	Celulosa	Lignina	Hemicelulosa	Cenizas	Extraíbles
Eucalyptus grandis (Ju & Ter, 2011)	51,72	27,99	20,29	0,45	1,1
Promedio maderas (Inga & Castillo, 2014.)	47,38	27,44	16,26	1,25	2,8
Maderas duras (Rivera, Prias, & Agudelo, 2014)	45,00	25,00	15,00	0,50	1,0
Maderas suaves(Rivera et al., 2014)	45,00	30,00	15,00	0,50	1,0
Pinus monticola(R. M. Rowell, 2012)	43,00	25,00	9,00	0,20	4,0
Resultados obtenidos de la Fibra palma aceite COOPAR	30,85	23,80	14,56	7,60	16,1

En la figura 54, se observa la comparación de los valores de las composiciones químicas, obtenidas en otras maderas convencionales y la fibra objeto de estudio.

**Figura 54.** Composición de diferentes maderas utilizadas en la producción de aglomerados versus la fibra de palma

Como se evidencia en la figura 54, los diferentes tipos de maderas tienen aproximadamente el 50% de componente celulósico, comparado con la fibra de palma que se compone del 31%. Los porcentajes de lignina son muy cercanos a los obtenidos en las maderas de referencia, con aproximadamente el 25% de su composición total.

Para complementar esta caracterización química se realizó la determinación de solubilidad de los materiales en Hidróxido de sodio al 1%, también llamada ataque de hongos (Mejia Almeida, 2012), la cual consiste en disolver los carbohidratos presentes en la fibra. En la tabla 10, se presentan los datos obtenidos en la prueba de solubilidad en NaOH conocida también prueba en sosa (Salazar & Pérez, 1998).

Tabla 10. Análisis estadístico de la prueba solubilidad de la fibra en Hidróxido de sodio al 1%

Material	Media	Desviación estándar	Varianza
Fibra de palma %p/p	33.1330	0.2011	0,0400

En la literatura se encuentran datos para la fibra del raquis de palma por valores del 34,10% (Mejia Almeida, 2012); que al ser comparada con la fibra del mesocarpio, objeto de este estudio, presenta también un grado de solubilidad muy cercano, en promedio 33,13% como se observa en la tabla 10. Por lo tanto, son sustratos que pueden estar expuestos a la degradación por hongos. Al comparar estos datos con las composiciones químicas de algunas especies de árboles utilizados en la industria de tableros, se encuentra que la fibra está en el rango de estas maderas; el eucalipto por ejemplo, presenta datos de solubilidad en NaOH por 34,28% (Orea-igarza & Cordero-machado, 2006).

5.2 Caracterización física de los RFPA

Se evaluaron las siguientes propiedades físicas de los RFPA, la humedad, la densidad aparente, comportamiento térmico y análisis morfológico. El propósito de las siguientes pruebas permitió identificar variables muy importantes en la fabricación de los tableros aglomerados.

5.2.1 Determinación de humedad

Se realizó la medida del contenido de humedad del fruto de palma de aceite, estos datos han sido calculados en base húmeda (masa del material seco + masa de agua dentro del material). Los ensayos se llevaron a cabo por triplicado, arrojando los valores de la media, desviación estándar y varianza, como se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados determinación de humedad de la fibra de palma de aceite

Material	Media (%p/p)	Desviación estándar	Varianza
Fibra de palma	89.3333	0.0252	6.35E-04

Cuando se habla de fibras naturales y compuestos lignocelulósicos, es común encontrar contenidos de humedad por encima del 80%, es así, que en la fibra analizada presenta un contenido de humedad en base húmeda con un promedio del 89,3%, y en base seca es de 10,67%. Estos pueden ser comparados con estudios anteriores sobre residuos de palma, donde se reportan contenidos de humedad del 69% para la tusa y 38,1% para la fibra (García et al., 2009b).

En la figura 55 se presenta la curva de pérdida de humedad, debido a la evaporación de agua en la muestra, con el fin de medir el tiempo de evaporación para una posible elaboración de los tableros aglomerados, el material debe tener menos de un 13% de humedad según lo especifica la norma (ASTM-E-871-82). El contenido humedad puede afectar, principalmente la pérdida de adhesión entre las partículas y el adhesivo, por la acumulación de agua dentro del material por encima de este rango.

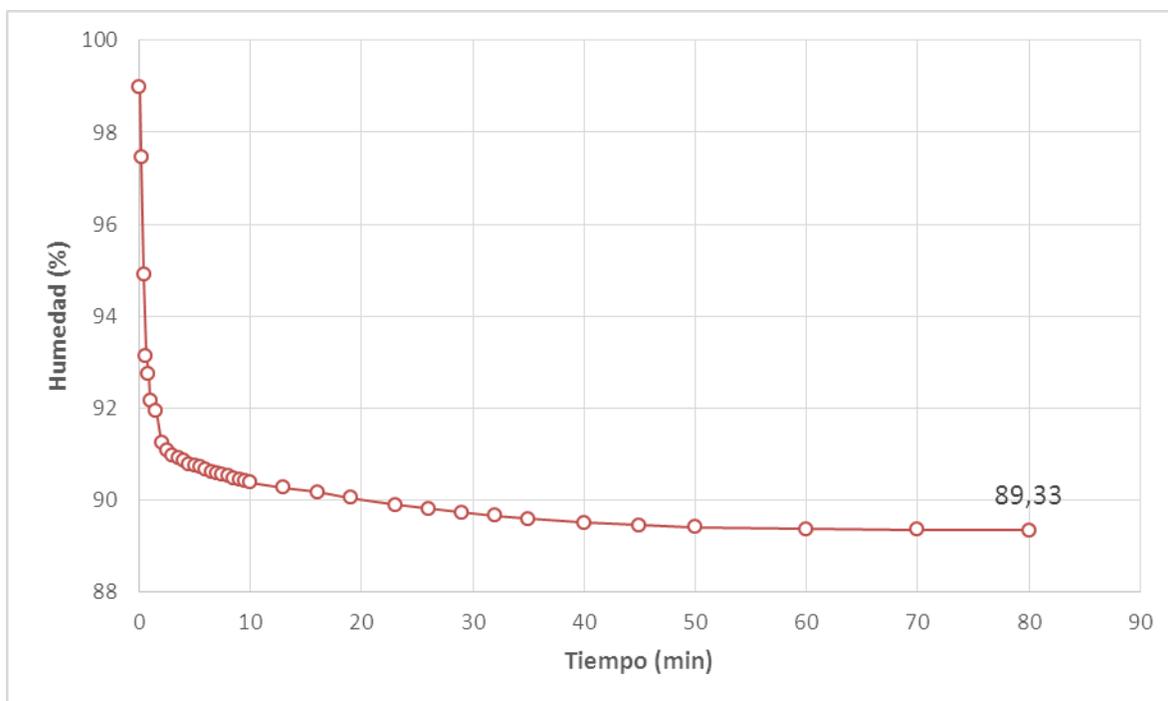


Figura 55. Determinación de humedad de la fibra en función del tiempo

Conforme la figura 55, la pérdida de humedad se da rápidamente en los primeros 2 minutos del ensayo, eliminando aproximadamente un 9% de humedad. Después de los 20 minutos, la humedad de la muestra permanece constante hasta llegar al minuto 80 en el cual no se presentó más pérdida, en este momento la humedad corresponde al 89,3% (Granados, Torrenegra, & Nahir, 2017).

5.2.2 Caracterización térmica por TGA

Las propiedades térmicas de los residuos de la fibra se analizaron mediante la técnica de termogravimetría. En la figura 56, se observa los termogramas de las curvas correspondientes a la pérdida de la masa porcentual (TG) y la primera derivada de la pérdida de la masa (DTG)

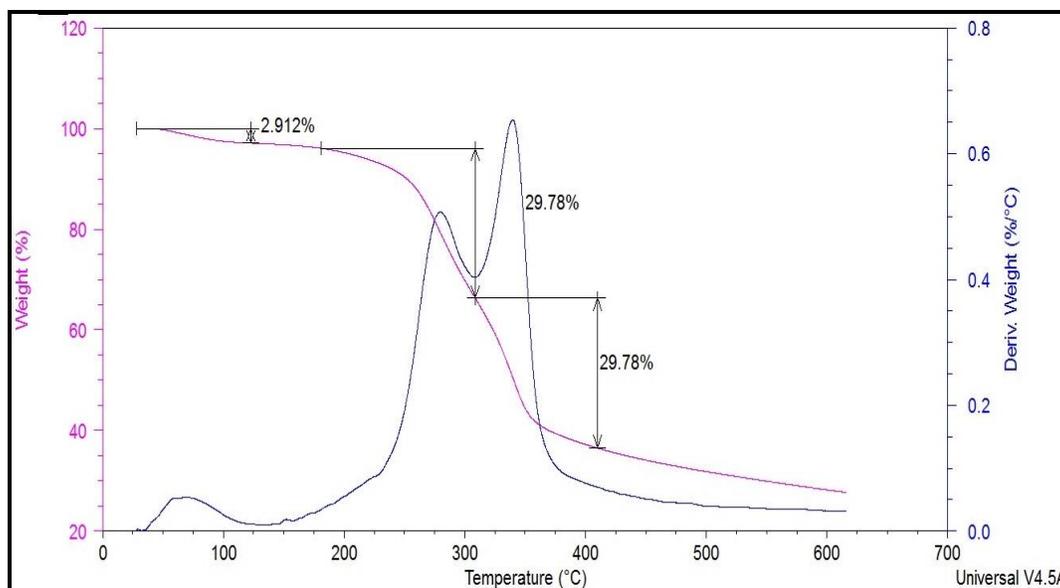


Figura 56. TGA/DSC para la fibra de palma de aceite

En la curva TG se observa una primera pérdida de la masa atribuida a la evaporación de la humedad en un rango de temperaturas de 25 a 125 °C, con una pérdida de peso de 2,912 %. En la curva DTG se evidencian dos etapas que corresponden a la despolimerización de la hemicelulosa, las pectinas y el glucósido a una temperatura alrededor de los 280 °C, con una pérdida de masa de 29,78 %. El pico II está asociado a la descomposición de la α -celulosa en torno a los 350 °C y a un consumo de la masa total de 29,78 %. Valores similares son reportados en el estudio térmico, de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. (Mora & Ramon, 2017).

La curva que se genera en TGA/DSC, es muy similar a la que se presenta en estudio reportados del mismo material, presentando de igual forma los dos picos (García et al., 2009b). Los dos primeros picos que se observan se deben principalmente a la descomposición de la hemicelulosa y celulosa (Szabo P, Arhegyi Gabor, Ferenc Till, 1996).

Dicha explicación se complementa con el estudio reportado sobre pirólisis de componentes típicos de la biomasa (celulosa, hemicelulosa y lignina) por la Universidad Nanyang Technological University de Singapore; donde logran determinar las curvas de degradación de los mismos, tal como se presenta en la figura 57.

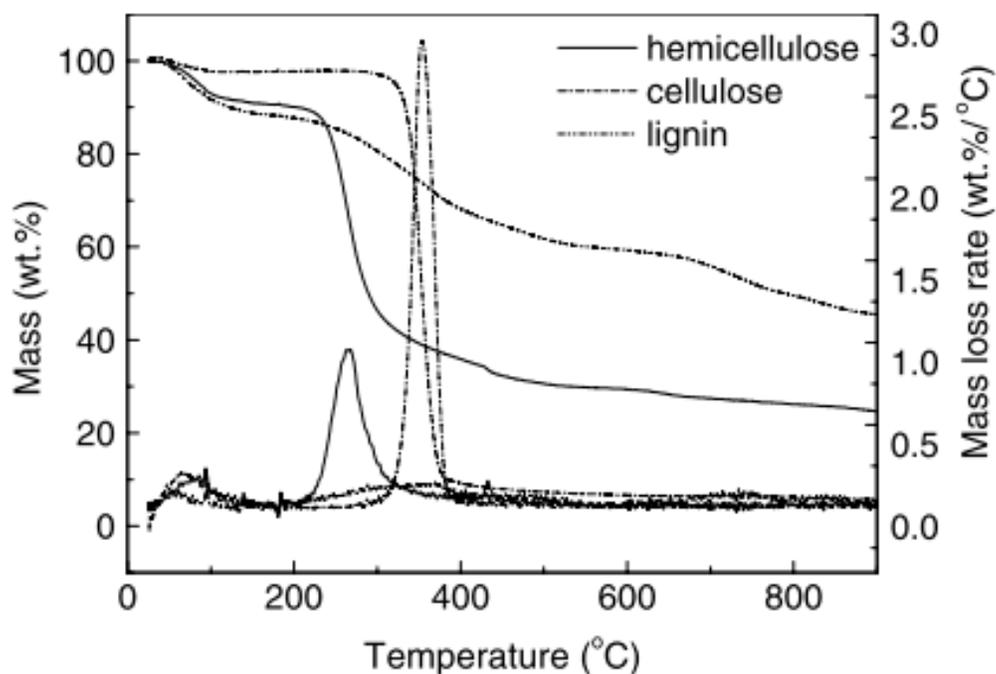


Figura 57. TGA/DSC para la fibra de palma de aceite
Fuente: Yang, 2007

5.2.3 Análisis morfológico por SEM

La microestructura de la fibra de palma de aceite se evaluó mediante microscopía electrónica de barrido. Se realizaron imágenes de la sección longitudinal Figura 58 (a y b) y de la sección transversal Figura 58 c.

La morfología muestra una estructura porosa con secciones circulares que comprenden diámetros entre 8 μm y 13 μm . A su vez, los poros contienen cavidades de tamaño entre un rango 1,26 μm y 1,86 μm . Según (Beg et al., 2015), la estructura porosa beneficia el enclavamiento de la resina cuando se trabajan con materiales compuestos, lo cual para nuestro propósito en la elaboración de

tableros aglomerados favorece por el contacto con el adhesivo. Sin embargo, la porosidad facilita la acción capilar incrementado su carácter hidrofílico, por lo tanto, se sugiere un pretratamiento de secado de la fibra antes del mezclado con la resina en el proceso de fabricación. Así mismo, el corte transversal evidencia una pared celular de un espesor considerable de aproximadamente de $40\ \mu\text{m}$, lo cual refuerza los valores obtenidos en la composición química, en donde la cantidad de celulosa, lignina y hemicelulosa constituyen el 70 %.

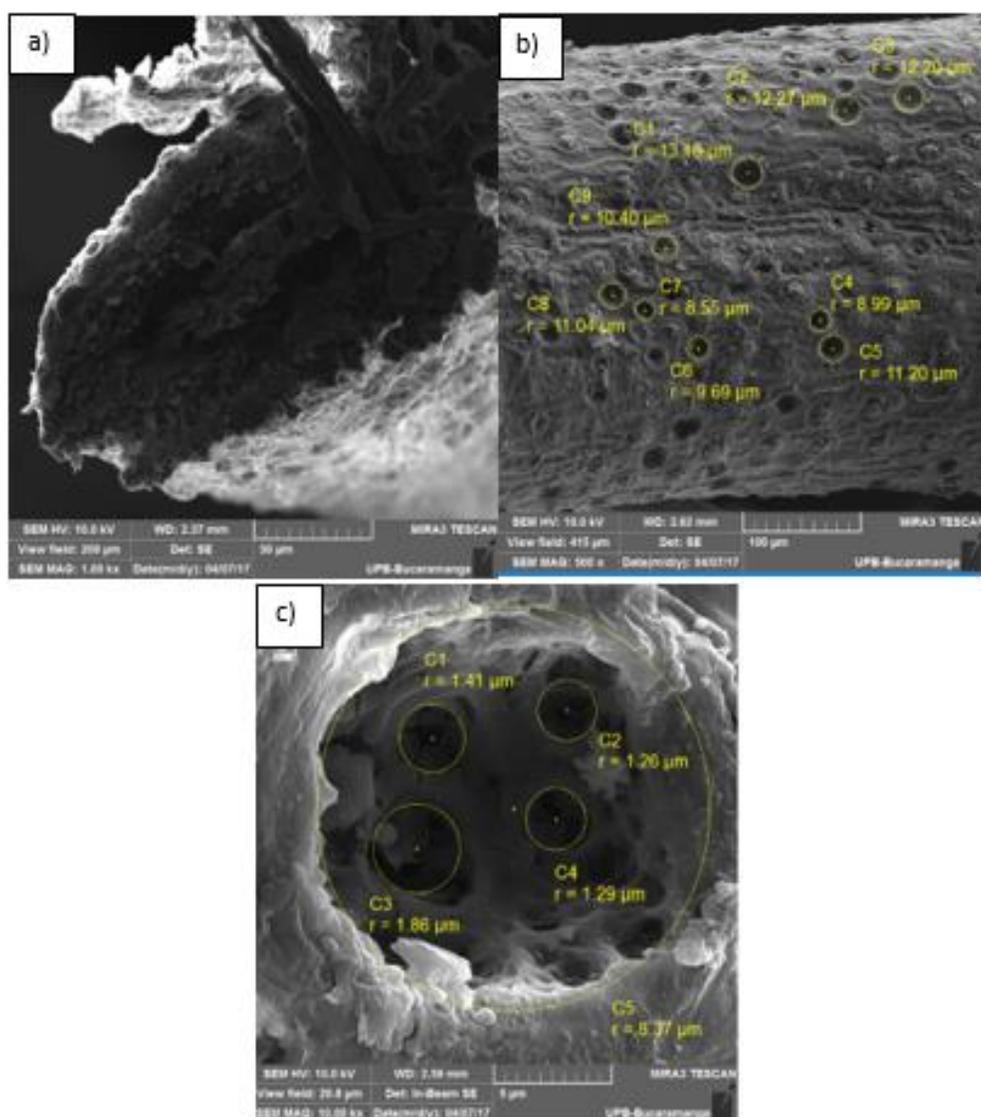


Figura 58. Fotografía SEM fibra de palma

5.3 Caracterización física de los tableros

5.3.1 Absorción de agua e hinchamiento

Se obtuvo el porcentaje de humedad retenida en los tableros de fibra de palma, para muestras con dimensiones de 50 mm*50 mm, durante los periodos de tiempo de 2 y 24 horas, establecido bajo la norma ASTM D1037-06a, logrando obtener las diferencias de peso (absorción) y de dimensión de canto (hinchamiento). En la figura 59, se presentan los resultados obtenidos en la prueba, lo cual evidencia una clara relación de la concentración de la resina con la cantidad de agua absorbida. El primer nivel, que contiene el 5% de resina presenta una mayor absorción de agua, a las 2 y 24 horas con el 11 y 15% respectivamente. En el siguiente nivel, para una concentración del 10% de resina, arrojaron valores del 8,3 y 11% de agua absorbida para los mismos tiempos establecidos. Estos valores descienden al aumentar la cantidad de resina U-FA en la muestra, es así que para las formulaciones del 15% y 20% de resina, el porcentaje de agua absorbida desciende a 5,3 y 5,2% respectivamente.

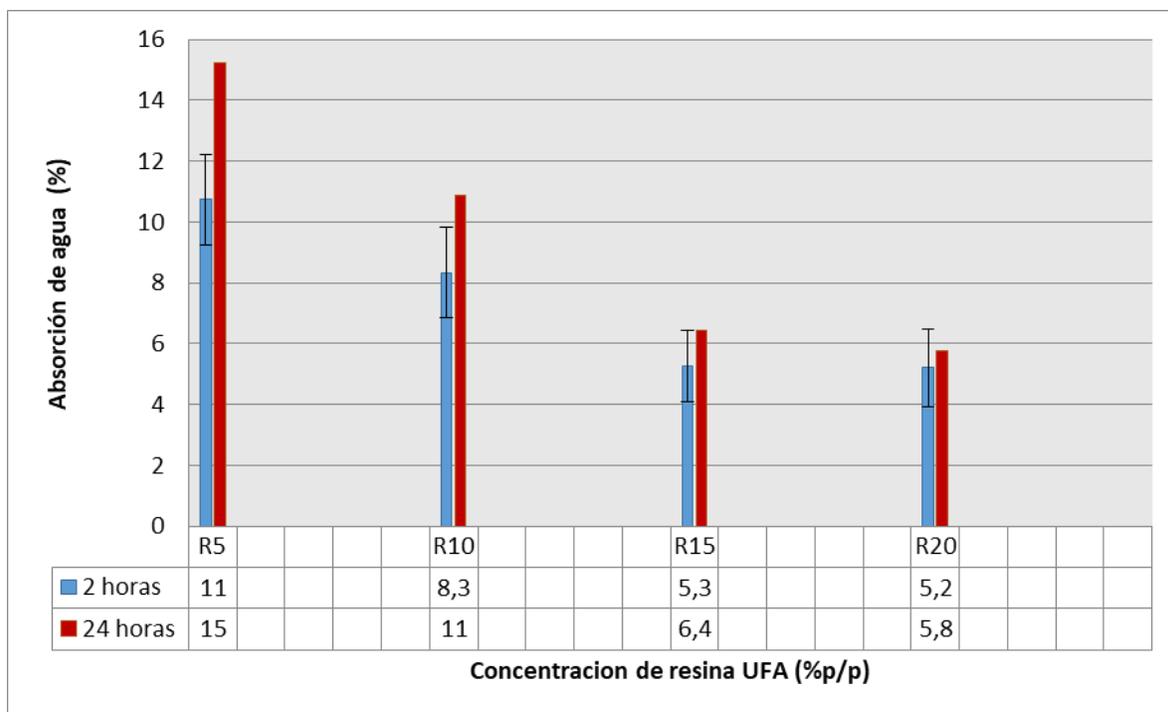


Figura 59. Absorción de agua de los tableros RFPA las 2 y 24 horas después

Comparando el comportamiento obtenido con estudios aplicados con la misma resina U-FA, pero con tableros elaborados con pino (*Pinus radiata*), se encuentra que los porcentajes de absorción de humedad, calculados solo para tableros con el 5% de resina, están entre el 11 y el 25%, para 2 y 24 horas (Hernán Poblete, Alejandro, & Estrada, 2007). Estudios con *Pino Patula* con resina U-FA al 12% reportaron datos de absorción del 20 a 60% y 40-70% para mediciones a las 2 y 24 horas respectivamente (Zambrano et al., 2013); valores superiores al obtenido con los materiales aglomerado con RFPA que esta entre el 11 y 15%. El comportamiento es similar con otros residuos agroindustriales tales como la cascarilla de café, en el que también se evidencio la relación entre la concentración de aglomerante y la absorción de agua, y que en consecuencia se aprecia, que al aumentar la proporción de resina se disminuye la absorción de agua (Waight, 2013).

Así como se tomó el peso a las 2 y 24 horas de haber sumergido los tableros en agua, se hizo la medición del incremento en el espesor del canto en estos dos tiempos, con el fin de determinar el hinchamiento como se puede observar en la figura 60. Esta prueba mide la contracción que se produce debido al intercambio de humedad en la pared celular de los RFPA (Mateu, 2015). En el caso de materias primas maderables el hinchamiento del tablero por inmersión en agua se compone de dos factores; primero: el hinchado debido a la absorción de agua por las partículas higroscópicas y segundo: la liberación del esfuerzo de compresión que sucede en el proceso de prensado, proceso que es irreversible, conocido como efecto de recuperación (springback) (Castellanos, 2015).

Se puede evidenciar que los tableros con la menor concentración de resina presentan un mayor porcentaje de hinchamiento, tendencia idéntica a la que presenta los resultados de absorción de agua a las 2 y 24 horas, puesto que al aumentar el tiempo de inmersión se saturan las paredes celulares por su bajo contenido de humedad y se desarrolla la capacidad de absorción produciendo el hinchamiento (Zambrano et al., 2013).

Los resultados obtenidos resultan más bajos al ser comparados con fibras de guadua y café con resina U-FA, en proporción 80/20; que reportan entre 12 y 14 % hinchamiento, frente a un aglomerado comercial del 20% (Quindio, 2014).

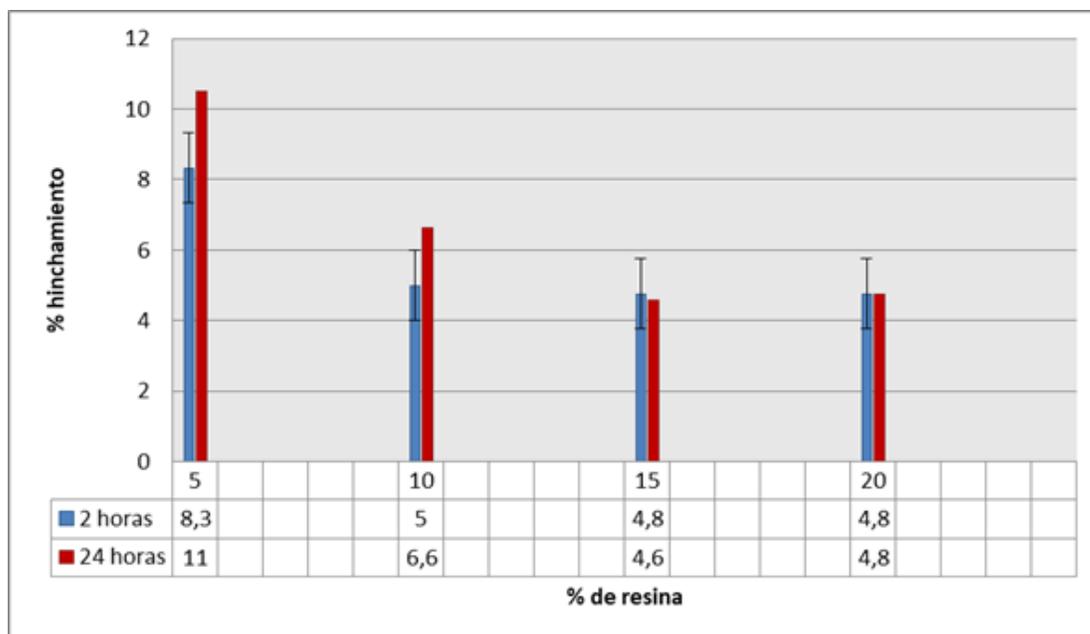


Figura 60. Hinchamiento en los tableros FPA a las 2 y 24 horas después

Según los reportes de investigaciones realizados con tableros aglomerados a partir de diferentes fibras vegetales, el porcentaje más bajo lo presenta la fibra de palma de aceite, aun comparando las fichas técnicas de los productos comerciales desarrollados a partir de maderables; cascarilla de arroz (16%), cascara de mani (16%) (Madurwar et al., 2013), bagazo de caña de azúcar (16,33%) (Monteiro et al., 2011), tripeperro (50%), Pasto elefante (55%), Guasca (30%) (Gaitán et al., 2016), corteza de coco (78.8%) (Khedari, Nankongnab, Hirunlabh, & Teekasap, 2004), tableros comerciales Tablemac (14%) (Tablemac-Duratex, 2017), Primadera (11%) (PRIMADERA, 2016), Masisa (11%) (Masisa, 2015). La explicación a este fenómeno se entiende, debido a la alta cantidad de extraíbles presentes en los RFPA (16%), lo que permite una reducción en el porcentaje de hinchamiento (Elena & Antonio, 2012b). Según las normas internacionales (DIN 68.750) (Hernán Poblete et al., 2007), estipula que los tableros después de las 24 horas no pueden tener un hinchamiento mayor al 18%, con lo cual, los tableros desarrollados en este trabajo están entre el rango exigido por la norma.

5.3.2 Densidad de los tableros RFPA

Se determinó la densidad de los tableros a partir de la ecuación 3, obteniendo los resultados promedios presentados en la figura 61.

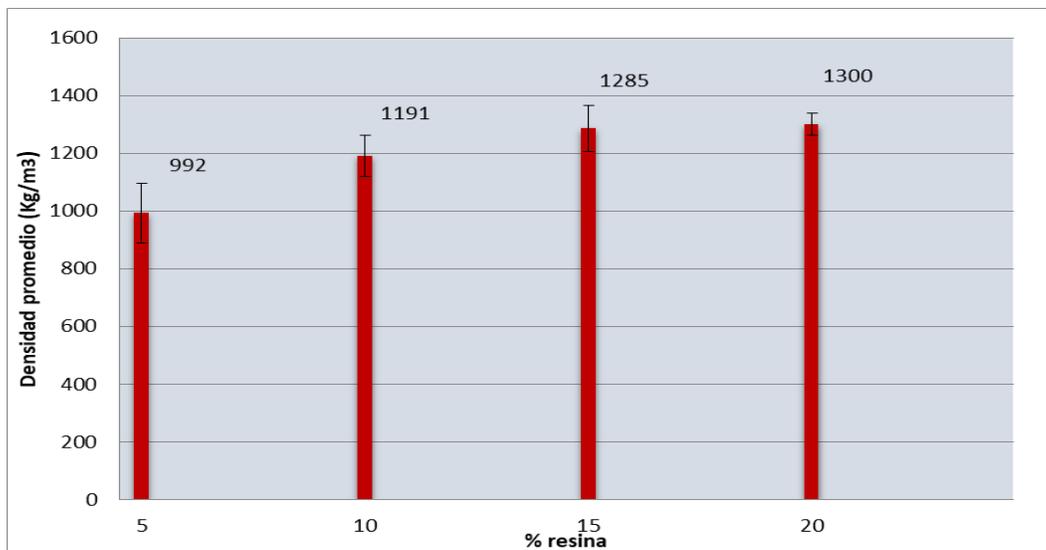


Figura 60. Densidad de los tableros de los RFPA

La densidad expresada en Kg/m^3 , es una característica que permite la clasificación de los tableros aglomerados según la norma internacional ASTM 1554 D 10, como tableros de baja, media y alta densidad.

Según los resultados de la tabla 12; los tableros obtenidos a partir de los RFPA y resina U-FA, se clasifican de alta densidad, pues en todos los casos supera los 800 Kg/m^3 como indica la norma. Adicionalmente, se puede observar en la figura 61, que la densidad se incrementa levemente en la medida que la concentración de la resina U-FA en el tablero RFPA se aumenta. Esto resultados son comparables con los obtenidos en los tableros de RFPA con resina poliéster, en donde la densidad es $693,17$ y $708,85 \text{ Kg/m}^3$, para concentraciones de resina poliéster de 10 y 12% respectivamente (VILLAMIZAR 2017); clasificados como tableros de densidad media según la norma.

Tabla 12. Clasificación de los tableros a partir de FPA según la norma ASTM 1554 D 10

Norma ASTM 1554 D 10	Densidad promedio obtenida con los tableros elaborados RFPA
Baja densidad (menor a 640 Kg/ m ³)	Ninguno
Densidad media (entre 640 Kg/ m ³ y 800 Kg/ m ³)	Ninguno
Alta densidad (mayor a 800 Kg/ m ³)	Tableros desarrollados a partir de FPA y resina UFA 5% = 992 Kg/ m ³ 10% = 1.191 Kg/ m ³ 15% = 1.285 Kg/ m ³ 20% = 1.300 Kg/ m ³

La densidad obtenida para el tablero RFPA + 10% resina U-FA, es de 1,191 Kg/ m³, representando una densidad 58% más alta, que la obtenida con resina poliéster para la misma concentración, con un valor de densidad de 693,17 Kg/ m³. Por lo tanto, se puede afirmar, que la cantidad y el tipo de resina son determinantes en la densidad del tablero. A pesar de ello, en la literatura se reportan densidades altas para tableros con residuos de palma hasta 1000 Kg/ m³ (Madurwar et al., 2013).

La literatura reporta valores para tableros de densidad alta, en residuos de cascara de plátano con 1000 Kg/ m³, y densidad media para cascara de nuez y residuo de maíz con 540 y 789 Kg/ m³, respectivamente (Madurwar et al., 2013). Por otro lado, la cascara de maíz, arrojó valores de 1012 Kg/m³ (Lertsutthiwong, Khunthon, & Siralermukul, 2008), mientras que los tableros de partículas con corteza de coco, se presentan con densidades de 648 Kg/ m³. En el mismo estudio, se han desarrollado tableros con densidad media a partir de residuos de guasca, pasto elefante y “tripe perro” con densidades de 689, 722 y 728 Kg/ m³ respectivamente para cada uno de ellos (Gaitán et al., 2016).

5.3.3 Caracterización térmica por TGA.

El comportamiento térmico de los tableros aglomerados con diferentes concentraciones de resina

de U-FA, fueron analizados a través de la curva de pérdida de peso (TG) y la curva de la primera derivada de la pérdida de peso, respecto al tiempo (DTG). El estudio de estas curvas permitió determinar la estabilidad térmica y el comportamiento de la degradación en un material aglomerado (Cornelius, 2012).

Para un material compuesto de resina U-FA y fibra natural, el comportamiento de la curva TG presenta generalmente 3 estados (Park, Ayrilmis, Kwon, & Han, 2017). En el primero, existe evaporación de humedad que para la resina se pueden presentar como pequeñas moléculas de agua (Rodarte de Moura Carla V. et al., 2012), provenientes del agua empleada en la síntesis y del proceso de curado o condensación de la misma (Liu, Wang, Wu, He, & Wan, 2018). La fibra como se observó en la curva TG, presenta una pérdida de masa cercana al 3.1%, atribuida a la evaporización que generalmente está entre 25 y 125°C (Abraham, y otros, 2011). Posteriormente, en el segundo estado se inicia la degradación de la resina cuyo límite de estabilidad está definido en 160°C (www.insht.es, 2007). Entre 230 y 320°C, las redes conformadas por puentes de metileno-éter se descomponen rápidamente (Zorba, 2008). Para la fibra, la degradación comienza en 233°C, temperatura en donde se inicia la desintegración de la hemicelulosa, las pectinas y el glucósido (Moriana, Vilaplana, Karlsson, & Ribes., 2014). El siguiente estado para la resina, finaliza en dos etapas que se atribuyen a la liberación de compuestos volátiles (Liu, Wang, Wu, He, & Wan, 2018). En la fibra natural la degradación final corresponde a la descomposición de α -celulosa (Yang, Yan, Chen, Lee & Zheng, 2007), la degradación final de la lignina y la oxidación residuos carbonizados de la fibra (Das et al., 2000).

A continuación, las figuras 62, 63, y 64 muestran los termogramas obtenidos para cada tipo de composición R1 (5%), R2 (10%) y R3 (15%) del material aglomerado de RFPA y resina U-FA.

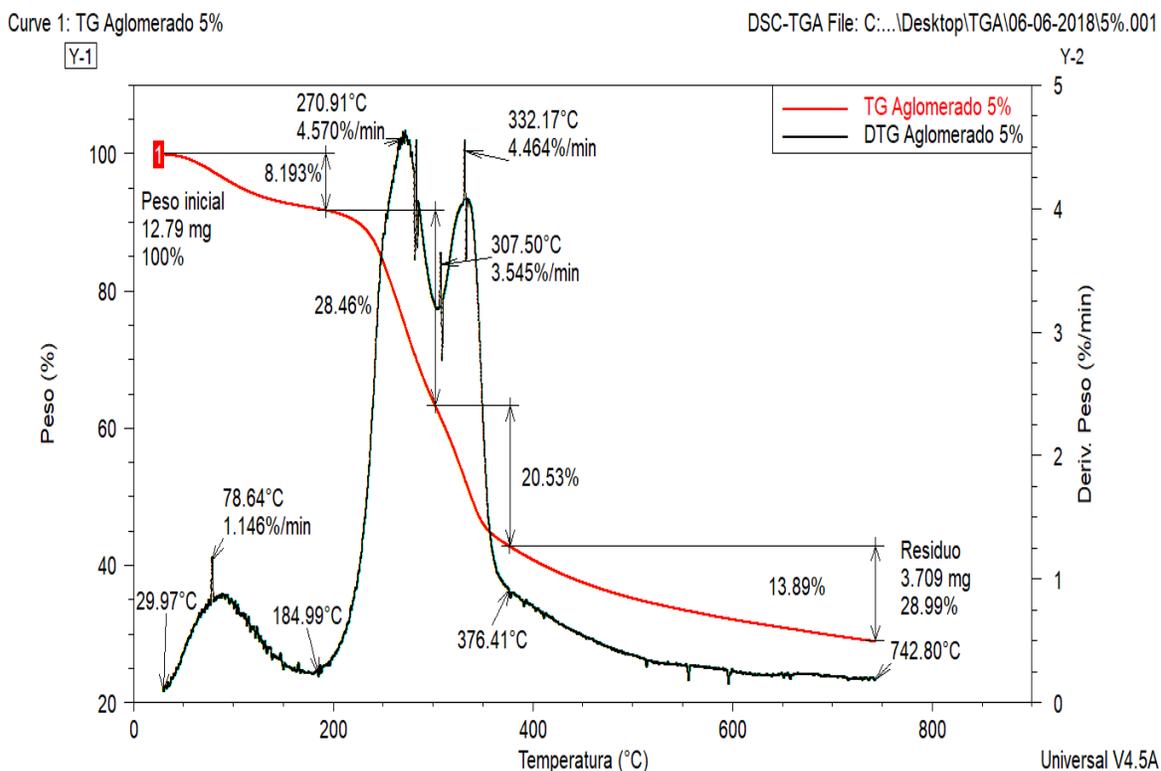


Figura 61. TGA/DSC para la fibra tablero PFA (R5)

La figura 62, presenta la curva TG del aglomerado con 5% resina U-FA (R5), la cual presenta un primer pico entre los 29 y los 184°C, que corresponde a la pérdida de humedad con un porcentaje del 8.19 %, lo que permite apreciar la máxima velocidad de degradación de 1,146%/min, a los 78°C. Posteriormente, se inicia la degradación tanto de los constituyentes internos de la fibra (celulosa, hemicelulosa, pectina y glucósido) como de la resina (redes metileno-éter) presentando dos picos a los 270 y 332°C. El segundo pico, muestra la mayor pérdida de masa de todo el proceso con 28.46%, a una velocidad de degradación de 4.57%/min. A su vez, la pérdida que corresponde al tercer pico es de 20.53% a una velocidad de 4.46%/min. Entre estos dos picos se presenta un salto intermedio de velocidad (3.545%/min) a los 307°C. El proceso culmina con la degradación de ligninas y alfa-celulosas para la fibra y los compuestos volátiles para la resina, en el rango de 376 a 742 °C con una pérdida final del 13.89% en masa. Finalmente, el residuo carbonizado corresponde a un 23.52% del peso inicial de la muestra, donde al degradarse la

resina y la fibra se obtiene un residuo conformado principalmente por cenizas. (André, Renato, & Baltus, 2017).

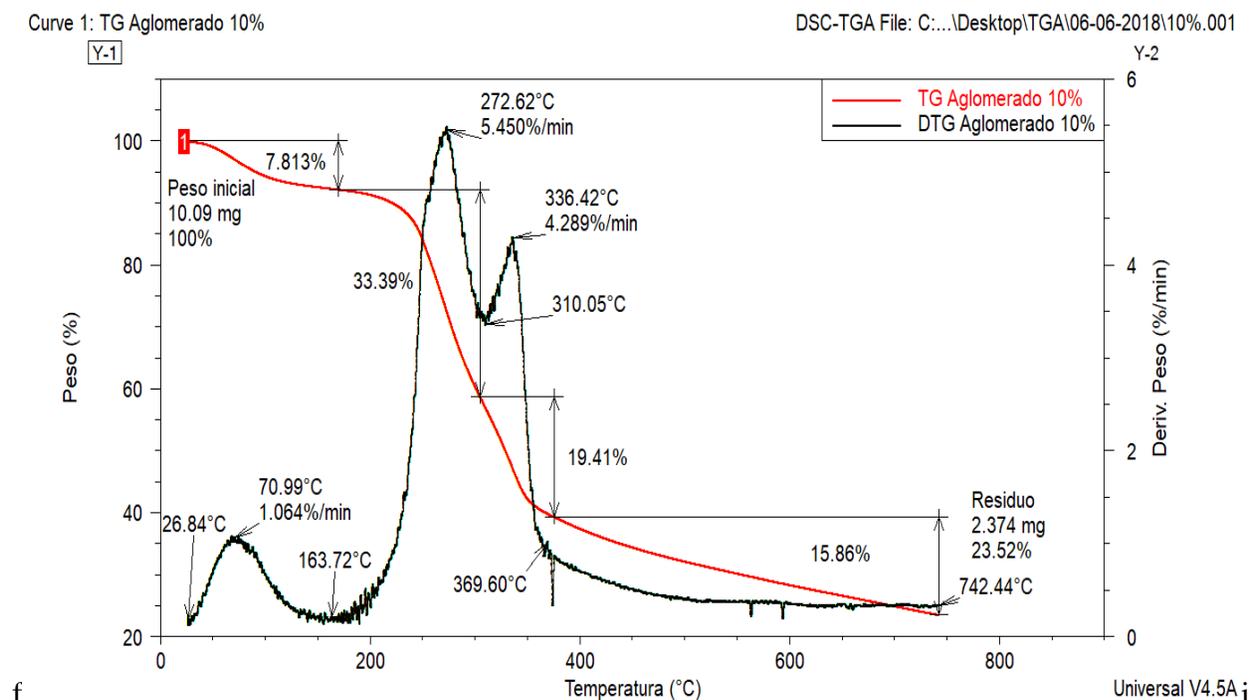


Figura 62. TGA/DSC para la bra el tablero de RPFA (R10)

Fuente: Resultado Software Universal V4

La figura 63 presenta la composición de 10% de resina U-FA (R10), mostrando que el comportamiento del primer pico de evaporación de humedad presenta una menor pérdida de masa que el anterior, con porcentaje del 7.81% y su rango se encuentra entre 26 y 163°C, alcanzando la mayor velocidad (1.064%/min) a los 70.99 °C. Aunque el porcentaje de humedad evaporado es menor en este aglomerado, la estabilidad térmica disminuye considerablemente, iniciando su proceso de degradación de componentes internos de fibra y resina a los 163°C. Por tanto, es estable solo 3 grados por encima del límite de la resina pura, según lo reporta la ficha técnica de la misma (Anexo 2). En el segundo estado, los dos picos presentados son más uniformes, no se

observan alteraciones de velocidad como en el termograma R5. La velocidad máxima es de 5.45%/min a los 272 °C y la pérdida de masa corresponde al 33.39% siendo la más representativa de toda la curva TG. En el siguiente pico la velocidad máxima es de 4.289%/min a los 336°C, generando una pérdida de masa del 19.41%. El rango de esta etapa se encuentra entre los 163 y 369°C, y es donde se descompone la mayor parte de la fibra y la resina que componen el aglomerado. Finalmente se elimina el 15.86% de la masa conjunta (lignina y compuestos volátiles) entre los 369 y 742°C para obtener un residuo carbonizado del 23.52%.

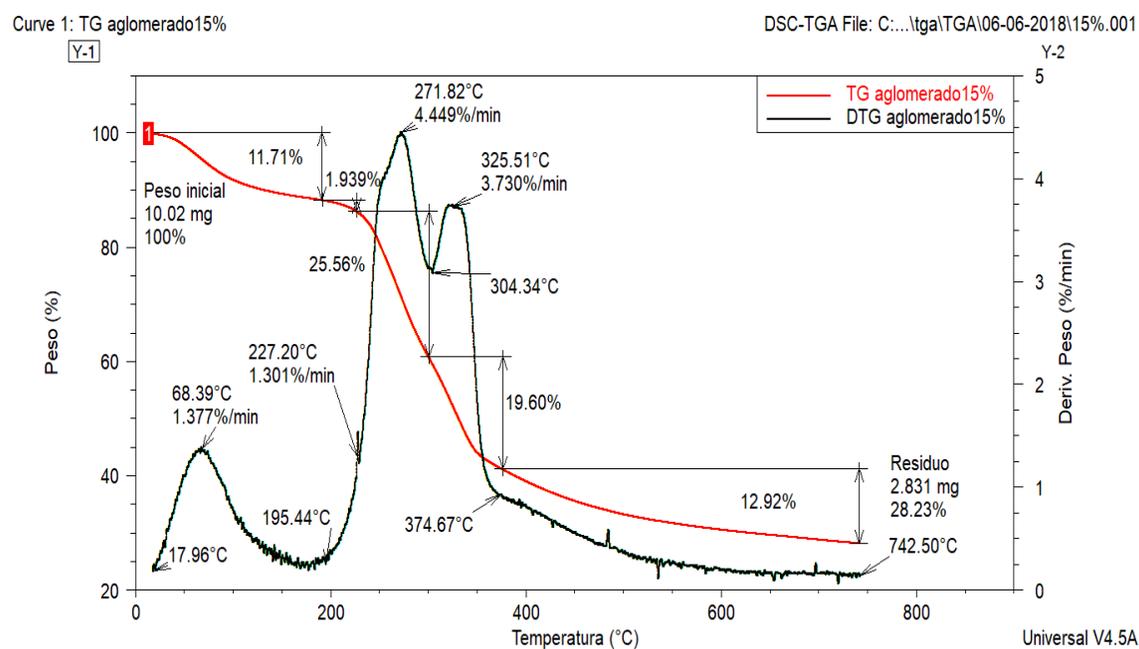


Figura 63. TGA/DSC para la fibra tablero RPFA (R15)

Fuente: Resultado Software Universal V4

La tercera muestra que se elaboró con una composición de 15% de resina U-FA (R15), presenta una curva DTG (Figura 64), con un primer pico de evaporación de humedad, con una pérdida de masa de 11.71% y su rango se encuentra entre 17 y 195°C, alcanzando los 1.064%/min a los 68.39°C. Aunque el porcentaje de humedad evaporado es representativo, tanto para la fibra y la resina en esta etapa, la estabilidad térmica mejora considerablemente, presentando una

degradación de componentes internos a partir de los 195°C. Esto permite que el aglomerado sea estable al menos 35°C grados por encima del límite de la resina pura. En el segundo estado hay dos picos uniformes y una pequeña alteración de velocidad a los 227°C con pérdida de masa del 1.93%, que puede ser causado por la descomposición de la hemicelulosa en la fibra o algún componente primario de la resina. La velocidad máxima alcanzada en el segundo pico es de 4.49%/min a los 271 °C y la pérdida de masa corresponde al 25.56% y en el siguiente pico una velocidad máxima es de 3.73%/min a los 325°C, generando una pérdida de masa del 19.6%, porcentaje similar en este rango al obtenido en el aglomerado de 10%. Entre los 195 y 374°C, se descompone la mayor parte de la fibra y la resina, que conforma el aglomerado (35% aproximadamente). Finalmente, entre los 374 y 742°C se pierde una masa del 12.92%, degradando los constituyentes más resistentes de la fibra y la resina, quedando un residuo de 2.831 mg equivalentes al 28.23% del peso inicial de la muestra.

En la figura 65, se presenta el comparativo de las curvas TG y DTG de la fibra y las diversas composiciones de aglomerados evaluados, resaltando el límite de estabilidad térmica. Esta variable es la que determina cual composición es la más adecuada para aplicaciones que involucren temperatura.

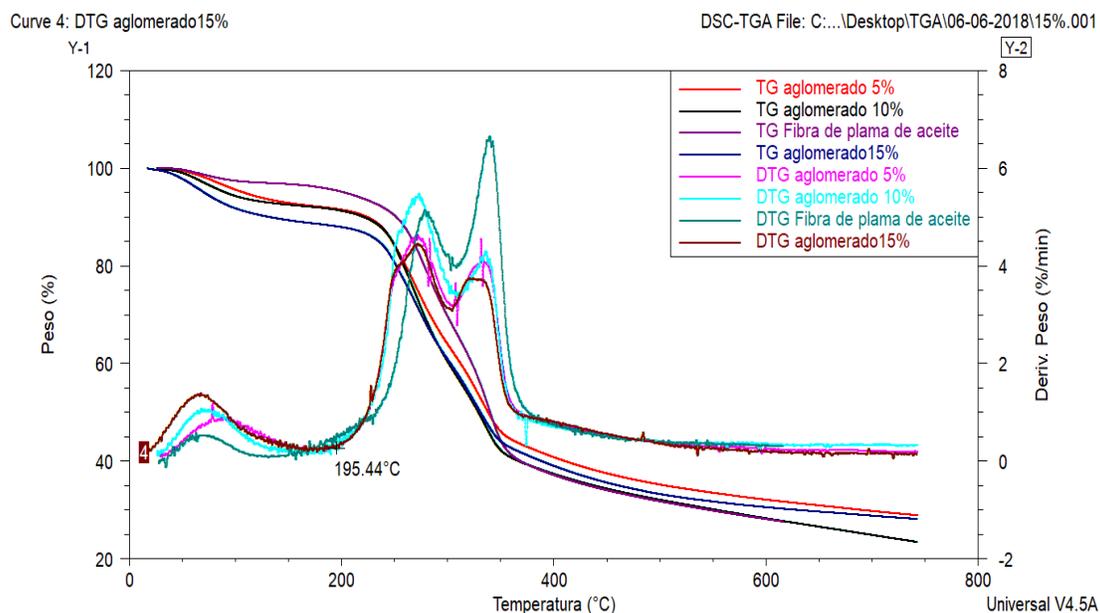


Figura 64. TGA/DSC Comparativo fibra de palma con el tablero aglomerado de RFPA (R5-R10-R15)

Fuente: Resultado Software Universal V4

La estabilidad térmica del aglomerado (195°C) que más se acerca a la estabilidad de la fibra (233°C) es el que tienen una composición de 15% de resina U-FA, mejorando considerablemente las propiedades frente a la resina pura (160°C), como lo reporta la ficha técnica (Anexo 2) en 35°C aproximadamente. Sin embargo, la muestra R10, logra estabilidad por encima del límite de la resina pura, concentración que según el parámetro termogravimétrico es viable. Este comportamiento también se observó en el compuesto de harina de semilla de algodón y resina U-FA, donde el valor obtenido con una composición de 30%, superó a la resina pura en aproximadamente 10°C (Liu, Wang, Wu, He, & Wan, 2018) y en el compuesto de resina UF grado SEO y microfibrillas de celulosa, en cual era estable a 183°C, para una composición del 30%, para un aumento de la temperatura del 4°C con respecto a la resina pura (179°C) (Park, Ayrilmis, Kwon, & Han, 2017). Otros compuestos que presentan un comportamiento térmico favorable frente a la resina pura o aglutinante, fueron los elaborados con almidón termoplástico (TPS) y biomasa de palma de aceite tratados químicamente para elaboración de paneles termo-

conformados, El límite de degradación del TPS es de 322°C y los compuestos con fibra pretratada de fibra con cloruro de -butil-3- y 1-etil-3-metilimidazolio dietilfosfato, alcanzaron valores límites de degradación de 338°C y 335°C respectivamente usando termo-moldeado para fabricar los paneles (Mahmood, Moniruzzaman, Iqbal, & Yusup, 2017).

El caso contrario se presentó en compuestos de fibra de banana y resina fenol formaldehído y el de fibra de lino y resina epoxi, en los cuales la estabilidad térmica del nuevo material superó la estabilidad de la fibra pero quedo por debajo del valor de la resina pura (Thakura & Thakur, 2014).

Por tanto, se concluye que la mejor alternativa de las tres composiciones estudiadas, para aplicaciones que requieran exposición a temperaturas máximas de 190 ° C, corresponde a la configuración del 15% de resina urea formaldehído y fibra de palma de aceite.

5.4 Caracterización mecánica de los tableros de RFPA

Se realizaron pruebas de flexión estática para las diferentes formulaciones (5% - 10% - 15% y 20%) de concentración de U-FA y RFPA, mediante el procedimiento descrito en la parte experimental. Para tal fin, se calcularon los valores de módulo de ruptura – MOR y el módulo de flexión MOE

5.4.1 Módulo de ruptura – MOR

Lo valores expresados en el módulo de ruptura representan la carga máxima soportada por los materiales hasta romperse y está en función de la geometría del tablero (Mejia Almeida, 2012).

En la figura 66 se presentan los valores promedios obtenidos para los tableros elaborados a partir de los RFPA para cada una de las concentraciones de U-FA.

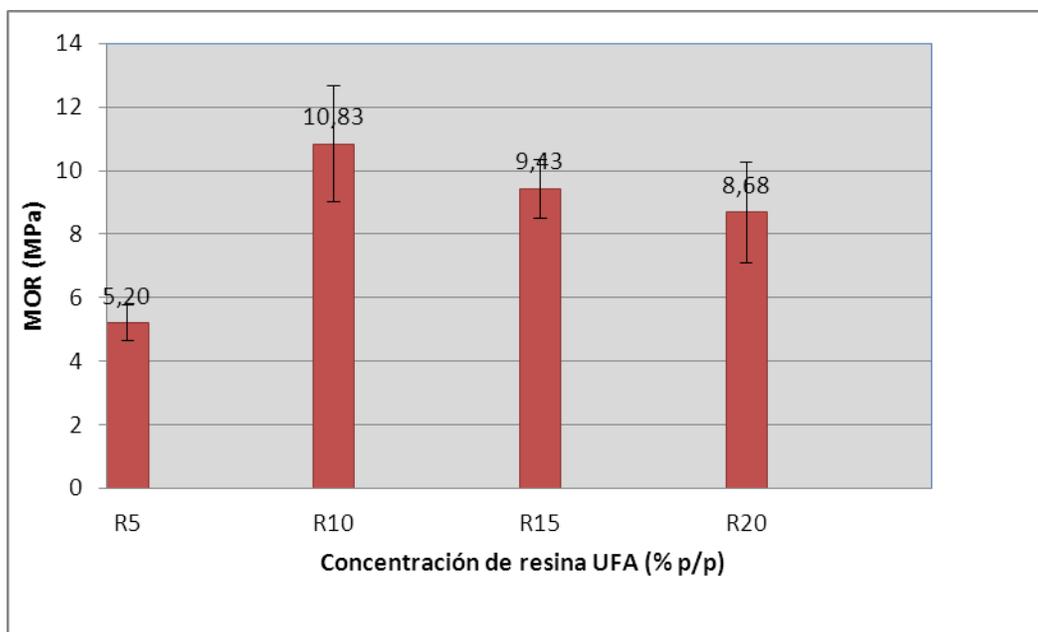


Figura 65. Resultados obtenido en módulo de ruptura – MOR para tableros con RFPA

De acuerdo con la figura anterior, la muestra con el mejor valor de MOR, expresado en MPa, corresponde a tableros de RFPA cuya concentración de U-FA es del 10%, y no tiene una relación proporcional con respecto a los incrementos de U-FA, tanto así, que el valor más bajo de resina 5%, presenta 5,2 MPa para MOR, mientras que para la proporción del 20% arrojó un contenido del 8,68 MPa, lo que indica que los valores ideales en cantidades de U-FA, oscilan entre el 10 y 15%.

Caso contrario se presentó en el trabajo preliminar utilizando el mismo residuo, pero con resina de poliéster insaturado, en donde se observó una relación proporcional entre el incremento de la cantidad de resina y los valores crecientes para valores del MOR.

Investigaciones realizadas con diferentes maderas, fibras y residuos agroindustriales utilizando resina U-FA, en diferentes porcentajes, son reportadas en la literatura. En el estudio de madera de canelo y resina de U-FA al 10%, presentó un MOR de 24 Mpa para densidades $\geq 700 \text{ Kg/m}^3$

(Hernan Poblete et al., 2000). Otros resultados del módulo de rotura para aglomerados con residuos agroindustriales se presentan a continuación: cascara de nuez (6,3 Mpa), cascara de plátano (22,30MPa), residuo de maíz (5,6Mpa), tallo de algodón ($\pm 0,55$ Mpa), fibra de coco(5,8Mpa) entre otras fibras naturales (Madurwar et al., 2013). Para bagazo de caña se reportan tableros con valores promedio de MOR de 4,94MPa (Monteiro et al., 2011). Exceptuando los datos de plátano, las demás fibras arrojan datos más bajos en MOR, que los obtenidos con los RFPA.

En el mercado nacional y mundial existen multinacionales que producen tableros de fibra y de partículas, cuya principal materia prima es la madera, generalmente de densidad media para medidas superiores a 6mm, que cumplen con los estándares de las normas ASTM. Para el caso de módulo de ruptura un tablero de densidad media presenta 19,61 MPa (Tablemac-Duratex, 2017), considerado este valor, como una medida óptima para usos mobiliarios y estructurales que pueda tener esta clase de material.

5.4.2 Módulo de elasticidad – MOE

El módulo elástico indica la rigidez del tablero, esto sugiere que entre mayor es la rigidez, mayor es el módulo de elasticidad, indicando la relación entre los incrementos del esfuerzo aplicados a una probeta normalizada Vs la deformación longitudinal unitaria producida. En la figura 67, se presenta el valor de MOE promedio para cada uno de los 4 niveles, obtenidos de la gráfica de esfuerzo Vs % de deformación.

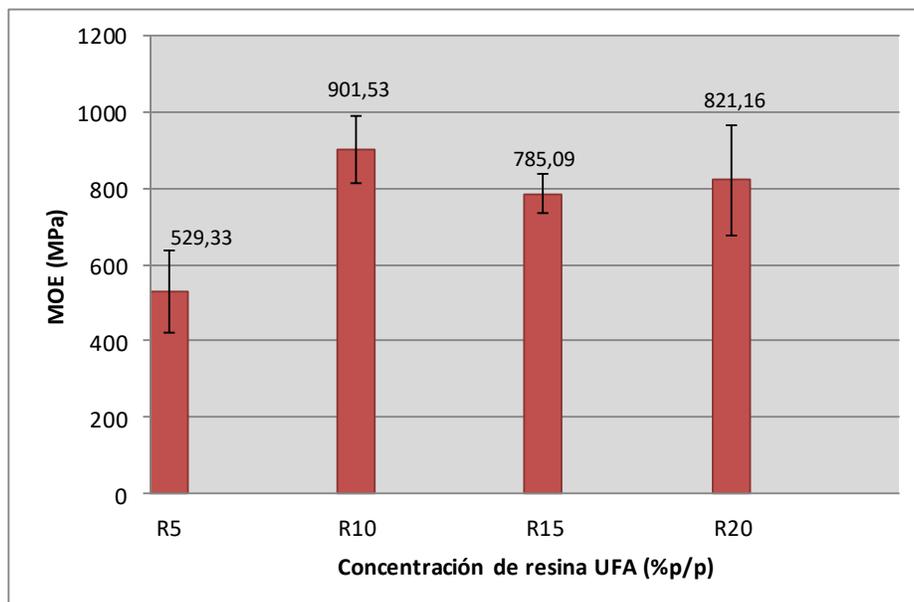


Figura 66. Resultados obtenidos en módulo de elasticidad – MOE para tableros con RFPA

En la figura 67, se muestra el módulo de elasticidad para los materiales de RFPA y varias cantidades de resina de U-FA. De acuerdo con los valores arrojados para el módulo de elasticidad es mayor, para el sistema de RFPA con el 10% U-FA. Según las cifras obtenidas, se evidencia un máximo para la composición del 10%, en el resto de las configuraciones no se muestra una tendencia positiva con el aumento de la cantidad de resina.

Algunos resultados del MOE para tableros obtenidos a partir de otros residuos industriales se reportan a continuación: el bagazo de caña de azúcar arrojó un valor promedio de 890 MPa (Monteiro et al., 2011), la corteza de coco 2.860 Mpa (Khedari et al., 2004), la cascara de nuez (523 MPa), la cascara de plátano (3.362Mpa) y los residuos de maíz (21,3 Mpa). Así mismo, se encuentran datos muy inferiores como el caso de los residuos de la fábrica de papel tisú y cascara de maíz con MOE de 21MPa a 196 Mpa respectivamente.

En maderables como el canelo con U-FA, el MOE se encuentra en un rango de entre 1507 MPa a 2118 MPa y entre densidades media de 550 a $\geq 700 \text{ Kg/m}^3$, mientras que con maderas

reconstruidas se muestran MOE de entre 2550 a 3700 MPa (Castellanos, 2015). Así mismo, los datos reportados en la ficha técnica de las casas comerciales que cumplen con la normativa ASTM para tableros de 36 mm, establecen valores 7000 Kg/cm^2 , equivalente a 686 Mpa hasta tableros de 9 mm de 2255 Mpa, logrando de esta madera tableros de partículas con propiedades óptimas para uso mobiliario y estructural.

5.4.3 Análisis de las variables respuestas Vs la variable manipulada

Tal como se diseñó el experimento se obtienen las variables respuestas de cada uno de los tratamientos aplicados en las mezclas con RFPA, para las concentraciones de U-FA (5% - 10% - 15% y 20%). En la tabla 13, se presenta el resultado final del experimento con los datos promedios obtenidos a partir de las 5 repeticiones realizadas a los 4 niveles para cada variable respuesta.

Tabla 13. Resultados obtenidos caracterización físico-mecánica

Cantidad resina UFA (%p/p)	Densidad (Kg/m³)	Absorción de humedad (%p/p)	Hinchamiento (%p/p)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
5	992±103.36	15,2±1.63	10,5±3.14	5,2±0.57	529,3±109.29
10	1.191±73.00	10,8±4.18	6,6±2.86	10,8±1.84	901,5±88.43
15	1.285±80.56	6,4±0.93	4,6±0.10	9,4±0.93	785,0±50.84
20	1.300±37.98	5,7±1.24	4,8±0.10	8,7±1.60	821,1±143.38

Estas variables ya fueron analizadas cada una individualmente y comparadas con investigaciones realizadas con tableros obtenidos a partir de otras fibras de residuos agroindustriales y materias primas maderables. A partir de las propiedades físicas y mecánicas se puede determinar la concentración de resina adecuada de acuerdo, al uso o tipo de tablero que se desea desarrollar.

En este caso los tableros obtenidos a partir de RFPA y resina U-FA, presenta características de un tablero de alta densidad para todas las concentraciones de resina, propiedad definida en este caso

por el desecho, es decir por el RFPA, siendo la densidad una característica importante que determina la aplicación final del tablero (Quesada, 2005), Además, estas pueden ser controladas en un momento dado modificando presión y temperatura (Alvarez, Gañan, Arboleda, & Mejia, 2007). Existen correlaciones entre la densidad del tablero con el contenido de humedad, el módulo de flexión estática (MOR-MOE), contracción, durabilidad entre otras propiedades (Londoño, Lozano, Gomez, & Luis, 2014). Por lo tanto en la figura 68, se observa el comportamiento de los tableros a partir de los RFPA y las variaciones en los contenidos de UFA, teniendo en cuenta la correlación que pueda existir entre la densidad y los contenidos de humedad de las muestras, representadas en porcentajes de absorción e hinchamiento.

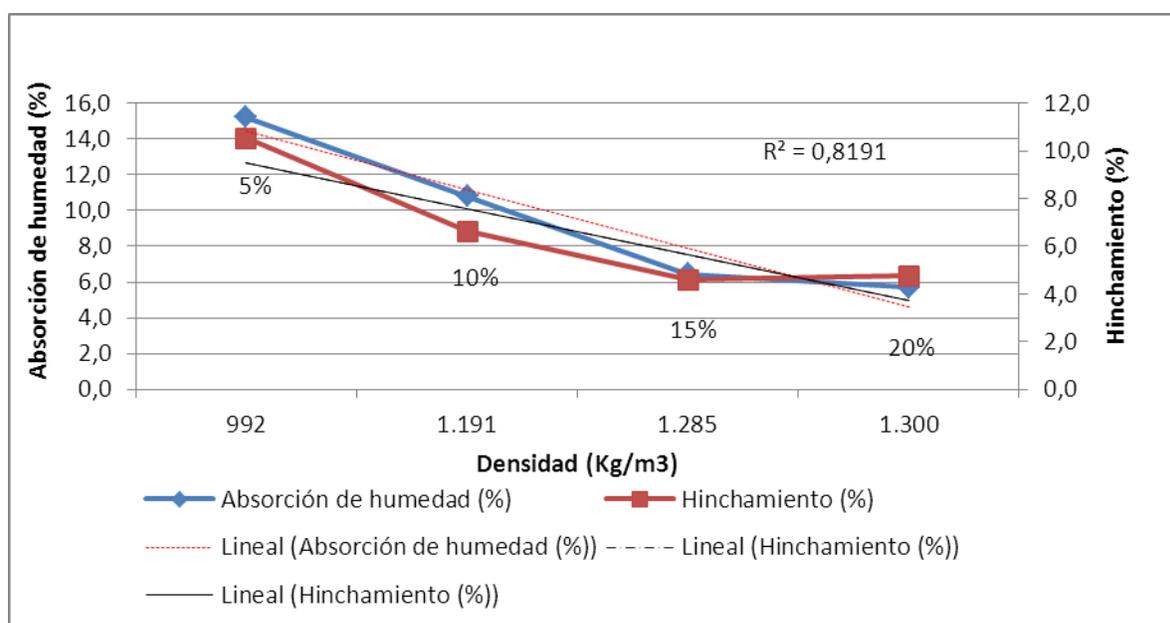


Figura 67. Densidad de los tableros FPA + UFA Vs hinchamiento y absorción de humedad

En la figura anterior, se observa una correlación ($R^2 = 0,8191$) entre el incremento de la densidad y la disminución de porcentaje de absorción de agua e hinchamiento, marcada por las líneas de tendencia roja y negra. En consecuencia, la concentración de resina por su composición aportaría

propiedades de resistencia a la humedad a los tableros de partículas. Sin embargo, en paneles producidos a partir de pino y de eucalipto utilizando la resina U-FA, los porcentajes de absorción de agua no muestran diferencias estadísticamente significativas (Monteiro et al., 2011).

La correlación positiva que presenta la concentración de la resina con la densidad del tablero de RFPA, se evidencia en el incremento de la densidad con el aumento del porcentaje de resina en la muestra. No obstante, la tendencia se hace proporcional solo hasta el tablero con la configuración del 15%, y posteriormente desciende en la proporción que contiene el 20%. En evaluaciones con otros residuos como la fibra de banano, se observó una disminución de la densidad, al aumentar el contenido de la fibra utilizando resina poliéster (Quesada, 2005). Sin embargo, en el estudio de RFPA y resina poliéster, se encontró la misma correlación ascendente entre la densidad y la concentración de resina U-FA, iniciando con 4% de resina para una densidad de 643 kg/m^3 hasta el 20% de resina con una densidad de 1088 kg/m^3 (Villamizar; Diana, 2017).

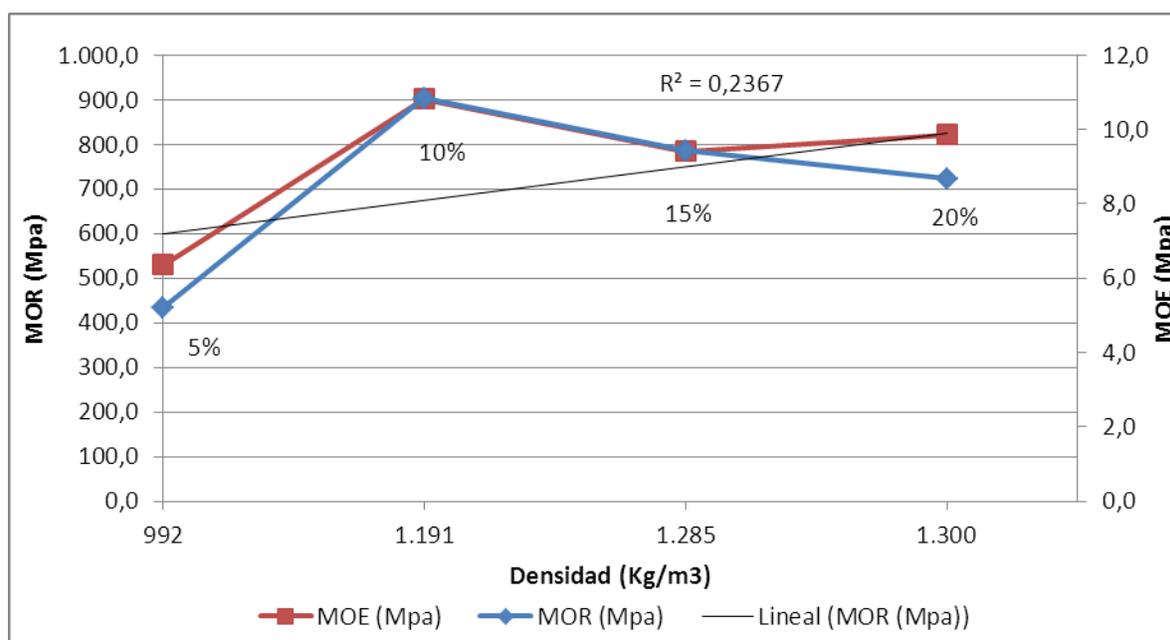


Figura 68. Densidad de los tableros RFPA + U-FA Vs MOR - MOE

Como se observa en la figura 69, se establece una relación entre los valores de las propiedades

mecánicas y la densidad. Según el comportamiento representado en la grafica, el índice de correlación es muy bajo inferior a 0,5 ($R^2 = 0,2367$), lo que indica que la variable densidad no influye significativamente en la resistencia a la flexión estática, pues MOR Y MOE, solo presenta un incremento sustancial en el rango 5 – 10% de U-FA. Para los porcentajes entre el 10 y 15% los valores de MOE Y MOR disminuyen ligeramente y posteriormente se aumenta levemente con la concentración del 20% de U-FA. Según lo anterior, se puede definir que la concentración ideal para la elaboración del tablero de partículas de acuerdo al uso, es la mezcla con resina U-FA de 10%.

Si bien no existe una correlación alta, entre la densidad vs MOR-MOE en las formulaciones propuestas en el siguiente trabajo de investigación, no significa que la densidad del tablero no afecte las propiedades mecánicas del mismo, pues se encontró en la investigación con tableros HDF, (tableros de alta densidad), variaciones de la densidad en las propiedades mecánicas a la flexión (Hernán Poblete et al., 2007).

En un estudio con fibras de coco, se obtuvo que MOR - MOE aumentan de forma proporcional al incrementar la densidad, debido a su alto contenido de lignina, lo permite actuar como adhesivo y mejorar la fuerza del enlace con la fibra. Por tanto, para los tableros de partículas, entre más alta sea su densidad más fuertes y firmes se comportan debido al alto contacto íntimo entre las partículas (Khedari et al., 2004).

A partir de este análisis y de acuerdo con la aplicación requerida para el tablero, se puede deducir que la mejor formulación para la fabricación de tableros de partículas a partir de RFPA y resina U-FA, es la del 10% de resina y 90% de RFPA. En consecuencia, este tablero puede tener diferentes usos, tanto para mobiliario como para usos más estructurales como las formaletas,

utilizadas en construcción.

5.5 Elaboración del prototipo para una aplicación industrial

Con el propósito de realizar una evaluación de la funcionalidad de los tableros aglomerados en la presente investigación se ha planteado una posible aplicación de estos, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas físico-mecánicas, la normatividad vigente UNE-EN 312, y las especificaciones técnicas de los productos encontrados en el mercado.

Estimando estos tres aspectos, se ha determinado que el tablero obtenido a partir de fibra de palma de aceite presenta características óptimas para usos estructurales como formaletería en el sector de la construcción de vivienda, (vigas, casetones, columnas). Como resultado, arrojó un tablero de alto desempeño, de alta densidad, resistente a la humedad, con propiedades físicas y mecánicas homogéneas, indiferente de la orientación de aplicación de fuerza.

Lo anterior se contempla, a partir de la ruta propuesta para la definición de prototipos, resultado que se resume en la figura 70.

Definición de prototipo para uso industrial



Figura 69. Definición del prototipo para un posible uso industrial del tablero obtenido

Tal y como se aprecia en la figura 70, se desarrolló la validación del prototipo, a través de la definición de los posibles usos industriales de los tableros obtenidos a partir de la fibra de palma de aceite.



Figura 70. Aplicación industrial del tablero aglomerado como formaleta

Como se puede observar en la figura 71, el proceso consistió en someter el tablero de RFPA, al uso real de una formaleta, empleando un concreto de 3000 PSI, que por lo general son concretos reforzados utilizados en pisos, vigas, zapatas, columnas, entre otros. Esta aplicación se realizó a escala piloto, debido al tamaño del equipo aglomerador que permite realizar tableros de dimensiones máximas de 20 cm*20 cm; seleccionando el tablero de RFPA con un porcentaje de resina U-FA del 10%. Antes del vaciado de la mezcla, se les aplicó a los tableros ACPM (aceite combustible para motores) utilizado como desmoldeante, posteriormente es vertido el concreto en los moldes, y se mantuvo durante 72 horas para el secado y el fraguado.

En la figura 72, se presentan los resultados obtenidos en la prueba piloto, proceso que fue evaluado por el Departamento de Construcciones Civiles de la Universidad Francisco de Paula Santander, en donde emitieron un concepto técnico (ANEXO 10); que manifiesta la viabilidad

técnica del uso del material como formaleta, sometida al proceso de vaciado y fraguado de concreto hidráulico.

Así mismo, se puso de manifiesto en este concepto, el buen comportamiento del tablero, al no mostrar deformaciones en su medida o deflexión longitudinal. Igualmente, se evidencia un acabado en su textura favorable para el concreto, el cual se puede empañetar o dejar a la vista. Durante el proceso de desencofre el material presentó un deterioro mínimo con 5 usos, fallando al final por el desgaste propio en los puntos de amarre.



Figura 71. Producto obtenido a partir del uso industrial propuesto

5.6 Evaluación financiera y económica a escala industrial del nuevo material

En el siguiente apartado se realizó un análisis financiero y económico a partir del material obtenido de residuos de fibra de palma de aceite y resina de urea formaldehído al 10%, con el fin de estudiar su viabilidad de mercadeo con los tableros comerciales y establecer una comparativa

para la venta del producto. Para tal propósito se definieron algunos parámetros a tener en cuenta por el producto como:

- Definición: Tablero aglomerado de partículas de alta densidad
- Dimensiones: Ancho: 1.22mts * Largo: 2.44 mts * Espesor: 0,12 mts
- Composición: 90% Fibra de palma de aceite – 10% resina U-FA
- Usos: Principalmente formaletería para la construcción

5.6.1 Análisis de la comercialización y determinación del precio

Este proyecto se localizaría en el municipio del Zulia, muy cercano a las plantas extractoras de aceite crudo de palma y a los centros de consumo de los tableros aglomerado (Santanderes). El proceso de comercialización se realizará a través del canal distribuidor mayorista de maderas y tableros aglomerados de la región Nororiental de Colombia inicialmente, a través de los cuales se llegará al cliente final y se plantearan las estrategias de posicionamiento del producto.

El precio del tablero desarrollado se estimará a través de los dos métodos siguientes (Arias, 2006):

- **Método de fijación de precios basados en la competencia:** El precio del tablero producido por la competencia, en las especificaciones anteriormente mencionadas se encuentra en 80.000 pesos colombianos.
- **Método de fijación de precios basados en los costos de producción:** A partir de los costos de producción estimados para el tablero a base de RFPA, y buscando la viabilidad financiera en sus diferentes escenarios, se simularon precios entre 55.000 y 80.000 pesos colombianos.

5.6.2 Evaluación financiera y análisis de sensibilidad del proyecto

A partir de las variables que pueden ser objeto de mayor variación de conformidad con el entorno económico y del mercado; tales como: porcentaje de capacidad utilizada de la planta, precio de la resina y precio de venta del producto, siendo los parámetros de mayor sensibilidad y afectación del flujo de caja a partir del cual se calculan la TIR, El VPN y el PRI.

La importancia del análisis de sensibilidad radica en el cambio significativo de cualquier variable de las inversiones, costos, gastos, precio y volúmenes de venta, en donde se pueden realizar simulaciones para evaluar la viabilidad del proyecto.

El modelo financiero desarrollado permitió simular varios escenarios: escenario 1 (pesimista) que muestra las condiciones mínimas; escenario 2 (medio), que es el que presenta condiciones moderadas y el escenario 3 (optimista), que muestra las condiciones de máxima rentabilidad.

• Escenario 1:

Este escenario que se muestra en la tabla 14, señala un periodo de retorno de la inversión PIR de seis años, una TIR de 18% y un valor VPN positivo.

Tabla 14. Flujo de caja del proyecto (escenario 1) (miles \$)

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
INVERSIONES	5.925.000	40.000	310.000	320.000	210.000	335.000	215.000	325.000	220.000	325.000	0
Costos de Personal	12.000	205.603	215.883	225.612	235.828	246.554	257.816	269.642	282.059	295.097	308.786
Costos Fijos de Producción	7.800	131.375	137.944	144.841	152.083	159.687	167.671	176.055	184.858	194.101	203.540
Costos Variables de producción		1.667.684	1.919.575	2.191.586	2.485.129	2.801.707	3.142.920	3.510.471	3.906.169	4.331.941	4.789.834
Costo de Ventas (10% de Ventas)		336.400	388.542	445.057	506.253	572.455	644.012	721.293	804.693	894.629	991.547
Gastos de administración	12.000	300.920	315.966	331.764	348.353	365.770	384.059	403.262	423.425	444.596	466.826
Egresos	5.956.800	2.681.982	3.287.910	3.658.860	3.937.644	4.481.173	4.811.478	5.405.722	5.821.203	6.485.363	6.760.533
Total Ingresos	0	3.364.000	3.885.420	4.450.572	5.062.526	5.724.548	6.440.117	7.212.931	8.046.926	8.946.288	9.915.469
Valor rescate equipos											3.000.000
Flujo de Caja	-5.956.800	682.018	597.510	791.712	1.124.881	1.243.375	1.628.638	1.807.208	2.225.723	2.460.925	6.154.936
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)				18%							
VALOR PRESENTE NETO (VPN)				126.636							

En la tabla 15, se muestran las condiciones del escenario 1 para el proyecto: inicia con un 50 % de utilización de la capacidad utilizada, un precio de resina similar al actual y un precio de venta de \$58 mil, un 30% por debajo del precio del mercado de formaleta tradicional; escenario que producen unos indicadores financieros positivos.

Tabla 15. Análisis de sensibilidad (escenario 1) (miles \$)

Años	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Porcentaje de Capacidad Utilizada		50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
Precio resina (Miles de \$/M3)	666.316,1										
% cambio precio de resina		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Precio Venta por tablero (Miles de \$)		58									
TIR		18%									
VPN (Miles de \$)		126.636,1									
PERIODO DE RECUPERACION DE LA IN		6 años									

• Escenario 2

El escenario medio se presenta en la tabla 16, que es el más ajustado a las circunstancias actuales del sector de la construcción en la región de Norte de Santander, inicia con una capacidad

utilizada del 60 % (corresponde a la demanda potencial de tableros de construcción), un precio de resina similar al del mercado actual y un precio de venta por debajo de lo que cuesta una lámina de formaleta tradicional. El resultado de los indicadores fue muy satisfactorio: una TIR del 41%, un valor presente neto de más de 6.000 millones y un período de recuperación de la inversión de tres años.

Tabla 16. Flujo de caja del proyecto (escenario2) (miles \$)

Año	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028
INVERSIONES	5.925.000	40.000	310.000	320.000	210.000	335.000	215.000	325.000	220.000	325.000	0
Costos de Personal	12.000	205.603	215.883	225.612	235.828	246.554	257.816	269.642	282.059	295.097	308.786
Costos Fijos de Producción	7.800	131.375	137.764	144.472	151.516	158.911	166.677	174.831	183.392	192.382	201.821
Costos Variables de producción		2.001.219	2.443.094	2.922.112	3.249.781	3.602.192	3.981.030	4.168.681	4.365.715	4.572.601	4.789.831
Costo de Ventas (10% de Ventas)		487.200	596.820	716.184	798.993	888.292	984.524	1.033.750	1.085.437	1.139.709	1.196.695
Gastos de administracion	12.000	346.160	363.468	381.641	400.723	420.760	441.798	463.888	487.082	511.436	537.008
Egresos	5.956.800	3.211.557	4.067.029	4.710.022	5.046.841	5.651.709	6.046.844	6.435.791	6.623.686	7.036.225	7.034.141
Total Ventas	0	4.872.000	5.968.200	7.161.840	7.989.928	8.882.920	9.845.236	10.337.498	10.854.373	11.397.091	11.966.946
Valor rescate equipos											3.000.000
Flujo de Caja	-5.956.800	1.660.443	1.901.171	2.451.818	2.943.087	3.231.211	3.798.392	3.901.706	4.230.687	4.360.867	7.932.805
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	41%										
VALOR PRESENTE NETO (VPN)	6.351.419										

El análisis de sensibilidad para el escenario medio se presenta en la tabla 17, tomado a partir de utilizar el 60% de la capacidad instalada en el año 2019, el mismo precio de la resina que el utilizado en el escenario 1 y un precio de venta de \$70 mil, 13% por debajo del precio del mercado actual; nos da como resultado una TIR de más del doble que la To, un VPN superior \$ 6 mil millones y un PRI de tres años.

Tabla 17. Análisis de sensibilidad (escenario 2) (miles \$)

Años	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Porcentaje de Capacidad Utilizada		60%	70%	80%	85%	90%	95%	95%	95%	95%	95%
Precio resina (Miles de \$/M3)	666.311,6										
% cambio precio de resina		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Precio Venta por tablero (Miles de \$)	70										
TIR	41%										
VPN	6.351.419,1										
PERIODO DE RECUPERACION DE LA INVERSION	3 años										

- **Escenario 3**

El tercer escenario seleccionado y que se muestra en la tabla 18, de las simulaciones realizadas, es el optimista. Este inicia con una utilización del 70% de la capacidad utilizada en el año 2019.; el precio de venta un poco mayor que el del escenario medio, pero más bajo que el de los tableros de formaleta tradicional. El resultado una TIR cercana al 50%, un VPN muy superior a la inversión y un periodo de recuperación de la misma de solo 2,5 años.

Tabla 18. Análisis de sensibilidad (escenario 2) (miles \$)

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
INVERSIONES	5.925.000	40.000	310.000	320.000	210.000	335.000	215.000	325.000	220.000	325.000	-
Costos de Personal	12.000,0	205.603	215.883	225.612	235.828	246.554	257.816	269.642	282.059	295.097	308.786
Costos Fijos de Producción	7.800,0	131.375	137.764	144.472	151.516	158.911	166.677	174.831	183.392	192.382	201.821
Costos Variables de producción		2.334.756	2.617.600	2.922.112	3.249.781	3.602.192	3.981.030	4.168.681	4.365.715	4.572.601	4.789.831
Costo de Ventas (10% de Ventas)		609.000	685.125	767.340	856.064	951.741	1.054.847	1.107.589	1.162.968	1.221.117	1.282.173
Gastos de administración	12.000	382.700	401.835	421.927	443.023	465.174	488.433	512.855	538.497	565.422	593.693
Egresos	5.956.800	3.703.434	4.368.207	4.801.463	5.146.211	5.759.573	6.163.803	6.558.598	6.752.632	7.171.619	7.176.304
Total Ventas	-	6.090.000	6.851.250	7.673.400	8.560.637	9.517.414	10.548.467	11.075.890	11.629.685	12.211.169	12.821.728
Valor rescate equipos											3.000.000
Flujo de Caja	(5.956.800)	2.386.566	2.483.043	2.871.937	3.414.425	3.757.841	4.384.664	4.517.293	4.877.053	5.039.551	8.645.423
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	49%										
VALOR PRESENTE NETO (VPN)	8.583.455										

Finalmente, en la tabla 19, se muestra el análisis de sensibilidad para escenario optimista, el cual se caracteriza por utilizar una mayor capacidad de la planta en el año 2019 (70%), y un precio de venta 7% inferior al precio actual del mercado. Se produce una TIR bastante alta, un VPN superior en más del 30% del escenario medio y una recuperación de la inversión en 30 meses.

Tabla 19. Análisis de sensibilidad (escenario 3) (miles \$)

Años	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Porcentaje de Capacidad Utilizada		70%	75%	80%	85%	90%	95%	95%	95%	95%	95%
Precio resina (Miles de \$/M3)	666.312										
% cambio precio de resina		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Precio Venta por tablero (Miles de \$)	75										
TIR	49%										
VPN (Miles de \$)	8.583.455										
Periodo de Recuperación de la Inversión PRI	2.5 años										

5.6.3 Aspectos económicos que influyen en el proyecto

Los aspectos económicos también se consideran viables: en la región existe cultivos de palma,

relativamente jóvenes y suficientes para producir la cantidad de fibra requerida para el suministro de RFPA a la planta.

La creación por ley de las Zonas económicas ZOMAC (Zonas afectadas por el conflicto armado), permitirán lograr beneficios tributarios (ANEXO 11. Tabla III) muy importantes que favorecen y atraen la inversión a los municipios que cultivan palma de aceite, en donde ya existen tres plantas procesadoras del fruto.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización físico-mecánica, los residuos de la fibra de palma de aceite y resina de urea-formaldehído, son una alternativa técnicamente viable para la producción de materiales aglomerados de bajo costo, con una viabilidad financiera atractiva para un inversionista y un alto impacto ambiental positivo, enmarcado dentro del concepto de economía circular y la reducción de gases efecto invernadero al evitar la combustión de hasta 26 toneladas al día de la RFPA.

La sustitución de tableros de madera convencional por los que se proponen fabricar de RFPA (Hasta 400 tableros por día de 1,83mX2,44m), evitará intervenir una hectárea por día de bosque adecuado para su obtención, dado que en Colombia durante el año 2017 fueron deforestadas un total de 178.597 hectáreas de bosque generando el 44% de aumento comparados con el año anterior y se presenta una tasa de siembra de aproximadamente 100 hectáreas de especies introducidas tales como pinos, eucaliptos y acacias siendo estas, las especies con manejo forestal responsable y de las cuales dependen la fabricación de tableros aglomerados.

Las características fisicoquímicas de los residuos lignocelulósicos de fibra de palma de aceite tienen una gran influencia en la elaboración de tableros aglomerados. La cantidad de extraíbles juega un papel fundamental en propiedades como la absorción de agua e hinchamiento. La determinación de humedad de los residuos sirvió para establecer las condiciones óptimas en el proceso de secado del residuo para elaboración de tableros aglomerados.

Los termogramas obtenidos por TGA para los residuos corroboran las cantidades de los micro-constituyentes obtenidos en la caracterización química. De igual forma, brindaron información sobre las temperaturas de degradación de los residuos.

Se analizaron las propiedades mecánicas y físicas de los tableros aglomerados elaborados a partir de los RFPA, como un posible sustituto a las maderas convencionales usadas y se comparó con los resultados obtenidos para tableros comercializados en el país. Los resultados del cálculo de densidad arrojaron que los tableros de RFPA se clasifican como tableros de alta densidad, con bajos porcentajes a las pruebas de humedad y absorción de agua y valores superiores en MOR y MOR.

La estabilidad térmica del aglomerado producido (195°C) que más se acerca a la estabilidad de la fibra (233°C) es el que tienen una composición de 15% de resina UFA, Sin embargo, la muestra con el 10% de resina UFA, logra estabilidad por encima del límite de la resina pura, concentración que según el parámetro termogravimétrico es viable.

El módulo elástico comparado con tableros elaborados a partir de otros residuos lignocelulósicos es similar, mostrando el tablero con 10% de resina el mejor resultado, respecto a los tableros comerciales, el valor obtenido en esta investigación es mayor, representando una alternativa para la sustitución de maderables, disminuyendo el impacto ambiental en la tala de árboles.

La densidad de los tableros aglomerados aumenta proporcionalmente al aumentar resina U-FA, pero esta no influye en el módulo de ruptura ni elástico, mientras que en la absorción de humedad e hinchamiento, la densidad influye directamente, esto se debe a la concentración de resina, lo que implica un aumento del comportamiento hidrófobo del material.

El uso industrial propuesto para el tablero obtenido a partir de RFPA, en formaletería paso la evaluación técnica pertinente para tal caso, de esta manera se logra un producto que presenta buen comportamiento, al no modificar el volumen inicial estimado del concreto, adicional se logró obtener un acabado que puede usar mortero, empaste o concreto a la vista, puesto que en el

proceso de desencoframiento el material presenta un deterioro mínimo, el cual puede permitir usos hasta 5 veces, según pruebas, fallando finalmente por el desgaste propio en los puntos de amarre.

Los tres escenarios analizados para la viabilidad financiera, empleando residuos de la fibra de palma de aceite para fabricación de tableros aglomerados, dieron favorables, desde el punto de vista financiero y económico. El proyecto es viable; desde el escenario 1, el más crítico (Se obtiene una TIR del 18% con precios 30% por debajo del precio del mercado actual), hasta el escenario 3, el más optimista (TIR del 49%, con precios 13% por debajo del precio de los ya existentes en el mercado).

En el departamento Norte de Santander existe un potencial muy alto en la producción de aceite crudo de palma, por sus más de 25.000 hectáreas sembradas y por las 3 plantas extractoras que existen, 2 de ellas muy nuevas, con tecnología de última generación. La producción actual de fibra, una vez procesado el fruto, es de 80 toneladas/hora, cifra muy superior a las 26 toneladas requeridas por día en su máxima capacidad de la planta a instalar.

El aprovechamiento de estos residuos, de la mano de la generación de empleo formal y del crecimiento económico del sector agroindustrial, recibiendo los beneficios de las ZOMAC (Zonas más afectadas por el conflicto armado), hace que este proyecto sea sostenible, es decir con rentabilidad social, financiera y ambiental.

Se recomienda encontrar sustitutos de productos que disminuyan la participación de maderas plantadas en la fabricación de tableros aglomerados ya que son estos últimos los que más volúmenes demandan al igual que las especies utilizadas para la fabricación de celulosa en la elaboración de cartón.

Finalmente se recomienda posteriores estudios sobre la incorporación de la RFPA, a los procesos de producción de aglomerados en el país, es decir, reemplazar una porción de la madera utilizada en dichos procesos, con el fin de disminuir el consumo de productos forestales, aprovechar los residuos agroindustriales, bajar los costos de producción y agregar características técnicas encontradas en esta investigación al producto final.

BIBLIOGRAFÍA

- Abani, S., Hafsi, F., Kriker, A., & Bali, A. (2015). Valorisation of Date Palm Fibres in Sahara Constructions. *Energy Procedia*, 74, 289–293. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.608>
- Aguilar Rivera, N. (2004). Importancia, manejo y control de extraíbles e incrustaciones (pitch) en la fabricación de papel. *Madera Y Bosques*, 10, 89–99.
- Alvarez, C., Gañan, P., Arboleda, C., & Mejia, A. (2007). Modificadas con enzimas ligninolíticas Develop of plantain fiber bundle composites modified by ligninolytic enzymatic treatment. *Scientia et Technica Año XIII*, (36), 725–730.
- Arias, D. (2006). *Diseño y construcción de una máquina para elaboración de aglomerado en la fábrica parquet los pinos*. Escuela Técnica del ejército.
- ASTM. (1986). Standard terminology relating to wood-base fiber and particle panel materials. American society for testing and materials ASTM-D 1554-86. USA.
- ASTM. (2006). Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle.
- ASTM. (2011). Standard Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials D1554-10, 1(2005), 1–4. <http://doi.org/10.1520/D1554-10.Copyright>.
- ASTMD1037-06a. (2006). Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle. In *ASTM International*.
- Bajpai, P. (2016). Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Biofuel Production. *Green Chemistry for Sustainability*. <http://doi.org/10.1007/978-981-10-0687-6>

- Beg, M., Mina, M., Yunus, R., & Alam, A. (2015). The use of oil palm biomass (OPB) fibers as reinforcements in composites. *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, 342–382. <http://doi.org/10.1533/9781782421276.3.342>
- Bizarro, M. E. S. (2013). Historia de los materiales. In *Historia de los materiales*.
- Boletín Económico - FEDEPALMA. (2016). Balance económico del sector palmero colombiano en 2015.
- Buitrago, B., Henao, A., & Ayala, O. (2012). Tableros de partículas de polvillo de aserrín reforzados con subproductos reciclados (TAR). *Informador Técnico (Colombia)*, 76, 84–92.
- C. E. I. De la Palma. (2010). *Tecnología de palma aceitera*.
- Caicedo, F. S. S. (2011). *Elaboración de composites a base de resina poliéster, poliestireno postconsumo y aserrín*. Universidad Industrial De Santander.
- Castellanos, J. R. S. (2015). *Caracterización físico mecánica de madera reconstruida*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Castillo G Y. A., R. R. S. N. et al. (2014). Caracterización de Materiales lignocelulósicos residuales de palma de aceite y palma de coco para la fabricación de pellets Characterization of residuals lignocellulosic materials from oil palm and coconut palm for pellets manufacturing. *Avances Investigación En Ingeniería*, 11(1), 83–91.
- Cervantes Valdez, X. E., Andrade Ortega, J. Á., Ramírez Barragán, C. A., & Bravo García, L. R. (2015). Durabilidad natural de tableros aglomerados de cocotero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 188–201. Retrieved from

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000200013&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Chen, H. (2014). *Biotechnology of Lignocellulose: Theory and Practice*.
<http://doi.org/10.1007/978-94-007-6898-7>

Chikhi, M. (2016). Young 's modulus and thermophysical performances of bio-sourced materials based on date palm fibers. *Energy & Buildings*, 129, 589–597.
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.034>

Clotario, T., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006). Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa y Compuestos : Desarrollados, 19, 113–120.

CMSPA. (2015). Un panorama sobre el sector Palma africana: Por países y por compañías, 23. Retrieved from [http://www.iuf.org/w/sites/default/files/Palma africana - Documento informativo.pdf](http://www.iuf.org/w/sites/default/files/Palma%20africana%20-%20Documento%20informativo.pdf)

Cogswell, F. N., Eckold, G. C., Miravete, A., White, J. R., Guell, D. C., Matthews, F. L., ... Beaumont, P. W. R. (2015). *Wood Composites*. (M. Ansell, Ed.) (54th ed.). Kidlington.

CONDE, B. (2015). *Diseño y construcción de un prototipo de termoconformado para materiales aglomerados*. Universidad De Pamplona.

Congreso de Colombia. (2006). Ley 1021 del 2006.

Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., & Olivero, R. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 9, 122–132.

<http://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>

Dam, J. E. G. Van. (2015). Oil Palm by-products as biocommodities. In *XVIII Conferencia internacional sobre Palma de Aceite* (p. 39). Cartagena, Colombia.

DANE. (2012). *Cuenta satélite piloto de la agroindustria de la palma de aceite*.

Doherty, W. O. S., Mousavioun, P., & Fellows, C. M. (2011). Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 259–276.
<http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.022>

Elena, L., & Antonio, M. (2012a). Efecto de los extraíbles en tres propiedades físicas de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* procedente de Michoacán, México, 33(2), 227–232.
<http://doi.org/10.4067/S0717-92002012000200013>

Elena, L., & Antonio, M. (2012b). Efecto de los extraíbles en tres propiedades físicas de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* procedente de Michoacán, México Effect of extractives on three physical properties in *Enterolobium cyclocarpum* from Michoacan, Mexico. *Bosque*, 33, 7. <http://doi.org/10.4067/S0717-92002012000200013>

Eras, J. (2015). *Evaluación del proceso de elaboración de un aglomerado para cielo raso, a partir del raquis de la palma aceitera en combinación con la cascarilla de arroz*. Universidad Tecnica Estatal De Quevedo.

Eric, M. (2016). Wood and Moisture.

Espitia Sibaja, H. M. (2010). *Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en reforzamiento de*

polímeros termoplásticos. Universidad Nacional de Colombia.

Fao, A. (2014). 2014 Datos y cifras globales de productos forestales.

FEDEPALMA. (2013). Panorama de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en la Zona Norte del País: Situación actual, Retos y Perspectivas. Montería. Retrieved from <http://web.fedepalma.org/bigdata/zonaprivada/panoramadelaagroindustriadelapalmadeaceiteencolombiayenlazonanorte.pdf>

FEDEPALMA. (2016). Desempeño del sector palmero colombiano. Retrieved from web.fedepalma.org/sites/default/files/.../18072016_Desempeño_sector_2015_2016.pdf

Ferrer, A. (2013). *Aprovechamiento Integral Del Residuo De La Industria Del Aceite De Palma (Efb). Obtención De Derivados De Las Hemicelulosas, Pastas Celulósicas Y Celulosa Nanofibrilar*. Universidad de Cordoba.

Ferrer Carrera, A. (2013). *Aprovechamiento integral del residuo de la industria del aceite de palma (EFB). Obtencion de derivados de las hemicelulosas, pastas celulosicas y celulosa nanofibrilar*. Universidad de Cordoba.

FEUM. (2016). Densidad aparente y densidad compactada de polvos. México D.F.

Gaitán, M. S. A., Fonthal, G., Ariza-calderón, H., Interdisciplinario, I., Ciencias, D., & Quindío, U. (2016). Production, repairing and mechanical Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de Pennisetum purpureum schum, Philodendron longirrhizum y Musa acuminata Production and physical properties of agglomerates of Pennisetum purpureum schum , Philodendr. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1), 5–11.

- García, J. A., Garcia, M., & Das, K. C. (2009a). Determinación de parámetros cinéticos de degradación térmica de subproductos de las plantas de beneficio mediante análisis termogravimétrico calorimetría de barrido diferencial, *51(4)*, 547–557.
- García, J. A., Garcia, M., & Das, K. C. (2009b). Determination of kinetic parameters of thermal degradation of palm oil mill by-products using thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry. *American Society of Agricultural and Biological Engineers, Asabe*, *51(4)*, 547–557.
- García N., J. a., & Yañez A., E. E. (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, *31(2)*, 41–48. Retrieved from <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1477>
- Gardner, K. H., & Blackwell, J. (1974). The hydrogen bonding. *Biochimia et Biophysica*, *343*, 232–237.
- Garzón, N., Sartori, D., Zuanetti, I., Barbirato, G., Ramos, R., Fiorelli, J., ... H, S. J. (2012). Durability Evaluation of Agro-Industrial Waste -Based Particle Boards Using Accelerated Aging Cycling Tests. *Key Engineering Materials*, *517*, 628–634. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.517.628>
- González, Y., Rincón, S., Camargo, G., Dévora, G., & Sierra, F. (2014). Caracterización de Materiales lignocelulósicos residuales de palma de aceite y palma de coco para la fabricación de pellets Characterization of residuals lignocellulosic materials from oil palm and coconut palm for pellets manufacturing, *11(1)*, 83–91.
- Granados, C., Torrenegra, M., & Nahir, C. (2017). Caracterización de la pulpa de *Physalis*

peruviana L. Cultivada en el departamento de Norte de Santander – Colombia. *Bistua*.

Hassan, K., Sukaimi, J., & Ramli, R. (1997). Pulp and paper from oil palm fibres. *PALMAS*, (67), 1997–1999.

Inga, P. R., & Castillo, M. U. (n.d.). Características físico - químicas de la madera y carbon de once especies forestales de la amazonia peruana Pepe Rivera Inga 1 Manuel Uceda Castillo 2. *Revista Forestal Del Perú*, 14(2), 1–8.

Innovar en materiales_ el futuro de las empresas de la mano de Cenfim y FiMat. (n.d.).

Jeske, H., Schirp, A., & Cornelius, F. (2012). Thermochemical Development of a thermogravimetric analysis (TGA) method for quantitative analysis of wood flour and polypropylene in wood plastic composites (WPC). *Thermochimica Acta*, 543, 165–171. <http://doi.org/10.1016/j.tca.2012.05.016>

Ju, V., & Ter, M. (2011). Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden procedente de Finca Las Maravillas , Departamento de Orán , Salta. *Quebracho*, 19, 75–83.

Khedari, J., Nankongnab, N., Hirunlabh, J., & Teekasap, S. (2004). New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. *Building and Environment*, 39, 59–65. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.08.001>

Klebstoffe, I. (2009). Wood Particle Boards used as Laying Substrate. Retrieved from www.klebstoffe.com

Kumar, V., & Kumari, M. (2014). Processing and characterization of natural cellulose fibers /

thermoset polymer composites. *Carbohydrate Polymers*, 109, 102–117.

<http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.039>

Lertsutthiwong, P., Khunthon, S., & Siralertmukul, K. (2008). New insulating particleboards prepared from mixture of solid wastes from tissue paper manufacturing and corn peel. *Bioresource Technology*, 99, 4841–4845. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.051>

Londoño, A., Lozano, L., Gomez, C., & Luis, Po. (2014). Elaboración de tableros de partículas aglomeradas a partir de los residuos de Guadua (*Guadua angustifolia* KUNTH) resultado de los procesos de transformación. *Revista Tumbaga*, 2, 7–19.

M, W. C., C, M. E. O. De, Garay, D. A., & Yoston, J. (1999). De partículas de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo urea – formaldehído, 129–135.

MADR-UPRA. (2018). Identificación general de la frontera agrícola en Colombia.

Madurwar, M. V, Ralegaonkar, R. V, & Mandavgane, S. A. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials : A review. *Construction and Building Materials*, 38, 872–878. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.011>

Malkapuram, R., Kumar, V., & Negi, Y. S. (2009). Recent Development in Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. <http://doi.org/10.1177/0731684407087759>

Martín, M. H. C., Molina, O. A., García, M. A., & Rodríguez, L. E. S. (2004). Tableros de madera de partículas. *Ingeniería Y Ciencia*, 3, 39–46.

Masisa. (2015). MDP Masisa.

- Mateu, A. M. (2015). *Tableros de posidonia oceánica y compresión paralela al tablero* Tesis doctoral. Universidad de Alicante.
- Mejia Almeida, M. E. (2012). *Elaboración de tableros aglomerados autoadheridos a partir de fibra de raquis de palma africana (Elaeis guineensis jacq.)*. Escuela Politecnica Nacional.
- Mesa, J., Molina, J., Gutt, S., Eder, H., & Dangond. (2016). Panel Visión empresarial de la agroindustria de la palma en Latinoamérica. *PALMAS*, 37, 229–242.
- Miranda, J. J. (1997). *Capitulo uno el ciclo del proyecto 2*.
- Miranda, W. C., Ballester, V. C., & Contreras, M. O. De. (2005). *La Madera Productos Forestales Industria Forestal . Wilver Contreras Miranda La Madera Productos Forestales Industria Forestal . Wilver Contreras Miranda Mary Owen de Contreras*. Madrid.
- Monteiro, R., Filho, D. B., Marin, L., Monteiro, K., Oliveira, L., & Roberto, V. (2011). Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse , urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. *Industrial Crops & Products*, 33(2), 369–373. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.007>
- Mora-Espinosa, W. J., & Ramón-Valencia, B. A. (2017). Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos TT - Thermal, mechanical, and morphological characterization of Colombian natural fibers as potential reinforcement for biocompos. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 41(161), 479–489. <http://doi.org/10.18257/raccefyn.525>
- Mora, W., & Ramon, B. (2017). Caracterización térmica , mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. *Rev. Acad.*

Colomb.Cienc. Ex. Fis.Nat., 41(161), 479–489.

Morales, M., Gonzales, E., & Mesa, L. (2016). Avances en la obtención de tableros de fibras a partir de mezclas de residuales lignocelulósicos de bagazo. *Afinidad LXXIII*, (53), 205–209.

Morán, J. (2008). Extracción de celulosa y obtención de nanocelulosa a partir de fibra sisal - caracterización, (1), 16–17.

Orea-igarza, U., & Cordero-machado, E. (2006). Composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos , a tres alturas del fuste comercial Parte 1 : Eucalyptus citriodora var . citriodora. *Revista Forestal Venezolana*, 50(1), 45–52.

Pei, W., Ng, Q., Loong, H., Yuen, F., Kamal, M., Heng, J., & Lim, E. (2012). Waste-to-wealth: green potential from palm biomass in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 34(September 2011). <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.004>

Pettersen, R. (1984). The Chemical Composition of Wood. In *Handbook of wood chemistry and wood composites*.

Poblete, H., Alejandro, J., & Estrada, R. (2007). *Efecto del contenido de cera y resina sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros HDF*. Universidad Austral de Chile.

Poblete, H., Loncomilla, E., & Inzunza, L. (2000). Densidad del tablero de partículas y estabilidad dimensional. *BOSQUE*, 21(2), 69–83.

PRIMADERA. (2016). Primalit.

Prinsen, P. (2013). *Caracterización química y estructural de lignina y lípidos de materiales lignocelulósicos de interés industrial*. Universidad de Sevilla.

- Proaño F., E. A. (2015). *Desarrollo de un material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibra de cabuya y con raquis de palma africana proyecto*. Escuela Politécnica Nacional.
- Quesada, K. et al. (2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña (Ananas) *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 6(2), 157–179.
- Quindio, U. D. E. L. (2014). *Título : Fabricacion de aglomerados con fibras vegetales y su caracterización mecánica , térmica y de impermeabilidad . Facultad : Ciencias Básicas Programa : Maestría en Ciencias de los Materiales Grupo de Investigación : Optoelectrónica*. Universidad del Quindio.
- Quintana, G. C., Arroyave, M. S., & Suárez, D. E. (2008). Obtención De Pulpa a Partir De Los Residuos De Palma Africana Pretratados Con Steam Explosion. *V Congreso Iberoamericano de Investigación En Celulosa Y Papel*, 1–8.
- Quintana, G., Velásquez, J., Betancourt, S., & Gañán, P. (2009). Binderless fiberboard from steam exploded banana bunch. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 60–66.
<http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.007>
- RAE. (2017). Real Academia Española.
- Ramírez, A. D. J. M., Tito, R., Lopez, H., Espinoza, J. S. M., & Velazquez, D. M. (n.d.). Importancia de la ingeniería de materiales en la historia y sus repercusiones en la humanidad.
- Ramirez, N., Arevalo, A., & Garcia, J. (2015). Inventario de la biomasa disponible en plantas de beneficio para su aprovechamiento y caracterización fisicoquímica de la tusa en Colombia. *Revista Palmas*, 36(4), 41–54. Retrieved from

<http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11644/11636>

Ramón, F., Lopez, A., Ramón, B., Ramón, J., & Ibla, J. (2014). Impacto de baja energía y resistencia a tracción de laminados bioepoxi-fibra de cáñamo , antes y después de su inmersión en agua de mar. *Iteckne*, *11*, 190–195.

Ramón, F., Ramón, B., Arraiza, A., & Ramón, L. (2014). Impacto de baja energía y resistencia a tracción de laminados bioepoxi-fibra de cáñamo , antes y después de su inmersión en agua de mar. *ITECKNE*, *11*, 190–195.

Reddy, N., & Yang, Y. (2005). Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *TRENDS in Biotechnology*, *23*(1). <http://doi.org/10.1016/j.tibtech.2004.11.002>

Rivera, G. F., Prias, J. J., & Agudelo, C. (2014). *Título : Fabricacion de aglomerados con fibras vegetales y su caracterización mecánica , térmica y de impermeabilidad . Facultad : Ciencias Básicas Programa : Maestría en Ciencias de los Materiales Grupo de Investigación : Optoelectrónica*. Universidad del Quindío.

Rowell, R. M. (2012). Cell Wall Chemistry. In *Handbook of wood chemistry and wood composites* (2nd ed., p. 703). <http://doi.org/10.1201/b12487-5>

Rowell, R., Pettersen, R., Han, J., Rowell, J., & Tshabalala, M. (2012). Cell Wall Chemistry. In *Handbook of wood chemistry and wood composites* (2nd ed., p. 703). <http://doi.org/10.1201/b12487-5>

Rutiaga, J., Pedraza, F., & López, P. (2010). Componentes químicos principales de la madera de *Dalbergia granadillo* Pittier y de *Platymiscium lasiocarpum* Sandw. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, *16*, 179–186.

<http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.023>

Salazar, J. A. H., & Pérez, J. H. (1998). Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera Y Bosque*, 4(124), 79–93.

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales : Pasado , Presente y Futuro. *BioTecnologia*, 16(2), 14–46.

Scheller, H. V., & Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. *Review Plant and Biology*, 263–289.
<http://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112315>

Shinoj, S., Visvanathan, R., Panigrahi, S., & Kochubabu, M. (2011). Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. *Industrial Crops and Products*, 33(1), 7–22.
<http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.009>

Sreekala, M. S., Kumaran, M. G., Joseph, R., & Thomas, S. (2001). Stress-relaxation behaviour in composites based on short oil-palm fibres and phenol formaldehyde resin. *Composites Science and Technology*, 61(9), 1175–1188. [http://doi.org/10.1016/S0266-3538\(00\)00214-1](http://doi.org/10.1016/S0266-3538(00)00214-1)

Sreekala, M. S., Kumaran, M. G., & Thomas, S. (1997). Oil Palm Fibers : Morphology , Chemical Composition , Surface Modification , and Mechanical Properties. *Journal of Applied Poymer Science*, 66, 821–835.

Szabo P, Arhegyi Gabor, Ferenc Till, O. F. (1996). Thermogravimetric / mass spectrometric characterization of two energy crops , Arundo donax and Miscanthus sinensis. *Analytical And applied pyrolysis*, 36.

Tablemac-Duratex. (2017). AF-catálogo-fichas(4).pdf.

- Tapia Bastidas, C. V. (2007). *Elaboración de Tableros de Partícula Fina a partir de Residuos Lignocelulósicos y Resinas Termoestables*. Escuela Politecnica del Litoral.
- Then, Y. Y., Ibrahim, N. A., Zainuddin, N., Ariffin, H., Zin, W., & Yunus, W. (2013). Oil Palm Mesocarp Fiber as New Lignocellulosic Material for Fabrication of Polymer / Fiber Biocomposites. *International Journal of Polymer Science*.
- Tinker, R. H. V. C. and P. B. (2003). *The Oil Palm*. (B. S. Ltd., Ed.) (Fourth edi). Oxford.
- Valencia, W., & Pinto, E. (2013). Los planes de negocios y los proyectos de inversión : similitudes y diferencias. *Industrial Dataata*.
- Vásquez, A. M. (2013). *Producción de xilanasas por aspergillus sp.en fermentación sumergida y fermentación en medio sólido*. México, D.F.
- Veeresh, S. J., & Narayana, J. (2012). Assessment of Agro-Industrial Wastes Proximate , Ultimate , SEM and FTIR analysis for Feasibility of Solid Bio-Fuel Production Abstract : *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 2(6), 575–581.
- Vignote Peña, S. (2011). *Productos derivados de la madera*.
- Villamizar; Diana. (2017). *Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a partir de residuos agroindustriales de fibra de fruto de palma de aceite y cascara de mazorca de cacao usando una resina termoestable*. Universidad de Pamplona Facultad.
- Villamizar Fuentes, D. S. (2017). *Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a partir de residuos agroindustriales de fibra de fruto de palma de aceite y cascara de mazorca de cacao usando una resina termoestable*. Universidad de Pamplona.

- Villar, C. M. (2014). El imparable mercado de los tableros, 94–99.
- Waight, M. B. M. (2013). *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados elaborados con cascarilla de café (Coffea arabica) y colofonia, por el efecto de la carga de compactación y tiempo de prensado*. Universidad de San Carlos De Guatemala.
- Yang, H. (2007). Characteristics of hemicellulose , cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel First*, 86, 1781–1788. <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>
- Zakzeski, J., Bruijninx, P. C. A., Jongerius, A. L., & Weckhuysen, B. M. (2010). The Catalytic Valorization of Lignin for the Production of Renewable Chemicals. *Chemical Reviews*, 110, 3552–3599.
- Zambrano, L., Moreno, P., Muñoz, F., & Durán, J. (2013). Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de Pinus patula Particle boards manufactured from industrial residues of Pinus patula wood. *Madera Y Bosques*, 19(3), 65–80.
- Abraham, E., Deepa, B., L.A., M. P., Jacob, S., Cvelbar, U. T., & Anandjiwala, R. (2011). Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibres: A novel approach. *Carbohydrate Polymers*, 86, 1468– 1475.
- André, I. L., Renato, C. N., & Baltus, C. B. (2017). Recycled PP/EPDM/talc reinforced with bamboo fiber: Assessment of fiber and compatibilizer content on properties using factorial design. *Polymer Testing* 61, 214-222.
- Cornelius, H. J. (2012). Development of a thermogravimetric analysis (TGA) method for quantitative analysis of wood flour and polypropylene in wood plastic composites (WPC). *Thermochimica Acta*, 165-171.

Das et al. (2000). Effect of steam pretreatment of jute fiber on dimensional stability of jute composite. *Journal of Applied Polymer Science* 76, 1652–1661.

Liu, M., Wang, Y., Wu, Y., He, Z., & Wan, H. (2018). “Greener” adhesives composed of urea-formaldehyde resin and cottonseed meal for wood-based composites. *Journal of Cleaner Production* Vol.187, 361-371.

Mahmood, H., Moniruzzaman, M., Iqbal, T., & Yusup, S. (2017). Effect of ionic liquids pretreatment on thermal degradation kinetics of agro-industrial waste reinforced thermoplastic starch composites. *Journal of Molecular Liquids* 247, 164–170.

Moriana, R., Vilaplana, F., Karlsson, S., & Ribes., A. (2014). Correlation of chemical, structural and thermal properties of natural fibres for their sustainable exploitation. *Carbohydrate Polymers* 112, 422–431.

Park, B.-D., Ayrlimis, N., Kwon, J. H., & Han, T. H. (2017). Effect of microfibrillated cellulose addition on thermal properties of three grades of urea-formaldehyde resin. *International Journal of Adhesion and Adhesives* Vol.72, 75-79.

Rodarte de Moura Carla V. et al. (2012). Synthesis and Characterization of Polyesters from Glycerol by-Product of Biodiesel Production. *J. Braz. Chem. Soc.*, Vol. 23, No. 7, 1226-1231.

Thakura, V. K., & Thakur, M. K. (2014). Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites-review. *Carbohydrate Polymers* 109, 102–117.

www.insht.es. (04 de 09 de 2007).

www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/.../FT_13_1_A.pdf.

Obtenido

de

www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/.../FT_13_1_A.pdf.

Yang, Yan, Chen, Lee & Zheng. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86, 1781–1788.

Zorba, T. P. (2008). Urea-formaldehyde resins characterized by thermal analysis and FTIR method. *J. Therm. Anal. Calorim.* 92, 29-33.

**RESULTADOS DE CARÁCTER CIENTÍFICO OBTENIDOS A PARTIR DE LA
INVESTIGACIÓN**

- **ARTÍCULOS**

Nombre del Artículo	Nombre de la revista	Condición
Caracterización fisicoquímica de la biomasa residual obtenida a partir de la palma de aceite (<i>Eleaenis Guinnensis</i>) para posibles usos en la elaboración de tableros de partículas.	Edición especial de la revista BISTUA (ISSN: 0120-4211). Actualmente indexada en Colciencias con Categoría C.	Aceptado
Caracterización físico-mecánica de tableros aglomerados desarrollados a partir de Fibra de palma de aceite y resina Urea formaldehído.	Revista MADERAS ISSN 0718-221X versión en línea ISSN 0717-3644 versión impresa. Factor de Impacto: 0.722. Ranking: 10 Cuartil: Q2	Sometimiento

ANEXOS

Anexo 1. Granulometría fibra de palma de aceite

Para la granulometría del residuo de FPA se colocó un conjunto de tamices estandarizados, acoplados en serie, con el tamiz más pequeño en el fondo y el más grande en la parte superior. La muestra se colocó en el tamiz superior y el conjunto se somete a sacudidas mecánicas durante un tiempo determinado; aproximadamente 20 minutos. Las partículas retenidas sobre cada tamiz se retiraron y pesaron. Las masas de los incrementos individuales sobre cada tamiz se convierten en fracciones de masa o en porcentajes de masa de la muestra total.

Masa inicial (g)	581	<i>FIBRA DE FRUTO DE PALMA DE ACEITE</i>			
Número de malla	abertura del tamiz (mm)	masa retenida	fracción de masa retenida	diámetro medio de las partículas en el incremento	fracción acumulativa inferior
20	0,833	278,6	0,4795	0,8330	0,5204
30	0,595	56,6	0,0974	0,7140	0,4231
40	0,420	47,5	0,0817	0,5075	0,3413
50	0,297	43,7	0,0752	0,3585	0,2661
60	0,250	50,5	0,0869	0,2735	0,1792
80	0,177	34,6	0,0595	0,2135	0,1196
100	0,149	36,0	0,0619	0,1630	0,0577
200	0,074	17,8	0,0306	0,1115	0,0270
tapa	0	5,60	0,0096	0,0370	0,0173
masa final (g)			570,9		

Anexo 2. Ficha técnica Resina de Urea Formaldehido

		HOJA DE INFORMACIÓN TÉCNICA MADERCOLA		 							
FEC. EMISIÓN : 2016-09-15		REVISIÓN: 01. 2016-09-15		CÓDIGO: Tpe-528							
				PÁGINA: 1							
DESCRIPCIÓN Y USOS DEL PRODUCTO											
<p>El UREQUIM 65 es una resina Urea-Formaldehido, recomendada para la fabricación de triplex, tablex y en usos generales de carpintería.</p>											
CARACTERÍSTICAS DE LA PELÍCULA											
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Apariencia</td> <td>: Emulsión Blanca lechosa</td> </tr> <tr> <td>Película seca</td> <td>: Opaca, dura y adherente.</td> </tr> </table>						Apariencia	: Emulsión Blanca lechosa	Película seca	: Opaca, dura y adherente.		
Apariencia	: Emulsión Blanca lechosa										
Película seca	: Opaca, dura y adherente.										
ESPECIFICACIONES											
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">» % Sólidos (105°C)</td> <td>: 63% - 65%</td> </tr> <tr> <td>» Viscosidad al despacho (25°C)</td> <td>: 100 – 1000cP</td> </tr> <tr> <td>» pH</td> <td>: 8.0 – 9.0</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">La viscosidad se mide con un Viscosímetro Brookfield RVT, Aguja N° 2 a 20 r.p.m.</p>						» % Sólidos (105°C)	: 63% - 65%	» Viscosidad al despacho (25°C)	: 100 – 1000cP	» pH	: 8.0 – 9.0
» % Sólidos (105°C)	: 63% - 65%										
» Viscosidad al despacho (25°C)	: 100 – 1000cP										
» pH	: 8.0 – 9.0										
MANEJO Y ALMACENAMIENTO			PRESENTACIÓN								
<p>El UREQUIM 65 tiene un tiempo de vida útil de tres (3) meses en recipiente cerrado, bajo techo y en lugar fresco y seco. Los recipientes deben permanecer cerrados para minimizar la formación de película y la contaminación de la emulsión. Temperaturas de almacenamiento menores de 5°C y mayores a 40°C afectan las condiciones físicas del producto y disminuyen su tiempo de vida útil.</p>			<p>El producto es entregado por 200 Kg netos en tambores metálicos con doble bolsa de polietileno, y en garrafas de 20 Kg. A solicitud del cliente, previo estudio y aprobación, se entregará este producto en otras presentaciones.</p>								
ADVERTENCIAS											
<p>PREFLEX S.A. garantiza el producto bajo las especificaciones técnicas establecidas en esta ficha técnica, sin embargo no puede garantizar las condiciones de aplicación, uso, modificaciones de los sustratos y cambios en el proceso original sobre el cual fue evaluado el producto, ya que son propias de cada cliente.</p>											
PARA CUALQUIER INFORMACIÓN TÉCNICA ADICIONAL, POR FAVOR DIRÍJASE DIRECTAMENTE AL REPRESENTANTE DE VENTAS O A LA GERENCIA DE UNIDAD.											

FICHA TÉCNICA POLÍMERO TIPO		FT-13-1-A
AMINOPLASTOS		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Formulación: Aminoplastos.		
Tipo: Resina urea-formaldehído. UF.		
Aspecto de la granza: Polvo. Gránulos. Líquido viscoso. Soluciones etanólicas.		
PRESENCIA DE ADITIVOS		
Cargas y refuerzos: Celulosa y pulpa de madera (no se emplean tejidos, ni minerales).		
Endurecedores: Catalizador ácido para entrecruzamiento (por ej. sulfamato amónico, fenoxiacetato amónico, etilénsulfito, fosfato de trimetilo).		
Estabilizantes Plastificantes: (0,5-5%)		
Lubricantes: (2%) Pigmentos orgánicos y pigmentos minerales		
PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y SUS TEMPERATURAS		
Proceso	Temperatura (°C)	
Moldeo por compresión	135-177	
DATOS DE DEGRADACIÓN TÉRMICA		
Temperatura degradación: 160°C		
Productos emitidos: Formaldehído (monómero residual), amoníaco, dióxido de carbono, monóxido de carbono, ác. cianhídrico, vapor de agua.		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Utilización industrial: Espumas de aislamiento en la construcción y espumas filtrantes para purificar el petróleo (llevan aditivo tensioactivo). Colas y adhesivos. Además: Tableros de partículas, acabado de textiles, accesorios moldeados (tapones de envases y accesorios eléctricos).		
Información adicional:		
<ul style="list-style-type: none"> • Los aminoplastos representan el 6% de la producción nacional de plásticos. • Son resinas de bajo costo y presentan una variedad de colores. • Buena resistencia a los agentes químicos. Variable solubilidad en agua. Son solubles en disolventes orgánicos. • Rigidez, buenas propiedades eléctricas (son aislantes eléctricos). • No son fácilmente inflamables. • Los productos emitidos en la degradación térmica son tóxicos y peligrosos. 		

Anexo 3. Caracterización química de los RFPA

Tabla I. Determinación de cenizas

Ensayo	Peso muestra (gramos)	Peso cenizas (gramos)	% cenizas
1	4,0076	0,3169	7,9075
2	4,0082	0,2976	7,4248
3	4,0074	0,3069	7,6583

Tabla II. Determinación de extraíbles en tolueno-etanol

Ensayo	Peso muestra (gramos)	Peso final (gramos)	%extractivos
1	4,016	0,6789	16,9048
2	3,998	0,6129	15,3302
3	4,0005	0,6435	16,0854

Tabla III. Determinación de lignina

Ensayo	Peso muestra (gramos)	Peso final (gramos)	% lignina
1	1,0082	0,7750	23,1300
2	1,0045	0,7638	23,9600
3	1,0038	0,7598	24,3100

Tabla IV. Determinación de celulosa

Ensayo	Peso muestra (gramos)	Peso final (gramos)	% celulosa
1	2,0063	1,3910	30,6684
2	2,0031	1,3841	30,9021
3	2,0017	1,3814	30,9887

Tabla V. Determinación de hemicelulosa

Ensayo	Peso muestra (gramos)	V-v	% hemicelulosa
1	2,0035	42,2645	14,8215
2	2,0005	41,9841	14,7401
3	2,0013	40,3736	14,1303

Tabla VI. Determinación de solubilidad en sosa

Ensayo	Peso muestra (gramos)	Peso final (gramos)	% solubilidad en sosa
1	2,0000	1,3363	33,1850
2	2,0078	1,3470	32,9110
3	2,0013	1,3348	33,3030

Anexo 4. Planteamiento del experimento

V. INDEPENDIENTE		VARIABLES DEPENDIENTES					
RESINA UFA MEZLCA(%p/p)		RESPUESTAS					
NIVEL	% R. UFA	N	Densidad	MOE	MOR	Absorción agua	Hinchamiento
1	5%	1	D5-1	MOE5-1	MOR5-1	AB5-1	H5-1
		2	D5-2	MOE5-2	MOR5-2	AB5-2	H5-2
		3	D5-3	MOE5-3	MOR5-3	AB5-3	H5-3
		4	D5-4	MOE5-4	MOR5-4	AB5-4	H5-4
		5	D5-5	MOE5-5	MOR5-5	AB5-5	H5-5
2	10%	1	D10-1	MOE10-1	MOR10-1	AB10-1	H10-1
		2	D10-2	MOE10-2	MOR10-2	AB10-2	H10-2
		3	D10-3	MOE10-3	MOR10-3	AB10-3	H10-3
		4	D10-4	MOE10-4	MOR10-4	AB10-4	H10-4
		5	D10-5	MOE10-5	MOR10-5	AB10-5	H10-5
3	15%	1	D15-1	MOE15-1	MOR15-1	AB15-1	H15-1
		2	D15-2	MOE15-2	MOR15-2	AB15-2	H15-2
		3	D15-3	MOE15-3	MOR15-3	AB15-3	H15-3
		4	D15-4	MOE15-4	MOR15-4	AB15-4	H15-4
		5	D15-5	MOE15-5	MOR15-5	AB15-5	H15-5
4	20%	1	D20-1	MOE20-1	MOR20-1	AB20-1	H20-1
		2	D20-2	MOE20-2	MOR20-2	AB20-2	H20-2
		3	D20-3	MOE20-3	MOR20-3	AB20-3	H20-3
		4	D20-4	MOE20-4	MOR20-4	AB20-4	H20-4
		5	D20-5	MOE20-5	MOR20-5	AB20-5	H20-5

Anexo 5. Calculo de Módulo de Ruptura

Sistema	Carga máxima (N)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	MOR (N/mm ²)	Promedio (N/mm ²)	Desviación estándar (N/mm ²)
R5(1)	321,75	100	42	14	5,86	5,20	0,57
R5(2)	198,75	100	42	12	4,93		
R5(3)	198,75	100	43	12	4,81		
R5(4)	287,25	100	40	11	-		
R5(5)	144,37	100	42	15	-		
R10(1)	454,50	100	40	13	10,08	10,83	1,84
R10(2)	509,63	100	41	13	11,03		
R10(3)	509,63	100	40	12	13,27		
R10(4)	384,33	100	41	14	-		
R10(5)	403,13	100	40	13	8,94		
R15(1)	354,33	100	40	12	9,23	9,43	0,93
R15(2)	472,13	100	41	13	10,22		
R15(3)	397,5	100	40	13	8,82		
R15(4)	486,38	100	41	13	10,53		
R15(5)	228,00	100	41	10	8,34		
R20(1)	420,38	100	41	12	10,68	8,68	1,59
R20(2)	427,50	100	41	13	9,25		
R20(3)	340,88	100	41	13	7,38		
R20(4)	398,25	100	41	14	-		
R20(5)	291,38	100	41	12	7,40		

Anexo 6. Calculo de módulo de elasticidad

Sistema	Pendiente (N/mm ²)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	MOE (N/mm ²)	Promedio (N/mm ²)	Desviación estándar (N/mm ²)
R5(1)	189,69	100	42	14	411,48	529,33	109,29
R5(2)	182,12	100	42	12	627,34		
R5(3)	163,22	100	43	12	549,16		
R5(4)	203,12	100	40	11	-		
R5(5)	133,96	100	42	15	-		
R10(1)	329,34	100	40	13	936,90	901,53	88,43
R10(2)	280,53	100	41	13	778,58		
R10(3)	272,52	100	40	12	985,68		
R10(4)	158,13	100	41	14	-		
R10(5)	318,11	100	40	13	904,96		
R15(1)	232,68	100	40	12	841,58	785,09	50,84
R15(2)	284,49	100	41	13	789,57		
R15(3)	249,86	100	40	13	710,80		
R15(4)	275,34	100	41	13	764,18		
R15(5)	134,37	100	41	10	819,33		
R20(1)	264,1	100	41	12	931,92	821,16	143,38
R20(2)	231,51	100	41	13	642,53		
R20(3)	276,69	100	41	13	767,93		
R20(4)	133,59	100	41	14	-		
R20(5)	267,03	100	41	12	942,26		

Anexo 7. Calculo de la absorción de agua 2 y 24 horas después

Muestra	Masa inicial (gramos)	Masa después de 2 horas (gramos)	Absorción 2 horas (%)	Promedio (%)	Desviación (%)	Masa después de 24 hora (gramos)	Absorción 24 horas (%)	Promedio (%)	Desviación (%)
R5	26,28	29,29	11,46	10,73	1,49	30,90	16,96	15,23	1,63
	27,78	30,89	11,18			31,96	14,63		
	28,09	31,38	11,68			32,50	15,28		
	27,19	30,25	11,26			31,81	16,44		
	28,15	30,43	8,09			31,87	12,82		
R10	32,97	35,18	6,71	8,33	1,49	35,87	8,65	10,86	1,72
	32,28	35,16	8,93			35,57	10,08		
	29,28	31,32	6,97			34,73			
	31,61	34,38	8,77			33,74	6,91		
	30,73	33,89	10,28			34,07	10,81		
R15	32,18	33,87	5,26	5,27	1,16	34,49	7,08	6,44	0,93
	35,29	37,42	6,03			37,51	6,29		
	35,68	38,07	6,68			38,42	7,61		
	34,23	35,85	4,72			36,04	5,27		
	34,06	35,31	3,67			36,10	5,91		
R20	35,37	36,83	4,12	5,21	1,28	36,98	4,51	5,75	1,24
	34,34	36,20	5,42			36,55	6,40		
	34,47	36,97	7,25			37,05	7,43		
	35,78	37,61	5,11			37,87	5,80		
	35,72	37,20	4,13			37,37	4,59		

Anexo 8. Calculo del hinchamiento 2 y 24 horas después

Muestra	Longitud inicial (mm)	Longitud después de 2 horas (mm)	Hinchamiento 2 horas (%)	Promedio (%)	Longitud después de 24 horas (mm)	Hinchamiento 24 horas (%)	Promedio (%)	Desviación (%)
5	12	13	8,33	8,33	14	16,03	10,51	3,14
	12	12	0		13	8,33		
	10	10	0		11	10,00		
	11	11	0		12	9,09		
	11	11	0		12	9,09		
10	10	10,5	5	5,00	11	9,76	6,63	2,86
	11	11	0		11,5	4,55		
	10	10,5	5		11	9,76		
	11	11	0		11,5	4,55		
	11	11	0		11,5	4,55		
15	11	11	0	4,76	11,5	4,55	4,59	0,096
	11	11	0		11,5	4,55		
	10,5	11	4,76		11	4,76		
	11	11	0		11,5	4,55		
	11	11	0		11,5	4,55		
20	11	11	0	4,76	11	0	4,76	0
	11	11	0		11	0		
	10,5	11	4,76		11	4,76		
	11	11	0		11	0		
	11	11	0		11	0		

Anexo 9. Determinación de la densidad

Muestra	Peso (gramos)	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho(m m)	Volumen (cm³)	densidad (Kg/m³)	Promedio (Kg/m³)	Desviación (Kg/m³)
5	26,28	12	50	50	30,0	876,05	992,23	103,36
	27,78	12	50	50	30,0	926,11		
	28,09	10	49	50	24,5	1146,69		
	27,19	11	50	50	27,5	988,57		
	28,15	11	50	50	27,5	1023,71		
10	32,97	10	50	50	25,0	1318,81	1190,71	73,00
	32,28	11	50	50	27,5	1173,76		
	29,28	10	50	50	25,0	1171,31		
	31,61	11	50	50	27,5	1149,28		
	30,73	11	49	50	26,9	1140,42		
15	32,18	11	49	50	26,9	1194,01	1285,32	80,56
	35,29	11	50	50	27,5	1283,22		
	35,68	10,5	49	49	25,2	1415,41		
	34,23	11	49	50	26,9	1270,11		
	34,06	11	49	50	26,9	1263,83		
20	35,37	11	50	50	27,5	1286,37	1300,39	37,98
	34,34	11	50	50	27,5	1248,63		
	34,47	10,5	50	50	26,2	1313,11		
	35,78	11	50	50	27,5	1301,23		
	35,72	11	49	49	26,4	1352,65		

Anexo 11. Evaluación económica y financiera del proyecto

Tabla I. Inversiones y depreciaciones

Inversiones y depreciaciones											
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Equipos											
Vida útil		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tasa de Depreciación		10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Costo de Adquisición Acumulado	5.700.000	5.700.000	6.010.000	6.330.000	6.540.000	6.865.000	7.075.000	7.400.000	7.610.000	7.935.000	7.935.000
Molienda	700.000		100.000		100.000		100.000		100.000		
Secado	800.000			150.000		150.000		150.000		150.000	
Tamizado	400.000			50.000		50.000		50.000		50.000	
Encolado	600.000			100.000		100.000		100.000		100.000	
Formación de Colchón	300.000			20.000		25.000		25.000		25.000	
Prensado	1.200.000		100.000								
Curado y lijado	700.000		50.000		50.000		50.000		50.000		
Caldera y otros	300.000		30.000		30.000		30.000		30.000		
Instalaciones Eléctricas	400.000		20.000		20.000		20.000		20.000		
Instalaciones Neumáticas	300.000		10.000		10.000		10.000		10.000		
Depreciación		570.000	601.000	633.000	654.000	686.500	707.500	740.000	761.000	793.500	793.500
Depreciación Acumulada		570.000	1.171.000	1.804.000	2.458.000	3.144.500	3.852.000	4.592.000	5.353.000	6.146.500	6.940.000
Valor en Libros	5.700.000	5.130.000	4.839.000	4.526.000	4.082.000	3.720.500	3.223.000	2.808.000	2.257.000	1.788.500	995.000
Edificaciones											
Vida útil			10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tasa de Depreciación			10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%
Costo de adecuación	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Depreciación		20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Depreciación Acumulada		20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000	140.000	160.000	180.000	200.000
Valor en Libros	200.000	180.000	160.000	140.000	120.000	100.000	80.000	60.000	40.000	20.000	-

Inversiones y depreciaciones											
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Equipo de cómputo y tecnología											
Vida útil			3	3	3	3	3	3	3	3	3
Tasa de Depreciación			33,33%	33,33%	33,33%	33,33%	33,33%	33,33%	33,33%	33,33%	33,33%
Costo de Adquisición		40.000	40.000	40.000	40.000	50.000	50.000	50.000	60.000	60.000	60.000
Depreciación			13.333	13.333	13.333	16.667	16.667	16.667	20.000	20.000	20.000
Depreciación Acumulada			13.333	26.667	40.000	16.667	33.333	50.000	20.000	40.000	60.000
Valor en Libros	0,0	40.000	26.667	13.333	-	33.333	16.667	-	40.000	20.000	-
Muebles y enseres											
Costo de adquisición	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Depreciación	-	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Depreciación acumulada	-	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	6.000	12.000	18.000	24.000	30.000
Valor en libros	25.000	20.000	15.000	10.000	5.000	-	24.000	18.000	12.000	6.000	-
Total Depreciaciones	-	595.000	639.333	671.333	692.333	728.167	750.167	782.667	807.000	839.500	839.500
Activos acumulados	5.925.000	5.965.000	6.275.000	6.595.000	6.805.000	7.140.000	7.355.000	7.680.000	7.900.000	8.225.000	8.225.000
Depreciación acumulada	-	595.000	1.234.333	1.905.667	2.598.000	3.286.167	4.011.333	4.794.000	5.551.000	6.390.500	7.230.000

Tabla II. Inversiones y depreciaciones

Materiales	Requerimientos Kg/m3	Costo Kg	Costo \$/m3
Fibra de Palma (Kg/M3)	962,4	80	80.842
Resina (kg/M3)	341,7	1.950	666.316
Catalizador	-	Incluido en resina	
Subtotal			747.158

Tabla III. Presupuesto de ingresos y egresos proyectado

Años	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
INVERSIONES	5.925.000	40.000	310.000	320.000	210.000	335.000	215.000	325.000	220.000	325.000	-
IPC			5%								
Costos de Personal											
Gerente	3.000	42.000	44.100	46.305	48.620	51.051	53.604	56.284	59.098	62.053	65.156
Ingeniero de Planta		24.000	25.200	26.460	27.783	29.172	30.631	32.162	33.770	35.459	37.232
Técnico Planta		12.000	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600
Técnico Planta		12.000	12.600	13.230	13.892	14.586	15.315	16.081	16.885	17.729	18.616
Auxiliar administrativo		12.000	12.600	13.230	13.892	14.586	15.315	16.081	16.885	17.729	18.616
Operario		9.800	10.290	10.805	11.345	11.912	12.508	13.133	13.790	14.479	15.203
Operario		9.800	10.290	10.805	11.345	11.912	12.508	13.133	13.790	14.479	15.203
Factor prestacional		69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%
Mano de obra con prestaciones	12.000	205.603	215.883	225.612	235.828	246.554	257.816	269.642	282.059	295.097	308.786
Costos Fijos de Producción											
Vigilancia seguridad y		3.000	3.150	3.308	3.473	3.647	3.829	4.020	4.221	4.432	4.654
Materiales suministros y		3.600	3.780	3.969	4.167	4.376	4.595	4.824	5.066	5.319	5.319
Mantenimiento		5.175	5.434	5.705	5.991	6.290	6.605	6.935	7.282	7.646	8.028
Energía		15.000	15.750	16.538	17.364	18.233	19.144	20.101	21.107	22.162	23.270
Acueducto		3.600	3.780	3.969	4.167	4.376	4.595	4.824	5.066	5.319	5.585
Telecomunicaciones		6.000	6.300	6.615	6.946	7.293	7.658	8.041	8.443	8.865	9.308
Internet		8.640	9.072	9.526	10.002	10.502	11.027	11.578	12.157	12.765	13.403
Arrendamientos		60.000	63.000	66.150	69.458	72.930	76.577	80.406	84.426	88.647	93.080
Viáticos	2.000	2.100	2.205	2.315	2.431	2.553	2.680	2.814	2.955	3.103	3.258
Publicidad propaganda y	1.000	1.050	1.103	1.158	1.216	1.276	1.340	1.407	1.477	1.551	1.629
Impresos	2.000	2.100	2.205	2.315	2.431	2.553	2.680	2.814	2.955	3.103	3.258
Fotocopias	300	315	331	347	365	383	402	422	443	465	489

Años	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Comunicación y transporte	500	1.035	1.087	1.141	1.198	1.258	1.321	1.387	1.456	1.529	1.606
Seguros generales		2.000	2.100	2.205	2.315	2.431	2.553	2.680	2.814	2.955	3.103
Lubricantes y combustibles		12.420	13.041	13.693	14.378	15.097	15.851	16.644	17.476	8.350	19.267
Elementos de aseo		1.200	1.260	1.323	1.389	1.459	1.532	1.608	1.689	1.773	1.862
Relaciones publicas	1.000	2.070	2.174	2.282	2.396	2.516	2.642	2.774	2.913	3.058	3.211
Gastos Generales	1.000	2.070	2.174	2.282	2.396	2.516	2.642	2.774	2.913	3.058	3.211
Subtotal Costos Fijos de Producción	7.800	131.375	137.944	144.841	152.083	159.687	167.671	176.055	184.858	194.101	203.540
Costos Variables de producción											
Costo de fibra de palma (\$/m3)		81	85	89	94	98	103	108	114	119	125
Costo de Resina y Catalizador (\$/m3)		666	700	735	771	810	850	893	938	984	1.034
Capacidad Instalada (tableros/día)		400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
% Utilización		50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
Energía Requerida KW/mes		20.000	22.000	24.000	26.000	28.000	30.000	32.000	34.000	36.000	38.000
Fibra palma de aceite		167.458	193.414	221.546	252.009	84.964	320.585	359.055	400.570	445.340	493.585
Resina		1.380.226	1.594.161	1.826.039	2.077.120	2.348.743	2.642.336	2.959.416	3.301.598	3.670.601	4.068.249
Energía		120.000	132.000	144.000	156.000	168.000	180.000	192.000	204.000	216.000	228.000
Subtotal Costos Variables		1.667.684	1.919.575	2.191.586	2.485.129	2.801.707	3.142.920	3.510.471	3.906.169	4.331.941	4.789.834
Costo de Ventas (10% de Ventas)		336.400	388.542	45.057	506.253	572.455	644.012	721.293	804.693	894.629	991.547
Depreciación		595.000	639.333	671.333	692.333	728.167	750.167	782.667	807.000	839.500	839.500
Gastos de Administración											
Honorarios y Servicios Técnicos	10.000	60.000	63.000	66.150	69.458	72.930	76.577	80.406	84.426	88.647	93.080
Gastos Generales	2.000	30.000	31.500	33.075	34.729	36.465	38.288	40.203	42.213	44.324	46.540
Impuestos, Tasas y Contribuciones		150.920	158.466	166.389	174.709	183.444	192.616	202.247	212.360	222.978	234.126

