



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE BIOMASAS
ECUATORIANAS EN DIFERENTES ESTADOS DE
COMPACTACIÓN Y HUMEDAD CON VISTAS A SU USO COMO
AISLAMIENTO EN VIVIENDAS”**

AUTOR: HUILCAPI SALAZAR, KARINA STEPHANIE

DIRECTOR: CARRIÓN MATAMOROS, LUIS MIGUEL

SANGOLQUI

2016

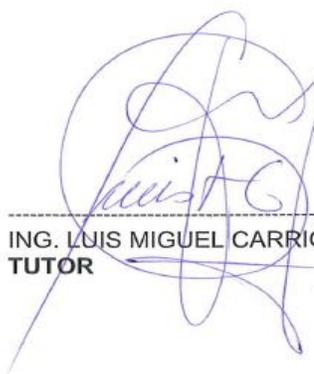


**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE BIOMASAS ECUATORIANAS EN DIFERENTES ESTADOS DE COMPACTACIÓN Y HUMEDAD CON VISTAS A SU USO COMO AISLAMIENTO EN VIVIENDAS.**” realizado por la señorita **KARINA STEPHANIE HUILCAPI SALAZAR** ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita **KARINA STEPHANIE HUILCAPI SALAZAR** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 4 de Abril del 2016



ING. LUIS MIGUEL CARRIÓN MATAMOROS
TUTOR



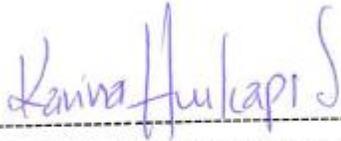
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **KARINA STEPHANIE HUILCAPI SALAZAR**, con cédula de ciudadanía N° 171998584-6 declaro que este trabajo de titulación “**CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE BIOMASAS ECUATORIANAS EN DIFERENTES ESTADOS DE COMPACTACIÓN Y HUMEDAD CON VISTAS A SU USO COMO AISLAMIENTO EN VIVIENDAS.**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui, 4 de Abril del 2016



KARINA HUILCAPI SALAZAR
171998584-6

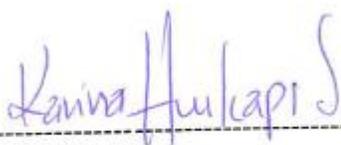


**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **KARINA STEPHANIE HUILCAPI SALAZAR**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE BIOMASAS ECUATORIANAS EN DIFERENTES ESTADOS DE COMPACTACIÓN Y HUMEDAD CON VISTAS A SU USO COMO AISLAMIENTO EN VIVIENDAS.**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolqui, 4 de Abril del 2016



KARINA HUILCAPI SALAZAR
171998584-6

DEDICATORIA

Este logro lo dedico a mi motor en la vida, mi familia, son mi fuerza y soporte para enfrentar los duros momentos que se han presentado.

Cada meta conquistada es también la suya

Karina Huilcapi Salazar

AGRADECIMIENTO

Principalmente a mi familia todos aportaron para el logro de esta meta.

Rosario y Luis su apoyo y guía incondicional en todo momento.

Jennifer Huilcapi a pesar de la distancia su aporte fue valioso.

Carolina Huilcapi su ayuda en el proceso de construcción fue precisa.

Jonatan Aizaga gracias mi querido amigo sin tu ayuda no lo hubiera conseguido.

André Páez tu experiencia y apoyo en el proceso de esta investigación me dio fuerzas.

PhD. Leonardo Goyos su desinteresada colaboración y guía en todo en el desarrollo de este proyecto de titulación.

Ing. Alexander Ibarra por su ayuda en los precisos momentos.

Ing. Luis Carrión Matamoros fue imprescindible su colaboración en los momentos más complicados.

Karina Huilcapi Salazar

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xx
RESUMEN	xxvi
ABSTRACT	xxvii
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 GENERAL	4
1.3.2 ESPECÍFICOS	4
1.4 ALCANCE.....	5
1.5 JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO 2	7
SOSTENIBILIDAD EN LA EDIFICACIÓN	7
2. SOSTENIBILIDAD.....	7
2.1 ARQUITECTURA TRADICIONAL EN EL ECUADOR.....	8

2.1.1	ARQUITECTURA TRADICIONAL EN LA REGIÓN INTERANDINA	8
2.1.2	ARQUITECTURA TRADICIONAL EN LA REGIÓN COSTA.....	9
2.1.3	ARQUITECTURA TRADICIONAL EN LA REGIÓN AMAZÓNICA	11
2.2	CONTAMINACIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	11
2.2.1	HUELLA ECOLÓGICA.....	12
2.2.2	HUELLA DE CARBONO.....	14
2.2.3	HUELLA DE CARBONO EN SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.....	15
2.2.4	HUELLA DE CARBONO EN SECTOR AGRÍCOLA.....	16
2.3	BIOMASA COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE	17
2.4	BIOMASA	18
2.5	COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA	18
2.6	CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA	19
2.6.1	BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA.....	21
2.6.2	APLICACIONES DE LA BIOMASA.....	22
	CAPÍTULO 3.....	23
	AISLANTE TÉRMICO	23
3.	DEFINICIONES	23
3.1	AISLANTE TÉRMICO EN LA CONSTRUCCIÓN	23
3.1.1	APLICACIONES DEL AISLAMIENTO TÉRMICO.....	24
3.2	CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS BÁSICAS	25
3.2.1	DENSIDAD	25
3.2.2	CONDUCTIVIDAD Y RESISTIVIDAD.....	25
3.2.3	CONDUCTANCIA Y RESISTENCIA	26
3.3	CLASIFICACIÓN DE LOS AISLANTES TÉRMICOS	27
3.4	AISLAMIENTO TÉRMICO DE ORIGEN NATURAL.....	28
3.4.1	LANA DE OVEJA.....	28

3.4.2	CÁÑAMO.....	29
3.4.2.1	PROPIEDADES.....	30
3.4.3	FIBRA DE LINO.....	31
3.4.3.1	PROPIEDADES.....	32
3.4.4	FIBRA DE MADERA.....	32
3.4.4.1	PROPIEDADES.....	33
3.4.5	CELULOSA.....	33
3.4.5.1	PROPIEDADES.....	34
3.4.6	CORCHO.....	35
3.4.6.1	PROPIEDADES.....	35
3.4.7	ALGODÓN.....	36
3.4.7.1	PROPIEDADES.....	36
3.4.8	LANA DE VIDRIO.....	37
3.4.8.1	PROPIEDADES.....	38
3.4.9	FIBRA DE COCO.....	38
3.4.9.1	PROPIEDADES.....	38
	CAPÍTULO 4.....	39
	TABLERO AGLOMERADO.....	39
4.	AGLOMERADO.....	39
4.1	MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS.....	39
4.2	RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS.....	40
4.2.1	CASCARILLA DE CACAO.....	42
4.2.1.1	LOCALIZACIÓN, PRODUCCIÓN Y RESIDUOS.....	43
4.2.1.2	APLICACIÓN DE LA CASCARILLA DE CACAO.....	44
4.2.2	CÁSCARA DE CAFÉ.....	45
4.2.2.1	LOCALIZACIÓN, PRODUCCIÓN Y RESIDUOS.....	46

4.2.2.2	APLICACIÓN DE LA CÁSCARA DE CAFÉ	47
4.2.3	TUSA DE MAÍZ.....	48
4.2.3.1	LOCALIZACIÓN, PRODUCCIÓN Y RESIDUOS.....	49
4.2.3.2	APLICACIÓN DE LA TUSA DE MAÍZ.....	50
4.2.4	AGLOMERANTES.....	51
4.2.5	CLASIFICACIÓN DE LOS AGLOMERANTES.....	51
4.2.5.1	POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS.....	51
4.2.5.2	POLÍMEROS TERMOESTABLES	52
4.2.5.2.1	RESINAS AMINOPLÁSTICAS	52
4.2.5.2.2	RESINAS UREICAS (UF)	53
4.2.5.2.3	RESINAS MELAMÍNICAS.....	53
4.2.5.2.4	RESINAS FENÓLICAS	53
4.2.5.3	ADHESIVOS NATURALES	54
4.2.5.3.1	ADHESIVOS DE ALMIDÓN.....	54
4.2.5.3.2	ADHESIVOS A PARTIR DE LA SOJA.....	54
4.2.5.3.3	DEXTRINAS	55
4.2.5.3.4	TERPENOS	55
4.2.5.3.5	COLOFONIA (ROSIN).....	56
4.2.6	CLASIFICACIÓN DE AGLOMERADOS	56
4.2.6.1	TABLEROS CONTRACHAPADOS	56
4.2.6.2	TABLEROS DE PARTÍCULAS	56
4.2.6.3	TABLEROS DE FIBRAS.....	56
4.2.7	PROCESO DE ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS	57
4.2.7.1	PREPARACIÓN DE PARTÍCULAS	57
4.2.7.2	SECADO DE PARTÍCULAS.....	57
4.2.7.3	SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO	58

4.2.7.4	MEZCLADO DE PARTÍCULAS Y ADHESIVO	58
4.2.7.5	FORMACIÓN DEL COLCHÓN.....	58
4.2.7.6	PREPENSADO Y PENSADO	58
4.2.7.7	SECADO DE AGLOMERADO	59
4.2.7.8	REACONDICIONAMIENTO.....	59
4.2.7.9	ACABADO.....	60
	CAPÍTULO 5.....	61
	METODOLOGÍA	61
5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	61
5.1	MATERIALES	62
5.1.1	PREPARACIÓN DE LA BIOMASA.....	63
5.1.1.1	PROCESO DE SECADO	63
5.1.1.2	PROCESO DE TRITURADO	63
5.1.2	SELECCIÓN DEL AGLOMERANTE.....	63
5.1.2.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL AGLOMERANTE.....	65
5.1.2.1.1	COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN	66
5.1.2.1.2	TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN	67
5.2	MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA.....	68
5.2.1	ANÁLISIS BROMATOLÓGICO	68
5.2.1.1	HUMEDAD	69
5.2.1.2	FIBRA.....	69
5.2.1.3	GRASA.....	69
5.2.1.4	PROTEÍNA.....	69
5.2.1.5	CENIZA	70
5.2.2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	70
5.3	MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DEL TABLERO AISLANTE.....	70

5.3.1	ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD.....	70
5.3.2	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	71
5.3.2.1	MÓDULO DE ROTURA.....	71
5.3.3	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA.....	71
5.3.3.1	ESFUERZO DE TRACCIÓN PARALELA A LA SUPERFICIE.....	72
5.3.4	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR.....	72
5.3.4.1	ESFUERZO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE.....	72
	CAPÍTULO 6.....	73
	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	73
6.	DISEÑO DEL TABLERO AISLANTE.....	73
6.1	VARIABLES.....	73
6.1.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	73
6.1.2	VARIABLES DEPENDIENTES.....	74
6.2	DIMENSIONES.....	74
6.3	MASA.....	75
6.4	VOLUMEN.....	75
6.5	DENSIDAD.....	76
6.6	COMBINACIÓN DE VARIABLES.....	77
6.6.1	BIOMASA Y AGLOMERANTE.....	77
6.6.2	AGLOMERANTE.....	78
6.6.3	TAMAÑO DE PARTÍCULAS.....	78
6.7	PARÁMETROS DE DISEÑO DEL TABLERO.....	79
6.7.1	RELACIÓN AGLOMERANTE - AGUA.....	80
6.7.1.1	ALMIDÓN DE YUCA - AGUA.....	80
6.7.1.2	PVA - AGUA.....	80
6.8	TÉCNICA DE AGLOMERACIÓN POR COMPACTACIÓN.....	81

6.8.1	AGLOMERACIÓN	81
6.8.2	MÉTODO POR COMPACTACIÓN.....	81
6.8.3	CICLO DE PRENSADO	82
6.9	TEMPERATURA Y TIEMPO DE SECADO	83
6.10	PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS TABLEROS	87
6.10.1	SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS.....	87
6.10.2	MEZCLADO DE PARTÍCULAS Y AGLOMERANTE	88
6.10.3	FORMACIÓN DEL TABLERO	92
6.10.4	PRENSADO	94
6.10.5	SECADO.....	95
6.10.6	DESMOLDE.....	95
	CAPÍTULO 7.....	96
	CARACTERIZACIÓN.....	96
7.	CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA Y TABLERO AGLOMERADO.....	96
7.1	CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA	96
7.1.1	HUMEDAD	96
7.1.2	FIBRA.....	98
7.1.3	GRASA	102
7.1.4	PROTEÍNA.....	106
7.1.5	CENIZA.....	112
7.1.6	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	113
7.2	CARACTERIZACIÓN DEL TABLERO AGLOMERADO	118
7.2.1	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	118
7.2.2	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	124
7.2.3	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA.....	127
7.2.4	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR.....	129

CAPÍTULO 8.....	132
CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	132
8. CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA Y TABLEROS AGLOMERADOS	132
8.1 CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA	132
8.1.1 HUMEDAD	132
8.1.2 FIBRA.....	133
8.1.3 GRASA	134
8.1.4 PROTEÍNA.....	134
8.1.5 CENIZA.....	135
8.1.6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	136
8.1.6.1 CASCARILLA DE CACAO	136
8.1.6.2 CÁSCARA DE CAFÉ	140
8.1.6.3 TUSA DE MAÍZ.....	142
8.2 CARACTERIZACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS	145
8.2.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	145
8.2.1.1 CÁSCARA DE CAFÉ	145
8.2.1.2 CASCARILLA DE CACAO	147
8.2.1.3 TUSA DE MAÍZ.....	150
8.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	152
8.2.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	154
8.2.3.1 TABLEROS AGLOMERADOS CON CÁSCARA DE CAFÉ.....	154
8.2.3.2 TABLEROS AGLOMERADOS CON CASCARILLA DE CACAO.....	155
8.2.3.3 TABLEROS AGLOMERADOS CON TUSA DE MAÍZ	156
8.2.4 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA.....	158
8.2.5 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR.....	162
8.2.5.1 CÁSCARA DE CAFÉ	162

8.2.5.2	CASCARILLA DE CACAO	163
8.2.5.3	TUSA DE MAÍZ.....	164
8.2.6	RESUMEN DE RESULTADOS	165
8.2.7	ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES.....	167
8.2.7.1	TAMAÑO DE PARTÍCULA EN TABLEROS CON CÁSCARA DE CAFÉ..	167
8.2.7.2	TAMAÑO DE PARTÍCULA EN TABLEROS CON CASCARILLA DE CACAO	169
8.2.7.3	TAMAÑO DE PARTÍCULA EN TABLEROS CON TUSA DE MAÍZ	171
8.2.7.4	ALMIDÓN DE YUCA EN TABLEROS CON CÁSCARA DE CAFÉ	173
8.2.7.5	ALMIDÓN DE YUCA EN TABLEROS CON CASCARILLA DE CACAO..	175
8.2.7.6	ALMIDÓN DE YUCA EN TABLEROS CON TUSA DE MAÍZ.....	177
8.2.7.7	PVA EN TABLEROS CON CÁSCARA DE CAFÉ.....	179
8.2.7.8	PVA EN TABLEROS CON CASCARILLA DE CACAO	181
8.2.7.9	PVA EN TABLEROS CON TUSA DE MAÍZ	183
8.2.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	185
8.2.8.1	TAMAÑO DE PARTÍCULA	185
8.2.8.2	PORCENTAJE DE ALMIDÓN DE YUCA.....	186
8.2.8.3	PORCENTAJE DE PVA	187
8.2.9	ANÁLISIS FINAL.....	187
	CAPÍTULO 9.....	182
	ANÁLISIS ECONÓMICO	182
9.	COSTOS DE DESARROLLO.....	182
9.1	MATERIA PRIMA.....	182
9.2	MATERIALES	183
9.3	COSTOS INDIRECTOS.....	184
9.4	COSTOS DE SERVICIOS	184

9.5	COSTOS DE MANO DE OBRA	185
9.6	COSTO TOTAL DE DESARROLLO	185
9.7	COSTO POR METRO CUADRADO	186
	CAPÍTULO 10.....	187
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	187
10.	CONCLUSIONES	187
10.1	RECOMENDACIONES.....	191
	BIBLIOGRAFÍA	192
	ANEXOS A.....	203
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	203
	ANEXOS B	213
	CÁLCULOS DE CONDUCTIVIDAD	213
	ANEXOS C	242
	PROBETAS PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA.....	242
	ANEXOS D.....	252
	ANEXOS E	259
	FICHA TÉCNICA PVA Y HORNO.....	259
	ANEXOS F.....	263
	DOSIFICACIÓN DE TABLEROS	263
	ANEXOS G.....	268
	DIMENSIONES DE LOS TABLEROS	268
	ANEXOS H.....	270
	PROPIEDADES DE AISLANTES	270
	ANEXOS I	270
	ESTRUCTURA DE VIVIENDAS MIDUVI.....	273

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Emisiones de CO_2 de una vivienda tipo de 100 m ²	14
Tabla 2 Estados Típicos de la Biomasa.....	19
Tabla 3 Composición de Biomasa Residual Agrícola.....	38
Tabla 4 Culvito de Cacao.....	40
Tabla 5 Localización, Producción y Residuos del Cultivo de Cacao.....	41
Tabla 6 Residuos del Cultivo del Cacao	42
Tabla 7 Cultivo de Café	43
Tabla 8 Localización, Producción y Residuos del Cultivo de Café	44
Tabla 9 Residuos del Cultivo del Café.....	44
Tabla 10 Cultivo de Maíz	46
Tabla 11 Residuos del Cultivo del Maíz	47
Tabla 12 Localización, Producción y Residuos del Cultivo del Maíz	47
Tabla 13 Selección del Aglomerante de Origen Natural.....	61
Tabla 14 Selección del Aglomerante de Origen Sintético	61
Tabla 15 Rating de Satisfacción para cada alternativa	61
Tabla 16 Cálculo de la ponderacion de alternativa de origen natural	62
Tabla 17 Cálculo de la ponderacion de alternativa de origen sintético.....	62
Tabla 18 Propiedades de las moléculas del almidón	63
Tabla 19 Porcentaje de amilosa de varios tipos de almidón	63
Tabla 20 Composición química de Almidones	63
Tabla 21 Temperatura de Gelatinización de Almidones	64
Tabla 22 Dimensiones del Tablero Aislante	70
Tabla 23 Masa del Tablero según el tipo de Biomasa	71
Tabla 24 Densidad del Tablero según el tipo de Biomasa	72
Tabla 25 Porcentaje de Relación con la densidad de referencia	73
Tabla 26 Porcentaje de Biomasa y Aglomerante	73
Tabla 27 Porcentaje de Aglomerante Natural y Sintético	74
Tabla 28 Porcentaje de Partículas de Biomasa	74
Tabla 29 Combinación de Variables	75

Tabla 30 Relación de almidón de yuca y agua	76
Tabla 31 Ciclo de prensado	78
Tabla 32 Relación de Agua-Aglomerante.....	84
Tabla 33 Características del Molde	88
Tabla 34 Cálculo del Porcentaje de Humedad	127
Tabla 35 Cálculo del Porcentaje de Fibra	127
Tabla 36 Cálculo del Porcentaje de Grasa	128
Tabla 37 Cálculo del Porcentaje de Proteína	129
Tabla 38 Cálculo del Porcentaje de Ceniza	130
Tabla 39 Pesos Retenidos del Análisis de la Cascarilla de Cacao	130
Tabla 40 Criterio de Aceptación	131
Tabla 41 Porcentaje Retenido en cada Tamiz	131
Tabla 42 Pesos Retenidos del Análisis de la Cáscara de Café.....	133
Tabla 43 Criterio de Aceptación	133
Tabla 44 Porcentaje Retenido en cada Tamiz	134
Tabla 45 Pesos Retenidos del Análisis de la Tusa de Maíz	135
Tabla 46 Criterio de Aceptación	135
Tabla 47 Porcentaje Retenido en cada Tamiz	136
Tabla 48 Tamaño de Partículas	144
Tabla 49 Conductividad Térmica de Tableros con cáscara de café	145
Tabla 50 Identificación de Tableros.....	146
Tabla 51 Conductividad Térmica de Tableros con cascarilla de cacao	148
Tabla 52 Identificación de Tableros.....	149
Tabla 53 Conductividad Térmica de Tableros conTusa de Maíz.....	150
Tabla 54 Identificación de Tableros.....	151
Tabla 55 Módulo de Rotura para tableros con cáscara de café.....	155
Tabla 56 Módulo de Rotura para tableros con cascarilla de cacao	156
Tabla 57 Módulo de Rotura para tableros con tusa de maíz	157
Tabla 58 Resistencia a la Tracción Paralela de tableros con Biomasa.....	159
Tabla 59 Resistencia a la Traccion Perpendicular de Tableros con cáscara de café.....	162
Tabla 60 Resistencia a la Traccion Perpendicular de Tableros con cascarilla de cacao	163
Tabla 61 Resistencia a la Traccion Perpendicular de Tableros con tusa de maíz	164
Tabla 62 Resultados de Ensayos Aplicados.....	165

Tabla 63 Porosidad de los Tableros	166
Tabla 64 Costo de Materia Prima.....	182
Tabla 65 Costo de Materia Prima.....	182
Tabla 66 Costos del Aglomerante	183
Tabla 67 Costos de Materiales	183
Tabla 68 Costos Indirectos.....	184
Tabla 69 Costos de Servicios	184
Tabla 70 Costo de Mano de Obra	185
Tabla 71 Costo Total de Desarrollo	185
Tabla 72 Costo del Material Aislante por metro cuadrado	186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Método antiguo de construcción en el Chimborazo	9
Figura 2. Vivienda Tradicional Manabita.....	10
Figura 3. Vivienda Tradicional Manabita.....	10
Figura 4. Vivienda Tradicional de Napo.....	11
Figura 5. Importancia de los Materiales a través del tiempo	12
Figura 6. Huella Ecológica y Biocapacidad del Ecuador 2008 y 2009.....	13
Figura 7. La composición de la Huella Ecológica en Ecuador y Quito, 2006	14
Figura 8. Emisiones de CO ₂ del Ecuador.....	15
Figura 9. Aporte Sectorial de Emisiones de GEI en Ecuador.....	17
Figura 10. Principales rutas de transformación de la biomasa en energía.	18
Figura 11. Composición General de la Biomasa.....	19
Figura 12. Clasificación de la Biomasa	20
Figura 13. Zonas de Pérdida de Temperatura	24
Figura 14. Función del Aislamiento Térmico en una Casa.....	24
Figura 15. Conductividad Térmica vs Densidad.....	25
Figura 16. Clasificación de los aislantes según su origen.....	27
Figura 17. Elaboración de la Lana de Oveja.....	28
Figura 18. Aislamiento Térmico de Lana de Oveja.....	29
Figura 19. Planta, Fibra y Manta de Cáñamo	30
Figura 20. Aislante Térmico de Cáñamo	31
Figura 21. Fibra de Lino	31
Figura 22. Aislante Térmico de Fibra de Lino.....	32
Figura 23. Aislamiento Térmico de Fibra de Madera.....	33
Figura 24. Elaboración de la Celulosa	34
Figura 25. Aislamiento Térmico de Celulosa	34
Figura 26. Aislamiento Térmico de Corcho	35
Figura 27. Aislamiento Térmico de Celulosa en Techos.....	36
Figura 28. Aislante Térmico de Algodón	36
Figura 29. Aislamientos Térmicos de Algodón en Techos.....	37
Figura 30. Aislante Térmico de Lana de Vidrio	37

Figura 31. Aislamiento Térmico de Fibra de Coco.....	38
Figura 32. Desgrane del Fruto del Cacao.....	42
Figura 33. Partes del Fruto del Café	45
Figura 34. Tusa de Maíz	48
Figura 35. Esquema del proceso de fabricación de los tableros de partículas	60
Figura 36. Ciclo de Prensado	83
Figura 37. Flujograma del Proceso de Construcción	86
Figura 38. Etapas del Proceso de Elaboración	87
Figura 39. Procesos preliminares a la etapa de Separación	87
Figura 40. Separación de Partículas.....	88
Figura 41. Operaciones para la etapa del Mezclado	89
Figura 42. Pesaje de las muestras	89
Figura 43. Pesaje de las muestras	90
Figura 44. Preparación del Almidón.....	90
Figura 45. Preparación del Almidón de Yuca.....	90
Figura 46. Preparación del PVA.....	90
Figura 47. Etapa de Mezclado de la Biomasa con Almidón.....	91
Figura 48. Parte final del mezclado adicionando resina a la mezcla	91
Figura 49. Operaciones previas a la Formación del Tablero	92
Figura 50. Molde de Acero	92
Figura 51. Preparación del Molde.....	93
Figura 52. Formación del Tablero	94
Figura 53. Etapa de Prensado del Tablero	94
Figura 54. Etapa de Secado del Tablero	95
Figura 55. Desmolde del Tablero.....	95
Figura 56. Peso de las muestras	97
Figura 57. Estufa Shellab.....	97
Figura 58. Peso final de las muestras.....	97
Figura 59. Registro de pesos de cada muestra	98
Figura 60. Muestras en erlenmeyer.....	98
Figura 61. Muestras con ácido clorhídrico	98
Figura 62. Proceso de calentamiento de las muestras	99
Figura 63. Proceso de primer colado	99

Figura 64. Proceso de recolección de la fibra	99
Figura 65. Separación de la fibra del papel filtro.....	100
Figura 66. Fibra final con hidróxido de sodio.....	100
Figura 67. Segundo proceso de calentamiento de la fibra	101
Figura 68. Colado final	101
Figura 69. Secado de la muestra	102
Figura 70. Registro de pesos de la fibra seca.....	102
Figura 71. Equipo Soxhlet	103
Figura 72. Muestra para método Soxhlet.....	104
Figura 73. Registro de peso del matraz.....	104
Figura 74. Acetona en la muestra	105
Figura 75. Proceso de Sifoneo	105
Figura 76. Pesaje de Grasa.....	106
Figura 77. Muestra de Biomasa	106
Figura 78. Núcleos de ebullición	107
Figura 79. Catalizador kjeldahl.....	107
Figura 80. Ácido sulfúrico en el matraz.....	107
Figura 81. Calentamiento del matraz	108
Figura 82. Matraz kjeldahl sobre el digestor.....	108
Figura 83. Agua destilada	108
Figura 84. Proceso de Destilación	109
Figura 85. Dilución del contenido del matraz.....	109
Figura 86. Aparato de destilación	110
Figura 87. Muestra destilada.....	111
Figura 88. Titulación de las muestras	111
Figura 89. Peso del crisol.....	112
Figura 90. Crisol expuesto al calor	112
Figura 91. Crisol en Mufla.....	113
Figura 92. Selección de Tamiz.....	113
Figura 93. Registro del peso de la muestra	114
Figura 94. Torre de tamices	114
Figura 95. Muestra en torre de tamices.....	114
Figura 96. Vibrador mecánico	115

Figura 97. Separación de tamices	115
Figura 98. Registro de peso	116
Figura 99. Separación de partículas de Cacao	116
Figura 100. Separación de Partículas de Café	117
Figura 101. Separación de Partículas de Tusa de Maíz	117
Figura 102. Esquema del Aparato de Medición.....	118
Figura 103. Placa caliente.....	119
Figura 104. Placa Fría y su sistema de distribución.....	120
Figura 105. Reóstatos para la regulación de temperatura	120
Figura 106. Aparato de medición con tableros aglomerados.....	121
Figura 107. Tableros aglomerados en el aparato de medición.....	121
Figura 108. Encendido del sistema de refrigeración.....	122
Figura 109. Zonas de medida de temperatura	122
Figura 110. Poliestireno en el aparato de medición.....	123
Figura 111. Registro de Temperatura	123
Figura 112. Probetas para ensayo de resistencia a la Flexión.....	124
Figura 113. Máquina de Ensayos Universales	125
Figura 114. Ensayo de Flexión	125
Figura 115. Probeta de cáscara de café.....	126
Figura 116. Probeta de Cáscara de cacao y Tusa Maíz.....	126
Figura 117. Dimensiones de la Probeta para tracción paralela	127
Figura 118. Probetas para Ensayo de Tracción Paralela.....	127
Figura 119. Probetas para ensayo de Tracción Paralela.....	128
Figura 120. Falla a Tracción Paralela	128
Figura 121. Probeta para Ensayo de Tracción Perpendicular	129
Figura 122. Construcción de Espécimen	129
Figura 123. Aplicación de adhesivo.....	130
Figura 124. Colocación de Ganchos	130
Figura 125. Probetas en la máquina de ensayos universales.....	131
Figura 126. Aplicación de la carga para la separación	131
Figura 127. Porcentaje de Peso Retenido de Cascarilla de Cacao	139
Figura 128. Porcentaje de Peso Retenido de Cáscara de café.....	141
Figura 129. Porcentaje de Peso Retenido de la Tusa de Maíz	143

Figura 130. Conductividad Térmica de Aglomerados con cáscara de Café	146
Figura 131. Conductividad Térmica - Densidad. Cáscara de Café.....	147
Figura 132. Conductividad Térmica de Aglomerados con Cascarilla de Cacao.....	148
Figura 133. Conductividad Térmica - Densidad. Cascarilla de Cacao	150
Figura 134. Conductividad Térmica de Aglomerados con Tusa de Maíz.....	151
Figura 135. Conductividad Térmica - Densidad. Tusa de Maíz	152
Figura 136. Conductividad Térmica de Tableros Aglomerados de Biomasa	153
Figura 137. Comparación con Aislantes de Cascarilla de Arroz	153
Figura 138. Módulo de Rotura de Tableros con Cáscara de Café	155
Figura 139. Módulo de Rotura de Tableros con Cascarilla de Cacao.....	156
Figura 140. MOR para Tableros a partir de Tusa de Maíz	157
Figura 141. Comparación de Resultados	158
Figura 142. Resistencia a la Tracción Paralela Cáscara de Café.	160
Figura 143. Resistencia a la Tracción Paralela Cascarilla de Cacao.....	160
Figura 144. Resistencia a la Tracción Paralela Tusa de Maíz.	161
Figura 145. Comparación de la Resistencia a la Tracción Paralela	161
Figura 146. Resistencia a la Tracción Perpendicular Cáscara de Café.	163
Figura 147. Resistencia a la Tracción Perpendicular Cascarilla de Cacao.	164
Figura 148. Resistencia a la Tracción Perpendicular Tusa de Maíz	165
Figura 149. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia.....	167
Figura 150. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia.....	168
Figura 151. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia.....	169
Figura 152. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia.....	170
Figura 153. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia.....	171
Figura 154. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia.....	172
Figura 155. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia	173
Figura 156. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia	174
Figura 157. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia	175
Figura 158. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia	176
Figura 159. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia	177
Figura 160. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia	178
Figura 161. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia.....	179
Figura 162. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia.....	180

Figura 163. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia.....	181
Figura 164. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia.....	182
Figura 165. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia.....	183
Figura 166. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia.....	184

RESUMEN

Este proyecto de investigación plantea una solución constructiva para materiales aislantes a partir de partículas de biomasa residual agrícola (cáscara de café, cascarilla de cacao y tusa de maíz) con aglomerante de origen natural y sintético (almidón de yuca y Polivinil de Acetato). El diseño del modelo constructivo plantea varias dosificaciones en relación al peso de almidón de yuca y PVA (50/50 y 70/30) y el tamaño de partícula (gruesa y media) con el propósito de generar valor agregado a este tipo de residuos y plantear una acción de mitigación ambiental para reducir la contaminación por residuos agrícolas y materiales convencionales presentes en la construcción. La caracterización térmica de la biomasa residual se la realiza por medio de la fabricación de tableros aglomerados de partículas para posteriormente determinar la influencia de los parámetros de diseño del tablero mediante la evaluación de Conductividad Térmica, Resistencia a la Flexión, Resistencia a la Tracción Paralela a la Superficie y Resistencia a la Tracción Perpendicular a la superficie de los tableros construidos. Los métodos de ensayo para el tablero se los realizó de acuerdo a la Norma ASTM C 209-98 Standard Test Methods for Cellulosic Fiber Insulating Board (Métodos de prueba estándar para tablero celulósico aislante) y posteriormente se determinó su rendimiento para garantizar su aplicación como aislamiento térmico en viviendas de bajos recursos.

PALABRAS CLAVES:

- **AISLAMIENTO TÉRMICO**
- **PARTÍCULAS**
- **ALMIDÓN DE YUCA**
- **BIOMASA RESIDUAL**
- **CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

ABSTRACT

This research project plants a constructive solution for insulation materials from agricultural biomass particles (coffee shell, cacao shell, and corn cob) with a binder of natural and synthetic origin (yucca starch and polyvinyl acetate). The design of the construction model plants various amounts in relation to the weight of the yucca starch and PVA (50/50, and 70/30) and the size of the particle (thick and regular) with the purpose of generating added value to this type of residues and to plant an environmental mitigation action to reduce agricultural residue contamination and conventional materials present in construction. The thermal characterization of the residual biomass is performed via manufacturing of boards bound with particles to later determine the influence of the design parameters of the board by way of the Thermal Conductivity, Flex Resistance, Resistance to Traction Parallel to the Surface, and Resistance to the Traction Perpendicular to the Surface of the manufactured boards. The trial methods for the board were performed in accordance to Norm ASTM C 209-98 Standard Test Methods for Cellulosic Fiber Insulating Boards) and their performance was later determined to guarantee their application as thermal insulator in low-income housing

KEYWORDS:

- **THERMAL INSULATOR**
- **PARTICLE**
- **YUCCA STARCH**
- **RESIDUAL BIOMASS**
- **SISTAINABLE CONSTRUCTION**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Organizaciones dedicadas a evitar el desperdicio de los recursos naturales y la contaminación del medio ambiente como Green Building en Chile y el US Green Building Council, que a través del sistema de evaluación de edificios verdes LEED (Leadership in Energy and Environmental Design - Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), identifican al sector de la construcción como el responsable de 30% al 40% del uso de la energía, el 30% del consumo de materias primas, el 20% del uso del agua, del 30% al 40% de las emisiones de CO₂ y de la producción de desperdicios sólidos, el 20% del uso de efluentes y un 10% del uso del suelo. (Edificios Verdes, Green Building en Chile, 2009). Estos datos son indicadores suficientes para impulsar investigaciones orientadas por el movimiento de la construcción sostenible a disminuir los efectos que produce.

Esto impulsa un cambio en la mentalidad del sector de la construcción, con la finalidad de potenciar el reciclaje, re-uso y recuperación de materiales frente a la tendencia tradicional de la extracción de materias naturales. De igual manera fomentar la utilización de procesos constructivos basados en productos renovables. La sostenibilidad está relacionada a los recursos naturales disponibles en conjunto con los saberes tradicionales.

Ecuador es un país agrícola, en consecuencia, un productor de biomasa que proviene de los desechos de los cultivos agrícolas, los mismos son fuente de

materiales orgánicos que pueden suplir a los materiales aislantes de origen sintético con menor costo y huella ecológica, como han logrado demostrar las comunidades autóctonas de las zonas de clima extremo del Ecuador. Es así que la caña guadúa y la tierra empañetada conocida popularmente como el quinche, están presentes en todos los períodos de nuestra historia ecuatoriana, desde lo precolombino hasta nuestros días, y han resistido siglos pese a dos circunstancias avasalladoras: la colonización española y el advenimiento del Hormigón armado. (Camino, 2012)

El desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento energético de la biomasa aplicadas en diferentes campos como la energía renovable y procesos industriales, se ha desarrollado desde hace varios años en Europa, Estados Unidos y Latinoamérica, destacándose el caso de Brasil y Uruguay, países que cuentan con modelos de gestión que merecen particular atención.

Desde la óptica de desarrollo sostenible, actualmente el Ecuador apunta a la diversificación de la matriz energética con la incorporación de energías renovables, entre ellas, aquella proveniente de la biomasa, con la finalidad de reemplazar el uso de combustibles fósiles altamente contaminantes y garantizar su autonomía energética.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se han realizado las siguientes investigaciones sobre el desarrollo de aislantes térmicos elaborados con biomasa:

- Investigación y Desarrollo de aislantes térmicos naturales basados en residuos de biomasa para su aplicación en la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones en América Latina, (Velasco Luis; Goyos Leonardo; Nicolás Páez; Carlos Naranjo, 2014); fruto de esta investigación fue la elaboración de:
 - Bloques aislantes: la experimentación en torno a compuestos de biomasa y cemento en bloques se ha demostrado prometedora en cuanto a su conductividad térmica en elementos compuestos por hasta el 80% de biomasa, obteniéndose aislamientos térmicos que podrían reducir a un 25% la transmisión de calor a través de los cerramientos de tapial o bloques de hormigón.

- Ladrillos BTC aislantes: los BTC o bloques de tierra comprimida son bloques de tierra estabilizada con cal o cemento sometidos a presión y curado al aire. Las biomasa potencialmente más adecuadas para el compuesto tierra + biomasa son aquellas largas y resistentes a esfuerzos de tracción, con un cierto grosor de forma que exista en las fibras cierta cantidad de aire encapsulado como ocurre el pajonal, el sigse, el bagazo, el raquis de banano o la totora.
- Paneles Aislantes: los primeros ensayos realizados con una prensa de acero expuesta a la radiación solar demuestran que la adición de presión y calor mejora la aglomeración del panel y reduce las necesidades de aglomerante. La presencia de hongos y el ataque de insectos denota que será imprescindible en zonas templadas o cálidas la adición algún producto natural que preserve la biomasa e incremente la durabilidad de los paneles.
- Desarrollo Experimental de un Aislante Térmico utilizando cascarilla de arroz y aglutinantes naturales en planchas rígidas (Quezada & Vásquez , 2012), presentando resultados favorables para su implementación (paredes-techos),.
- Análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de hormigón como aislantes térmicos basados en la biomasa de la cascarilla de cacao apto para construcción en edificaciones (Carrera Hidalgo , 2015), en el cual se realizó prototipos de bloques de hormigón con diferentes concentraciones de biomasa seca los cuales han sido sometidos a pruebas de laboratorio para evidenciar sus mejores características mecánicas y físicas de los cuales se obtuvieron satisfactorios resultados, la conductividad de estos materiales es de 0.0317 (W/°K.m).

Tomando en cuenta estos estudios es posible desarrollar la idea de construir un material compuesto aislante a base de biomasa (partículas de cáscara de café, cascarilla de cacao y tusa de maíz) con el propósito generar soluciones frente a la contaminación por los materiales convencionales y los residuos agrícolas.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Desde la óptica del desarrollo sostenible, actualmente el Ecuador apunta a la diversificación de la matriz energética con la incorporación de energías renovables; sin embargo, el país no tiene las suficientes capacidades y el conocimiento para poder implementar mecanismos de aprovechamiento, reutilización y uso sustentable de la biomasa, por lo que no se ha desarrollado la caracterización de biomasa residual agrícola con aplicaciones para la fabricación de materiales aislantes, limitando las posibilidades de encontrar el valor agregado de este tipo de residuos. La falta de iniciativas de investigación sobre el tratamiento de biomasa para generar materiales de construcción disminuye las oportunidades de mitigación ambiental en nuestro país.

La contaminación ambiental provocada por el sector agrícola en el Ecuador (210 millones de toneladas de CO₂-eq, Ministerio del Medio Ambiente, 2012) es una de las mayores fuentes de emisión de gases de efecto invernadero. Dentro de las actividades que generan dicha contaminación es la producción de biomasa residual agrícola que carece de un proceso de aprovechamiento y recibe una disposición final inapropiada (quema o abandono).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Realizar la caracterización térmica de biomásas ecuatorianas en diferentes estados de compactación y humedad con vistas a su uso como aislamiento en vivienda.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Establecer las características de las biomásas seleccionadas (cáscara de café, cascarilla de cacao y tusa de maíz).

- Definir los parámetros y limitaciones del uso de la biomasa en la elaboración de tableros aglomerados.
- Determinar los parámetros de elaboración del modelo constructivo.

1.4 ALCANCE

El desarrollo del proyecto parte de la investigación de las tres biomásas seleccionadas, identificando sus características y viabilidad para la elaboración de tableros aglomerados.

Realizar el análisis bromatológico y granulométrico de las tres biomásas.

Definir las variables dentro del proceso de construcción.

Construir los tableros aglomerados usando los parámetros establecidos.

Calcular las propiedades del tablero aglomerado mediante la metodología establecida en la Norma ASTM C 209-98 Standard Test Methods for Cellulosic Fiber Insulating Board.

Analizar los resultados obtenidos de los ensayos aplicados para analizar su viabilidad en cuanto a la aplicación como material aislante.

Realizar un estudio económico para evaluar su competitividad en el mercado.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El país cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas de manejo de biomasa, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de efecto invernadero. El presente proyecto puede incorporarse como un mecanismo de desarrollo limpio para la elaboración de materiales aislantes a partir de residuos de biomasa. Esto representa un negocio más atractivo para las asociaciones de agricultores y ganaderos que deseen iniciar actividades de éste tipo, y para el Ecuador representaría un importante avance en el desarrollo de su modelo nacional de sostenibilidad.

La necesidad de viviendas de bajo costo con materiales amigables al medio ambiente nace en base al crecimiento demográfico que experimenta nuestro país y la

poca capacidad de poder adquisitivo y sustenta la idea de considerar a la biomasa como materia prima para la fabricación de aislantes térmicos.

La Subsecretaría de Cambio Climático ha identificado como una necesidad la implementación de medidas de mitigación del cambio climático en el sector agrícola y ganadero, y es en el contexto del manejo de residuos agrícolas en donde se abre una ventana de oportunidad para mitigar gases de efecto invernadero (GEI) y promover el uso de materiales de origen natural generando beneficios múltiples a las comunidades rurales, por medio de iniciativas como la generación materiales compuestos a partir de biomasa.

El proyecto se alinea con el Plan Nacional del Buen Vivir, en su Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global. Y al lineamiento 7.10.: Implementar medidas de Mitigación y Adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad económica y ambiental con énfasis en grupos de atención prioritaria. Además en el inciso b: Implementar programas de prevención, Mitigación y Adaptación al cambio climático, así como de evaluación de impacto, vulnerabilidad y riesgo en el territorio para los diferentes sectores productivos y asentamientos humanos, con énfasis en los sectores priorizados, los grupos de atención prioritaria y los ecosistemas frágiles.

El aporte de esta investigación es la propuesta de un nuevo proceso de manejo de los desechos de los cultivos de maíz, café y cacao, la misma es de vital importancia para la continuación de las actividades y estudios de la maestría de energías renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE cuya misión es fomentar los usos de la biomasa y la implementación de los proyectos de cogeneración a nivel nacional, a través de la formulación y aplicación de proyectos que optimicen su uso en diferentes sectores energéticos y a su vez contribuya al desarrollo de actividades agroindustriales, diversificación de la matriz energética, respetando los derechos de la naturaleza

CAPÍTULO 2

SOSTENIBILIDAD EN LA EDIFICACIÓN

2. SOSTENIBILIDAD

Según Charles Kibert Director del Centro para la Construcción y el Medio Ambiente de Florida la Construcción Sostenible deberá entenderse como el desarrollo de la Construcción tradicional pero con una responsabilidad considerable con el Medio Ambiente por todas las partes y participantes. Lo que implica un interés creciente en todas las etapas de la construcción, considerando las diferentes alternativas en el proceso de construcción, en favor de la minimización del agotamiento de los recursos, previniendo la degradación ambiental o los prejuicios, y proporcionar un ambiente saludable, tanto en el interior de los edificios como en su entorno

La actividad de la construcción contribuye de manera importante al deterioro del medio ambiente, pues en sus distintas fases como la extracción y fabricación de materiales, diseño de la edificación en sí y de sus instalaciones, influyen decisivamente en el rendimiento energético y ambiental de la misma, por eso se necesita dar un giro notable hacia la adopción de decisiones encaminadas hacia la sostenibilidad.

Es una obligación ética y moral promover y practicar los preceptos del desarrollo sostenible, para garantizar que la presente y las futuras generaciones pueden satisfacer sus propias necesidades. En nosotros está la posibilidad de aportar cada día a la

evolución del concepto de sostenibilidad en la industria de la construcción contribuyendo a tan ansiado balance de todas las actividades humanas.

La construcción es el mayor consumidor de recursos no renovables a nivel mundial, es también el mayor productor de residuos, y contribuye a la contaminación del agua y del aire, la consecuencia de las actividades generadas en la construcción, producen cambios irreversibles en el medio ambiente. (Ordoñez Amoroso, 2013)

2.1 ARQUITECTURA TRADICIONAL EN EL ECUADOR

El diccionario define el término vernáculo como doméstico y nativo, con las características de anónima, espontánea, indígena rural. Se puede definir como el "silencioso testimonio de formas de vida ricas en profundas intuiciones aunque escasas en progreso." (Rudofsky, 1984)

La Arquitectura Tradicional es una perfecta adaptación e integración entre el hombre y el medio ambiente, la esencia de una idiosincrasia local, regional o nacional y constituye un auténtico patrimonio que recolecta el saber tradicional de pueblos y comunidades. La casa vernácula es la expresión de la personalidad de su habitante, quien es a la vez productor-consumidor de su vivienda, elaborada en claro testimonio de su inteligencia para utilizar adecuadamente los recursos que lo rodean y para resguardarse de las fuerzas hostiles del medio. (Lafebre , 2012)

Es creada artesanalmente con materiales locales y naturales y es constructivamente imperfecta, lo que le otorga su particular gracia. (Centro de Investigaciones CIUDAD , 1999)

2.1.1 ARQUITECTURA TRADICIONAL EN LA REGIÓN INTERANDINA

La necesidad de conservar el calor, los bajos porcentajes de humedad ambiental han determinado que sean la tierra y la piedra, los materiales preponderantes en las construcciones vernáculas andinas. Las piedras son usadas para servir como cimientos o sobrecimientos, la alta capacidad de inercia térmica de la tierra, es razón para considerar, ya sea sola como adobe, tapial, o ligada a materiales orgánicos como el bahareque o

convertida mediante el fuego como ladrillos, su uso en paredes. La paja o teja de arcilla cocida y asentada sobre estructura de madera sirve para la cubierta. (Lafebre , 2012)

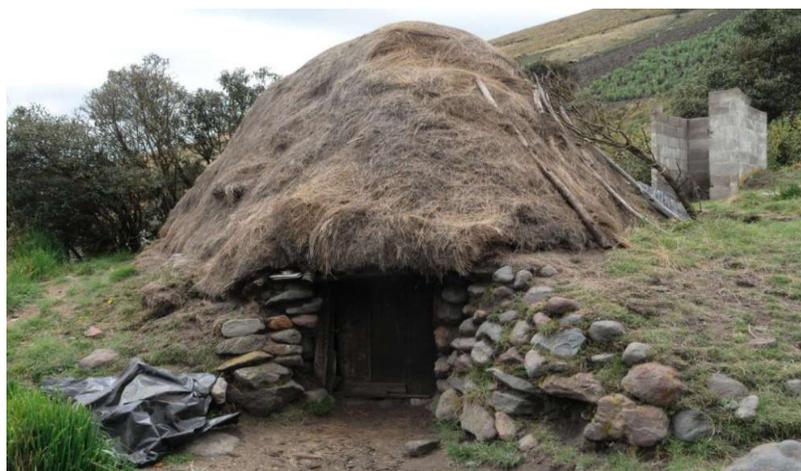


Figura 1. Método antiguo de construcción en el Chimborazo

Fuente: (Lafebre , 2012)

La ganancia de calor por radiación-conducción a través de las paredes, la protección del viento, el permanente calor central y la poca altura de las edificaciones son los principales elementos del diseño. En la región interandina generalmente se utilizan los siguientes materiales (Lafebre , 2012):

- En la cimentación y sobrecimiento se utiliza piedra.
- En las paredes por su alta inercia térmica se hecho uso de la tierra y sus formas constructivas de adobe, tapial. O fusionada con materiales orgánicos dando como resultado el bahareque, además el ladrillo.
- En cubiertas se utiliza la paja, la teja asentada sobre estructura de madera.

2.1.2 ARQUITECTURA TRADICIONAL EN LA REGIÓN COSTA

La concepción básica de la vivienda de la costa ecuatoriana se basa en uso de materiales (madera, caña, hojas de cade) de factible extracción, en un concepto espacial que se eleva del suelo e incorpora espacios interiores que permiten la circulación de aire, y galerías como espacios de transición entre lo abierto

(entorno) y lo cerrado (habitaciones). La vivienda rural ha mantenido por mucho tiempo el carácter de la antigua casa indígena y mestizada con pocas modificaciones. Los materiales utilizados en la construcción de estas viviendas son de tipo orgánico vegetal, con ausencia de superficies lisas. (Sainz Guerra & Camino Solórzano, 2014)

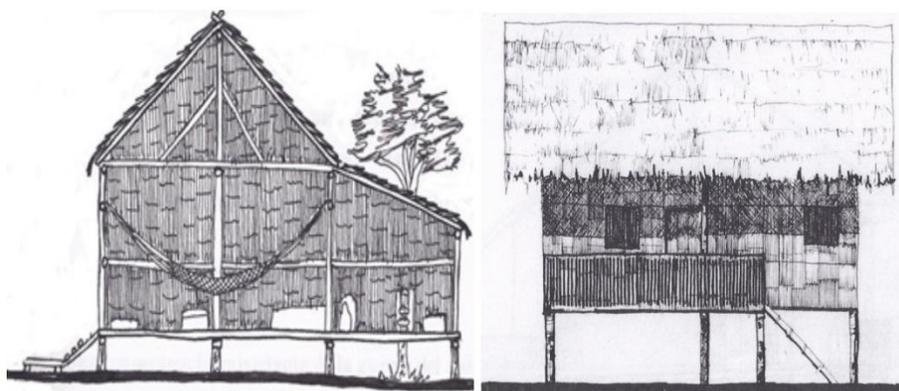


Figura 2. Vivienda Tradicional Manabita

Fuente: (Ayora, 2014)

La vivienda está construida con el sistema conocido como la quincha, pared de caña revestida por arcilla con arena – estiércol de vaca - mezcla de materiales con agua y paja. Este tipo de vivienda es considerada una de pocas existentes en nuestro medio con este sistema constructivo, en condiciones aceptables. (Ayora, 2014)



Figura 3. Vivienda Tradicional Manabita

Fuente: (Ayora, 2014)

2.1.3 ARQUITECTURA TRADICIONAL EN LA REGIÓN AMAZÓNICA

Las construcciones de los pueblos nativos se identifican por su cuidadosa utilización de los materiales del medio. Emplean principalmente la chonta (bactris ciliata), pona (iriartea exorhiza), guadúa, pigüe, pamihua, etc. La orientación de la vivienda y los sistemas naturales de ventilación acopian la experiencia de la sabiduría popular. De conformidad a la calidad del terreno las edificaciones se hacen en la tierra apisonada o sobre pilastras. Para el techo utilizan las hojas de lizán (paja toquilla), chipate o yarina (phytelephas macrocarpa) shapaja o locata. (Yepez Tambaco, 2012)

Las casas inicialmente consistían en un solo espacio muy amplio en donde transcurría la vida de toda la familia. Actualmente están constituidas en varias habitaciones.



Figura 4. Vivienda Tradicional de Napo

Fuente: (Yepez Tambaco, 2012)

2.2 CONTAMINACIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

La cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es de 500 kg CO₂ equivalente generadas por los procesos necesarios para disponer de los materiales de construcción, para obtener un m² construido estándar de un edificios actual. La cantidad de kg de materiales que se manejan directamente por cada nuevo m² construido es de 2500 kg, a los que hay que añadir los 5000 kg de residuos generados en su producción que se extraen de la corteza terrestre o de la biosfera con el consiguiente impacto ambiental. (Borsani, 2011)

La selección de los materiales para la construcción es fundamental ya que su elección está relacionada con el impacto ambiental que puede generar. Una visión ecológica contiene parámetros que se relacionan directamente con la entera vida de la construcción, enfocándose en el ciclo de vida de los materiales.

Los efectos del ciclo de vida de los materiales utilizados en el proceso de construcción dependen de su naturaleza, por esta razón hay que considerar la elección de materiales que permitan la actuación de estrategias de diseños sustentable.

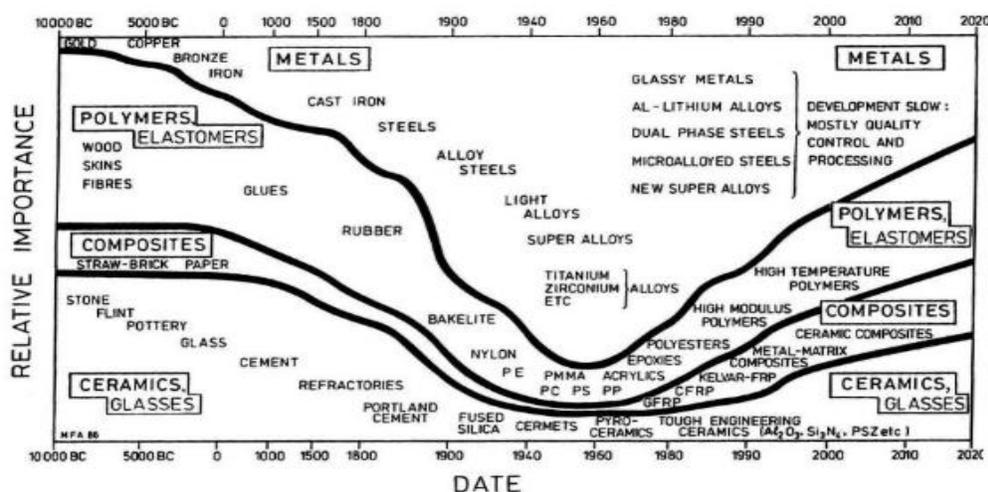


Figura 5. Importancia de los Materiales a través del tiempo

Fuente: (Villamar Cabezas, 2013)

2.2.1 HUELLA ECOLÓGICA

La Huella Ecológica es una herramienta empleada para medir la demanda de recursos naturales de la humanidad sobre la capacidad regenerativa de nuestro planeta. El indicador de Huella Ecológica se mide en hectáreas globales (hag), las cuales se definen como hectáreas con productividad media mundial. (Ministerio del Ambiente, 2013)

Al evaluar la demanda de las personas de una población sobre los recursos de la Tierra y sus ecosistemas, y compararla directamente con la capacidad del planeta de regenerar sus recursos (conocido como biocapacidad), la huella

ecológica constituye un indicador preciso sobre la sostenibilidad del estilo de vida de una población (Moore, Stechbart, & Global Footprint Network (GFN), 2011)

En 2008, el último año para el cual se tiene información disponible, la Biocapacidad de la tierra fue aproximadamente 12 billones de hectáreas globales. Al mismo tiempo, la Huella Ecológica de la humanidad fue, de acuerdo a los cálculos de Global Footprint Network, más de 18 billones de hectáreas globales, más de 1,5 veces la capacidad del planeta para mantener esta demanda (Ministerio del Ambiente, 2013).

Estas cifras expresan que los recursos biológicos estaban siendo extraídos más rápido de lo que pueden regenerarse, y el carbono estaba siendo emitido más rápido de lo que las plantas podrían absorberlo de la atmósfera.

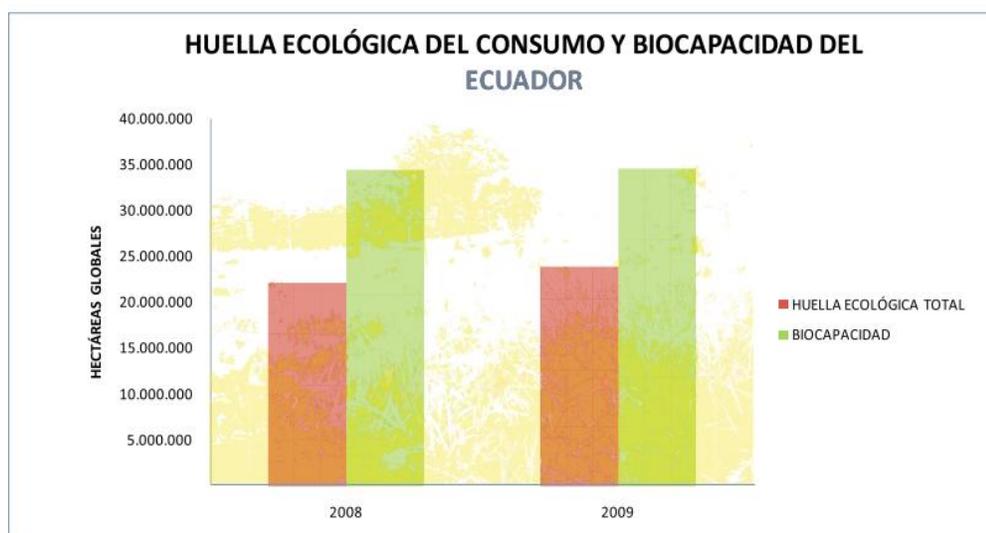


Figura 6. Huella Ecológica y Biocapacidad del Ecuador 2008 y 2009

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2013)

El consumo en el Ecuador todavía no superaba la Biocapacidad disponible localmente. Ecuador utiliza el 69% de su Biocapacidad para su propio consumo. En otras palabras la Huella Ecológica del país es 1,5 veces menor que su Biocapacidad. Cabe recalcar que la Huella Ecológica per cápita de un ecuatoriano promedio es aproximadamente 1,6 veces menor que la Huella Ecológica per cápita mundial. (Ministerio del Ambiente, 2013)

2.2.2 HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono es la forma de medir el impacto que las diferentes actividades diarias provocan en el planeta. Es un recuento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que son liberadas a la atmósfera. La huella de carbono es una herramienta para medir el impacto que provocan las actividades del ser humano en el medio ambiente y se determina según la cantidad de emisiones de GEI (gases efecto invernadero) producidas, medidas en unidades de dióxido de carbono equivalente. (Vidal , 2011)

La Huella de carbono tiende a ser la parte más grande de la Huella Ecológica en los países con mayores ingresos. Ecuador está siguiendo esta tendencia, con una Huella de carbono que es el 39% del total de la Huella Ecológica. (Moore, Stechbart, & Global Footprint Network (GFN), 2011)

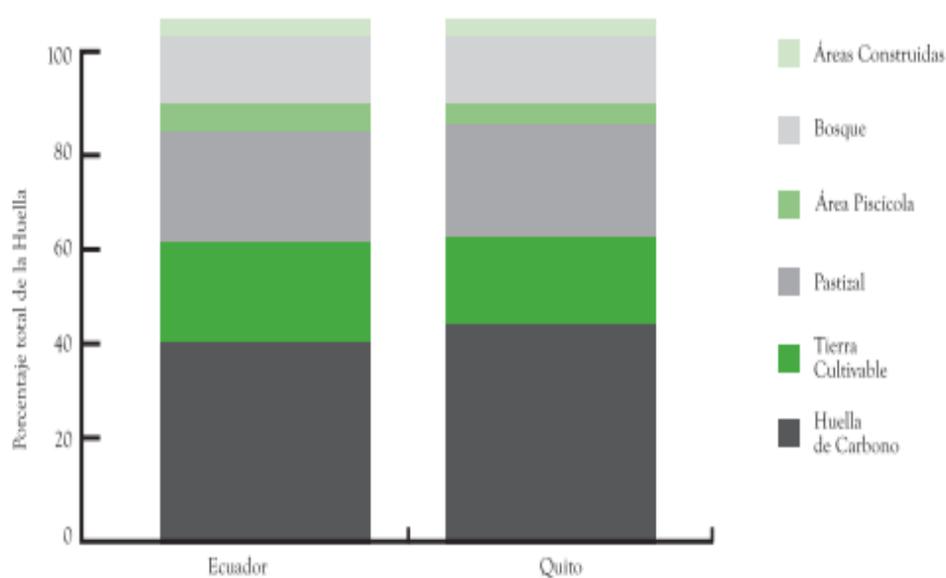


Figura 7 La composición de la Huella Ecológica en Ecuador y Quito, 2006

Fuente: (Moore, Stechbart, & Global Footprint Network (GFN), 2011)

2.2.3 HUELLA DE CARBONO EN SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Ecuador es responsable de la emisión de 2,4 toneladas métrica per cápita. (El Banco Mundial, 2015). Representa el 0.10% del porcentaje global de emisiones por cada país, ocupando el puesto 99 de 186 países analizados. (Washington, DC: World Resources Institute, 2011)

Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita)

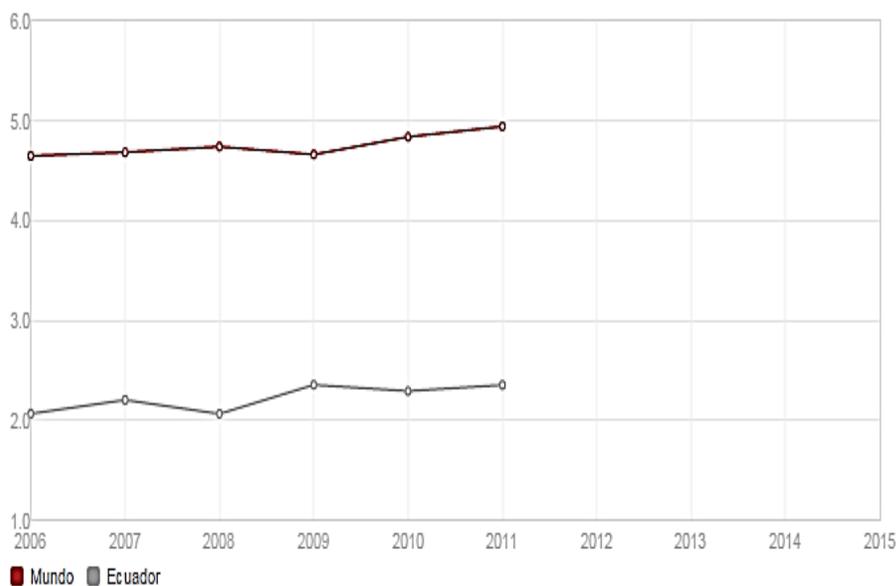


Figura 8. Emisiones de CO₂ del Ecuador

Fuente: (El Banco Mundial, 2011)

La cantidad de emisiones generadas, por los distintos materiales y costos que los mismos generan, en la investigación de los efectos de la construcción al medio ambiente, las cifras del escenario desfavorable (materiales con mayor emisiones de CO₂ y del escenario favorable (materiales con menor emisiones de CO₂, es clara la diferencia, tanto en costos ambientales como económicos, donde a mayor costo ambiental (emisiones) mayor costos económico. (Ordoñez Amoroso, 2013)

Tabla 1**Emisiones de CO_2 de una vivienda tipo de $100 m^2$**

Tipo de Material	Referencia	Detalle	Cantidad vivienda ($100 m^2$)	Unidad	Emisiones (Ton de CO_2)	Total (Ton de CO_2)	Costo \$	Total \$
Pétreo (Áridos)	Paute	Arena	37	m3	0,0075	0,278	18,48	683,76
	Paute	Grava	28,33	m3	0,0075	0,212	11,76	333,16
	Paute	Piedra	17,63	m3	0,0075	0,132	17,36	306,06
Cemento	Guapam	Portland	17,05	m3	0,6225	10,612	145,4	2478,61
Acero	Novacero	Varilla	1,61	m3	1,7082	2,755	925,7	1493,04
Ladrillo	Cuenca	Panelon	30,28	m3	0,387	11,718	51,51	1559,72
Madera	Morona	Tablas	0,5	m3	0,1685	0,085	490,6	247,26
	Cuenca	Tiras	0,2	m3	0,1616	0,033	415,2	84,29
	Cuenca	Pingos	2,09	m3	0,1616	0,338	40	83,72

Fuente: (Ordoñez Amoroso, 2013)

2.2.4 HUELLA DE CARBONO EN SECTOR AGRÍCOLA

El sector de la agricultura constituye una de las principales fuentes de emisiones de GEI en Ecuador, pues pasaron de aproximadamente de 159 millones de toneladas de carbono equivalente (CO_2 -eq) en 1990 a 210 millones de toneladas de CO_2 -eq en 2006 un incremento del 24% en 16 años, a un promedio de un 1,5% anual. El empleo en exceso de fertilizantes nitrogenados, la quema de los desechos orgánicos y la expansión de la frontera agrícola generan importantes emisiones de GEI en este sector. Los principales GEI emitidos son el dióxido de carbono, el metano y óxido nitroso; de los cuales el último es el que presenta el mayor potencial de calentamiento global de gases de efecto invernadero. (Ministerio del Medio Ambiente, 2012)

Aporte sectorial de emisiones de GEI en Ecuador, en Ton CO₂-eq.

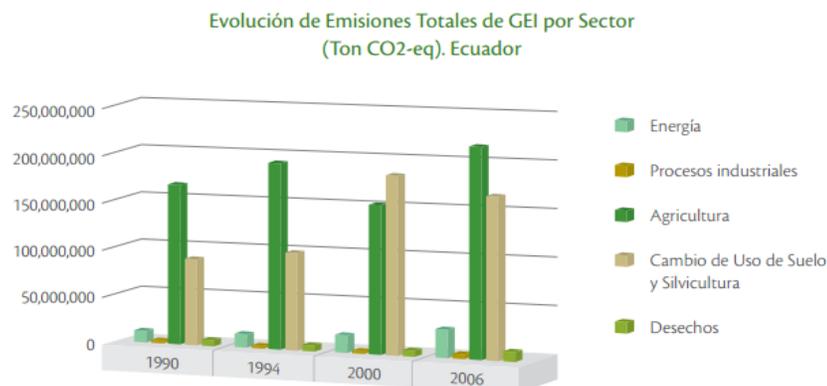


Figura 9. Aporte Sectorial de Emisiones de GEI en Ecuador

Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2012)

2.3 BIOMASA COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE

El uso de la biomasa tiene el potencial de reducir las emisiones Gases de efecto invernadero, ya que genera en los procesos de transformación (combustión) aproximadamente la misma cantidad de CO₂ que los combustibles fósiles pero inmediatamente las plantas, en su nuevo ciclo de crecimiento retiran esa cantidad de CO₂ de la atmósfera. Así, las emisiones netas de CO₂ son prácticamente nulas cuando se utilizan para producir energía (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2007)

La biomasa puede suministrar energía mediante su transformación en materiales sólidos, líquidos y gaseosos. Los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan, en general, biocombustibles y específicamente, a todos aquellos, generalmente sólidos y gases, que se aplican con fines térmicos y eléctricos (Romero Salvador, 2010)

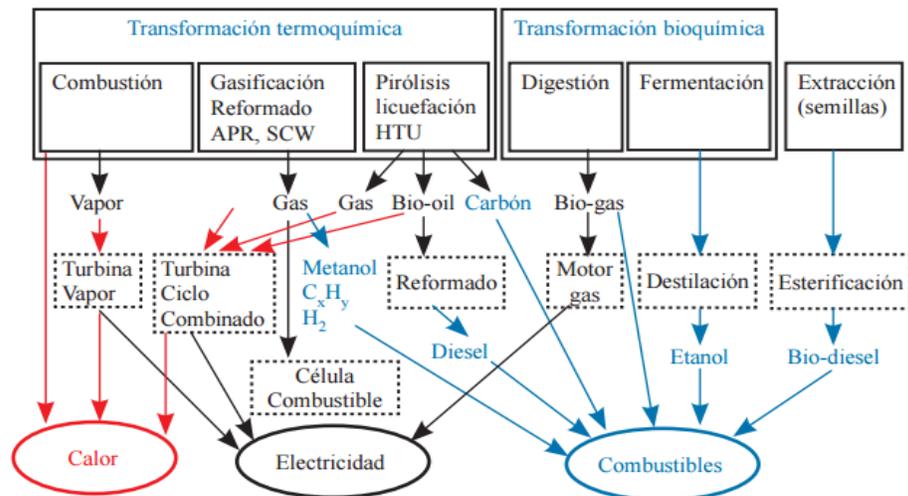


Figura 10. Principales rutas de transformación de la biomasa en energía.

Fuente: (Martínez & Gil, 2012)

2.4 BIOMASA

La biomasa es una fuente de energía renovable proveniente de los residuos de la materia orgánica, residuos que se originan en su mayoría de actividades agropecuarias, forestales y foresto industriales, residuos urbanos y además cultivos con fines energéticos. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

La definición de la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588 cataloga la biomasa como “todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas (entre estos se encuentran el carbón, el petróleo y el gas) sufriendo un proceso de mineralización”, la combustión de biomasa no contribuye al aumento del efecto invernadero, es decir un ciclo neutro de CO_2 , ya que el carbono que se libera y forma parte de la atmósfera actual, es aquel que absorben y liberan continuamente las plantas durante su crecimiento. (Castells, 2012)

2.5 COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA

La biomasa puede contener en su composición las siguientes estructuras:

- **Celulosa** es un homopolímero lineal de elevado peso molecular y de grado de polimerización, tiene una estructura fibrosa resistente a la tracción mecánica (Barroso Casillas , 2010).
- **Hemicelulosa** son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero) que forman cadenas ramificadas de menor grado de polimerización que la celulosa (Barroso Casillas , 2010), componente de las paredes celulares y brinda rigidez a la estructura vegetal (Escalante , Orduz , Zapata, Cardona , & Duarte , 2014)
- **Lignina** es un polímero ramificado, mantiene unidos a la celulosa y hemicelulosa, proporciona rigidez a la pared celular (Barroso Casillas , 2010).

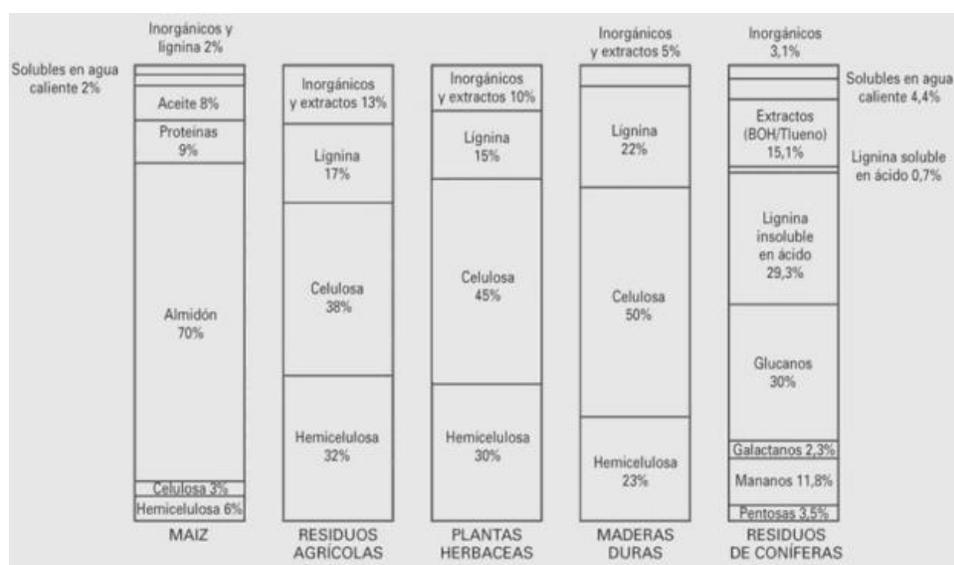


Figura 11. Composición General de la Biomasa

Fuente: (Castells X. , 2012)

2.6 CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA

La biomasa se puede clasificar según su origen(Manual de Energía Renovable, Biomasa, 2002):

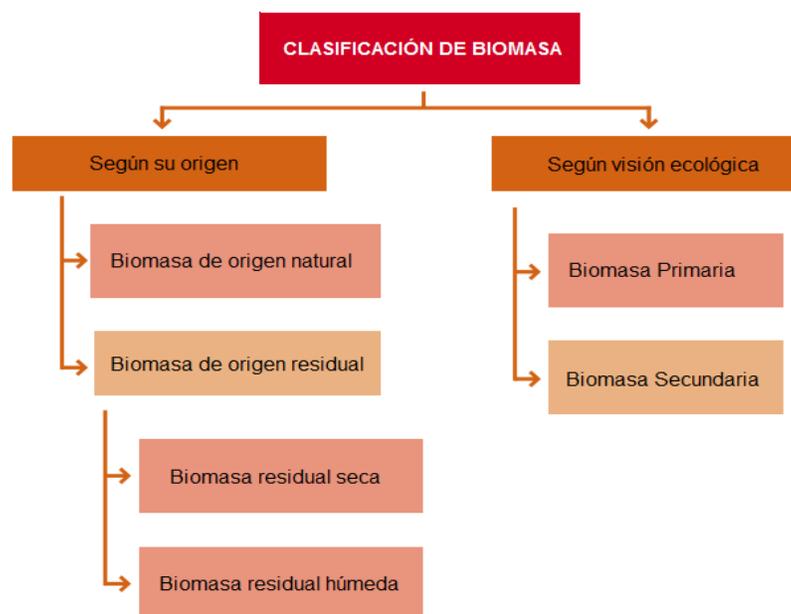


Figura 12. Clasificación de la Biomasa

Fuente: (Atlas Bionergético del Ecuador, 2014)

- **Biomasa natural:** producida en forma espontánea en los ecosistemas naturales, por ejemplo bosques.
- **Biomasa residual:** Son los subproductos derivados de las actividades agrícolas, ganaderas, humanas y forestales. Pueden ser:
 - **Biomasa residual seca:** Aquella procedente de recursos generados por actividad agrícola, forestal, industria agroalimentaria e industria maderera.
 - **Biomasa residual húmeda:** La constituyen los vertidos biodegradables, tales como aguas residuales e industriales incluidos los residuos agrícolas.

Desde el punto de vista ecológico la biomasa puede ser según el Atlas Bionergético Ecuatoriano:

- **Biomasa primaria:** Es aquella que tiene origen en la fotosíntesis y comprende toda la biomasa vegetal.

- **Biomasa secundaria:** Es aquella producida por seres que utilizan para su nutrición la biomasa primaria. Un ejemplo de esto son las deyecciones de animales herbívoros.

2.6.1 BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA

En el sector agrícola, la biomasa residual está conformada por los subproductos que se generan durante los procesos de recolección y transformación de las cosechas.

Tabla 2

Estados Típicos de la Biomasa

Recursos de biomasa	Tipo de residuo	Características Físicas
Residuos Agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales. Cáscara y polvo de granos secos Estiércol Residuos de cosechas: tallos y hoja, cáscaras, maleza, pastura.	Sólido, alto contenido humedad Polvo, HR < 25% Sólido alto contenido Humedad Sólido HR > 55%
Residuos Industriales	Pulpa y cáscaras de frutas y vegetales. Residuos de procesamiento de carnes.	Sólido, humedad moderada Sólido, alto contenido humedad

Fuente: (Manual de Energía Renovable, Biomasa, 2002)

La biomasa residual que se origina en las actividades de campo se define como residuos agrícolas de campo (RAC) y la generada en los procesos de elaboración de la producción agrícola se caracteriza como residuo agrícola industrial (RAI) (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

2.6.2 APLICACIONES DE LA BIOMASA

La biomasa posee una serie de aplicaciones desde el punto de vista energético y de su utilización como materias primas para el sector industrial. Los residuos de biomasa pueden utilizarse para las siguientes actividades (Castells , 2012):

- La alimentación humana y ganadera por otra parte se refiere únicamente al uso de los residuos generados por la agroindustria.(Martínez & Gil, 2012), los animales domésticos han sido alimentados con restos de frutas y verduras y de la misma manera estos residuos pueden ser procesados para su uso e incorporación en alimentos destinados a consumo humano.
- La fertilización de los suelos comprende el manejo de biomasa residual para mejorar la calidad de los taludes, terrenos pobres y erosionados, incorporando una mezcla que previamente puede compostarse para mejorar la calidad de los nutrientes entregados.
- La utilización de la biomasa como sustrato productivo comprende la incorporación de biomasa residual como base en la producción de lombrices o levaduras.
- La producción de energía es una alternativa que surge con mucha fuerza ya que proporciona importantes beneficios dado el carácter renovable de la biomasa.

CAPÍTULO 3

AISLANTE TÉRMICO

3. DEFINICIONES

Aislante

El término aislante es híbrido del latín y del español. Proviene del verbo aislar que conformado por el previo ad- que significa hacia y la palabra isla. Ésta a su vez, deriva del latín insula, insulae. A esos formantes, en este caso, se le agrega el sufijo –ante que se usa para formar adjetivos y tiene el significado de representar al que ejecuta la acción del verbo. Por tanto el concepto de este vocablo es el que aísla en el sentido de dejar separado a algo o alguien. (Definiciones conceptos y significados Aislante)

Aislante Térmico

Aislante térmico es un cuerpo mal conductor de calor y capaz de frenar la intensidad de un flujo térmico, caracterizados por un coeficiente de conductividad lo más bajo posible. (Rougeron , 1977)

3.1 AISLANTE TÉRMICO EN LA CONSTRUCCIÓN

Aislante térmico en la construcción es un material con elevada resistencia térmica, establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura (Aislamiento Térmico, tipos y recomendaciones , 2011) y dificulta las transmisiones de calor del interior al exterior y viceversa para evitar las pérdidas de calor en períodos fríos y la ganancia del mismo en épocas cálidas. (Aislamiento Térmico Construpedia)

3.1.1 APLICACIONES DEL AISLAMIENTO TÉRMICO

Los puntos por donde hay mayor pérdida de calor en una vivienda son por aquellos por los que hay una transmisión de frío/calor. Estos puntos suelen ser puertas, ventanas, paredes, suelos y techados.



Figura 13. Zonas de Pérdida de Temperatura

Fuente: (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido , 2003)

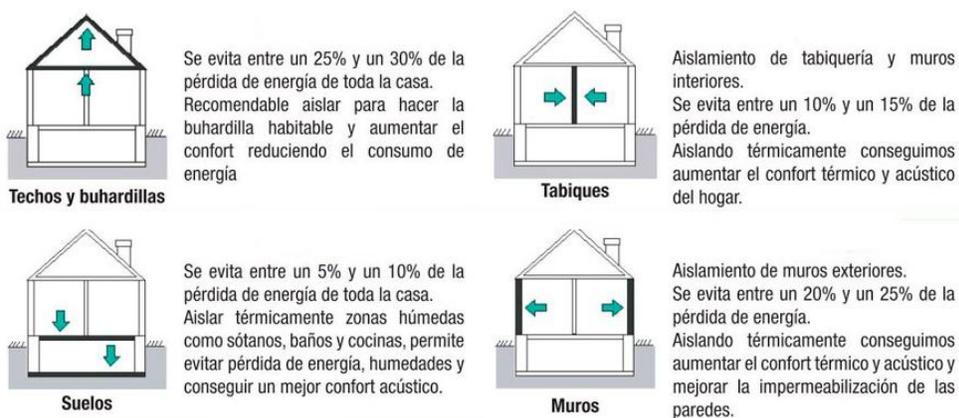


Figura 14. Función del Aislamiento Térmico en una Casa

Fuente: (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido , 2003)

3.2 CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS BÁSICAS

3.2.1 DENSIDAD

La densidad (ρ), o masa volumétrica de un material, define el cociente entre la cantidad de masa (Kg) que caracteriza el material y el volumen unitario (m^3). Su valor se mide en ($Kg\ m^3$). La densidad está relacionada con el comportamiento térmico de un material, una mayor densidad supone una reducción de la porosidad y ello conlleva una mayor conductividad térmica (Castells X. , 2012).

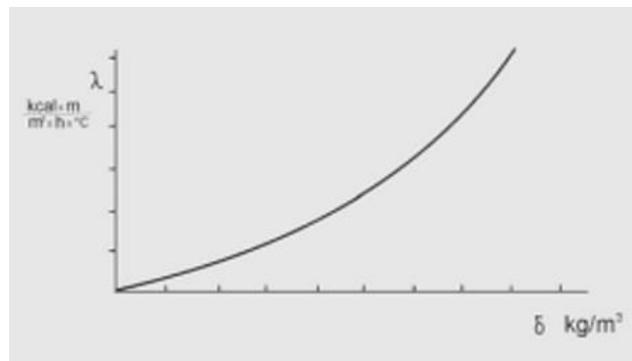


Figura 15. Conductividad Térmica vs Densidad

Fuente: (Castells X. , 2012)

3.2.2 CONDUCTIVIDAD Y RESISTIVIDAD

La conductividad térmica de un material se puede puntualizar como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. La conductividad de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor (Cengel, 2007) es decir se refiere a la capacidad de un material para conducir calor a través de su estructura interna.

Según la norma básica de la Edificación NBE-CT-79 el coeficiente de conductividad térmica (λ) se expresa en $kcal/m\ h\ ^\circ C$ ($W/m\ ^\circ C$), es la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra

de extensión infinita y caras plano-paralelas y de espesor unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado.

“La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor, un valor elevado indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante”. (Cengel, 2007)

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material, su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de fibra, tamaño de los poros y tipo de gas que encierre el material. (Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 sobre Condiciones Térmicas en lo Edificios España., 1979)

La resistividad térmica es la inversa de la conductividad térmica y por lo tanto representa la capacidad del material para resistir el flujo de calor su símbolo es r y se expresa en $m \cdot h \cdot ^\circ C/kcal$ ($m \cdot ^\circ C/W$) y su fórmula es la siguiente (Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 sobre Condiciones Térmicas en lo Edificios España., 1979) (NTE INEN-ISO 7345 , 1987):

$$r = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

3.2.3 CONDUCTANCIA Y RESISTENCIA

Según la norma básica de la Edificación NBE-CT-79 la conductancia y la resistencia son propiedades de una capa de material, por lo que dependen del espesor específico de dicha capa.

La conductancia térmica (C) expresada en $kcal/h \cdot m^2 \cdot ^\circ C$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) es la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material o de una estructura de espesor L , dividida por la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría, en condiciones estacionarias. Cuando las caras caliente y fría no constituyan dos superficies planas paralelas es necesario aclarar en qué condiciones se da la conductancia térmica. La conductancia térmica depende del espesor L del material, su fórmula es la siguiente:

$$C = \frac{\lambda}{L} \quad (2)$$

La resistencia, por otro lado, representa la capacidad de una capa de material para resistir el flujo de calor y es igual a la diferencia de temperatura dividida por la densidad de flujo de calor, su fórmula es la siguiente (NTE INEN-ISO 7345 , 1987).

$$R = \frac{T_1 - T_2}{q} \quad (3)$$

3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS AISLANTES TÉRMICOS

Según su origen los aislamientos se clasifican en sintéticos, inorgánicos y naturales.

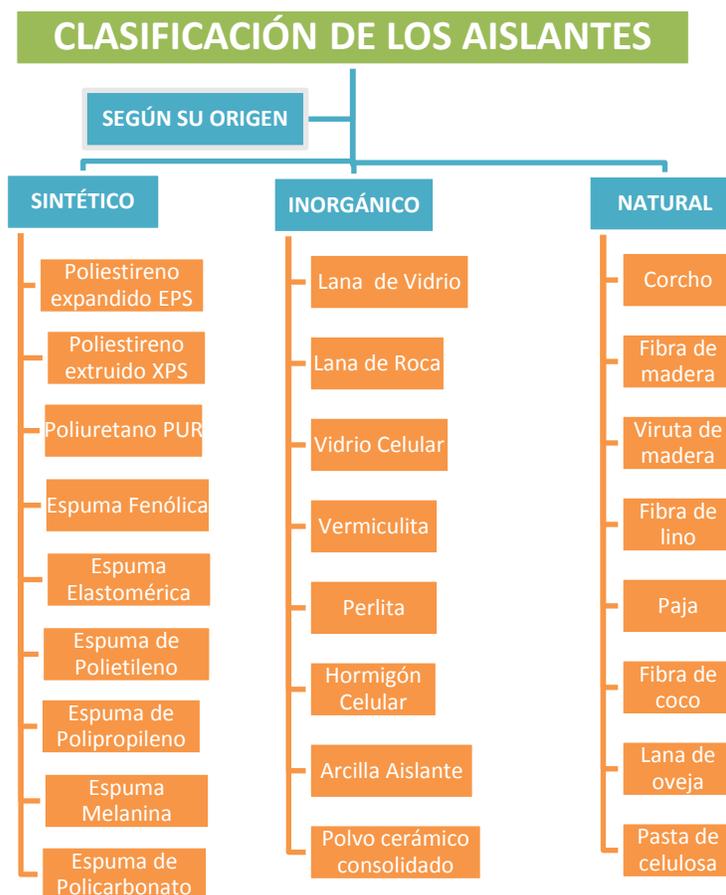


Figura 16. Clasificación de los aislantes según su origen

Fuente: (Atecos Asistente Técnico para la Construcción Sostenible , 2011)

3.4 AISLAMIENTO TÉRMICO DE ORIGEN NATURAL

Los aislantes orgánicos de origen vegetal o animal poseen un impacto ecológico y medioambiental favorable ya que son materiales renovables, reciclables, saludables y de baja energía incorporada, en definitiva más ecológicos. El aislamiento térmico es un componente esencial en la construcción de edificios sostenibles, es el único material de la obra que se amortiza por el ahorro económico que proporciona. (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE), 2008).

3.4.1 LANA DE OVEJA

La lana de oveja es una fibra tupida, rizada y suave que cubre la piel de las ovejas, cabras, alpacas y otros animales y que las protege de las temperaturas extremas del invierno. Su extracción, mediante el esquilado, una oveja produce al año hasta tres kilos de lana gruesa. (Lana de Oveja, 2013) Son necesarios unos tratamientos previos de limpieza consistente en un lavado mediante jabón biodegradable, protección con sal bórica para fortalecer y proteger la fibra contra el ataque de xilófagos a la vez que aumenta su capacidad de resistencia contra la combustión. Tras esto se realiza el cardado. (Rotondaro , 2012)



Figura 17. Elaboración de la Lana de Oveja

Fuente: (Rotondaro , 2012)

PROPIEDADES

- Higroscópico regula la humedad de forma natural. Absorbe vapor de agua y humedad cuando es excesiva y la desprende cuando el ambiente está seco.

Puede fijar hasta un 50% de su peso en agua sin perder sus propiedades aislantes y térmicas.

- Maleable se adapta perfectamente a las irregularidades del armazón para garantizar un aislamiento de calidad.
- Renovable su producción no produce ninguna contaminación al ecosistema ni daño al animal del que se extrae. Con su utilización como aislante se aprovechan las grandes cantidades de lana que se obtienen cada año con el esquilado de las ovejas.
- Ecológico es un producto 100% natural, no contiene ninguna fibra sintética, no irritante, no desprende vapores ni tóxicos.
- Reciclable para multitud de usos, es un producto sano, natural y con un Ciclo de Vida (ACV) respetuoso con el medio ambiente, Como residuo es totalmente biodegradable.
- Ligero su levísimo peso, la hace idónea para aplicar en soportes de poca resistencia.
- Elasticidad por la estructura helicoidal de sus moléculas, recobra su forma, manteniendo su extensión, sin deformarse ni desintegrarse. (Lana de Oveja, 2013)



Figura 18. Aislamiento Térmico de Lana de Oveja

Fuente: (Casa Pasiva , 2012)

3.4.2 CÁÑAMO

La característica principal del cáñamo es su fina fibra vegetal, cuyo nombre recibe de la planta que extrae dicha fibra



Figura 19. Planta, Fibra y Manta de Cáñamo

Fuente: (Acústica Media)

3.4.2.1 PROPIEDADES

- Excelente aislamiento térmico el cáñamo es un material poroso que ocluye el aire dando lugar a una baja conductividad térmica
- El producto proporciona la amortiguación suficiente para que pierdan energía las ondas sonoras que incidan
- Buena capacidad de regulación higrométrica sin pérdida de las cualidades aislantes.
- Es un producto transpirable, evitándose la formación de condensaciones en el interior del cerramiento.
- Se adapta perfectamente a las irregularidades del armazón para garantizar un aislamiento de calidad.
- No irritante. Reciclable. Buena resistencia mecánica.
- Estable en el tiempo: Puesto que el cáñamo es una fibra natural que no contiene albúmina, desaparece el riesgo de ser atacado por parásitos, así como de podredumbre. (Ficha Técnica de Aislante de Cáñamo)



Figura 20. Aislante Térmico de Cáñamo

Fuente: (TECTONICA)

3.4.3 FIBRA DE LINO

El lino es una hierba perteneciente a la familia de las lináceas, de la que existen más de 80 variedades, la fibra de lino es una fibra vegetal que se obtiene a partir de la planta de lino, que contiene fibras muy alargadas entre 20 y 50 cm. (Rotondaro , 2012)



Figura 21. Fibra de Lino

Fuente: (Morfología de las Plantas Vasculares)

El aislante se elabora a partir de lino procedente de cultivos sostenibles, con adición de almidón de patata y sales bóricas. En su fabricación no se utiliza ningún tipo de elemento sintético. Es especialmente adecuado para su uso en situaciones en las que sea necesario adaptarse al espacio por su flexibilidad y su capacidad de

comprimirse. También para aislamiento de fachadas y cubiertas. (Biohaus Goierri Materiales de Construcción Ecológicos, s.f.)

3.4.3.1 PROPIEDADES

- Buena resistencia mecánica es una fibra lisa y resistente a la tracción, más fuerte que el algodón; es más rígido y, por tanto, menos flexible.
- Capacidad de regulación higrométrica sin pérdida de las cualidades aislantes, absorbe y retiene el agua en una proporción entre el 50 y 60 % de su peso.
- Se adapta perfectamente a las irregularidades del armazón para garantizar un aislamiento de calidad.
- No irritante. Reciclable.
- Estable en el tiempo. (Biohaus Goierri Materiales de Construcción Ecológicos, s.f.)



Figura 22. Aislante Térmico de Fibra de Lino

Fuente: (Biohaus Goierri Materiales de Construcción Ecológicos, s.f.)

3.4.4 FIBRA DE MADERA

Se fabrica mediante un proceso húmedo, a partir de fibras de madera procedentes un 90% de restos generados por la tala en los bosques y un 10% de restos de la industria de la madera. Su transformación en material aislante se produce a través del triturado de los retales y su posterior desfibrado. Luego se le añade agua a las fibras

y se calienta la mezcla hasta conseguir una pasta espesa y homogénea que se vierte en una cinta perforada donde se le quita el agua sobrante. Tras el prensado se procede al secado de los paneles y su corte a medida para el empaquetado. (Bioconstrucción como Solución , 2013)



Figura 23. Aislamiento Térmico de Fibra de Madera

Fuente: (Bioconstrucción como Solución , 2013)

3.4.4.1 PROPIEDADES

- Material no irritante ni tóxico, Estas fibras aislantes no contienen adhesivos en su composición que es 100% de maderas reciclables, por lo tanto no generan residuos contaminantes.
- 100% reciclable y tiene un excelente ciclo de vida.
- Posee la inercia térmica más alta de todos los materiales aislantes (capacidad de absorción del calor). (Bioconstrucción como Solución , 2013)

3.4.5 CELULOSA

La fibra de celulosa proviene del papel de periódico reciclado mezclado con otros productos de origen natural los cuales confieren una alta capacidad ignífuga. Su transformación en material aislante se origina en dos fases de triturado, desfibrado y un tratamiento en húmedo con sales bóricas que le conceden

capacidades ignífugas y antiparasitarias. Finalmente es almacenada y empaquetada. Se presenta en copos de alta densidad y se aplica mediante proyección sellando las juntas y huecos con el propósito de impedir corrientes de aire, un buen sistema para la rehabilitación energética en edificaciones existentes. (Bioconstrucción como Solución , 2013)



Figura 24. Elaboración de la Celulosa

Fuente: (Bioconstrucción como Solución , 2013)

3.4.5.1 PROPIEDADES

Presenta propiedades higroscópicas, la resistencia al fuego y a la descomposición, su gran resistencia mecánica y la insolubilidad en la mayoría de los disolventes ordinarios y, por supuesto, la posibilidad de ser reciclado o reutilizado así como sucede con su componente base. Su capacidad de acumulación de calor y su alta densidad le proporcionan una alta inercia. (Bioconstrucción como Solución , 2013)



Figura 25. Aislamiento Térmico de Celulosa

Fuente: (Bioconstrucción como Solución , 2013)

3.4.6 CORCHO

El corcho se obtiene de la corteza exterior del alcornoque, Los aglomerados de corcho para aislamiento se fabrican a partir de la mezcla del propio granulado del corcho con sus resinas naturales. (Bioconstrucción como Solución , 2013). El corcho es el aislante más natural que existe, ya que proviene directamente de un árbol, y la elaboración del producto final no requiere componentes químicos, ya que se aglutina con su propia resina. Sus propiedades aislantes se deben a la peculiar estructura y composición química de sus células. (Los Aislamientos Térmicos de Orígen Vegetal, 2013)



Figura 26. Aislamiento Térmico de Corcho

Fuente: (Los Aislamientos Térmicos de Orígen Vegetal, 2013)

3.4.6.1 PROPIEDADES

- Impermeabilidad relativamente alta gracias a las resinas naturales que posee tiene. Es uno de los materiales sólidos más ligeros del mercado lo cual facilita su instalación
- Ecológico respetuoso con el medio ambiente.
- Durabilidad, no lo atacan los insectos.
- Resistencia ante los agentes químicos, es reciclable.
- Reutilizable, y en caso de convertirse en residuo es completamente biodegradable. (Los Aislamientos Térmicos de Orígen Vegetal, 2013)



Figura 27. Aislamiento Térmico de Celulosa en Techos

Fuente: (Los Aislamientos Térmicos de Origen Vegetal, 2013)

3.4.7 ALGODÓN

La fibra algodón es la fibra natural vegetal extraída del fruto de la planta homónima, un arbusto del género *Gossypium* que representa a la fibra vegetal más difundida en todo el mundo. La fibra de algodón tiene aproximadamente 96% de celulosa, el formato de producción es en mantas, placas o granel, con distintas densidades, grosores y capacidades aislantes, a partir de retales textiles de confección desfibrados. Los mismos se fabrican con 75% algodón virgen y con 25% fibra de algodón de textil reciclado. (Los Aislamientos Térmicos de Origen Vegetal, 2013)



Figura 28. Aislante Térmico de Algodón

Fuente: (Los Aislamientos Térmicos de Origen Vegetal, 2013)

3.4.7.1 PROPIEDADES

- Durabilidad
- Resistencia

- Absorción



Figura 29. Aislamientos Térmicos de Algodón en Techos

Fuente: (El aislante térmico NITA-COTON-FRP, de RMT, fabricado a partir de fibras de algodón recicladas, 2013)

3.4.8 LANA DE VIDRIO

La lana de vidrio es una lana mineral fabricada con millones de filamentos de vidrio unidos con un aglutinante. Las burbujas de aire atrapadas en las fibras impiden la transmisión térmica. (Rotondaro , 2012)



Figura 30. Aislante Térmico de Lana de Vidrio

Fuente: (Rotondaro , 2012)

La fabricación de la lana mineral de vidrio empieza mezclando arena de sílice, un fundente y estabilizantes, carbonato de calcio y magnesio, cuya misión es brindarle al vidrio una elevada resistencia a la humedad, ya que presenta una gran superficie

de ataque para los agentes exteriores, y fundiéndolos en un horno para formar vidrio.. (Rotondaro , 2012)

3.4.8.1 PROPIEDADES

Incombustible, no es inflamable, no genera humo ni gases nocivos y resisten altas temperaturas, limitando la propagación de las llamas y retrasando el esparcimiento del fuego. (Rotondaro , 2012)

3.4.9 FIBRA DE COCO

La fibra de coco pertenece a la familia de las fibras duras. Se trata de una fibra compuesta por celulosa y leño, esta fibra proviene de la cáscara externa de los cocos con un procesamiento mínimo y sin aditivos. (Los Aislamientos Térmicos de Origen Vegetal, 2013).



Figura 31. Aislamiento Térmico de Fibra de Coco

Fuente: (Los Aislamientos Térmicos de Origen Vegetal, 2013)

3.4.9.1 PROPIEDADES

Producto natural inodoro, tiene buenas propiedades térmicas y acústicas. Es una de las pocas fibras naturales que es altamente resistente a la putrefacción, por lo tanto tiene gran durabilidad en el tiempo, posee baja conductividad al calor, resistencia al impacto, a las bacterias y al agua. Su resistencia y durabilidad la hacen un material adecuado para el mercado de la construcción, para usarlo como material de aislamiento térmico y acústico. (Los Aislamientos Térmicos de Origen Vegetal, 2013)

CAPÍTULO 4

TABLERO AGLOMERADO

4. AGLOMERADO

Los aglomerados son materiales compuestos (composites) formados por la unión de dos o más constituyentes, para obtener propiedades físicas y mecánicas diferentes a las propiedades de los materiales por separado. (Monterroso Waight, 2013)

En un material compuesto se pueden identificar dos fases: una fase continua denominada matriz y una fase discontinua denominada refuerzo. La matriz contribuye con un conjunto de propiedades y su función es estabilizar y repartir las tensiones entre los refuerzos. Está constituida por un componente mayoritario, que puede ser de naturaleza metálica, cerámica o polimérica, al que pueden adicionarse distintas cantidades de endurecedores, catalizadores o surfactantes para mejorar sus propiedades. Los refuerzos brindan un conjunto de propiedades diferentes, soportando la tensión mecánica del material. Este tipo de refuerzos pueden incorporarse bien en forma de fibra, de partícula, o en una combinación de ambas. (Rojo Recio , 2011)

De una manera más general los aglomerados están formados por materiales lignocelulósicos como el agente reforzante y un aglomerante llamado resina como la matriz, su presentación convencional se encuentra en forma de paneles o tableros.

4.1 MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

Los materiales lignocelulósicos generalmente provienen de fibras naturales, que por su origen se conocen como fibras vegetales de origen. La madera es

tradicionalmente el material lignocelulósico más empleado en aplicaciones como la fabricación de pastas papeleras, muebles y tableros de diversos tipos, además de los usos energéticos. Los materiales lignocelulósicos están constituidos por celulosa, lignina y hemicelulosa en una relación aproximada de 4:3:3 variando sensiblemente según las diferentes especies (Fengel y Wegener, 1984; Sjöström, 1981, Misra, 1993; Oggiano, 1997 citado en Barba Pacheco, 2002)

Gracias a su origen renovable, a la biodegradabilidad de sus derivados y sus posibilidades de reciclaje, son una fuente idónea de materiales poliméricos de interés industrial. (Barba Pacheco, 2002).

Con el objeto de desarrollar productos que tengan un ciclo verdaderamente bueno con el planeta para mitigar el daño ecológico con el medio ambiente producido por la manufacturación de alternativas sintéticas, la mirada de la comunidad científica se ha enfocado en el desarrollo de nuevos materiales con las exigencias tecnológicas que demanda el presente milenio.

Tabla 3

Composición de Biomasa Residual Agrícola

Biomasa Residual	Lignina	Celulosa	Hemicelulosa	Referencia
Tusa de maíz	18,59%	37,69%	35%	(Prinsen , 2010)
Cáscara de café	41,86%	25,5%	5,83%	(Vásquez , 2011)
Cascarilla de cacao	32,4%	17,39%	6,38%	(Baena & García Cardona, 2012)

4.2 RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS

Pueden definirse a los recursos lignocelulósicos de origen residual con un gran potencial industrial que no han sido aprovechados hasta el momento, cuya utilización contribuiría a la disminución de tala forestal inmoderada. (Barba Pacheco, 2002).

Estos residuos se pueden agrupar en los siguientes tipos (Triana Caranton , 2010):

- **Residuos industriales** (se trata principalmente de derivados de la fabricación de pasta, papel y transformados de madera),
- **Residuos forestales** (son residuos procedentes de la limpieza y silvicultura, residuos agrícolas (son residuos de cultivos, frutos secos, cáscaras, cereales y excedentes de cosechas) y
- **Residuos urbanos** (residuos de papeles, cartones y similares).

Si se comparan con la madera, las plantas no madereras generalmente tienen un menor contenido en lignina y mayor en sílice y cenizas, mientras que el contenido en celulosa es equivalente. (Atchison, y McGovern, 1983) citado en (Barba Pacheco, 2002)

Los residuos al formar parte de los materiales compuestos presentan las siguientes ventajas (Vásquez , 2011):

- Ambientalmente amigables tanto en el proceso, producción y desecho como al final del ciclo.
- Renovables y necesitan menor cantidad de energía de entrada por unidad de producción.
- Propiedades similares a materiales con fibra de vidrio.
- Mejor elasticidad que las fibras minerales.
- Menos abrasivos durante el proceso de fabricación
- Absorben bien las vibraciones y por lo tanto el sonido
- Dos o tres veces más económicos que trabajar con fibra de vidrio.
- En proceso de combustión existe menor producción de CO_2 y otros gases tóxicos.

Sin embargo también presentan algunas desventajas (Vásquez , 2011):

- La calidad de las fibras es dependiente de las condiciones naturales.
- Se requieren grandes áreas de cultivo si se empieza una producción a escala.
- La baja densidad se vuelve una desventaja durante el proceso.

4.2.1 CASCARILLA DE CACAO

El fruto del árbol del cacao (*Theobroma cacao* L) tiene una cáscara dura, es alargado, en forma de pelota de fútbol americano, con relieves simétricos y longitudinales; una de sus particularidades es que brota directamente del tronco del árbol o de sus ramas más viejas.



Figura 32. Desgrane del Fruto del Cacao

Fuente: (Institute Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria INTE, 2010)

Tabla 4

Cultivo de Cacao

DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE CACAO	
Producción	162724,77 t/año
Superficie sembrada total	507.721 ha
Tipo de Cultivo	Permanente-Industrial
Provincias productoras importantes	Guayas, Los Ríos, Esmeraldas, Manabí
Período de Cosecha	Anual
Producto	Grano seco
Variedades	Sabor arriba, CCN51
Utilización	Industria Alimenticia
Destino	Consumo interno-Exportación

Fuente: (Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).

4.2.1.1 LOCALIZACIÓN, PRODUCCIÓN Y RESIDUOS

En la etapa de desgrane del fruto del cacao, la operación que consiste en partir las mazorcas y extraer los granos, las cáscaras son el producto de desecho generalmente desgranar dejando tiradas las cáscaras en el suelo, este tipo de acciones se debe evitar ya que los restos de cosecha se convierten en una fuente de inóculo de patógenos nocivos para el cultivo, en ocasiones se lo utiliza como abono o alimento para ganado.

Tabla 5

Localización, Producción y Residuos del Cultivo de Cacao

PROVINCIA	PRODUCCIÓN ABSOLUTA (t/año)	RESIDUOS (t/año)
AZUAY	530	6.562,09
BOLÍVAR	3.558,57	44059,34
CAÑAR	2.985,12	36959,31
CHIMBORAZO	43,27	535,72
COTOPAXI	5.053,69	62570,8
EL ORO	6.399,33	79231,4
ESMERALDAS	14. 815,33	183431,54
GUAYAS	57.992,64	718.018,43
LOS RÍOS	36.874,68	456552,76
MANABÍ	17.958,71	222350,38
MORONA SANTIAGO	489,26	6057,58
NAPO	1.600,53	19816,47
ORELLANA	2.215,42	27429,51
PASTAZA	486,26	6020,51
PICHINCHA	4.087,72	50610,9
SANTA ELENA	63,88	790,93
STO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	4.003,58	49569,16
SUCUMBÍOS	2.940,27	36404,12
ZAMORA CHINCHIPE	626,51	7756,93
TOTAL	162724,77	2.015.352, 60

Fuente: (Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).
(t/año): toneladas anuales

La información proporcionada por la investigación para la elaboración del Atlas Bioenergético del Ecuador registra una producción de 162724,77 toneladas al año de cacao con una cantidad de biomasa residual agrícola correspondiente a 2.015.352, 60 toneladas al año. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014) En Ecuador las provincias que producen más del 70% de cultivo y residuo son Guayas, Los Ríos, Esmeraldas y Manabí.

Tabla 6

Residuos del Cultivo del Cacao

RESIDUO	DESCRIPCIÓN
Residuo de campo	Poda, mazorca descartada, cáscara de mazorca
Residuo de procesamiento	Raquis, rechazo de producto
Tecnologías de aplicación	Combustión

Fuente: (Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).

4.2.1.2 APLICACIÓN DE LA CASCARILLA DE CACAO

El proceso de transformación aplicable es el de combustión a partir de biomasa seca, los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser empleado para calefacción, cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas. El calor puede aprovecharse en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad. Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros más avanzados. El uso de calderas y turbogeneradores para la generación eléctrica es muy común.

(Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).

4.2.2 CÁSCARA DE CAFÉ

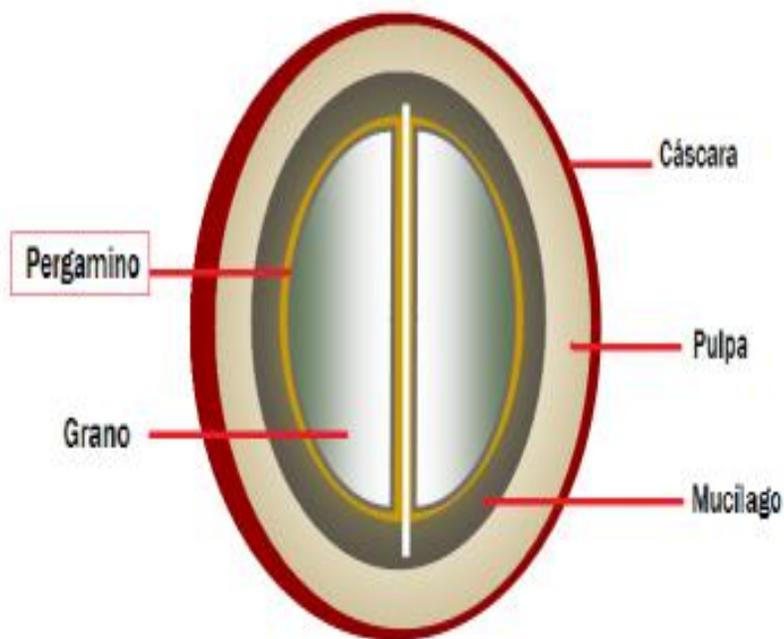


Figura 33. Partes del Fruto del Café

Fuente: (Universidad Nacional Autónoma de México , 2010)

La cáscara de café también llamada cisco es una envoltura cartilaginosa de color blanco amarillento de aproximadamente 100 micrómetros de espesor y que corresponde al endocarpio (pergamino) del fruto del café (*Coffea arabica*), la semilla se encuentra en una forma suelta dentro de esta. (Palacios & Betancurt, 2005). Esta se extrae mediante el proceso de trillado consiste en separar o descascarillar el grano del pergamino.

Tabla 7**Cultivo de Café**

DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DEL CAFÉ	
Producción	16539,6 t/año de grano
Superficie sembrada total	113.029 ha
Tipo de Cultivo	Permanente
Provincias productoras importantes	Orellana, Loja, Sucumbíos y Manabí
Período de Cosecha	Junio - Septiembre
Producto	Grano de café
Variedades	Arábigo Lavado , Arábigo Natural, Robusta
Utilización	Industria Alimenticia
Destino	Consumo interno, Exportación

Fuente: (Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, 2014).

4.2.2.1 LOCALIZACIÓN, PRODUCCIÓN Y RESIDUOS

La investigación para la elaboración del Atlas Bioenergético del Ecuador proporciona la información sobre la producción de 16539,6 toneladas al año de café con una cantidad de biomasa residual agrícola correspondiente a 104048,31 toneladas al año. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014)

En Ecuador las provincias que producen más del 70% de cultivo y residuo son: Orellana, Loja, Sucumbíos y Manabí.

Tabla 8**Localización, Producción y Residuos del Cultivo de Café**

PROVINCIA	PRODUCCIÓN ABSOLUTA (t/año)	RESIDUOS (t/año)
BOLÍVAR	347,46	1882,88
CARCHI	21,92	118,79
EL ORO	1774,5	9616,02
LOJA	2996,51	16238,08
MANABÍ	7976,47	43224,48
ORELLANA	755,28	4103,71

Continua 

SANTA ELENA	47,52	257,53
SUCUMBÍOS	768,73	4165,74
ZAMORA CHINCHIPE	1851,21	833,04
TOTAL	16539,6	80440,27

Fuente: Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).

Tabla 9

Residuos del Cultivo del Café

RESIDUO	DESCRIPCIÓN
Residuo de campo	Poda, Renovación de plantas
Residuo de Beneficio	Cáscara, Pulpa, Mucilago.
Residuo de procesamiento	Tarilla

Fuente: Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).

4.2.2.2 APLICACIÓN DE LA CÁSCARA DE CAFÉ

- El proceso de transformación aplicable es la combustión a partir de biomasa seca, es la forma más antigua y común para aprovechar la energía de la biomasa. (Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).
- Elaboración de abonos orgánicos fermentados, gracias a que se constituye en una excelente fuente de celulosa, lignina, sílice y cenizas. (Centro de de Avance y Sustentabilidad en Ingeniería de la Universidad de Villanova (VCASE), 2012)
- Resultado de algunas investigaciones se encontró que a partir de este producto se puede obtener plásticos, cartones, briquetas para combustible sólido para generación de energía. (Centro de de Avance y Sustentabilidad en Ingeniería de la Universidad de Villanova (VCASE), 2012)

- Aplicaciones como el biocompost y sustratos de algunos cultivos y bioproductos. (Centro de de Avance y Sustentabilidad en Ingeniería de la Universidad de Villanova (VCASE), 2012)

4.2.3 TUSA DE MAÍZ

El maíz (*Zea mays* L.) facilita distintos usos en diferentes estados de madurez del cultivo como son: forraje verde, mazorca o choclo y maíz seco. El cultivo del maíz produce una gran cantidad de biomasa, de la cual el hombre cosecha apenas cerca del 50% en forma de grano. (Córdoba, y otros, 2013) El resto, corresponde a diversas estructuras de la planta tales como caña, hoja, limbos y mazorca entre otros

En el proceso de separación del grano de la mazorca se produce el residuo del desgranado del maíz se conoce como olote o tusa de maíz, un tejido esponjoso y blanco que representa la médula donde se almacenan las reservas alimenticias del cereal. (Departamento de Investigación en Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila., 2012)



Figura 34. Tusa de Maíz

Fuente: (Departamento de Investigación en Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila., 2012)

Tabla 10**Cultivo de Maíz**

DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO	
Producción	1.215.193 t/año de grano
Superficie sembrada total	361.347 ha
Tipo de Cultivo	Transitorios con ciclos vegetativos promedio de 4,5 meses.
Provincias productoras importantes	Loja Manabí
Período de Cosecha	Ciclo Vegetativo
Producto	Grano seco
Variedades	H-551; H-553; H-601; H-602
Utilización	Industria Alimenticia, resiembra
Destino	Consumo interno- Exportación

Fuente: (Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).

Tabla 11**Residuos del Cultivo del Maíz**

RESIDUO	DESCRIPCIÓN
Residuo de campo	Hoja, tallos, mazorcas
Residuo de procesamiento	Mazorca dependiendo de la finalidad.

Fuente: (Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).

4.2.3.1 LOCALIZACIÓN, PRODUCCIÓN Y RESIDUOS

La investigación para la elaboración del Atlas Bioenergético del Ecuador identifica el valor de la cantidad de biomasa residual agrícola del cultivo del maíz que corresponde a 434 921,32 toneladas al año y producción total de 237146,92

toneladas al año (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014). En Ecuador las provincias que producen más del 70% de cultivo y residuo son: Loja, y Manabí.

Tabla 12

Localización, Producción y Residuos del Cultivo de Maíz Duro

PROVINCIA	PRODUCCIÓN	
	ABSOLUTA (t/año)	RESIDUOS (t/año)
AZUAY	487,3	219,28
CARCHI	675,33	303,9
LOJA	91709,31	41269,19
MANABÍ	115878,18	52145,18
MORONA SANTIAGO	1538,6	692,37
NAPO	1746,45	785,9
ORELLANA	8670,69	3901,81
PASTAZA	515,86	232,14
PICHINCHA	4087,72	50610,9
SANTA ELENA	7227,79	3252,51
SUCUMBÍOS	2758,48	1241,32
ZAMORA CHINCHIPE	1851,21	833,04

Fuente: (Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, , 2014).

4.2.3.2 APLICACIÓN DE LA TUSA DE MAÍZ

- El proceso de transformación aplicable es la combustión a partir de biomasa seca, es la forma más antigua y común para aprovechar la energía de la biomasa. (Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Productividad, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Instituto Nacional de Preinversión , 2014).
- La aplicación como forraje para rumiantes, soporte para disminuir la erosión en la tierra y también como sustratos para la producción de la enzima xilanas. (Córdoba, y otros, 2013)
- Potencial para la obtención de compuestos orgánicos u otros productos de uso industrial. (Córdoba, y otros, 2013)

4.2.4 AGLOMERANTES

El aglomerante es la matriz empleada para adherir las fibras lignocelulósicas en los tableros aglomerados y aumentar su impermeabilidad. En la producción comercial de un tablero aglomerado se utiliza una matriz polimérica llamada resina. (Monterroso Waight, 2013) .

Los materiales compuestos de matriz polimérica son los más empleados. Los polímeros se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios como su origen, morfología, comportamiento térmico, etc. (Rojo Recio , 2011)

Los polímeros son materiales compuesto por macromoléculas las cuales son cadenas compuestas por la repetición de una unidad básica llamada mero, por esta razón se denominan poli (muchos) + mero.

4.2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS AGLOMERANTES

Generalmente los aglomerantes utilizados son resinas sintéticas. Sin embargo debido a la demanda de productos más amigables con el medio ambiente, se han desarrollado adhesivos naturales o biodegradables provenientes de fuentes renovables. (Monterroso Waight, 2013)

A los polímeros se los puede clasificar en dos grandes grupos: termoplásticos y termoestables.

4.2.5.1 POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

Generalmente llamados plásticos constituyendo la mayor parte de los polímeros comerciales representa entre el 78% a 80% de la producción total de polímeros sintéticos.

Son materiales constituidos de moléculas bidimensionales que pueden ser ablandadas por la acción de calor y retomar a su estado original. Esta característica los hace susceptibles de ser reciclados, ya que este proceso se lo puede hacer repetitivamente sin una disminución significativa en sus propiedades intrínsecas.

Entre los principales termoplásticos tenemos al polietileno (PE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), estireno-acrilonitrilo (SAN), entre otros (Tapia, Paredes , Simbaña , & Leao , 2009).

4.2.5.2 POLÍMEROS TERMOESTABLES

Son materiales que poseen cadenas poliméricas entrecruzantes formando una malla o red tridimensional, debido a que básicamente se forman de la unión de tres grupos funcionales. Estos polímeros endurecen al estar en presencia de un catalizador o en presencia de calor o presión (Tapia, Paredes , Simbaña , & Leao , 2009).

Los polímeros termoestables, comúnmente denominados “resinas”, pasan de estado líquido a sólidos duros y frágiles (Rojo Recio , 2011) y una vez formados no pueden fundirse.

El curado se puede realizar a temperatura ambiente, pero es habitual usar un proceso de curado que suponga el calentamiento a una o más temperaturas durante tiempos preestablecidos para alcanzar unas uniones cruzadas óptimas y con ello mejores propiedades. (Rojo Recio , 2011)

Dentro de la familia de los polímeros termoestables se encuentran los poliuretano, resinas aminoplásticas (urea, melanina), resinas fenólicas, entre otras (Tapia, Paredes , Simbaña , & Leao , 2009).

4.2.5.2.1 RESINAS AMINOPLÁSTICAS

Las resinas aminoplásticas son la clase de adhesivos más importantes en la industria de madera y tableros aglomerados. Están formadas por la reacción de urea y/o melanina con formaldehído. En base a las materias primas utilizadas se pueden nombrar (Monterroso Waight, 2013):

4.2.5.2.2 RESINAS UREICAS (UF)

Las resinas urea-formaldehído (UF), son resinas termoestables que consisten en polímeros lineales o ramificados en mezcla con cierta cantidad de monómeros. En su aplicación las resinas urea-formaldehído son usadas como soluciones o dispersiones acuosas o en forma de polvos solubles. (Quevedo Machuca, 2008).

Luego del endurecimiento las resinas urea-formaldehído son insolubles y no se pueden volver a fundir. Entre las características de este tipo de resinas, se encuentra su alta reactividad, baja resistencia a la humedad a elevadas temperaturas, color blanco e inodora. Por dichas características las resinas urea-formaldehído son usadas principalmente para interiores y en condiciones secas como es el caso de la industria de muebles. Además alcanzan períodos cortos de tiempo de prensado en caliente, una ventaja deseable en la producción de tableros. (Monterroso Waight, 2013)

4.2.5.2.3 RESINAS MELAMÍNICAS

La necesidad de aumentar la resistencia a la hidrólisis, dio lugar a la incorporación de melamina a los adhesivos. Entre este tipo de resinas se encuentra las resinas melamina-formaldehído (MF), por condensación de ureamelamina-formaldehído (MUF) y por condensación de urea-melamina-fenolformaldehído (MUPF). Además de la resistencia a la humedad, este tipo de resinas son resistentes al calor y a la mayoría de ácidos. Las resinas melamínicas son producidas por policondensación de melamina y formaldehído. (Monterroso Waight, 2013)

4.2.5.2.4 RESINAS FENÓLICAS

Son pegamentos usados para tableros de exteriores y en revestimientos. Otra ventaja es la baja emisión de formaldehído después del endurecimiento. Sin embargo el tiempo de prensado necesario para el endurecimiento es más largo en comparación a las resinas ureicas, lo que presenta una desventaja en su utilización.

Éstas son producidas por la condensación de fenol y formaldehído, utilizando álcalis como catalizadores. El álcali se utiliza para favorecer la condensación del metileno y no la del éter de metileno. (Monterroso Waight, 2013)

4.2.5.3 ADHESIVOS NATURALES

Este tipo de adhesivos ha sido objeto de muchas investigaciones, sin embargo la aplicación industrial aún no ha sido muy desarrollada. Entre este tipo de adhesivos se encuentran los taninos, ligninas, politerpenos y polímeros basados en carbohidratos. (Monterroso Waight, 2013)

4.2.5.3.1 ADHESIVOS DE ALMIDÓN

El almidón está formado por dos polímeros, amilosa y amilopectina. La gran fuerza de unión entre las moléculas causa que los gránulos permanezcan enlazados e impide que el almidón actúe como adhesivo a bajas temperaturas. Por lo tanto el almidón debe ser modificado por calor, por tratamiento químico, o por oxidación. (Monterroso Waight, 2013)

Los almidones son polisacáridos granulosos que se hallan en los tejidos de reserva de las plantas (semillas y tubérculos). La amilosa tiene cadenas no ramificadas y la amilopectina tiene una molécula ramificada. A temperatura de 50 grados centígrados, la amilopectina absorbe agua, hinchándose y formando engrudo de almidón, el cual es el que le da las propiedades físicas de los almidones. (Aglutinantes , 2013)

El almidón es obtenido de algunos granos maduros del maíz (*Zea mays*) o de la yuca (*Triticum aestivum*), o de tubérculos de la papa (*Solanum tuberosa*). (Aglutinantes , 2013)

4.2.5.3.2 ADHESIVOS A PARTIR DE LA SOJA

Las materias primas obtenidas de la soja que resultan adecuadas para la formulación de adhesivos son la harina, el concentrado proteico (CPS) y el aislado

proteico (APS). La mayor diferencia entre estos 3 subproductos es el contenido de proteína que es de alrededor de 48, 64 y 92% respectivamente. (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2010)

La reconocida adhesividad de las proteínas de soja las convierte en potenciales adhesivos de bajo impacto ambiental capaces de sustituir a las resinas sintéticas en aplicaciones específicas como es el mercado de los aglomerados y laminados. (Ruseckaite, y otros, 2011)

4.2.5.3.3 DEXTRINAS

Las dextrinas son el producto del tostado del almidón utilizando ácido como catalizador. Éstas se dividen en: blancas, amarillas y goma británica. La diferencia entre las mismas está determinada por el tiempo de tostado, la temperatura y la proporción de catalizador usado. Es soluble en agua, estable y no posee problemas de retrogradación. (Monterroso Waight, 2013)

4.2.5.3.4 TERPENOS

Los terpenos son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas y en algunos hongos, insectos y microorganismos marinos. La unidad de isopreno es el esqueleto básico de los terpenos, por lo que los demás se consideran derivados del isopreno. Las resinas comercialmente disponibles para la aplicación en adhesivos, son los politerpenos. Éstos son sintetizados a partir de la polimerización de los monoterpenos hidrocarbonados. Entre sus características se encuentran el brillo, la flexibilidad, viscosidad, pegajosidad tanto como base de disolvente como para sistemas de fusión en caliente, e incremento en la densidad de las ceras de encolado. Sin embargo son sensibles a la oxidación atmosférica, lo que conduce a la pérdida progresiva de pegajosidad. (Monterroso Waight, 2013)

4.2.5.3.5 COLOFONIA (ROSIN)

La colofonia y sus derivados poseen propiedades similares a la de los politerpenos. La colofonia o rosin es el residuo no volátil de la destilación de la resina de pino (u otros árboles de coníferas) para la obtención de la fracción volátil, la terpentina. (Monterroso Waight, 2013)

4.2.6 CLASIFICACIÓN DE AGLOMERADOS

De acuerdo a la configuración física de los materiales lignocelulósicos se pueden dividir en tableros de partículas, contrachapados y de fibras.

4.2.6.1 TABLEROS CONTRACHAPADOS

Su elaboración se origina mediante el proceso de encolado de chapas de madera superpuestas de modo que sus fibras formen un ángulo determinado, generalmente recto. Normalmente están compuestos por chapas impares, con el fin de equilibrar su estructura y comportamiento, y facilitar su curvado. (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera , 2011)

4.2.6.2 TABLEROS DE PARTÍCULAS

Su construcción es mediante la aplicación de presión y calor sobre partículas de madera (serrín, virutas y similares) y/u otros materiales lignocelulósicos en forma de partículas (fibras de cáñamo, lino, bagazo y similares) añadiendo un adhesivo. La expresión tableros de partículas es sinónima a la de tableros aglomerados, que todavía se sigue empleando. (Nevado , 2003)

4.2.6.3 TABLEROS DE FIBRAS

Los tableros de fibras difieren de los tableros de partículas en la configuración física del material. Los tableros de fibras están conformados por fibras completamente separadas entre sí. (Monterroso Waight, 2013)

Los tableros de fibras se pueden clasificar según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) en tableros prensados y no prensados. Entre los tableros no prensados se incluyen los tableros aislantes y de baja densidad entre 0,02 – 0,4 gramo por centímetro cúbico. Entre los tableros prensados se incluyen los tableros de densidad media (MDF), con una densidad entre 0,5 – 0,8 gramo por centímetro cúbico y los tableros duros (hardboards), con densidad superior a 0,8 gramo por centímetro cúbico. Los tableros de densidad media son procesados en seco, añadiendo adhesivos y otros aditivos en la etapa de mezcla. Los tableros duros pueden ser prensados tanto en seco como en húmedo y con o sin adhesivos. Los tableros procesados en húmedo poseen una cara lisa y otra rugosa. Esta característica se debe a la evacuación del agua que transporta las fibras en el proceso. Por el contrario los tableros procesados en seco poseen las dos caras lisas. (Monterroso Waight, 2013)

4.2.7 PROCESO DE ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

4.2.7.1 PREPARACIÓN DE PARTÍCULAS

Recorte de la materia prima a usar, cualquiera que ésta sea. Así, las trozas, una vez descortezadas y recortadas se convierten en astillas y éstas, a su vez, se convierten en hojuelas. (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

4.2.7.2 SECADO DE PARTÍCULAS

El secado de sólidos consiste en la reducción del contenido de agua u otro líquido residual hasta un valor de humedad aceptado. El contenido de humedad se encuentra usualmente en un rango de 4-8 por ciento, necesario para evitar la aglomeración de partículas en la etapa de clasificación. (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

4.2.7.3 SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS POR TAMAÑO

Una vez secas, las partículas se tamizan para remover el polvo y para separarlas por tamaño, de tal manera que las más pequeñas se pueden utilizar para las superficies y las más grandes para los centros de los tableros. Si el polvo no es retirado, tiende a absorber gran cantidad de resina reduciendo así la resistencia mecánica del panel. (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

4.2.7.4 MEZCLADO DE PARTÍCULAS Y ADHESIVO

Generalmente los adhesivos que se emplean en la fabricación de tableros son urea-formaldehído y fenol-formaldehído, que son solubles en agua.

Los tableros de partículas tienen una mayor resistencia mecánica mientras mayor sea la cantidad de resina que se utilice en su fabricación, el consumo de adhesivos se encuentra entre 2.5 y 10 % del peso del tablero y aún así, la cantidad que se utiliza en los tableros de partículas casi siempre es mayor que la que se emplea en los tableros de madera contrachapada. (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

4.2.7.5 FORMACIÓN DEL COLCHÓN

Previo al proceso de prensado de los tableros, las capas de partículas de madera cubiertas con gotas de pegamento se van ubicando una sobre otra, de modo que se distribuyen en forma de colchón sobre una banda sin fin, con un grosor lo más uniforme posible. (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

4.2.7.6 PREPENSADO Y PRENSADO

El colchón de partículas se somete a un proceso de pre prensado para evitar el uso de platinas o bandas sin fin para alimentar las prensas y, de esta manera, al poseer una consolidación previa, los tableros son fácilmente manejables sin que sufran rupturas durante las etapas finales del proceso de fabricación.

Existen equipos de placas para el pre prensado que requieren mantener estacionario el colchón mientras se coloca posteriormente en la máquina de prensado final, siendo en esta última donde se consolida el tablero por medio de presión y calor proporcionado mediante vapor, agua caliente o aceite. Las prensas de consolidación final se clasifican en continuas y discontinuas; las primeras se utilizan para la fabricación de tableros delgados, aproximadamente de 3 mm de grosor. El tiempo de prensado varía entre 5 y 8 minutos para tableros de 12 mm de grosor, y de alrededor de 15 minutos para tableros de 19 mm; estos tiempos resultan ser suficientes para que el calor penetre hasta el centro del tablero permitiendo que fragüe el adhesivo. (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

4.2.7.7 SECADO DE AGLOMERADO

Una vez que concluye el proceso de prensado, los tableros deben ser retirados inmediatamente, ya que al abrir la prensa las superficies de los tableros pierden humedad rápidamente debido a que las platinas permanecen calientes; esta pérdida de humedad puede propiciar el desarrollo de esfuerzos en los tableros, de modo que el proceso de acabado resulte más complicado e ineficiente (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

El secado se puede realizar a temperatura ambiente o en hornos. El proceso consiste en el acondicionamiento del contenido de humedad de los tableros o paneles, con el propósito de distribuir uniformemente la humedad en el interior y aumentar la eficiencia del aglomerante. Este proceso es de gran importancia, principalmente cuando el prensado no se lleva a cabo a altas temperaturas, por lo que el calor no penetra al interior y por lo tanto el aglomerante no se endurece. (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

4.2.7.8 REACONDICIONAMIENTO

Los tableros, son almacenados unos sobre otros durante varios días para que se enfríen y se adapten a las condiciones ambientales que los rodean. Esta es una etapa importante en el proceso de fabricación de los tableros ya que al enfriarse

gradualmente, su contenido de humedad se distribuye uniformemente en todo su interior, lo cual permite la máxima eficiencia de los adhesivos, al mismo tiempo que se evita que éstos se degraden por exposición prolongada a altas temperaturas. (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

4.2.7.9 ACABADO

Cuando los tableros se han enfriado y su humedad interior es uniforme y está en equilibrio con los valores de humedad ambientales de la planta de fabricación, se recortan con sierras para obtener las dimensiones que se desean y se lijan las caras para lograr el grosor final; para este proceso se utilizan generalmente lijadoras de banda ancha que son más eficientes. En algunas fábricas la operación de acabado incluye la aplicación de pinturas, barnices, chapas de madera, hojas de papel impregnadas con resina fenólica, así como películas de plástico o de vinilo. (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

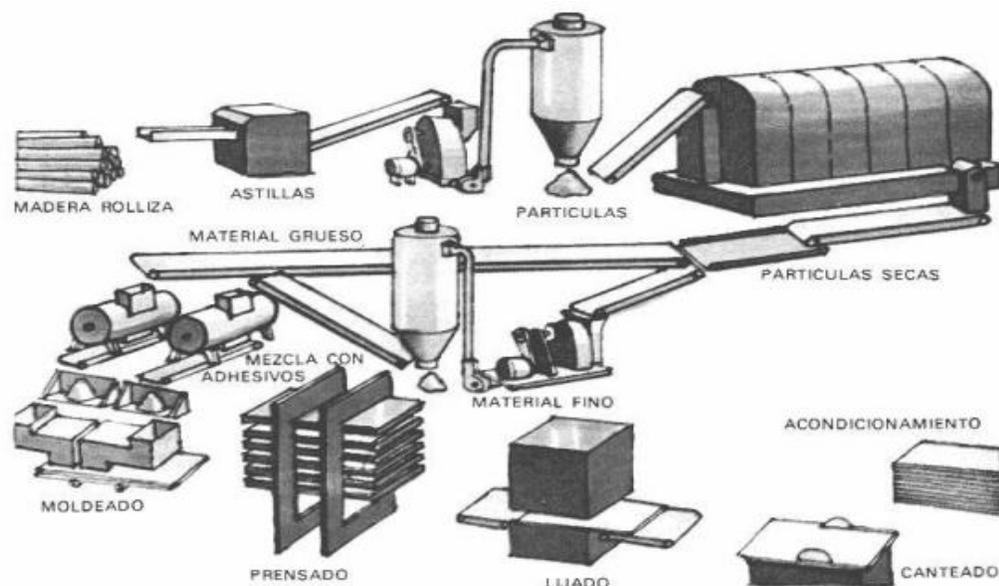


Figura 35. Esquema del proceso de fabricación de los tableros de partículas

Fuente: PADT-REFORT, 1980 citado (Chan , Araujo Molina , Azueta García , & Solis , 2004)

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA

5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología de la investigación propuesta es experimental, se encuentra estructurada en base al estudio de la elaboración de tableros aglomerados a partir de biomásas, analizando el potencial de aplicación y aporte de manera específica en relación con las biomásas seleccionadas de este proyecto, se determinarán las posibles alternativas para la fabricación de tableros aglomerados como aislantes térmicos, y las variables de estudio que permitan determinar sus características.

Se establecerán una serie de variables de control, tales como la resistencia, granulometría y compactibilidad, y coste para evaluar cada solución constructiva de aislante a desarrollar, las mismas aportarán conocimiento en torno a un campo complejo aún por investigar.

La investigación se organiza mediante el método inductivo, el cual utiliza el razonamiento para conseguir conclusiones que se estructuran de hechos admitidos como válidos, cuya aplicación se empieza con un estudio individual de los hechos y se exponen resultados que se postulan como fundamentos de una teoría.

En el proceso de este método se destacan los siguientes pasos:

1. Observación y registro de los hechos.

En el proceso de este proyecto de investigación los hechos están ligados a todo tipo de ensayos y pruebas para caracterizar la biomasa como aislante térmico.

2. Análisis de lo observado.

El análisis se desarrollará mediante el estudio de los resultados de cada ensayo y prueba realizada a los aglomerados de biomasa.

3. Establecimiento de definiciones claras de cada concepto obtenido.

Cada prueba y ensayo realizado define mediante sus resultados, una característica física- mecánica de la solución constructiva para aplicación como aislante térmico propuesta, en este caso el aglomerado de biomasa

4. Clasificación de la información obtenida.

La información obtenida a partir de los resultados es parte de la ficha de especificaciones de este biomaterial, y permitirá la caracterización térmica final.

5. Formulación de los enunciados universales inferidos del proceso de investigación que se ha realizado

Mediante todo el proceso de investigación, a partir del análisis de los resultados y clasificación de la información, las conclusiones de la viabilidad de la solución constructiva propuesta serán detalladas así como sus posibles restricciones e inconvenientes.

5.1 MATERIALES

Para el desarrollo de los tableros aglomerados como aislantes térmicos se utiliza biomasa residual agrícola como la cáscara de café, cascarilla de cacao y la tusa de maíz las cuales conforman el desecho de cultivos de nuestro país que aún carecen de estudio para generar productos con valor agregado.

La selección de la resina mediante matriz de selección se detallará más adelante siguiendo los principios de construcción sostenible.

5.1.1 PREPARACIÓN DE LA BIOMASA

Después de la recolección de la materia prima en este caso la biomasa residual agrícola, es necesario que pase mediante procesos unitarios como el secado y trituración.

5.1.1.1 PROCESO DE SECADO

El proceso de secado se lo realiza de manera natural, exposición directa al sol y al viento, durante las horas de sol, por varios días consecutivos. La evaporación de la humedad se deriva del potencial de secado del aire y de la influencia directa de la energía solar.

5.1.1.2 PROCESO DE TRITURADO

El proceso de triturado de la biomasa consiste en la reducción del tamaño de las cáscaras y la tusa de maíz mediante un molino de martillos y una trituradora.

5.1.2 SELECCIÓN DEL AGLOMERANTE

Para la selección del aglomerante se toma en cuenta los criterios dentro de la investigación de alternativas de construcción de tableros aglomerados, y se toma la decisión de trabajar con aglomerantes de origen natural y sintético, ya que las limitaciones de la primera opción natural serán complementadas la mayor parte con la segunda opción sintética.

Por esta razón se realizan dos matrices de decisión dependiendo de su origen, las alternativas planteadas surgen de todo el análisis investigativo.

Cabe señalar que las decisiones son parte de criterios a priori, y están sujetos a cambios dentro de la investigación

Tabla 13

Selección del aglomerante de Origen natural

AGLOMERANTES DE ORIGEN NATURAL

Criterio	Ponderación	Concentrado Proteína de Soya	Resina de Colofonia	Almidón de Yuca	Almidón de Maíz
COSTO	5	2	2	9	9
DISPONIBILIDAD	4	1	1	9	9
ADITIVOS	4	2	5	9	9
TOXICIDAD	5	2	5	9	9
MANIPULACIÓN	4	3	7	9	9

Tabla 14

Selección del Aglomerante de Origen Sintético

AGLOMERANTES DE ORIGEN SINTÉTICO

Criterio	Ponderación	Acetato de Polivinilo	Resina Urea formaldehido	Resinas Melamínicas
COSTO	5	7	2	2
DISPONIBILIDAD	4	8	1	1
ADITIVOS	4	7	5	5
TOXICIDAD	5	3	3	3
MANIPULACIÓN	4	7	4	4

Tabla 15

Rating de satisfacción para cada alternativa

RATING DE SATISFACCIÓN PARA CADA ALTERNATIVA					
1	Extra bajo	4	Poco bajo	7	Alto
2	Muy bajo	5	Medio	8	Muy alto
3	Bajo	6	Poco alto	9	Extra alto

Tabla 16**Cálculo de la ponderación de alternativas de origen natural**

AGLOMERANTES DE ORIGEN NATURAL				
Criterio	Concentrado Proteína de Soya	Resina de Colofonia	Almidón de Yuca	Almidón de Maíz
COSTO	10	10	45	45
DISPONIBILIDAD	4	4	36	36
ADITIVOS	8	20	36	36
TOXICIDAD	8	28	36	36
MANIPULACIÓN	10	25	45	45
TOTAL	40	87	198	198

El almidón de yuca, almidón de maíz representan las alternativas con el resultado más alto.

Tabla 17**Cálculo de la ponderación para las alternativas de origen Sintético**

AGLOMERANTES DE ORIGEN SINTÉTICO			
Criterio	Acetato de Polivinilo	Resina Urea formaldehido	Resinas Melamínicas
COSTO	35	10	10
DISPONIBILIDAD	32	4	4
ADITIVOS	28	20	20
TOXICIDAD	15	15	15
MANIPULACIÓN	28	16	16
TOTAL	138	65	65

El aglomerante de origen sintético acetato de Polivinilo representa la alternativa con el resultado más alto.

5.1.2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL AGLOMERANTE

En el proceso de selección del adhesivo se plantea soluciones de origen natural por lo que la alternativa de las colas de carpintero se descarta.

Ahora sólo depende de las propiedades de cada tipo de almidón, el análisis de las características y los efectos que provocan en la elaboración de aglomerantes a base de almidones.

5.1.2.1.1 COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN

El almidón es un carbohidrato altamente polimerizado cuyo monómero está representado por la glucosa (Almidón como auxiliar , 2008). Está constituido por dos moléculas: amilosa y amilopectina.

Las moléculas de amilopectina representan aproximadamente tres cuartos (75%) de los polímeros en un gránulo de almidón, mientras la amilosa representa un cuarto (25%) (Almidones en los alimentos, 2008) (Chavez Brito, 2012) .

Tabla 18

Propiedades de las moléculas del almidón

PROPIEDADES	AMILOSA	AMILOPECTINA
Estructura general	Lineal	Ramificada
Estabilidad	Inestable	Estable
Solubilidad en agua	Variable	Soluble

Fuente: (Díaz Castro & Fiallos Fierro, 2011)

Tabla 19

Porcentaje de amilosa de varios tipos de almidón

Tipo de Almidón	% de Amilosa
Maíz	24 a 36
Yuca	16 a 19

Fuente: (Díaz Castro & Fiallos Fierro, 2011)

Tabla 20**Composición Química de Almidones**

Almidón	% Humedad	% Lípidos	% Proteínas	% Fósforo
Yuca	13	0,1	0,1	0,01
Maíz	13	0,8	0,35	0,02

Fuente: (Díaz Castro & Fiallos Fierro, 2011)

El almidón de yuca contiene bajos porcentajes de lípidos (cerca de 0,1%), comparada con el almidón de maíz. Los lípidos forman un complejo con la amilosa, la cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos de almidón, por esta razón se necesitan temperaturas altas ($> 125^{\circ}\text{C}$), para romper así la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa (Chavez Brito, 2012).

El almidón de yuca se hincha de forma rápida a una baja temperatura, igualmente su pico de viscosidad es alto, en comparación con la viscosidad del almidón de maíz es relativamente bajo, porque los gránulos son hinchados moderadamente y requieren temperaturas más altas (Díaz Castro & Fiallos Fierro, 2011).

5.1.2.1.2 TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

En la gelatinización los gránulos de almidón captan agua y se hinchan con el calentamiento. Cuando se calienta el almidón en presencia de agua, se produce inbibición o incorporación de agua al gránulo. A continuación de la gelatinización se produce una pasta con el calentamiento continuado de los granos de almidón gelatinizados (Almidones en los alimentos, 2008).

La temperatura de gelatinización es específica para cada almidón y espesarán mezclas a temperaturas ligeramente diferentes.

Tabla 21**Temperatura de Gelatinización de Almidones**

Almidón	Temperatura de Gelatinización
Yuca	54 -66
Maíz	70-80

Fuente: (Díaz Castro & Fiallos Fierro, 2011)

Con todos los criterios expuestos se elige al almidón de yuca como la mejor alternativa para el desarrollo del adhesivo de almidón, a pesar de existen aditivos para mejorar propiedades de los adhesivos, la propuesta de este proyecto se centra en la solución con alternativas naturales.

5.2 MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA

Entre los métodos de caracterización a la biomasa, es decir, la materia prima de los tableros aglomerados se propone un análisis proximal o bromatológico para identificar las características de las sustancias que componen a cada biomasa seleccionada, con el propósito de aportar información sobre estos residuos agrícolas no valorizados.

De la misma manera con el análisis granulométrico pretendemos especificar los tamaños de partículas y determinar con cuáles se van a trabajar.

5.2.1 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Los análisis comprendidos dentro de este grupo, también conocido como análisis proximales o Bromatológico Weende. Fue desarrollado hace aproximadamente dos siglos en Alemania. Es el análisis que se hace a los alimentos para determinar la cantidad de las diferentes sustancias alimenticias que lo forman.

Se denomina proximal porque no determina sustancias químicamente definibles, sino que asocia combinaciones orgánicas, los métodos generales de

análisis de alimentos incluyen el porcentaje de humedad, fibra, grasa, proteína y ceniza.

5.2.1.1 HUMEDAD

El principio operacional del método de determinación de humedad utilizando estufa con o sin utilización complementaria de vacío. La determinación de secado en estufa se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua, incluye la preparación de la muestra, pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra. (Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2011)

5.2.1.2 FIBRA

El método radica en digerir la muestra desengrasada con una solución de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio; lavar con agua destilada, secar, pesar, calcinar, pesar; la pérdida de peso después de la calcinación representa el contenido de fibra cruda en la muestra. (INEN , 2012)

5.2.1.3 GRASA

Los lípidos, junto con las proteínas y carbohidratos, componen los principales componentes estructurales de los alimentos. Los lípidos se definen como un grupo heterogéneo de compuestos que son insolubles en agua pero solubles en disolventes orgánicos tales como éter, cloroformo, benceno o acetona. El contenido total de lípidos se determina generalmente por métodos de extracción con disolventes orgánicos. Nielsen, 1998 citado (Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2011)

5.2.1.4 PROTEÍNA

En general, el procedimiento de referencia Kjeldahl determina la materia nitrogenada total, que incluye tanto las no proteínas como las proteínas verdaderas El

método se basa en la determinación de la cantidad de Nitrógeno orgánico contenido en productos alimentarios, compromete dos pasos consecutivos (Aurand, 1987 citado en (Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2011):

- a) La descomposición de la materia orgánica bajo calentamiento en presencia de ácido sulfúrico concentrado.
- b) El registro de la cantidad de amoníaco obtenida de la muestra.

5.2.1.5 CENIZA

Las cenizas de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica. El método se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente materia inorgánica en la muestra, toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550 -600°C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza. (Nollet, 1996 citado en (Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2011)

5.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El análisis granulométrico por tamizado consiste en cernir una muestra a través de un juego de tamices estandarizados, y en determinar el porcentaje de masa acumulado en cada uno de estos respecto a la masa de la muestra inicial.

5.3 MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DEL TABLERO AISLANTE

5.3.1 ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD

Para medir la conductividad térmica se requiere del banco de pruebas de medición de conductividad, que fue fabricado siguiendo las pautas, prescripciones y recomendaciones de los standards de la ASTM. En concreto las ASTM C177-13 (Method, 2013b), ASTM C1114-13 (Method, 2013a) , ASTM C168 – 13 (Method, 2014) y ASTM C518-10 (Method, 2013c). (Velasco & Velasco Roldán, s.f.)

El banco de pruebas consiste en una fuente caliente constituida por una placa calefactora , con 4 conductores eléctricos que se conectan a 2 variadores de tensión que permiten una alimentación progresiva de la corriente eléctrica que calentará paulatinamente la placa caliente. En ambos lados de la placa caliente se colocan dos placas de material conductor, en la parte externa se coloca el material a experimentar, y a continuación se colocan unas planchas que hacen de fuente fría, las cuales tienen serpentines por donde circula agua de la red para mantener constante la temperatura.

Es necesario colocar en ambas caras de la probeta a ensayar termocuplas para registrar permanentemente las temperaturas de la cara fría y de la cara caliente. Para evitar fugas de calor al exterior todo el conjunto se rodea de una material aislante.

Lo que se forma es una especie de emparedado horizontal formado por varias capas donde el calor se genera eléctricamente en el centro y se transmite hacia ambos lados externos por conducción.

5.3.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Determinar la carga transversal mediante la colocación de la muestra en los bordes de cojinetes horizontales 12 pulgadas (305 mm) de separación, se aplica una carga en la mitad de la muestra, esta carga se mueve a una velocidad de 6 ± 2 pulg/min (152 ± 51 mm/min) hasta que ocurra una falla.

5.3.2.1 MÓDULO DE ROTURA

Esta propiedad es resultado del ensayo de flexión de las probetas de los tableros aglomerados, básicamente es función de la carga máxima que soporte la probeta hasta la ruptura.

5.3.3 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

ASTM C 209

Establecer la máquina de ensayo para una velocidad de separación de las mordazas de $2 \pm 1/4$ pulg/min (51 ± 6 mm/min), las muestras se fijan en la mandíbulas a una distancia mínima de 6 pulgadas (152 mm).

5.3.3.1 ESFUERZO DE TRACCIÓN PARALELA A LA SUPERFICIE

Esta prueba se la realiza para conocer la capacidad de cohesión de las partículas del tablero aglomerado en la dirección paralela al plano del tablero

5.3.4 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR

ASTM C 209

Para este ensayo es necesario pegar dos superficies de las muestras a los bloques de $2 \times 2 \times 1 1/4$ pulgadas ($51 \times 51 \times 32$ mm), con un adhesivo adecuado, después aplicar una carga a una velocidad de $2 \pm 1/4$ pulg/min (51 ± 6 mm/min) a los ganchos incorporados en los bloques hasta la separación dentro del bloque.

5.3.4.1 ESFUERZO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE

Esta prueba se la realiza para conocer la capacidad de cohesión de las partículas del tablero aglomerado en la dirección perpendicular al plano del tablero.

CAPÍTULO 6

DISEÑO EXPERIMENTAL

6. DISEÑO DEL TABLERO AISLANTE

Para el diseño del tablero planteamos las variables con las que se va experimentar al momento de la elaboración de los tableros, y las variables que permiten caracterizar este material de acuerdo a los resultados de los ensayos para el control de la calidad del mismo.

6.1 VARIABLES

Se puede especificar como aquella característica o cualidad que se puede medir, examinar y estudiar mediante un proceso de investigación.

En este proyecto de investigación se determina dos tipos de variables independientes y dependientes.

6.1.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

La variable independiente es aquella propiedad o característica de una realidad que tiene la capacidad de afectar otras variables, no depende de otros factores, y es manipulada por el investigador. En este caso se definen las siguientes variables que son los aspectos a considerar para la construcción del tablero aislante:

- Porcentaje de Biomasa - Aglomerante
- Porcentaje de Almidón de Yuca
- Porcentaje de PVA
- Tamaño de Partículas

6.1.2 VARIABLES DEPENDIENTES

La variable dependiente es el efecto o resultado medible de la manipulación de la variable independiente, para esta investigación se define dichas variables:

- Resistencia a la Flexión
- Resistencia a la Tracción
- Absorción de Agua

6.2 DIMENSIONES

Para el diseño de esta solución constructiva se determina las condiciones iniciales, tomando en cuenta la investigación bibliográfica y la de mercado de aislantes térmicos.

Se establece los valores a priori para el largo y ancho del tablero que rigen de acuerdo a las especificaciones del banco de prueba de conductividad térmica del laboratorio de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

El espesor se lo considera de acuerdo a la disponibilidad de medidas en el mercado y análisis de proyectos que se orientan con los mismos principios de construcción de tableros.

Tabla 22

Dimensiones del Tablero Aislante

DIMENSIONES (cm)	
Largo	30
Ancho	30
Espesor	1.5

6.3 MASA

El valor experimental de la masa se obtiene mediante el pesaje de cada biomasa, colocada en el molde donde se elaborará la construcción del tablero.

Tabla 23

Masa del tablero según el tipo de biomasa

Biomasa	Peso (gr)	Peso (kg)
Cáscara de café	570	0,57
Cascarilla de cacao	560	0,56
Tusa de maíz	480	0,48

6.4 VOLUMEN

Para el cálculo del volumen se lo realiza mediante la siguiente ecuación:

$$V = l \times a \times e \quad (4)$$

Dónde:

l : largo (cm)

a : ancho (cm)

e : espesor (cm)

Reemplazando los valores de las condiciones iniciales se tiene el volumen del tablero aglomerado aislante:

$$V = 30 \times 30 \times 1.5$$

$$V = 1350 \text{ cm}^3 = 0,00135 \text{ m}^3$$

6.5 DENSIDAD

La densidad y el comportamiento térmico están relacionados, de tal manera que la ausencia de porosidad supone un incremento de densidad, a una mayor densidad supone una reducción de la porosidad y esto conlleva una mayor conductividad térmica. Por lo que el valor de la conductividad térmica depende de la densidad y porosidad. (Castells X. , 2012).

Ante esta premisa y en conjunto con la densidad comercial se toma el valor de la densidad a priori, enfocándose en un valor referencial de 500 Kg / m³, el cual estará sujeto a modificación ya que se comprobará al final de la construcción del tablero.

Sin embargo para tener un valor más específico de acuerdo a la naturaleza de las biomásas, se calcula la densidad con respecto a los valores de la masa determinada, con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Dónde:

m: masa (Kg)

V: volumen (m³)

Los valores de la densidad se presentan en la tabla 16 a continuación.

Tabla 24

Densidad del Tablero según el tipo de Biomasa

Biomasa	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Densidad (kg / m ³)
Cáscara de café	0,57	0,00135	422,22
Cascarilla de cacao	0,56	0,00135	414,81
Tusa de maíz	0,48	0,00135	355,56

Los valores de la densidad calculada con respecto al valor de referencial determinado de 500 Kg / m³ representan más del 50 por ciento, lo cual permite concluir que las decisiones a priori están dentro de la referencia comercial planteada.

En la tabla 24 se calcula un porcentaje de relación entre el valor de la densidad calculado y el dato referencial comercial estimando porcentajes mayor al 50 por ciento. Estos valores representan una guía para el diseño, sin embargo estarán sujetos a modificaciones de acuerdo con los valores reales al final de la construcción.

Tabla 25

Porcentaje de Relación con la densidad de referencia

% Relación	Densidad (kg / m³)
84,44	422,22
82,96	414,81
71,11	355,56

6.6 COMBINACIÓN DE VARIABLES

La combinación de variables tiene el propósito de generar varias alternativas de diseño del tablero, por medio de estas composiciones se puede evaluar el efecto que provoca cada variable en las propiedades del material aislante.

Para determinar el tamaño de partícula, porcentaje de almidón de yuca y biomasa, se parte de los antecedentes de estudios de construcción de tableros aglomerados con cáscaras de varios desechos agrícolas.

6.6.1 BIOMASA Y AGLOMERANTE

El tablero está conformado para una combinación de biomasa y almidón con respecto a su masa correspondiente a una relación 50/50.

Tabla 26**Porcentaje de Biomasa y Aglomerante**

BIOMASA Y AGLOMERANTE			
Biomasa	Almidón de Yuca	Unidad	Observación
50	50	%	En relación a la masa del tablero

6.6.2 AGLOMERANTE

El aglomerante está constituido por la combinación del almidón de yuca y el acetato de polivinilo PVA, se plantean dos relaciones 50/50 y 70/30 con respecto a la masa del tablero.

Tabla 27**Porcentaje de Aglomerante Natural y Sintético**

AGLOMERANTE			
Almidón de Yuca	Acetato de Polivinilo	Unidad	Observación
50	50	%	En relación a la masa del tablero
70	30	%	En relación a la masa del tablero

La solución constructiva que se plantea en esta investigación es con una concepción sostenible por lo que se descarta la posibilidad de asignar un 70% de participación al acetato de polivinilo.

6.6.3 TAMAÑO DE PARTÍCULAS

La selección del tamaño de partículas se realiza con respecto al análisis de resultados de tableros con partículas finas, medias y gruesas: el uso de partículas cáscaras de maní más pequeñas y planas da por resultado materiales compuestos de

mayor resistencia a flexión en comparación con paneles elaborados con partículas más grandes (Granero, y otros, 2013)

Se toma en consideración el criterio de la relación opuesta entre la resistencia y el comportamiento térmico de los materiales (Castells X. , 2012). Por lo tanto se decide experimentar con partículas gruesas y medias.

Tabla 28

Porcentaje de Partículas de Biomasa

Tamaño de las partículas				
Combinación	Partículas	Cantidad	Unidad	Observación
A	Gruesa	100	%	en relación a la masa del tablero
B	Gruesa-Media	50 - 50	%	en relación a la masa del tablero

6.7 PARÁMETROS DE DISEÑO DEL TABLERO

Se plantean tres parámetros de diseño que son las variables independientes de nuestra investigación, de acuerdo con la combinación establecida son cuatro tableros por cada biomasa (cáscara de café, cascarilla de cacao y tusa de maíz), en total se elaborarán doce tableros con una repetición.

Tabla 29

Combinación de Variables

COMBINACIÓN DE VARIABLES					
Relación Biomasa-Aglomerante	Relación Almidón-PVA	Tamaño de Partículas	Cáscara de Café	Cascarilla de Cacao	Tusa de Maíz
50/50	50/50	Gruesa	Tablero 1A	Tablero 3A	Tablero 5A
50/50	50/50	Gruesa-Media	Tablero 1B	Tablero 3B	Tablero 5B
50/50	70/30	Gruesa	Tablero 2C	Tablero 4C	Tablero 6C
50/50	70/30	Gruesa-Media	Tablero 2D	Tablero 4D	Tablero 6D

Las relaciones están definidas de acuerdo a la masa del tablero.

6.7.1 RELACIÓN AGLOMERANTE - AGUA

6.7.1.1 ALMIDÓN DE YUCA - AGUA

El adhesivo de almidón está conformado por sólidos y a mayor cantidad de agua, mayor demanda de calor para alcanzar la temperatura de gelatinización (Díaz Castro & Fiallos Fierro, 2011), en la cual el almidón se hidrata o sea se absorbe el agua disponible. A esta temperatura los almidones poseen propiedades verdaderas de adhesivos. La cantidad de agua debe ser tal que permita la absorción de ésta por parte del almidón (Almidones en los alimentos, 2008).

Según los gramos de almidón de yuca establecidos en la combinación de porcentaje de biomasa y almidón, para cada tablero se calcula la cantidad de agua, se toma como referencia las relaciones almidón- agua determinadas en estudios que siguen la misma línea de investigación de este proyecto.

Tabla 30

Relación de almidón de yuca y agua

RELACIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA : AGUA		
Identificación	(Quezada & Vásquez , 2012)	(Chanchí Golondrino , Bonilla Campos, Gaviria Rojas, & Giraldo López, 2008)
Cáscara de Café	1 mg de almidón =5 ml de agua 1gr de almidón = 0,005 l de agua	115 gr de almidón=770 gr de agua

La cantidad de agua en la elaboración del aglomerante es proporcional a la demanda de temperatura para alcanzar la temperatura de gelatinización, por esta razón se decide trabajar con la relación donde interviene la menor cantidad de agua.

6.7.1.2 PVA - AGUA

La cantidad de agua representa la tercera parte de la cantidad del acetato de polivinilo, esta relación se la define según la recomendación del fabricante.

6.8 TÉCNICA DE AGLOMERACIÓN POR COMPACTACIÓN

6.8.1 AGLOMERACIÓN

La aglomeración es el proceso de aumento de tamaño de los granos de sustancia sólida, el mecanismo de un proceso de aglomeración engloba aspectos físicos y químicos que causan la adhesión y el enlace entre las superficies de las partículas

Existen diferentes tipos de tecnologías de aglomeración de partículas en función de los fundamentos empleados (García Triñanes, 2010) en las unidades de operación, en este caso seleccionamos por método de compactación de acuerdo en que la elaboración de tableros aislantes de este proyecto sigue el principio de construcción de los tableros de partículas de madera, donde la conformación del mismo se lo realiza mediante presión.

6.8.2 MÉTODO POR COMPACTACIÓN

En los métodos de compactación una presión externa actúa sobre una masa confinada de partículas sólidas, a pesar de que se produce una alta densificación, el manejo de presiones altas genera baja porosidad, por lo que es necesario controlar la presión para no afectar la estructura que a su vez afecta el comportamiento térmico del material aglomerado.

La compactación se realiza en dos etapas (Introducción al aumento de Tamaños Cinética de Sólidos , 2007):

1. La muestra se somete a baja presión para lograr un acomodamiento de las partículas.
2. En segundo término, se aumenta abruptamente la presión donde las partículas frágiles se rompen y las maleables se deforman plásticamente (disipan energía) y/o elásticamente (no disipan energía, tienen memoria).

Materiales con bajo punto de fusión pueden llegar a fundirse por la disipación de energía ocasionada por la presión ejercida. Las partículas que han permanecido en estado elástico pueden causar problemas después de obtener el producto

comprimido, ya que al liberar la energía almacenada tienden a volver a su estado inicial, lo que ocasiona que se debilite o se destruya el producto. Este problema suele resolverse aumentando el tiempo en el que se somete al producto a la mayor presión (Introducción al aumento de Tamaños Cinética de Sólidos , 2007).

6.8.3 CICLO DE PRENSADO

Para establecer el ciclo de prensado se toma en consideración el efecto de la presión y tiempo de prensado al momento de aglomerar por compactación.

Trabajar con presiones altas afecta la porosidad y tiempos cortos de prensado afectar la liberación de energía de las partículas debilitando o destruyendo el aglomerado.

Como consecuencia de estudios previos orientados a la elaboración de aglomerados con diferentes biomásas y resinas, se define dos ciclos de prensado experimentales, para cada combinación de almidón-PVA, que está sujeto a cambios de acuerdo a los resultados de la construcción de los tableros aglomerados.

Tabla 31

Ciclo de Prensado

CICLO DE PRENSADO					
Relación Almidón- PVA	Presión	Valor	Unidad	Tiempo	Unidad
50/50	Máxima	1	Tonelada	6	Minutos
	Media	0,5	Tonelada	3	Minutos
	Inicial	0,25	Tonelada	3	Minutos
70/30	Máxima	2	Tonelada	6	Minutos
	Media	1	Tonelada	3	Minutos
	Inicial	0,5	Tonelada	3	Minutos

El ciclo de prensado tiene una presión máxima, media y final con sus respectivos tiempos de duración, en total se dedica 10 minutos para prensar el tablero aglomerado.

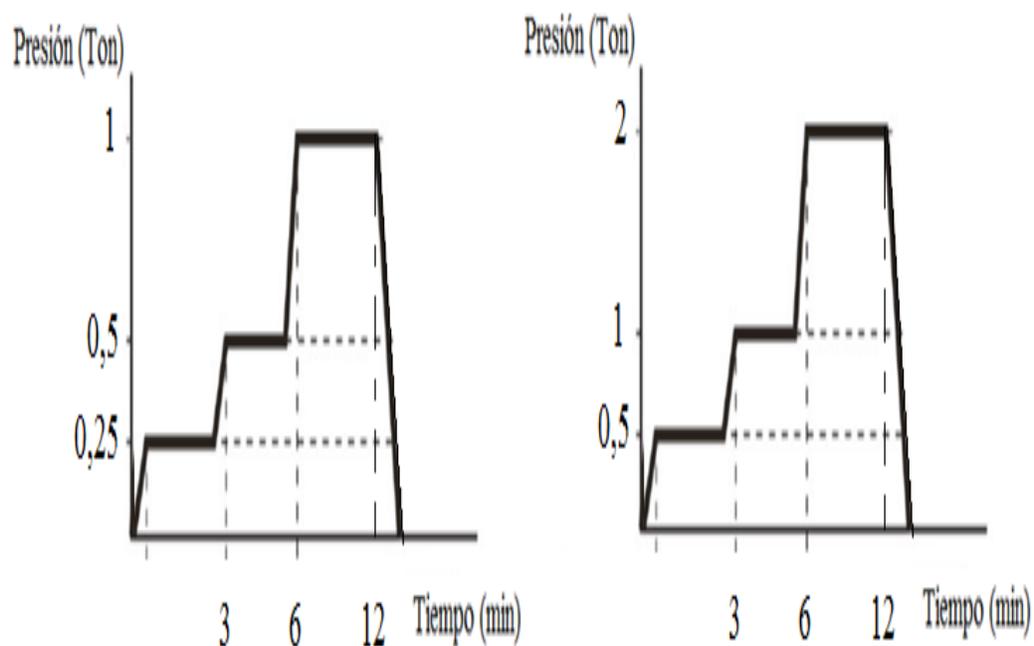
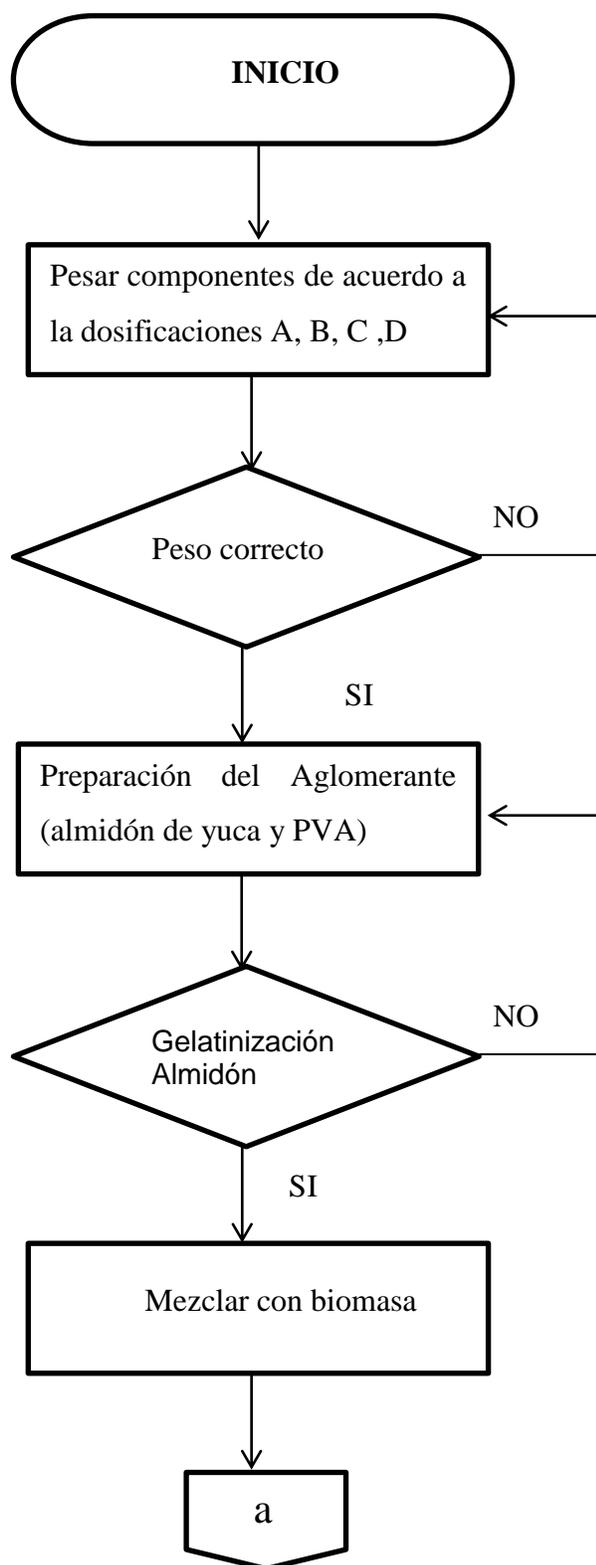
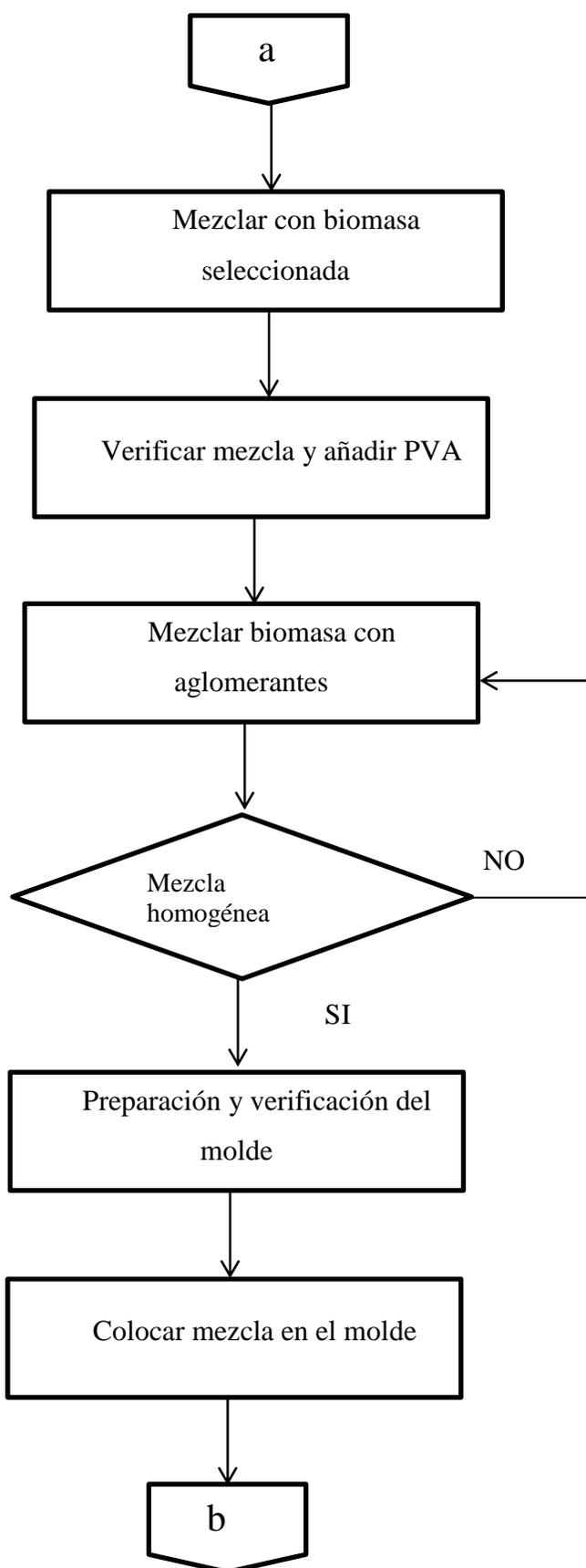


Figura 36 Ciclo de Prensado

6.9 TEMPERATURA Y TIEMPO DE SECADO

La temperatura de secado considerada es de 100°C, trabajar con temperaturas medias con respecto a los valores utilizados en procesos similares de construcción de tableros aglomerados con materiales alternativos, permite controlar y evitar que el tablero se exponga a temperaturas altas que provocan la quema del material. El tiempo de secado será aproximadamente 3 horas, verificando condiciones cada media hora.





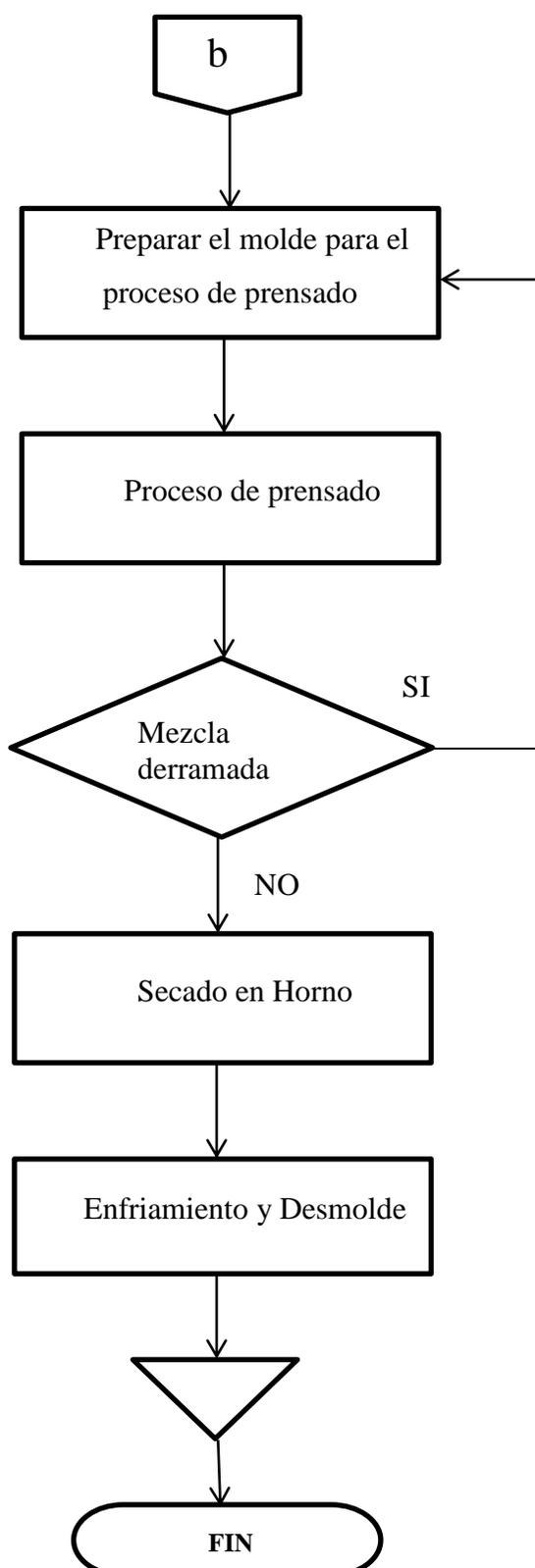


Figura 37. Flujograma del Proceso de Construcción

6.10 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS TABLEROS

Para el diseño del proceso se toma como referencia el principio de elaboración de los tableros aglomerados de madera, se selecciona las siguientes etapas en la construcción de los tableros de esta investigación:

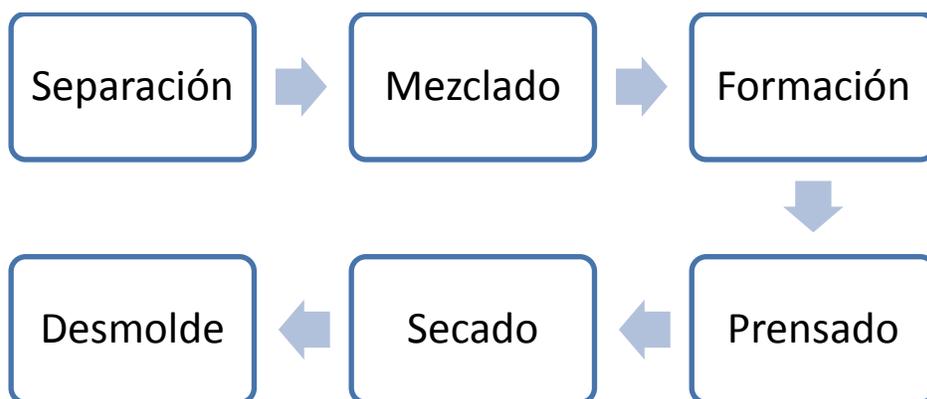


Figura 38. Etapas del Proceso de Elaboración

6.10.1 SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS

Existen tres procesos unitarios antes de realizar la separación de partículas por tamaños que son las siguientes:



Figura 39. Procesos preliminares a la etapa de Separación

Secado

A partir de la recepción de las biomásas residuales agrícolas del cultivo de café, cacao y maíz se realiza el proceso de secado se lo realiza de manera natural, exposición directa al sol y al viento, durante las horas de sol, por varios días

consecutivos. La evaporación de la humedad se deriva del potencial de secado del aire y de la influencia directa de la energía solar.

Triturado

El proceso de triturado de la biomasa consiste en la reducción del tamaño de las cáscaras y la tusa de maíz mediante un molino de martillos y una trituradora

Tamizado

Este procedimiento se lo realiza mediante una análisis granulométrico por medio del cual se separar las partículas constitutivas de la muestra, de tal manera que se pueda conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total.

La separación de las partículas se lo realizó mediante el tamizado de las muestras por medio de mallas de tres tamaños identificando tres tamaños fina, media y gruesa.



Figura 40. Separación de Partículas

6.10.2 MEZCLADO DE PARTÍCULAS Y AGLOMERANTE

En la etapa del mezclado es necesario identificar el tamaño de partículas con el que se va a trabajar, para esta investigación se seleccionan dos tamaños media y gruesa de las partículas.

El aglomerante es una combinación del almidón de yuca y la resina Timermam Industrial un adhesivo industrial.

Con la materia prima establecida es necesario identificar la dosificación de la biomasa-aglomerante, la combinación almidón-resina, y el tamaño de partículas. En

esta etapa se desarrolla dos operaciones unitarias: el pesaje de la biomasa y aglomerante, y preparación del almidón y el adhesivo

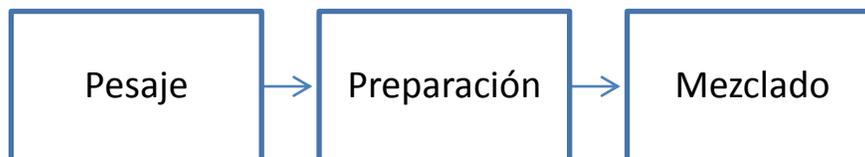


Figura 41. Operaciones para la etapa del Mezclado

Pesaje

El proceso de pesaje se lo realiza mediante una balanza digital con capacidad de 5000 gramos.



Figura 42. Pesaje de las muestras

Preparación del Aglomerante

Es necesario identificar la relación de agua para el almidón de yuca y para el adhesivo industrial.

Tabla 32

Relación Agua-Aglomerante

RELACIÓN AGUA-AGLOMERANTE	
Almidón	Por cada 100 gr de almidón 100 ml de agua
Resina	El agua corresponde a la tercera parte en peso de la resina

Preparación del Almidón

1. De acuerdo con la dosificación planteada, se pesa la cantidad de almidón de yuca y agua.

2. En un recipiente se coloca el almidón y el agua, se mezcla hasta obtener una mezcla homogénea.
3. Se calienta la mezcla mientras se sigue mezclando hasta que empiece a reaccionar el almidón por la temperatura.



Figura 43. Pesaje de las muestras



Figura 44. Preparación del Almidón

Preparación de PVA

1. Pesar la cantidad correspondiente de resina y de agua.
2. Mezclar en un recipiente



Figura 46. Preparación del PVA

Mezclado

En esta etapa se mezcla las dos preparaciones de aglomerante con la biomasa.

1. Colocar la biomasa en el recipiente, para una mejor mezcla sólo la mitad de la cantidad a depositar.
2. Verter la mezcla de almidón de yuca previamente preparada
3. Mezclar uniformemente las dos muestras
4. Adicionar la cantidad restante de la biomasa
5. Colocar la mezcla de resina previamente elaborada
6. Mezclar hasta obtener una masa homogénea.



Figura 47. Etapa de Mezclado de la Biomasa con Almidón



Figura 48. Parte final del mezclado adicionando resina a la mezcla

6.10.3 FORMACIÓN DEL TABLERO

En esta etapa la mezcla es colocada en el molde de acero, para pasar a la etapa del prensado. Es necesario preparar al molde para evitar que la mezcla se pegue en la superficies del molde. Para la formación del tablero se necesita como requisito previo el molde y su preparación.

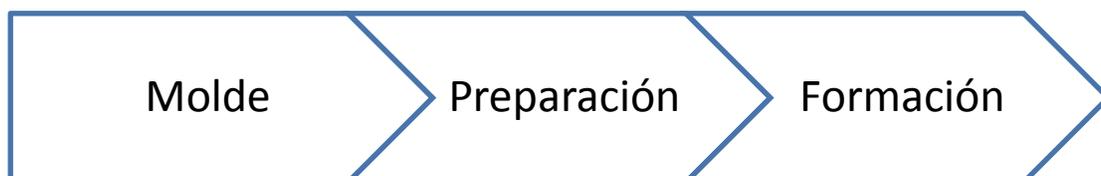


Figura 49. Operaciones previas a la Formación del Tablero

Molde

El diseño del molde presenta un desmontaje de sus partes en base y marco, el propósito de una base empernada al marco es para garantizar un desmolde completo del tablero y evitar fisuras tempranas.



Figura 50. Molde de Acero

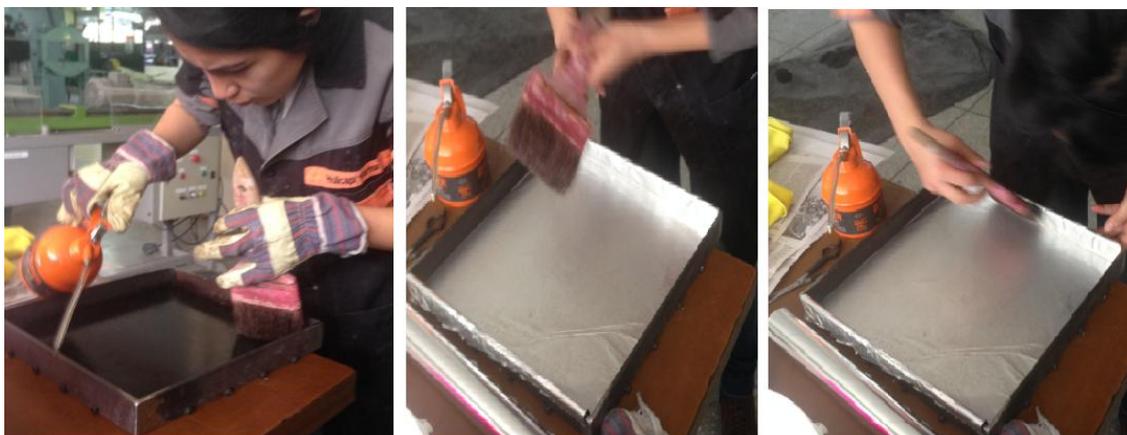
Tabla 33

Características del Molde

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
Dimensiones	30 x 30 x 3.5 (cm)
Diseño	Base empernada
Pernos	16 pernos, 4 por cada lado
Material	Acero A36 - 8 mm de espesor

Preparación del Molde

Es necesario preparar las superficies del molde para evitar que la mezcla se pegue en sus superficies, por lo que forramos el molde con papel aluminio y colocamos una capa de aceite en las esquinas.

**Figura 51. Preparación del Molde****Formación del Tablero**

En esta etapa se coloca la mezcla en el molde previamente preparado, la mezcla se esparce en el molde, se rellena todo el espacio dispuesto.



Figura 52. Formación del Tablero

6.10.4 PRENSADO

En esta etapa mediante un ciclo de prensado ya determinado se aglomera la mezcla mediante la técnica de compactación en una prensa con la ayuda de una placa de las mismas dimensiones del molde, se coloca en la parte superior del mismo y con la ayuda de dos prensas tipo c, se ajusta la placa al molde para evitar que la placa compacte de manera desigual.



Figura 53. Etapa de Prensado del Tablero

6.10.5 SECADO

Esta etapa comprende el secado en un horno a una temperatura de 90°C durante dos horas.



Figura 54. Etapa de Secado del Tablero

6.10.6 DESMOLDE

En esta etapa se retira el tablero del molde, siguiendo una secuencia de pasos:

1. Desmontar la base del marco del molde.
2. Colocar el molde en forma vertical y empezar a desprender la base del tablero formado.
3. Retirar el papel aluminio



Figura 55. Desmolde del Tablero

CAPÍTULO 7

CARACTERIZACIÓN

7. CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA Y TABLERO AGLOMERADO

La caracterización se la realiza a la materia prima (biomasa) y los tableros aglomerados de biomasa. Como punto de partida se realiza la determinación de características a las biomásas residual agrícolas.

7.1 CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA

El análisis bromatológico permite identificar las características de las sustancias que componen a la biomasa residual agrícola. El análisis se lo realizó en los laboratorios del IASA (Ingeniería Agropecuaria) de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

7.1.1 HUMEDAD

El método por secado en estufa (Nielsen, 2003), se lo realizó de la siguiente manera:

1. Pesar 3 gramos de muestra (Tomando en consideración el peso del crisol para los cálculos correspondientes)



Figura 56. Peso de las muestras

2. Secar la muestra al menos por 24 horas en la estufa a 100°C



Figura 57. Estufa Shellab

3. Retirar de la estufa
4. Pesar tan pronto como se equilibre con la temperatura ambiente



Figura 58. Peso final de las muestras

7.1.2 FIBRA

Fibra cruda es la pérdida de masa que corresponde a la incineración del residuo orgánico que queda después de la digestión con soluciones de ácido clorhídrico. El procedimiento se describe de la siguiente manera:

1. Tomar una muestra de 3 gramos de cada biomasa.



Figura 59. Registro de pesos de cada muestra

2. Colocar las muestra en el erlenmeyer



Figura 60. Muestras en erlenmeyer

3. Colocar 100 ml de ácido clorhídrico 1N



Figura 61. Muestras cono ácido clorhídrico

4. Tapar cada Erlenmeyer con papel aluminio, y cuando empiece a hervir realizar orificios en el papel aluminio. Mantener en movimiento durante dos horas y a una temperatura de 200°C.



Figura 62. Proceso de calentamiento de las muestras

5. Filtrar las muestras mediante embudos



Figura 63. Proceso de primer colado

6. Recoger la fibra con la ayuda de 100 ml hidróxido de sodio para lavar el papel y retirar la fibra.



Figura 64. Proceso de recolección de la fibra

7. Colocar la fibra retirada en el Erlenmeyer



Figura 65. Separación de la fibra del papel filtro

8. Añadir 100 ml de hidróxido de sodio



Figura 66. Fibra final con hidróxido de sodio

9. Hervir la fibra durante 2 horas



Figura 67. Segundo proceso de calentamiento de la fibra

10. Colar la fibra



Figura 68. Colado final

11. Colocar la fibra colada en la estufa a 85°C durante 24 horas



Figura 69. Secado de la muestra

12. Registra el peso de la fibra



Figura 70. Registro de pesos de la fibra seca

7.1.3 GRASA

Para la doctora Suzana Nielsen en su libro de análisis de alimentos define al método de Soxhlet como una extracción semicontinua con un disolvente orgánico en este caso utilizamos 100 ml de acetona.

En este método el disolvente se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en el disolvente. Posteriormente éste es sifoneado al matraz de calentamiento para comenzar de nuevo el proceso. El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso.

Procedimiento del método Soxhlet:

1. Armar equipo Soxlet

Conectar el matraz al extractor, en el que se debe encontrar el cartucho con la muestra, y posteriormente conectar éste al refrigerante. Calentar el matraz a 250°C con parrilla a ebullición suave.



Figura 71. Equipo Soxhlet

2. Pesar 3 gramos de muestra y colocar en el papel filtro



Figura 72. Muestra para método Soxhlet

3. Pesar el matraz de bola



Figura 73. Registro de peso del matraz

4. Colocar 100 ml de acetona



Figura 74. Acetona en la muestra

5. Sifonar

Esperar que se realicen tres sifonadas

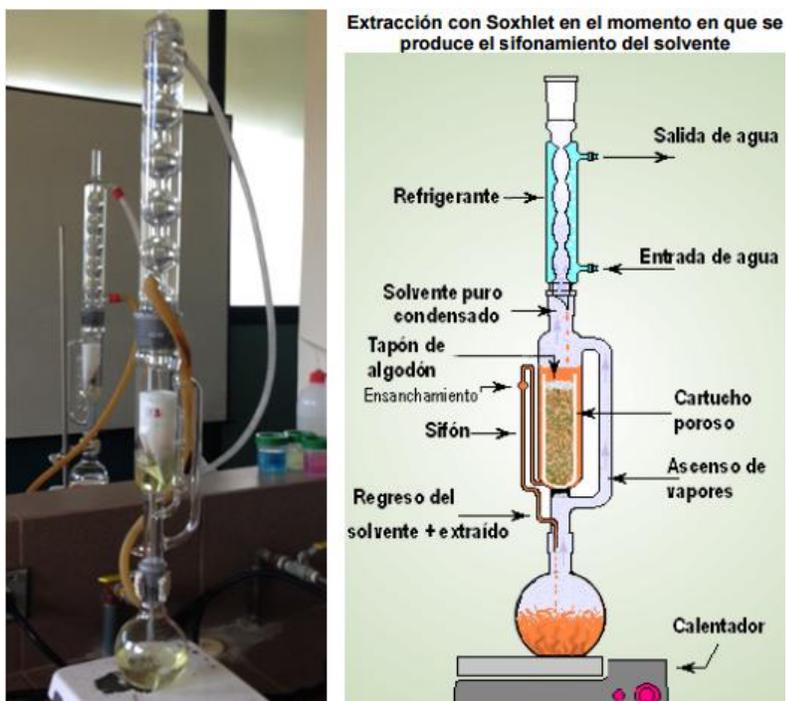


Figura 75. Proceso de Sifoneo

6. Secar el extracto en la estufa a 100°C por 30 min., enfriar y registro de la cantidad de grasa



Figura 76. Pesaje de Grasa

7.1.4 PROTEÍNA

El método para determinar la proteína es Kjeldahl se basa en la determinación de la cantidad de Nitrógeno orgánico contenido en productos alimentarios, el procedimiento se detalla a continuación:

1. Pesar 3 gramos de la muestra y colocar la muestra sobre un papel parafinado.



Figura 77. Muestra de Biomasa

2. Colocar las muestras dentro del matraz Kjeldahl y añadir varios núcleos de ebullición.



Figura 78. Núcleos de ebullición

3. Agregar una tableta de catalizador kjeldahl (pastilla de formaldehido)

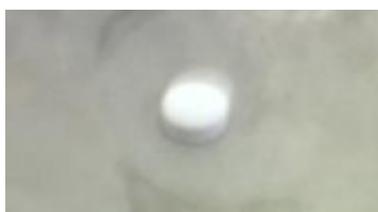


Figura 79. Catalizador kjeldahl

4. Colocar 25 ml de ácido sulfúrico y mezcla cuidadosamente



Figura 80. Ácido sulfúrico en el matraz

5. Colocar el matraz kjeldahl en posición inclinada sobre el digestor kjeldahl. Calentar el matraz lentamente con el accionamiento del rotor a 4 grados. Cuando hierva la muestra bajar el rotor de vapor a 3 grados.



Figura 81. Calentamiento del matraz

6. Girar el matraz cada 10 minutos, hasta que el contenido sea completamente líquido. La ebullición se realizará en un tiempo de 2 horas.



Figura 82. Matraz kjeldahl sobre el digestor

7. Enfriar y cuidadosamente agregar 250 ml de agua destilada, mezclar y dejar enfriar.



Figura 83. Agua destilada

8. Destilación

Colocar en el matraz Erlenmeyer 50 ml de solución ácido bórico, se agrega 4 gotas de solución indicadora, mezclar, colocar el matraz Erlenmeyer bajo el refrigerante del aparato de destilación de manera que el extremo quede sumergido en el líquido.

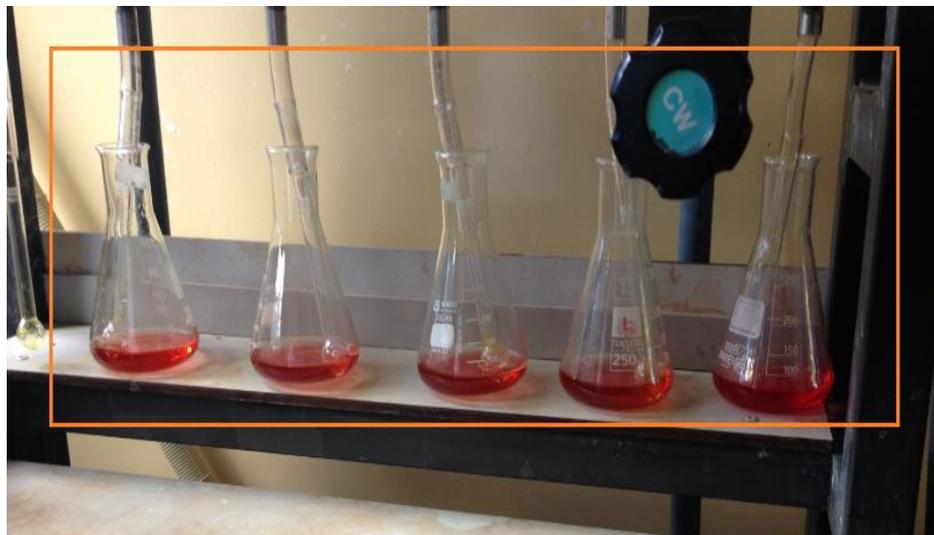


Figura 84. Proceso de Destilación

Se destila el contenido del matraz kjeldahl de la siguiente manera:

- Diluir con cuidado el contenido del matraz kjeldahl con aproximadamente 200 ml de agua destilada, agitar y dejar en reposo durante 15 minutos y luego añadir 100 cm de solución de hidróxido de sodio, cuidadosamente a lo largo del cuello del matraz.



Figura 85. Dilución del contenido del matraz

- Conectar el matraz al condensador del aparato de destilación, colocar la fuente de calor, calentar hasta ebullición y destilar por lo menos 150 ml de líquido, en un tiempo de 20 minutos.



Figura 86. Aparato de destilación

- Continuar la destilación hasta que la mezcla comience a proyectarse o hasta que se haya recogido 250 ml de destilado.



Figura 87. Muestra destilada

9. Titulación

Titular el contenido del matraz Erlenmeyer con la solución 0,1 N de ácido clorhídrico hasta viraje a color violeta, registrar el volumen de solución.



Figura 88. Titulación de las muestras

7.1.5 CENIZA

El método de cenizas totales consiste en cuantificar la totalidad de minerales en alimentos y se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente materia inorgánica en la muestra. El procedimiento se lo describe a continuación:

1. Pesar 3 gramos de muestra (considerar el peso del crisol para los cálculos posteriores)



Figura 89. Peso del crisol

2. Quemar la muestra por 20 minutos



Figura 90. Crisol expuesto al calor

3. Colocar los crisoles en la mufla por 4 horas, 610 °C. Registrar datos del peso final de la muestra seca.



Figura 91. Crisol en Mufla

7.1.6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El análisis granulométrico por tamizado se lo realizó en el laboratorio de mecánica de suelos de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. El análisis consiste en separar las partículas según tamaños con el objetivo de conocer el peso de cada tamaño que aporta al peso total. El procedimiento se lo detalla a continuación:

1. Seleccionar el número de tamiz para la prueba.



Figura 92. Selección de Tamiz

2. Colocar la muestra que se va analizar en un recipiente y registrar el peso total.



Figura 93. Registro del peso de la muestra

3. Ordenar la torre de tamices de tal forma que el tamiz de menor denominación quede en la base y el de mayor en la punta.



Figura 94. Torre de tamices

4. Colocar la muestra pesada en la parte superior de la torre de tamices.



Figura 95. Muestra en torre de tamices

5. Ubicar la torre de tamices con la muestra en el vibrador mecánico.



Figura 96. Vibrador mecánico

6. Desmontar la torre de tamices pesando el contenido de cada tamiz.



Figura 97. Separación de tamices

7. Registrar el peso de cada tamiz



Figura 98. Registro de peso



Figura 99. Separación de partículas de Cacao



Figura 100. Separación de Partículas de Café



Figura 101. Separación de Partículas de Tusa de Maíz

7.2 CARACTERIZACIÓN DEL TABLERO AGLOMERADO

El propósito de la caracterización del tablero aglomerado es la determinación de las características que presenta el material compuesto elaborado. Entre las propiedades a señalar se encuentran la conductividad térmica, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción paralela a la superficie y la resistencia a la tracción perpendicular a la superficie, que se ensayaron de acuerdo a un procedimiento establecido en la norma ASTM C 209-98 Standard Test Methods for Cellulosic Fiber Insulating Board.

7.2.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

El método para determinar la conductividad térmica está dado según la norma ASTM C 177 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus, el ensayo se lo realizó en un aparato de medición diseñado bajo la norma ASTM C 177-13.

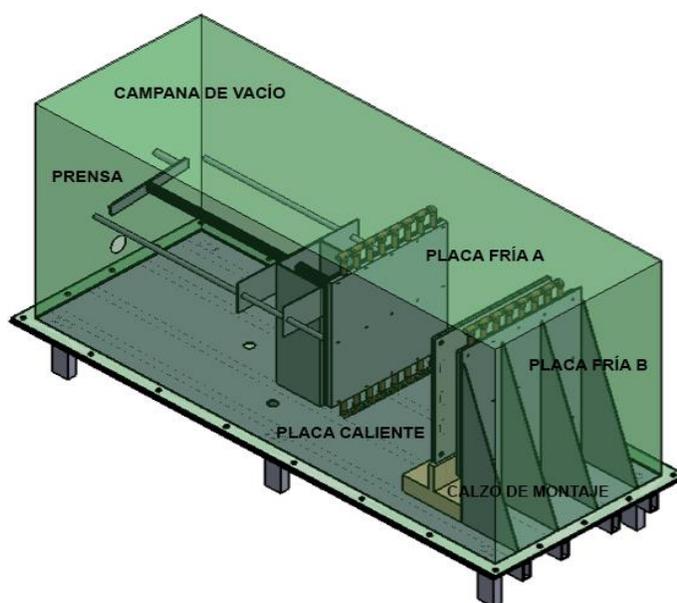


Figura 102. Esquema del Aparato de Medición

Fuente: (Velasco Roldan, y otros, 2014)

Parte de la metodología descrita en la norma indica medir el flujo de calor en estado "estacionario", para lo cual utiliza placas planas paralelas cuyo monitoreo de temperatura constante se lo realiza mediante el sistema de placa caliente.

La placa caliente es la parte del equipo con la función de transmitir el calor a través del tablero aglomerado hacia la placa fría, la misma que asegura la disipación de la energía transmitida y asegura un flujo de calor constante (Velasco Roldan, y otros, 2014).

La placa caliente tiene placas de aluminio, recomendación propuesta por la norma ASTM C177-13, para el anillo de guarda. La placa central está formada por dos placas de aluminio de 150x150 mm con un espesor de 2mm, en medio de las cuales se coloca una resistencia. En la placa central tiene una resistencia níquelina compuesta de una aleación de níquel y cromo distribuida uniformemente, encargada de proveer calor al sistema, que depende de la cantidad de corriente inducida al elemento (Carrera Hidalgo , 2015).

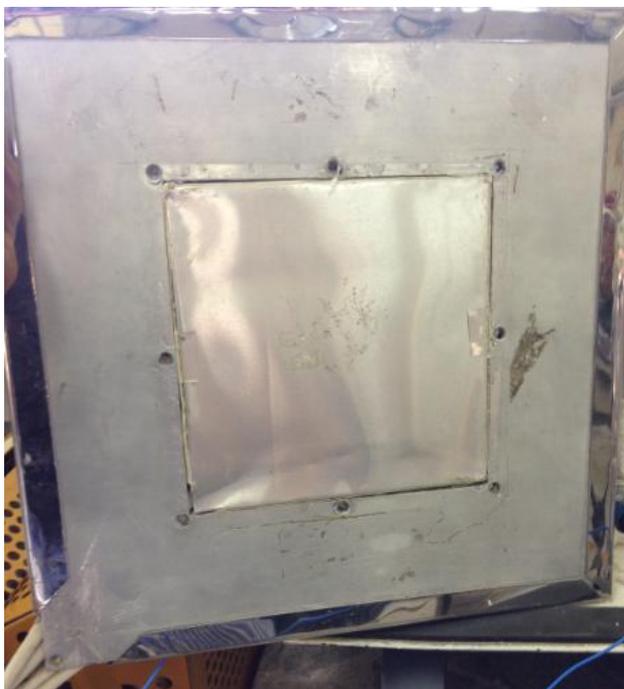


Figura 103. Placa caliente

Fuente: (Velasco Roldan, y otros, 2014)

La placa fría tiene la función de disipar la energía que llega a través de las muestras en este caso los tableros aglomerados de biomasa, inducida por la placa caliente. Están formadas por dos planchas de aluminio 30×30 cm y 10 mm de espesor con ocho ranuras de 6x6mm en su cara interior destinadas a albergar una serie de conducciones de cobre de 8mm por las que discurre el agua distribuida de la red mediante colectores para asegurar la imprescindible uniformidad de la temperatura en toda la placa. (Velasco Roldan, y otros, 2014).



Figura 104. Placa Fría y su sistema de distribución

La regulación de temperatura de la placa caliente se lo hace mediante dos reóstatos, la variación de temperatura es directamente proporcional al voltaje.

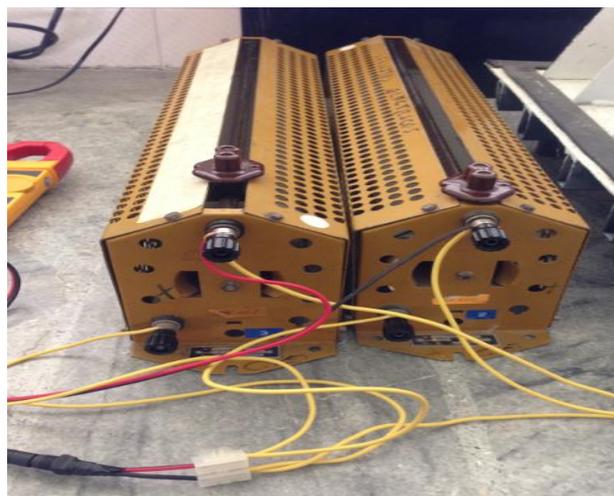


Figura 105. Reóstatos para la regulación de temperatura

Las temperaturas registradas en la placa fría y caliente determinan un gradiente que puede ser ajustado mediante la variación de la potencia eléctrica producto del cálculo entre el voltaje y la corriente información que proporcionan los multímetros utilizados en el ensayo.



Figura 106. Aparato de medición con tableros aglomerados

Para el ensayo de conductividad se colocan los tableros aglomerados en el aparato de medición.



Figura 107. Tableros aglomerados en el aparato de medición

Procedimiento para el ensayo de conductividad:

1. Encender el sistema de refrigeración

Tomar en cuenta que el depósito esté lleno de la cantidad de agua necesaria para sobrepasar el serpentín.



Figura 108. Encendido del sistema de refrigeración

2. Identificar las zonas conectadas a las termocuplas.



Figura 109. Zonas de medida de temperatura

3. Posicionar las probetas con la ayuda de la prensa del aparato de medición
Para empezar el ensayo es necesario calibrar al aparato de medición, por lo que se calibra utilizando planchas de poliestireno expandido (espuma flex) y mediante la comparación de la conductividad práctica con la conductividad teórica se garantiza la validez del ensayo.



Figura 110. Poliestireno en el aparato de medición

4. Registrar la temperatura de la placa fría, placa caliente, el voltaje, la humedad, temperatura ambiente, ya que estos datos son necesarios para el cálculo de la conductividad térmica, cada media hora a partir de la estabilización de las temperaturas de la placa caliente.



Figura 111. Registro de Temperatura

7.2.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Los ensayos de Resistencia se lo llevaron a cabo en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Determinar la carga transversal mediante la colocación de la muestra en los bordes de cojinetes horizontales 12 pulgadas (305 mm) de separación, se aplica una carga en la mitad de la muestra, esta carga se mueve a una velocidad de 6 ± 2 pulg/min (152 ± 51 mm/min) hasta que ocurra una falla.

Para el desarrollo de este ensayo es necesario cortar los tableros según las medidas que indican en la norma. Las medidas para la probeta es de 76 milímetros de ancho x 381 milímetros de largo.



Figura 112. Probetas para ensayo de resistencia a la Flexión

El procedimiento para el desarrollo de este ensayo se describe a continuación:

1. Calibrar la máquina de ensayos universales con las condiciones establecidas para la prueba. (velocidad de carga).
2. Colocar la probeta en la máquina de ensayos universales.



Figura 113. Máquina de Ensayos Universales

3. Aplicar la carga



Figura 114. Ensayo de Flexión

4. Registrar el valor de la carga a la cual ocurrió la falla.



Figura 115. Probeta de cáscara de café

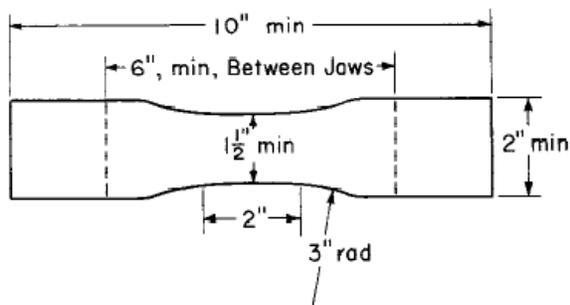


Figura 116. Probeta de Cáscara de cacao y Tusa Maíz

7.2.3 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

Establecer la máquina de ensayo para una velocidad de separación de las mordazas de $2 \pm 1/4$ pulg/min (51 ± 6 mm/min), las muestras se fijan en la mandíbulas a una distancia mínima de 6 pulgadas (152 mm).

Para este ensayo es necesario cortar las probetas de acuerdo a las dimensiones planteadas en la norma, que se describen a continuación:



SI Equivalents

in.	mm	in.	mm
10	254	2	51
6	152	1 1/2	38
3	76		

FIG. 1 Specimen for Determination of Tensile Strength Parallel to Surface

Figura 117. Dimensiones de la Probeta para tracción paralela

Fuente: Norma ASTM C 209 ITEM 12

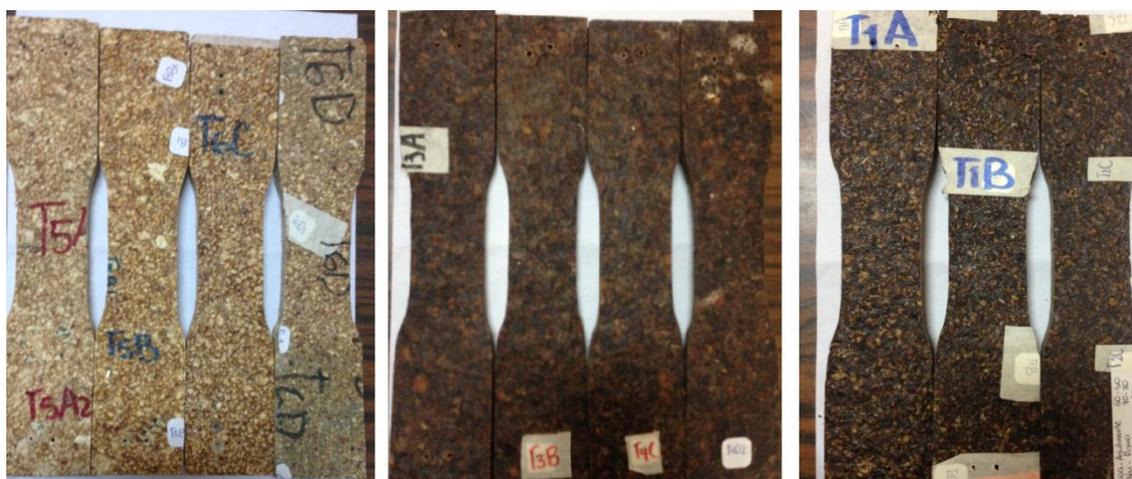


Figura 118. Probetas para Ensayo de Tracción Paralela

El procedimiento para este ensayo se lo representa a continuación:

1. Calibrar la máquina de ensayos universales con las condiciones establecidas para la prueba. (velocidad de carga).
2. Colocar la probeta en la máquina de ensayos universales.



Figura 119. Probetas para ensayo de Tracción Paralela

3. Registrar el valor de la carga a la cual ocurrió la falla.



Figura 120. Falla a Tracción Paralela

7.2.4 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR

Para este ensayo es necesario pegar dos superficies de las muestras a los bloques de 2x2x1 1/4 pulgadas (51x51x32 mm), con un adhesivo adecuado, después aplicar una carga a una velocidad de $2 \pm \frac{1}{4}$ pulg/min (51 ± 6 mm/min) a los ganchos incorporados en los bloques hasta la separación dentro del bloque.

Las dimensiones y condiciones para la prueba las describen en la norma.

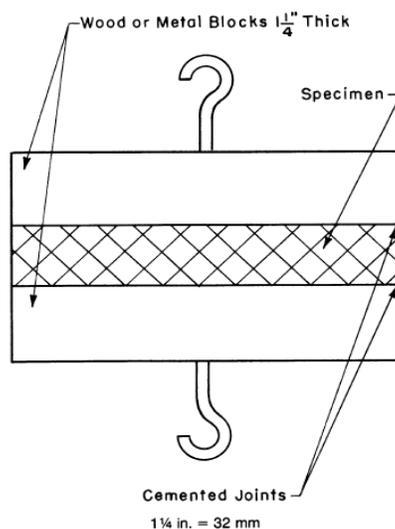


Figura 121. Probeta para Ensayo de Tracción Perpendicular

Fuente: Norma ASTM C 209 ITEM 13

El espécimen de prueba se lo realiza de la siguiente manera:

1. Preparar los materiales para el espécimen de prueba.



Figura 122. Construcción de Especímen

2. Colocar el adhesivo (timerman adhesivo industrial para madera- PVA) en las superficies de la madera y probeta de biomasa.



Figura 123. Aplicación de adhesivo

3. Añadir los ganchos en la superficie superior e inferior.



Figura 124. Colocación de Ganchos

Procedimiento para el ensayo de tracción perpendicular a la superficie:

1. Calibrar la máquina de ensayos universales con las condiciones establecidas para la prueba. (velocidad de carga).
2. Colocar la probeta en la máquina de ensayos universales.



Figura 125. Probetas en la máquina de ensayos universales

3. Registrar el valor de la carga a la cual ocurrió la separación del bloque



Figura 126. Aplicación de la carga para la separación

CAPÍTULO 8

CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

8. CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA Y TABLEROS AGLOMERADOS

8.1 CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA

Las fórmulas para los cálculos correspondientes de humedad, fibra, grasa, ceniza y proteína se obtienen de acuerdo al manual de análisis de alimentos, fundamentos y técnicas de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México

8.1.1 HUMEDAD

El cálculo del porcentaje de humedad se determina con la siguiente fórmula :

$$\% H = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \times 100 \quad (6)$$

Dónde:

P_1 : Peso del crisol

P_2 : Peso del crisol con la muestra

P_3 : Peso del crisol con la muestra final

La tabla 34 muestra el porcentaje de humedad, donde la biomasa con el mayor porcentaje de humedad es la cáscara de café con un valor de 9,3358%, siguiendo la

cascarilla de cacao 7,5825% y finalmente la biomasa con menor porcentaje es la tusa de maíz con 6,4386%.

Tabla 34

Cálculo de la Humedad

Muestra	Biomasa	P₁ (gr)	P₂ (gr)	P₃ (gr)	% Humedad
1	Cascarilla de Cacao	47,5766	50,5756	50,3482	7,5825
2	Tusa de maíz	48,9502	51,9586	51,7649	6,4386
3	Cáscara de Café	29,1979	32,2046	31,9239	9,3358

8.1.2 FIBRA

El cálculo del porcentaje de fibra se lo define con la siguiente fórmula:

$$\%F = \frac{A - B}{C} \times 100 \quad (7)$$

Dónde:

A: Peso del crisol con residuo seco

B: Peso crisol con cenizas

C: Peso de la muestra

Tabla 35

Cálculo del porcentaje de Fibra

Muestra	Biomasa	A (gr)	B (gr)	C (gr)	% Fibra
1	Cascarilla de Cacao	125,9542	124,0186	3,0071	64,3677
2	Tusa de maíz	126,9275	125,1149	3,0058	60,3034
3	Cáscara de Café	110,4128	108,793	3,0051	53,9017

La tabla 35 muestra el porcentaje de fibra, donde la biomasa con mayor porcentaje de fibra es la cascarilla de cacao con un valor de 64,3677 %, la tusa de maíz tiene un valor de 60,3034% y la biomasa con el menor valor corresponde a la cáscara de café con 53,9017% de fibra.

8.1.3 GRASA

El cálculo de porcentaje de grasa se determina con la siguiente fórmula:

$$\% G = \frac{A - B}{C} \times 100 \quad (8)$$

Dónde:

A: Peso del matraz balón con grasa

B: Peso del matraz balón

C: Peso de la muestra

Tabla 36

Cálculo del porcentaje de Grasa

Muestra	Biomasa	A (gr)	B (gr)	C (gr)	% Grasa
1	Cascarilla de Cacao	3,0058	118,7538	119,1954	14,6916
2	Tusa de maíz	3,0067	135,9954	136,1427	4,8991
3	Cáscara de Café	3,0084	89,7463	89,8462	3,3207

La tabla 36 muestra el porcentaje de grasa, donde la cascarilla de cacao presente el mayor porcentaje de grasa con 14,6916%, la tusa de maíz y la cáscara de café contienen un menor porcentaje 4,8991 y 3,3207 % respectivamente.

8.1.4 PROTEÍNA

El cálculo del porcentaje de Proteína se lo define con la siguiente fórmula:

$$\% n = \frac{0,0014 \times V \times N}{m} \times 100 \quad (9)$$

Dónde:

V: Volumen ocupado del ácido (titulación)

N: Normalidad del ácido de valoración

m: Peso de la muestra

Tabla 37

Cálculo del Porcentaje de Proteína

Muestra	Biomasa	V (titulación)	N	m (gr)	% Proteína
1	Cascarilla de Cacao	78,5	0,1	3,0071	3,6547
2	Tusa de maíz	13,7	0,1	3,0058	0,6381
3	Cáscara de Café	50,2	0,1	3,0051	2,3387

La tabla 37 muestra el porcentaje de proteína, donde las biomosas generalmente no contienen valores altos de porcentaje de proteína menos del 5%, la cascarilla mantiene el mayor valor con 3,6547%, la cáscara de café con 2,3387% y la tusa de maíz con el menor valor de 0,6381%.

8.1.5 CENIZA

El porcentaje de ceniza se lo calcula con la siguiente fórmula:

$$\% C = \frac{C - A}{B - A} \times 100 \quad (10)$$

Dónde:

A: Peso del crisol

B: Peso del crisol con la muestra

C: Peso del crisol con la muestra calcinada

Tabla 38**Cálculo del Porcentaje de Ceniza**

Muestra	Biomasa	A (gr)	B (gr)	C (gr)	% Ceniza
1	Cascarilla de Cacao	35,6482	38,6509	35,9089	8,6822
2	Tusa de maíz	29,0533	32,0569	29,1245	2,3705
3	Cáscara de Café	37,39	40,395	37,5559	5,5208

La tabla 38 muestra el porcentaje de ceniza, donde el mayor porcentaje de ceniza corresponde a la cascarilla de cacao con un valor de 8,6822%, la cáscara de café con un valor de 5,5208% y el menor porcentaje corresponde a la tusa de maíz con 2,3705 %.

8.1.6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Para realizar el análisis se analizaron cuatro muestras de cada biomasa, se registró el valor de peso total inicial, el peso retenido en cada tamiz. El propósito de este análisis es contar con un criterio de los tamaños que comprenden cada muestra según el tipo de biomasa, posterior al estudio se eligió el tamaño de partículas de acuerdo a tres mallas metálicas para tamizar, por lo que la muestra fue fraccionada por tamaños para emplearlos en la elaboración de cada tablero según su dosificación.

8.1.6.1 CASCARILLA DE CACAO

Se seleccionaron nueve tamices para el análisis de la cascarilla de cacao.

Tabla 39**Pesos Retenidos del Análisis de la Cascarilla de Cacao**

Análisis 1		
Número de tamiz	Equivalencia	Peso Retenido (gr)
3/8	9,5 mm	0,83
4	4,75 mm	49,93
8	2,36 mm	61,52

Continua 

16	1,18 mm	53,67
30	600 μm	21,4
50	300 μm	15,55
100	150 μm	6,45
200	75 μm	3,02
< 200	< 75 μm	1,13
TOTAL		213,5

Según la norma INEN 696 Análisis Granulométrico en áridos fino y grueso, la masa total del material después del tamizado debe ser similar a la masa original de la muestra colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más del 0,3%, respecto a la masa de la muestra seca original, los resultados no deben ser utilizados con fines de aceptación.

En la tabla 40 muestra la diferencia entre la sumatoria de pesos retenidos y el valor del peso inicial es de 0,6 gramos, este valor no excede el 0,3%, por lo que el análisis es aceptado. Los datos registrados de los 3 análisis restantes se encuentran en la parte de anexos con sus respectivos cálculos.

Tabla 40

Criterio de Aceptación

Peso total inicial (gr)	214,1
Diferencia (gr)	0,6
0,3 % Peso Total	0,6423

El cálculo del porcentaje del peso retenido en cada tamiz se lo realizó con la siguiente fórmula:

$$\% R T = \frac{PRT}{Mt} \times 100 \quad (11)$$

Dónde:

PRT: Peso retenido en Tamiz (gr)

Mt: Peso total de la muestra (gr)

Los resultados del cálculo del porcentaje de peso retenido en cada tamiz se registran en la tabla 41.

Tabla 41

Porcentaje Retenido en cada Tamiz

Número de tamiz	Equivalencia	% Porcentaje
3/8	9,5 mm	0,39
4	4,75 mm	23,39
8	2,36 mm	28,81
16	1,18 mm	25,14
30	600 μm	10,02
50	300 μm	7,28
100	150 μm	3,02
200	75 μm	1,41
< 200	< 75 μm	0,53

Para comparar el porcentaje de peso retenido con respecto a cada tamiz y analizar los resultados se realiza una gráfica en columnas.

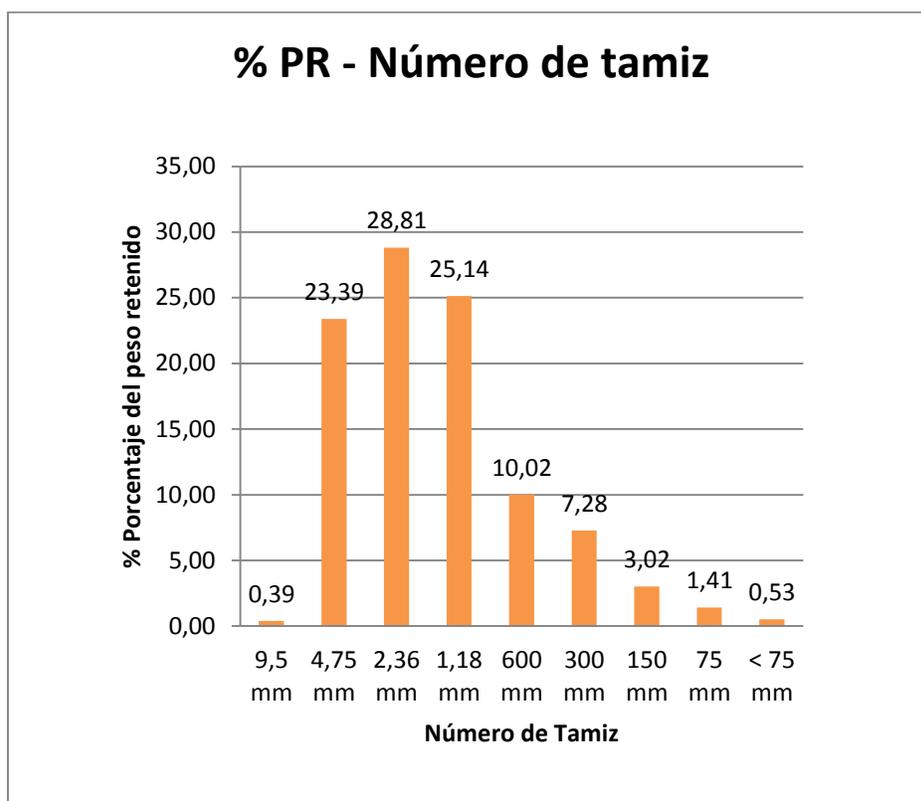


Figura 127. Porcentaje de Peso Retenido de Cascarilla de Cacao

Análisis

- Los porcentajes más representativos corresponden a un valor de 77,34% de partículas de cascarilla de cacao, con tamaño entre 4,75-1,18 milímetros.
- Las partículas de cascarilla de cacao con un tamaño comprendido entre 600-75 μm representan valores menores al 11% de la muestra analizada.
- Partículas cascarilla de cacao con un tamaño igual o mayor a 9,5 mm no representan un valor significativo en la muestra, con un 0,39%.

8.1.6.2 CÁSCARA DE CAFÉ

Se seleccionaron 7 tamices para el análisis granulométrico de la cáscara de café.

Tabla 42

Pesos Retenidos del Análisis de la Cáscara de Café

Análisis 1		
Número de tamiz	Equivalencia	Peso Retenido (gr)
8	2,36 mm	35,75
16	1,18 mm	99,94
30	600 μm	39,35
50	300 μm	32,83
100	150 μm	14,77
200	75 μm	7,94
< 200	< 75 μm	4,48
TOTAL		235,06

En la tabla 42 muestra la diferencia entre la sumatoria de pesos retenidos y el valor del peso inicial es de 0,61 gramos, este valor no excede el 0,3%, por lo que el análisis es aceptado. Los datos registrados de los 3 análisis restantes se encuentran en la parte de anexos con sus respectivos cálculos.

Tabla 43

Criterio de Aceptación

Peso total inicial (gr)	235,67
Diferencia (gr)	0,61
0,3 % Peso Total	0,70701

En la tabla 44 se presenta el porcentaje de los pesos retenidos con respecto a cada tamiz.

Tabla 44

Porcentaje Retenido en cada Tamiz

Equivalencia	Número de tamiz	% PR
2,36 mm	8	15,11
1,18 mm	16	42,60
600 μm	30	16,73
300 μm	50	13,99
150 μm	100	6,27
75 μm	200	3,38
< 75 μm	< 200	1,91

Para comparar el porcentaje de peso retenido con respecto a cada tamiz y analizar los resultados se realiza una gráfica en columnas.

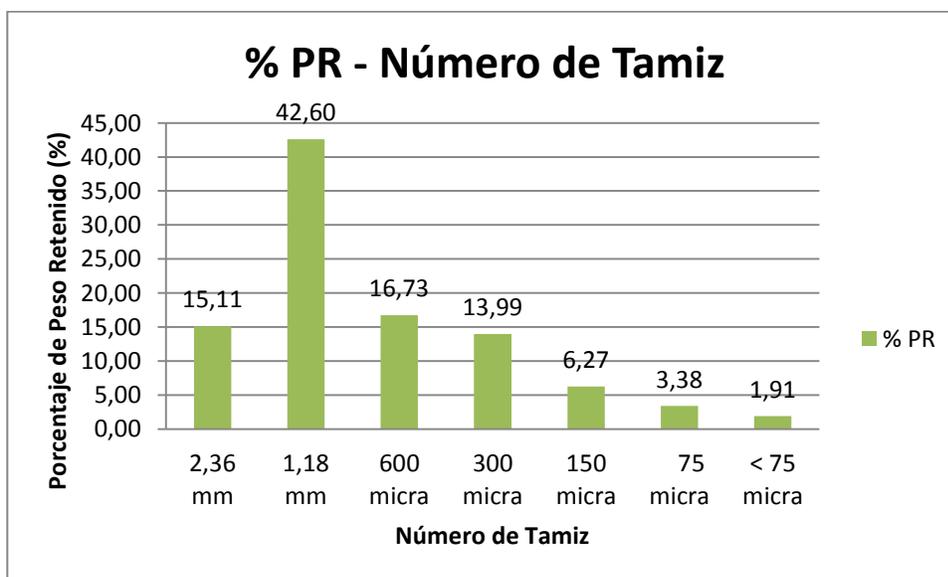


Figura 128. Porcentaje de Peso Retenido de Cáscara de café

Análisis:

- Las partículas de cáscara de café con un tamaño entre 1,18 mm y mayores a 600 μm representan el 42,60 % de la muestra analizada siendo el mayor valor del análisis granulométrico de la cáscara de café.
- Las partículas de cáscara de café con tamaño mayor o igual a 2,36 mm representan el 15,11% de la muestra analizada.

- Valores de tamaño de partícula de cáscara de café comprendidos entre un rango 600-300 μm representan un 30,72% de la muestra analizada.
- Las partículas de cáscara de cacao con tamaño menor de 100 μm representan menos del 12% de la muestra analizada.

8.1.6.3 TUSA DE MAÍZ

Se seleccionaron 7 tamices para el análisis granulométrico de la cáscara de café

Tabla 45

Pesos Retenidos del Análisis de la Tusa de Maíz

Análisis 1		
Número de tamiz	Equivalencia	Peso Retenido (gr)
3/8	9,5 mm	9,75
4	4,75 mm	89,96
8	2,36 mm	35,53
16	1,18 mm	17,94
30	600 μm	5,42
50	300 μm	2,81
100	150 μm	1,12
200	75 μm	0,42
< 200	< 75 μm	0,17
TOTAL		163,12

En la tabla 45 muestra la diferencia entre la sumatoria de pesos retenidos y el valor del peso inicial es de 0,02 gramos, este valor no excede el 0,3%, por lo que el análisis es aceptado. Los datos registrados de los 3 análisis restantes se encuentran en la parte de anexos con sus respectivos cálculos.

Tabla 46

Criterio de Aceptación

Peso total inicial (gr)	163,14
Diferencia (gr)	0,02
0,3 % Peso Total	0,49

El porcentaje de peso retenido con respecto a cada tamiz y su equivalencia en mm se detalla en la tabla 47.

Tabla 47

Porcentaje Retenido en cada Tamiz

Equivalencia	Número de tamiz	% PR
9,5 mm	3/8	5,98
4,75 mm	4	55,15
2,36 mm	8	21,78
1,18 mm	16	11,00
600 μm	30	3,32
300 μm	50	1,72
150 μm	100	0,69
75 μm	200	0,26
< 75 μm	< 200	0,10

Para comparar el porcentaje de peso retenido con respecto a cada tamiz y analizar los resultados se realiza una gráfica en columnas.

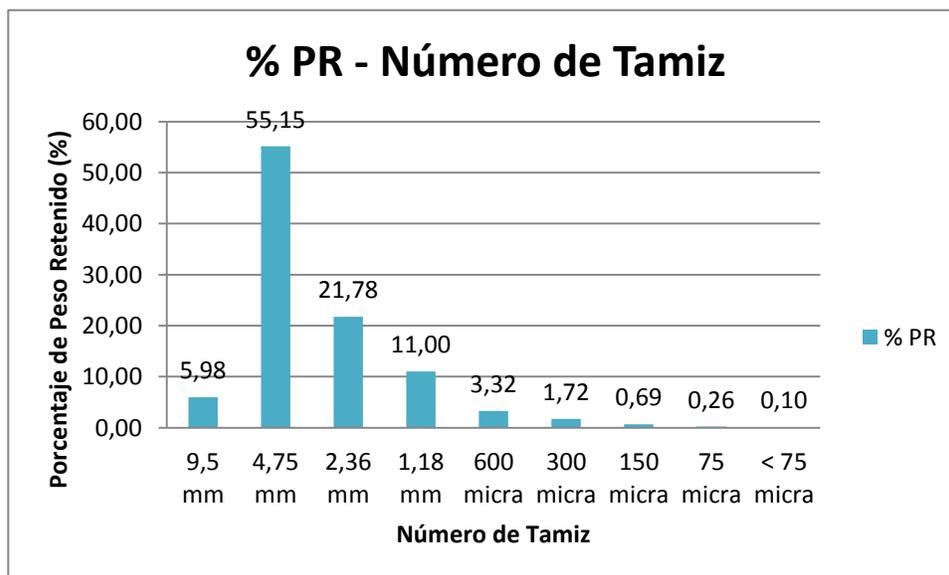


Figura 129. Porcentaje de Peso Retenido de la Tusa de Maíz

Análisis:

- Las partículas de tusa de maíz con un tamaño de 4,75 mm representan el mayor valor de toda la muestra con un porcentaje de 55, 15 más de la mitad de la muestra tiene este tamaño de partícula.
- Las partículas de tusa de maíz con un tamaño de 2,36 mm representan un porcentaje de 21,78% de la muestra analizada.
- Partículas con tamaño de 1,18 mm conforman el 11% de toda la muestra analizada.
- Partículas iguales y mayores a 9,5 mm forman el 5,98% de toda la muestra analizada.
- Las partículas iguales y menores a 600 μm representan el 6% de la muestra analizada.

Posterior al análisis granulométrico se fraccionó cada muestra según tres mallas empleadas para tamizar, finalmente la tabla 48 muestra el tamaño de partícula con los que se trabaja.

Tabla 48**Tamaño de Partículas**

TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
Cascarilla de Cacao y Tusa de Maíz	
Partículas	Tamaño (mm)
Gruesas	6,1 - 15
Medias	6,0 - 3,0
Cáscara de Café	
Partículas	Tamaño (mm)
Gruesas	3,1 - 6
Medias	3 - 0,6

8.2 CARACTERIZACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS

8.2.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

De acuerdo a la normativa ASTM C1045 se tiene en cuenta la siguiente fórmula para el cálculo de coeficiente de conductividad térmica:

$$\lambda = \frac{Q \times L}{A \times (T_C - T_F)} \quad (12)$$

Dónde:

λ : coeficiente de conductividad térmica (W/°K.m)

A: el área normal a la dirección del flujo (m²)

L: espesor de la placa (m)

Q: Flujo de calor a través del área medida (W)

T_c: Temperatura de la placa caliente (°K)

T_f: Temperatura de la placa fría (°K)

Los cálculos del coeficiente de conductividad térmica para los tableros aglomerados de las tres biomásas se adjuntan en la parte de anexos.

8.2.1.1 CÁSCARA DE CAFÉ

El valor del coeficiente de conductividad térmica para los tableros aglomerados con cáscara de café se encuentra en un rango entre 0,05692 – 0,07093 (W/°K.m).

Tabla 49

Conductividad Térmica de Tableros con Cáscara de Café

Tablero	λ (W/°K.m)
T1A	0,07093
T1B	0,06274
T2C	0,05967
T2D	0,05692

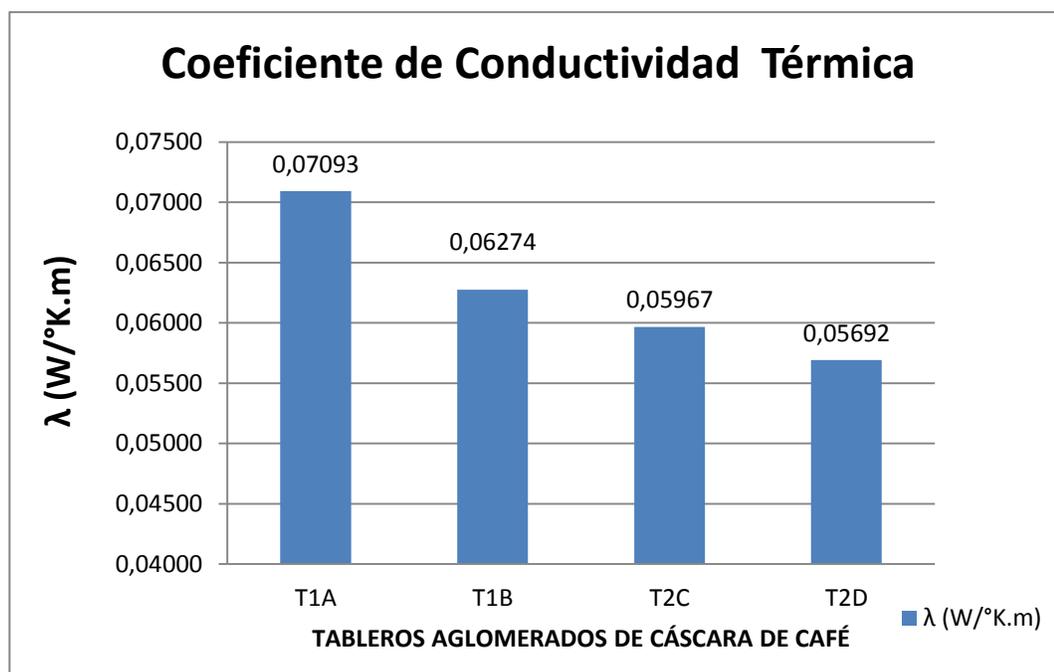


Figura 130. Conductividad Térmica de Aglomerados con cáscara de Café

Para el análisis identificamos los tableros:

Tabla 50

Identificación de Tableros

IDENTIFICACIÓN DE TABLEROS				
Relación Biomasa-Aglomerante	Relación Almidón- PVA	Partículas	Tamaño de Partículas (mm)	Cáscara de Café
50/50	50/50	Gruesa	3,1 - 6	T1A
50/50	50/50	Gruesa-Media	3 - 0,6	T1B
50/50	70/30	Gruesa	3,1 - 6	T2C
50/50	70/30	Gruesa-Media	3 - 0,6	T2D

Análisis:

- El tablero con la combinación T1A tiene la mayor conductividad térmica con un valor de 0,07093 (W/°K.m).

- El tablero con la combinación T2D tiene la menor conductividad térmica con un valor de 0,05692 (W/°K.m).

La figura 131 muestra la relación entre la conductividad térmica y la densidad de los tableros es proporcional, la tendencia en la mayoría de los tableros analizados indica que a mayor densidad mayor conductividad. Esta relación se la puede explicar debido a que bajas conductividades están relacionadas con bajas densidades, porque la ligereza del material suele estar producida por huecos en su interior ocupados por aire, que es mucho más aislante que el material compacto.

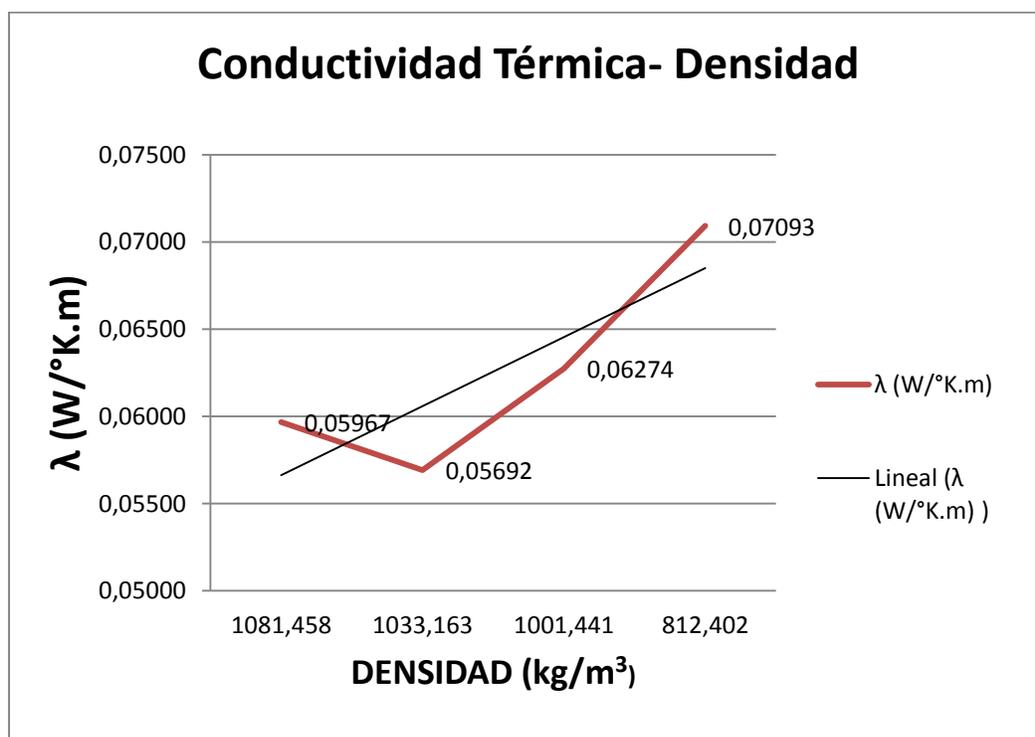


Figura 131. Conductividad Térmica - Densidad. Cáscara de Café.

8.2.1.2 CASCARILLA DE CACAO

El valor del coeficiente de conductividad térmica para los tableros aglomerados con cáscara de café se encuentra en un rango entre 0,069035 – 0,056657 (W/°K.m).

Tabla 51

Conductividad Térmica de Tableros con Cascarilla de Cacao

Tablero	λ (W/°K.m)
T3A	0,056657
T3B	0,069035
T4C	0,069273
T4D	0,059301

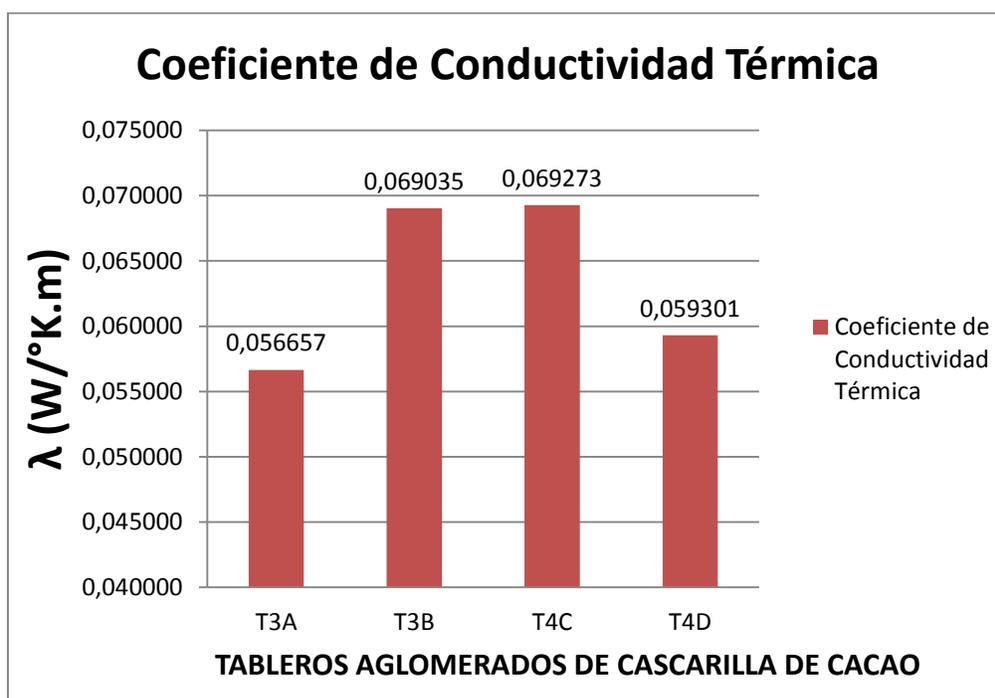


Figura 132. Conductividad Térmica de Aglomerados con Cascarilla de Cacao

Para el análisis identificamos los tableros:

Tabla 52

Identificación de Tableros

IDENTIFICACIÓN DE TABLEROS				
Relación Biomasa-Aglomerante	Relación Almidón- PVA	Partículas	Tamaño de Partículas (mm)	Cascarilla de Cacao
50/50	50/50	Gruesa	6,1 - 15	T3A
50/50	50/50	Gruesa-Media	6,0 - 3,0	T3B
50/50	70/30	Gruesa	6,1 - 15	T4C
50/50	70/30	Gruesa-Media	6,0 - 3,0	T4D

Análisis:

- Los tableros con la combinación T3B y T4C tienen la mayor conductividad térmica, y sus valores no mantienen similitud con 0,69035 y 0,069273 (W/°K.m) respectivamente.
- Los tableros con la combinación T3A y T4D tienen la menor conductividad térmica, y sus valores no mantienen similitud con 0,056657 y 0,059301 (W/°K.m) respectivamente.

La figura 132 muestra la relación entre la conductividad térmica y la densidad de los tableros es proporcional, a mayor densidad mayor conductividad.

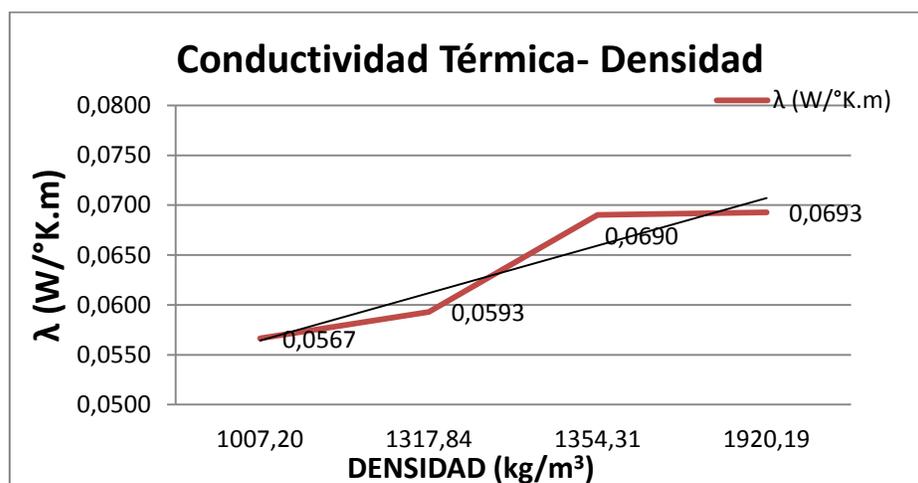


Figura 133. Conductividad Térmica - Densidad. Cascarilla de Cacao

8.2.1.3 TUSA DE MAÍZ

El valor del coeficiente de conductividad térmica para los tableros aglomerados con cáscara de café se encuentra en un rango entre 0,06025 – 0,07970 (W/°K.m).

Tabla 53

Conductividad Térmica de Tableros con Tusa de Maíz

Tablero	λ (W/°K.m)
T5A	0,06097
T5B	0,06025
T6C	0,07569
T6D	0,07970

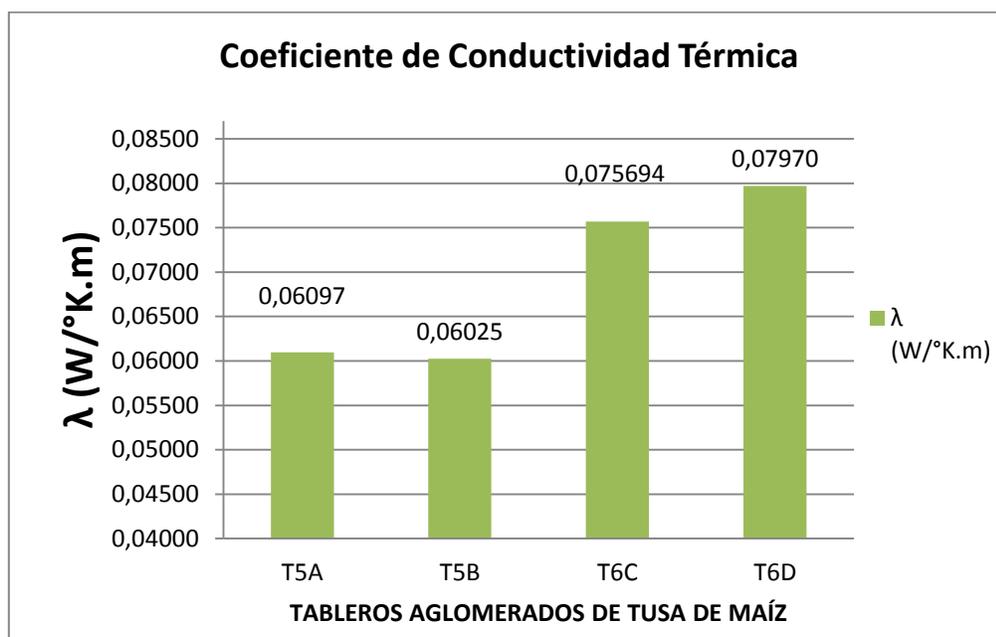


Figura 134. Conductividad Térmica de Aglomerados con Tusa de Maíz

Para el análisis identificamos los tableros:

Tabla 54

Identificación de Tableros

IDENTIFICACIÓN DE TABLEROS				
Relación Biomasa-Aglomerante	Relación Almidón- PVA	Partículas	Tamaño de Partículas (mm)	Tusa de Maíz
50/50	50/50	Gruesa	6,1 - 15	T5A
50/50	50/50	Gruesa-Media	6,0 - 3,0	T5B
50/50	70/30	Gruesa	6,1 - 15	T6C
50/50	70/30	Gruesa-Media	6,0 - 3,0	T6D

Análisis:

- Los tableros con la combinación T5A y T5B tienen la menor conductividad térmica con 0,06097 y 0,06025 (W/°K.m) respectivamente.
- Los tableros con la combinación T6A y T6B tienen la mayor conductividad térmica con 0,07569 y 0,07970 (W/°K.m) respectivamente.

La figura 133 muestra la relación entre la conductividad térmica y la densidad de los tableros es proporcional, a mayor densidad mayor conductividad, esta relación se la puede observar en la figura 135 muestra una línea de tendencia creciente.

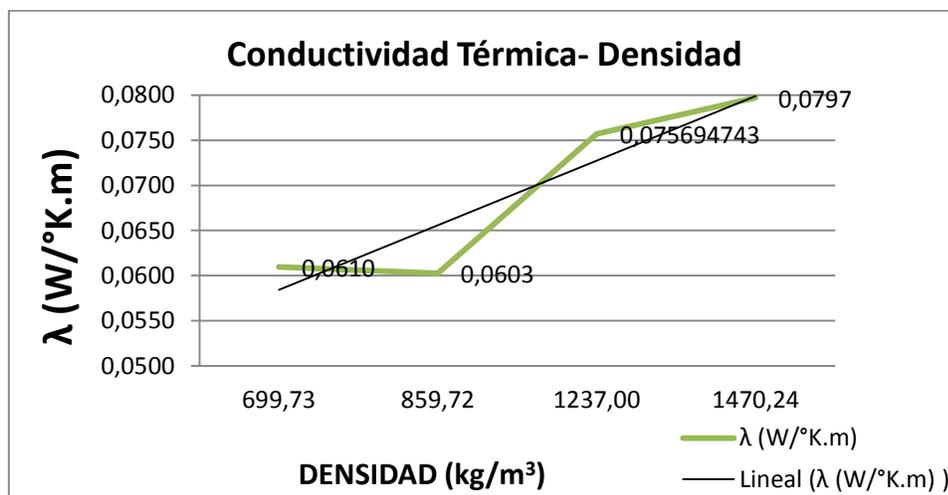


Figura 135. Conductividad Térmica - Densidad. Tusa de Maíz

8.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

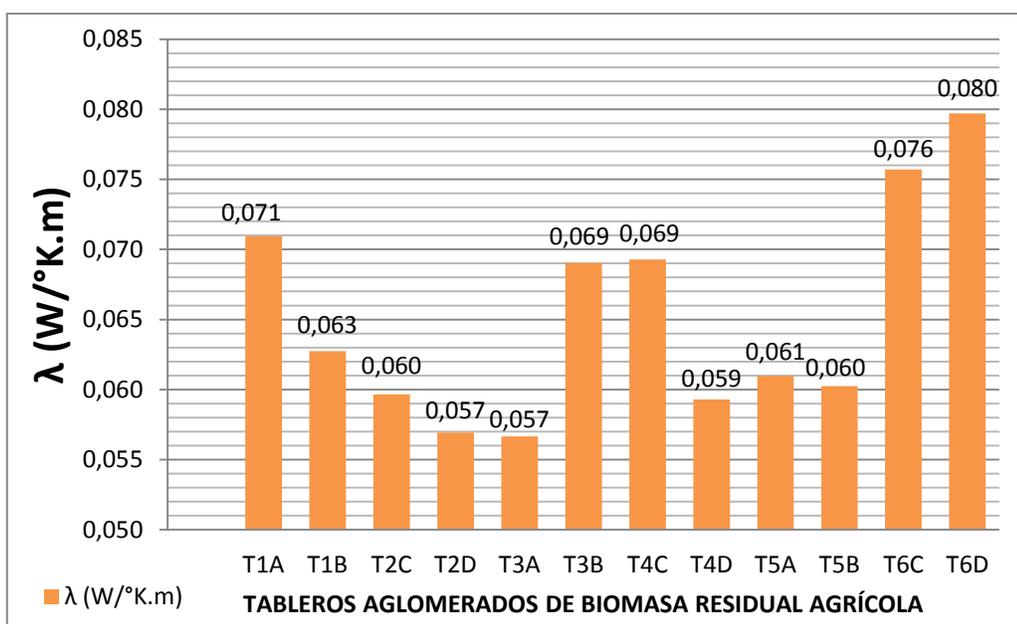


Figura 136. Conductividad Térmica de Tableros Aglomerados de Biomasa

Análisis:

- Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11, Capítulo 13 Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador “Se considera material aislante térmico cuando su coeficiente de conductividad térmica: λ es inferior a $\lambda < 0,085$ kcal / m. $^{\circ}$ C medido a 20 $^{\circ}$ C (obligatorio) o 0,10 (W/ $^{\circ}$ K.m).”
- Por lo tanto los 12 tableros elaborados a partir de biomasa residual agrícola (cáscara de café, cascarilla de cacao y tusa de maíz) y aglomerante (almidón de yuca- PVA) son considerados como materiales aislantes, ya que sus valores son inferiores al valor de referencia de la norma ecuatoriana.

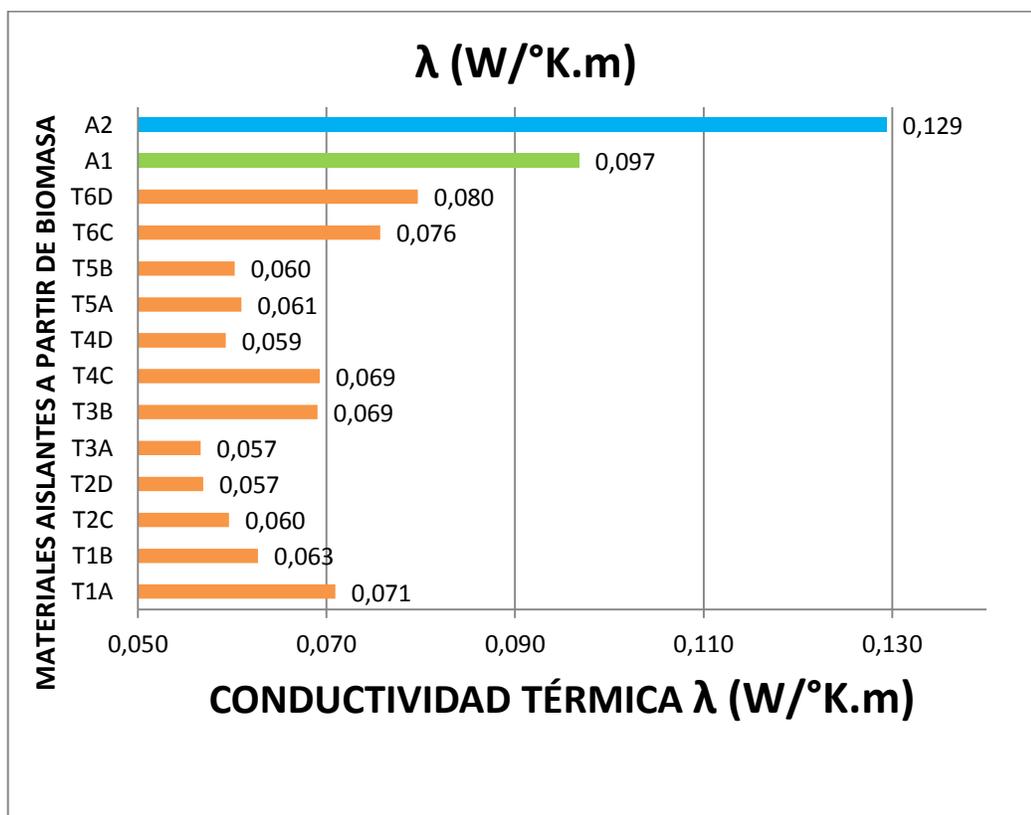


Figura 137. Comparación con Aislantes de Cascarilla de Arroz

De acuerdo a los valores medidos de la conductividad térmica en otros estudios (A1= cascarilla arroz + almidón yuca (levadura)) (Gutiérrez , Cadena , & Bula, 2013) y (A2 cascarilla arroz + almidón de yuca) (Quezada & Vásconez , 2012), las tres biomásas presentan mejor comportamiento térmico con valores menores entre un rango de 0,057 – 0,080 (W/°K.m).

8.2.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Según la Norma ASTM C 209 Item 10, la fórmula para calcular la resistencia a la flexión es la siguiente:

$$MOR = \frac{6P}{t^2} \quad (13)$$

Dónde:

MOR: Módulo de Ruptura (MPa)

P: Carga transversal (N)

t: espesor (mm)

8.2.3.1 TABLEROS AGLOMERADOS CON CÁSCARA DE CAFÉ

Cada tablero tiene una relación de: biomasa-aglomerante constante en todo el proceso de 50/50, almidón de yuca-PVA con dos variaciones 50/50 y 70/30, tamaño de partícula gruesa 100 y gruesa-media 50/50.

En la tabla 55 se presentan los datos registrados del ensayo de Flexión: la carga transversal aplicada en cada tablero aglomerado con partículas de cáscara de café y el espesor de la probeta.

Tabla 55

Módulo de Rotura para tableros aglomerados con cáscara de café

Tablero	Carga Transversal (N)	Espesor (mm)	MOR (MPa)
T1A	156	11,1	7,5968
T1B	90	11,1	4,3828
T2C	189	11,3	8,8809
T2D	114	10,25	6,5104

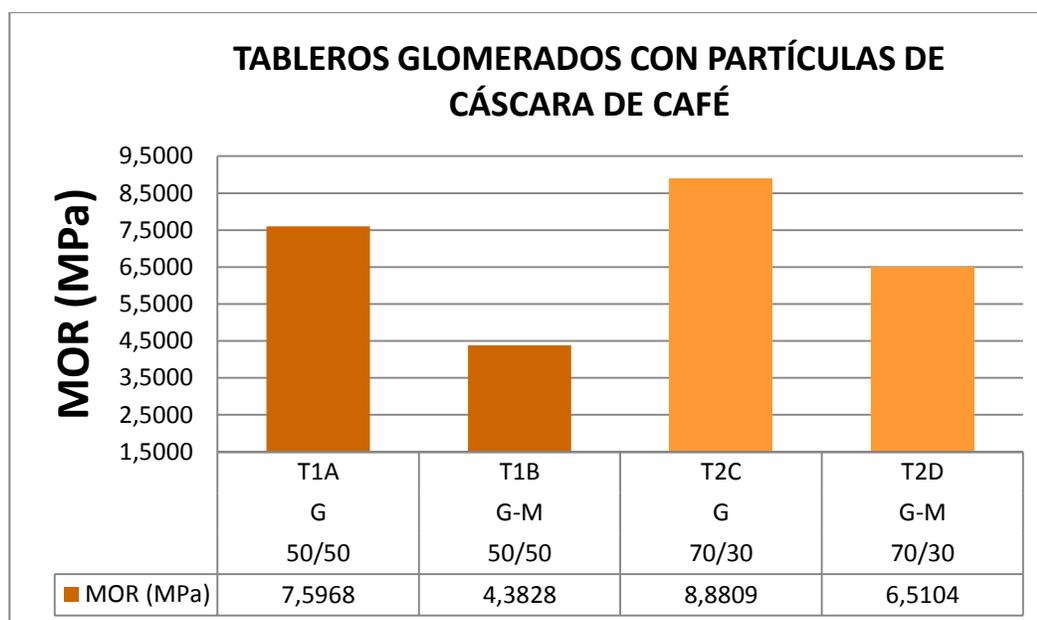


Figura 138. Módulo de Rotura de Tableros con Cáscara de Café

8.2.3.2 TABLEROS AGLOMERADOS CON CASCARILLA DE CACAO

Cada tablero tiene una relación de: biomasa-aglomerante constante en todo el proceso de 50/50, almidón de yuca-PVA con dos variaciones 50/50 y 70/30, tamaño de partícula gruesa 100 y gruesa-media 50/50.

En la tabla 56 se presentan los datos registrados del ensayo de Flexión: la carga transversal aplicada en cada tablero aglomerado con partículas de cascarilla de cacao y el espesor de la probeta.

Tabla 56

Módulo de Rotura para tableros aglomerados con Cascarilla de Cacao

Tablero	Carga Transversal N	Espesor (mm)	MOR (MPa)
T3A	204	11,65	9,0184
T3B	211	12,2	8,5058
T4C	183	11,85	7,8193
T4D	105	14,4	3,0382

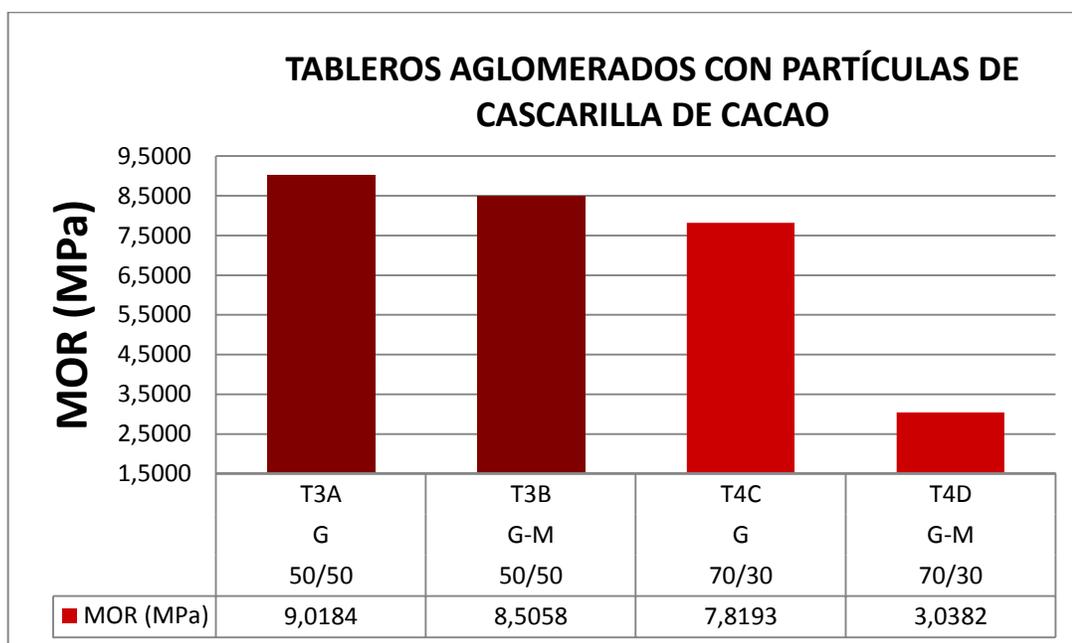


Figura 139. Módulo de Rotura de Tableros con Cascarilla de Cacao

8.2.3.3 TABLEROS AGLOMERADOS CON TUSA DE MAÍZ

Mediante una gráfica se analiza el valor del módulo de ruptura para cada combinación de tablero aglomerado con partículas de tusa de maíz.

En la tabla 57 se presentan los datos registrados del ensayo de Flexión: la carga transversal aplicada en cada tablero aglomerado con partículas de cascarilla de cacao y el espesor de la probeta.

Tabla 57

Módulo de Rotura para tableros aglomerados con Tusa de Maíz

Tablero	Carga Transversal N	Espesor (mm)	MOR (MPa)
T5A	130	21,3	1,7192
T5B	209	16,3	4,7198
T6C	278	16	6,5156
T6D	71	14	2,1735

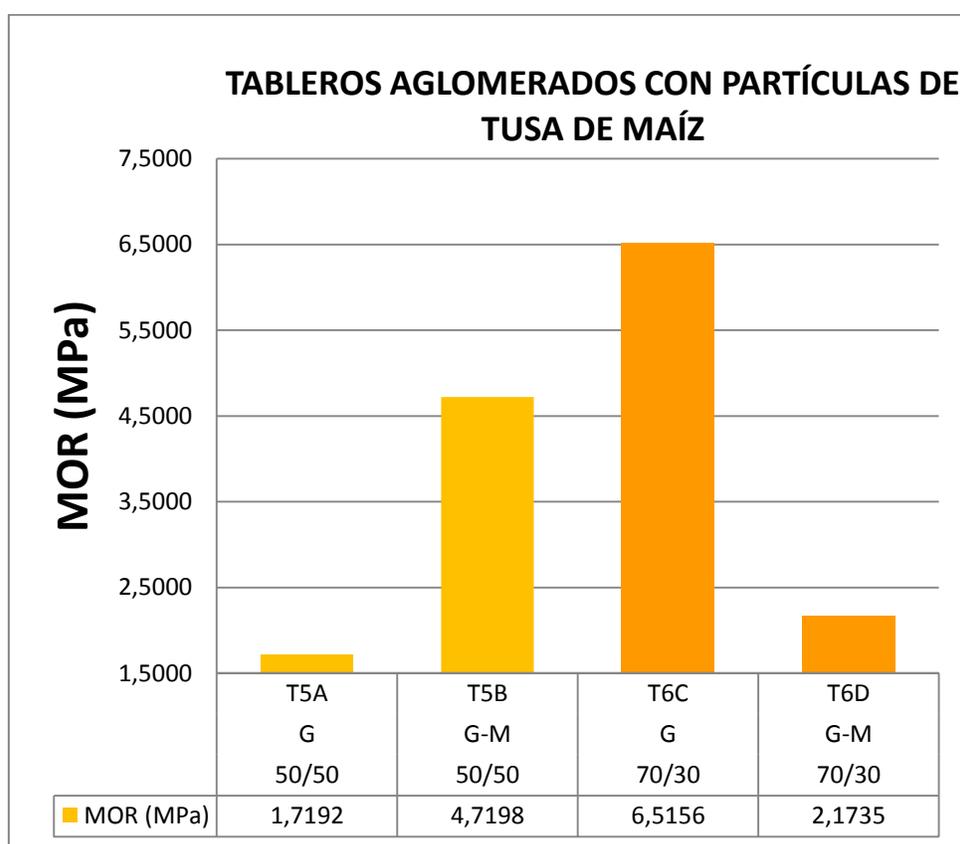


Figura 140. MOR para Tableros a partir de Tusa de Maíz

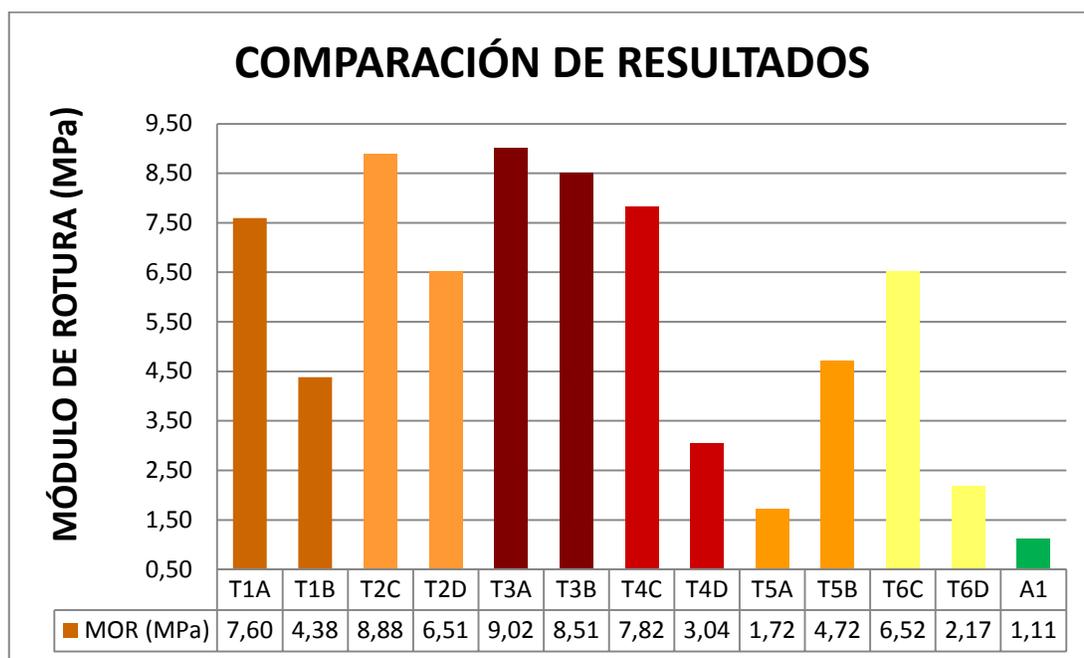


Figura 141. Comparación de Resultados

La resistencia a la flexión de esta investigación es mayor a la obtenida en aislamiento elaborado con almidón de yuca y cascarilla de arroz.

8.2.4 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

Para determinar la resistencia a la tracción paralela se utiliza la siguiente fórmula:

$$f_t = \frac{F}{A} \quad (14)$$

Dónde:

F: fuerza máxima aplicada (N)

A: área (mm^2)

La tabla 58 muestra las dimensiones de las probetas después del ensayo y los resultados del cálculo de la resistencia a la tracción paralela:

Tabla 58

Resistencia a la Tracción Paralela de Tableros Aglomerados con Biomasa

Biomasa	Dimensiones de la Probeta			Fuerza Aplicada	Propiedad	
	Largo(mm)	Ancho(mm)	Área (mm ²)	F (N)	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	
Cáscara de Café	T1A	37,6	11	48,6	933	19,20
	T1B	39	11,7	50,7	813	16,04
	T2C	38	15,75	53,75	1271	23,65
	T2D	39,4	12,3	51,7	848	16,40
Cascarilla de Cacao	T3A	38,3	11,7	50	891	17,82
	T3B	37,45	10	47,45	980	20,65
	T4C	39	10,2	49,2	1095	22,26
	T4D	37,2	14,4	51,6	354	6,86
Tusa de Maíz	T5A	38,5	17,4	55,9	273	4,88
	T5B	38,5	16,1	54,6	993	18,19
	T6C	37,6	14,7	52,3	1332	25,47
	T6D	37	16,2	53,2	364	6,84

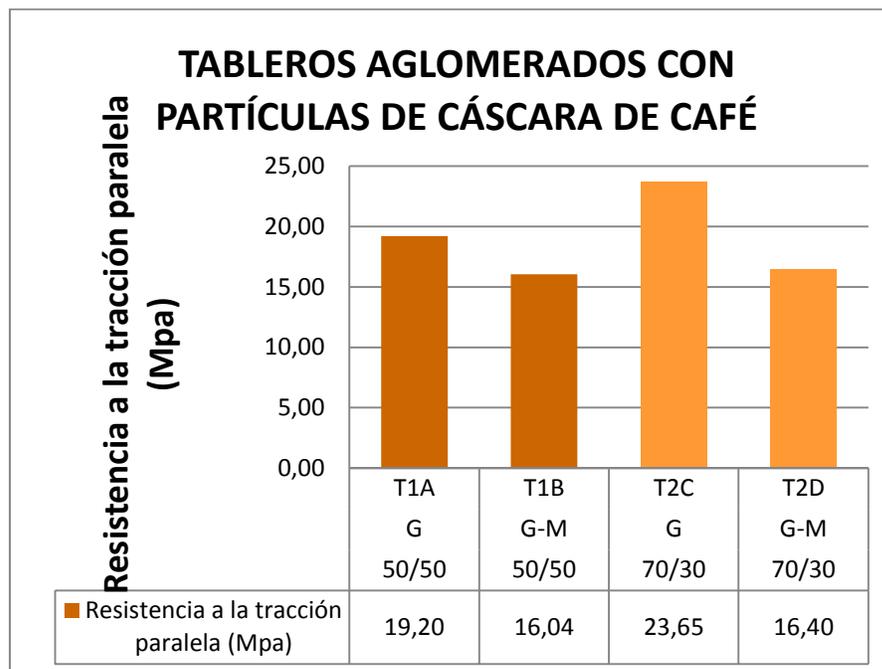


Figura 142. Resistencia a la Tracción Paralela Cáscara de Café.

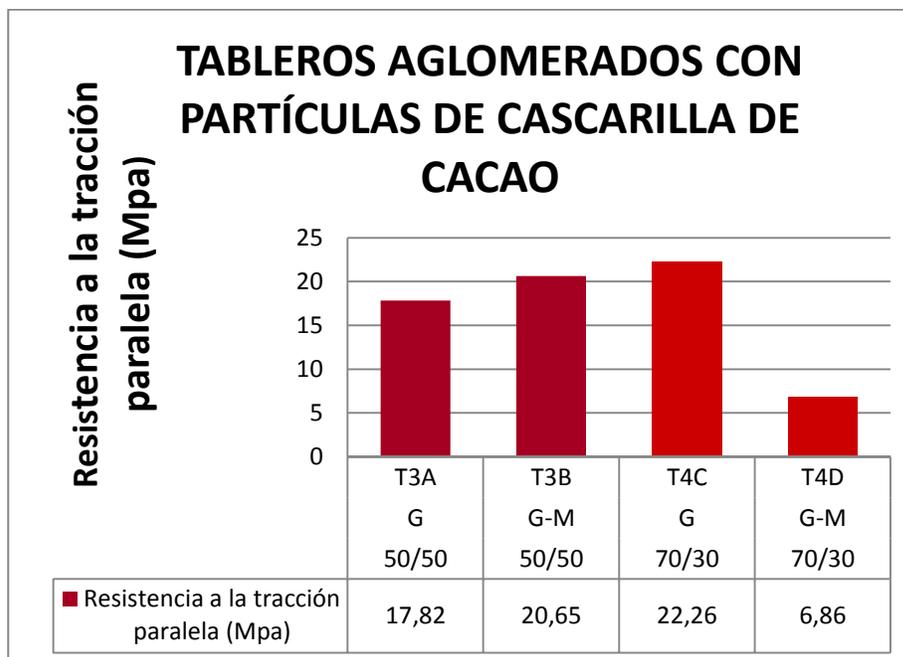


Figura 143. Resistencia a la Tracción Paralela Cascarilla de Cacao.

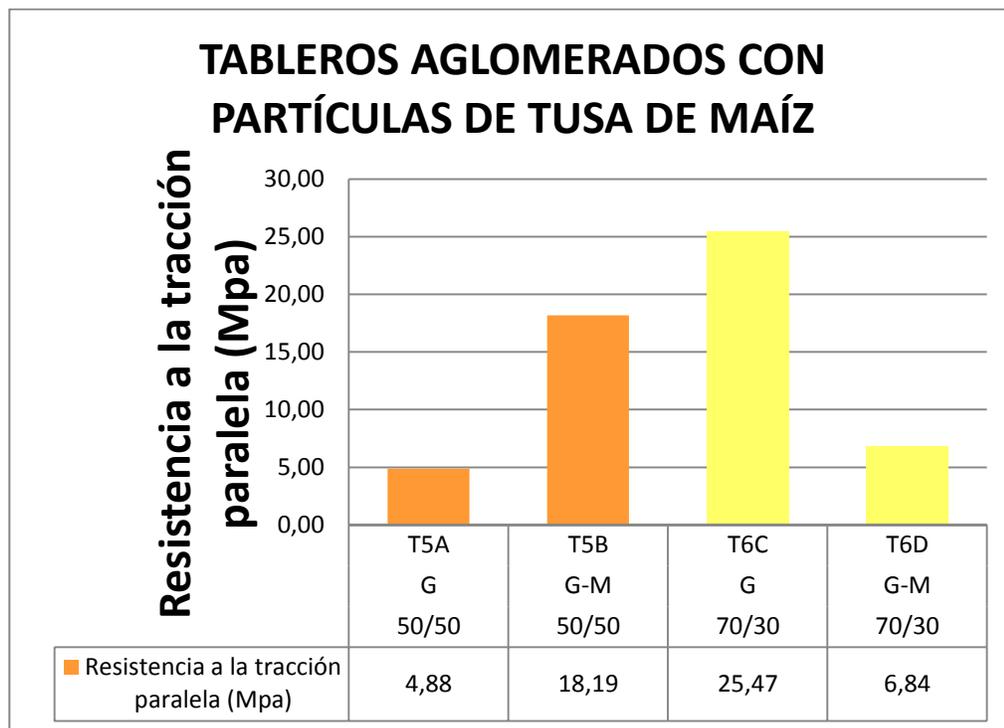


Figura 144. Resistencia a la Tracción Paralela Tusa de Maíz.

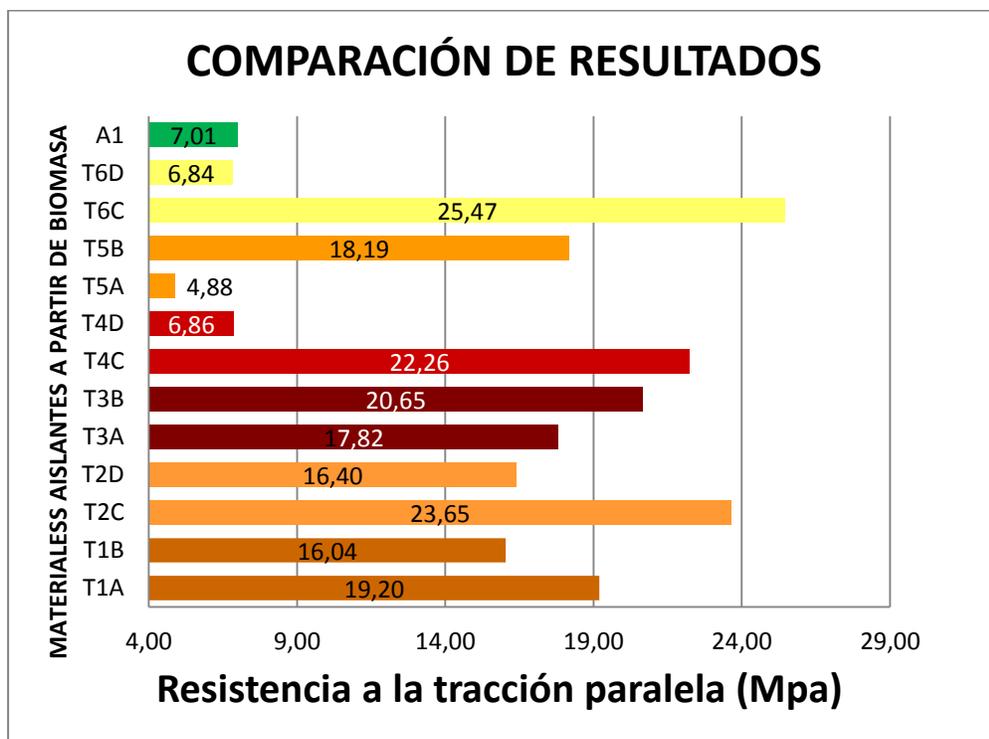


Figura 145. Comparación de la Resistencia a la Tracción Paralela

8.2.5 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR

La resistencia a la tracción perpendicular se determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (15)$$

Dónde:

P: Fuerza Aplicada (N)

A: Superficie de contacto entre la probeta y un taco de agarre (mm^2)

8.2.5.1 CÁSCARA DE CAFÉ

En la tabla 59 se muestra las dimensiones del espécimen construido y los datos registrados del ensayo: la carga transversal aplicada en cada tablero aglomerado con partículas de cáscara de café y las dimensiones de la probeta (largo-ancho).

Tabla 59

Resistencia a la Tracción Perpendicular de Tableros con de Partículas de Cáscara de Café

Cáscara de Café	Dimensiones de la Probeta			Fuerza Aplicada	Propiedad
	Largo(mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	F (N)	Resistencia a la Tracción Perpendicular (Mpa)
T1A	51	51	102	1570	15,39
T1B	51	51	102	1457	14,28
T2C	51	51	102	2762	27,08
T2D	51	51	102	2169	21,26

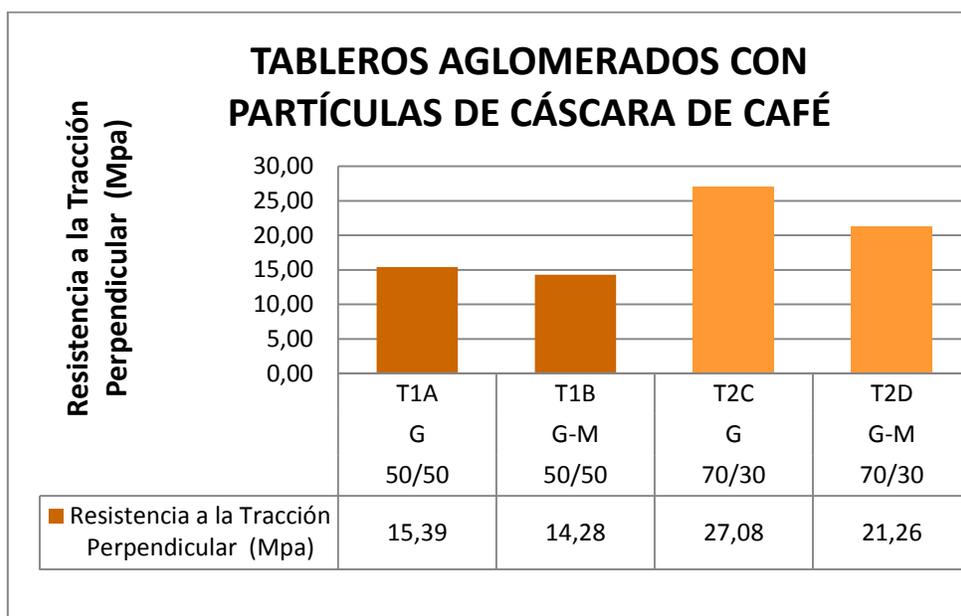


Figura 146. Resistencia a la Tracción Perpendicular Cáscara de Café.

8.2.5.2 CASCARILLA DE CACAO

Los datos registrados del ensayo de Flexión son la carga transversal aplicada en aglomerado con partículas de cáscara de café y las dimensiones de la probeta (largo-ancho).

Tabla 60

Resistencia a la Tracción Perpendicular de Tableros con de Partículas de Cascarilla de Cacao

Cascarilla de Cacao	Largo(mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	F (N)	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)
T3A	51	51	102	2520	24,71
T3B	51	51	102	1491	14,62
T4C	51	51	102	2149	21,07
T4D	51	51	102	1413	13,85

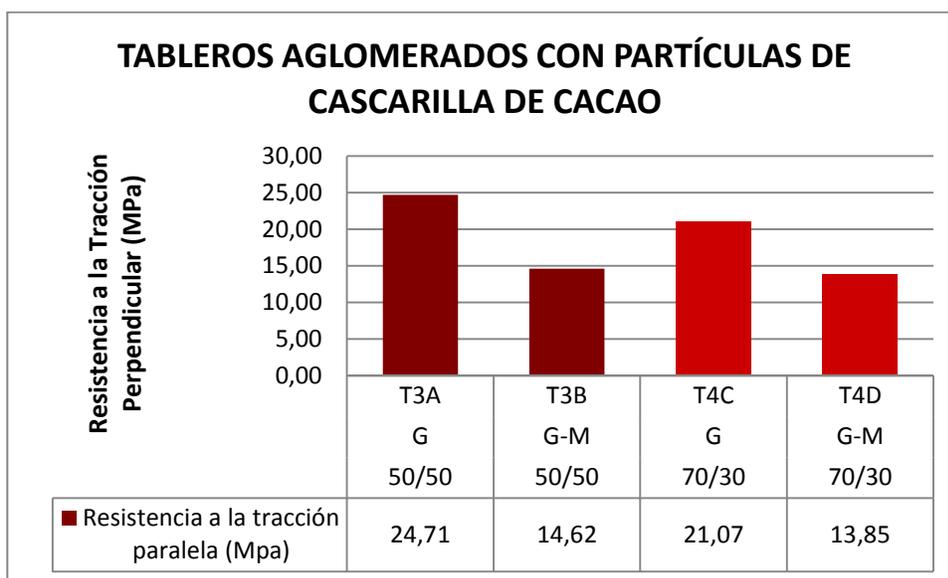


Figura 147. Resistencia a la Tracción Perpendicular Cascarilla de Cacao.

8.2.5.3 TUSA DE MAÍZ

Los datos registrados del ensayo de Flexión son la carga transversal aplicada en aglomerado con partículas de cáscara de café y las dimensiones de la probeta (largo-ancho).

Tabla 61

Resistencia a la Tracción Perpendicular de Tableros con Partículas de Tusa de Maíz

Tusa de Maíz	Largo(mm)	Ancho (mm)	Área (mm ²)	F (N)	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)
T5A	51	51	102	2406	23,59
T5B	51	51	102	1328	13,02
T6C	51	51	102	3112	30,51
T6D	51	51	102	2221	21,77

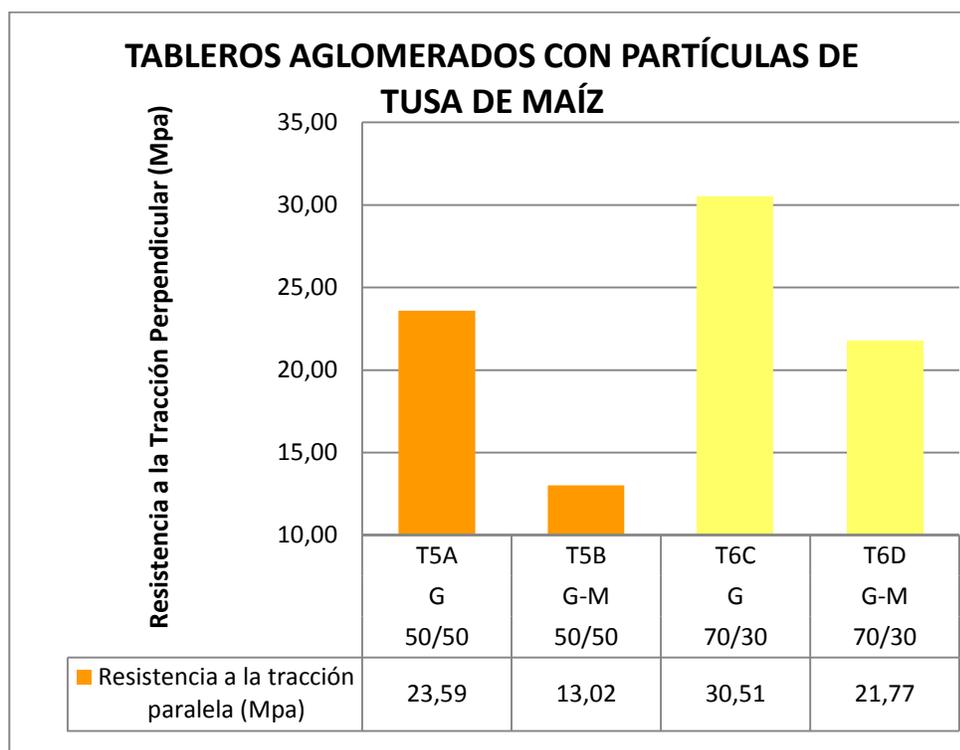


Figura 148. Resistencia a la Tracción Perpendicular Tusa de Maíz

8.2.6 RESUMEN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los ensayos practicados se registran a la continuación:

Tabla 62

Resultados de los Ensayos Aplicados

RESUMEN DE RESULTADOS					
Almidón- PVA	50/50	50/50	70/30	70/30	VARIABLES
Tamaño Partícula	G	G-M	G	G-M	
Café	0,071	0,063	0,060	0,057	Conductividad Térmica λ (W/°K.m)
Cacao	0,057	0,069	0,069	0,059	
Maíz	0,061	0,06	0,076	0,080	
Café	7,6	4,38	8,880	6,510	Resistencia a la Flexión (Mpa)
Cacao	9,02	8,51	7,820	3,040	
Maíz	1,72	4,72	6,520	2,170	

Continua

Café	19,2	16,04	23,650	16,400	Resistencia a la Tracción Paralela (Mpa)
Cacao	17,82	20,65	22,260	6,860	
Maíz	4,88	18,19	25,470	6,840	
Café	15,39	14,28	27,080	21,260	Resistencia a la Tracción Perpendicular (Mpa)
Cacao	24,71	14,62	21,070	13,85	
Maíz	23,59	13,02	30,510	21,770	

Tabla 63

Porosidad de los Tableros

Tablero	Densidad (kg/m3)	Resistencia Flexión (MPa)	Presencia de Poros	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	Presencia de Poros
T1A	812,40	7,60	poco significativa	19,20	poco significativa
T1B	1001,44	4,38	significativa	16,04	significativa
T2D	1033,16	6,51	significativa	16,40	poco significativa
T2C	1081,46	8,88	poco significativa	23,65	poco significativa
Tablero	Densidad (kg/m3)	Resistencia Flexión (MPa)	Presencia de Poros	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	Presencia de Poros
T3A	1007,20	9,02	significativa	17,82	significativa
T4D	1317,84	3,04	significativa	6,86	poco significativa
T3B	1354,31	8,51	significativa	20,65	poco significativa
T4C	1920,19	7,82	poco significativa	22,26	poco significativa
Tablero	Densidad (kg/m3)	Resistencia Flexión (MPa)	Presencia de Poros	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	Presencia de Poros
T5A	699,73	1,72	No significativa	4,88	No significativa
T5B	859,72	4,72	No significativa	18,19	No significativa
T6C	1237,00	6,52	No significativa	25,47	No significativa
T6D	1470,24	2,17	No significativa	6,84	No significativa

En la tabla 63 se muestra la identificación de poros mediante la inspección visual de las probetas para los dos ensayos de resistencias.

La porosidad de los tableros no es uniforme debido a que la presencia de poros varía en las probetas cortadas del mismo tablero, por lo que aceptamos a priori que este parámetro no influye de manera determinante en las propiedades de los tableros elaborados dentro de esta investigación. Esto debido a que existen varios factores que no se han tomado en consideración (penetración aglomerante, adhesión, cohesión) y quizás generen una mayor afectación en las propiedades.

8.2.7 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES

8.2.7.1 TAMAÑO DE PARTÍCULA EN TABLEROS CON CÁSCARA DE CAFÉ

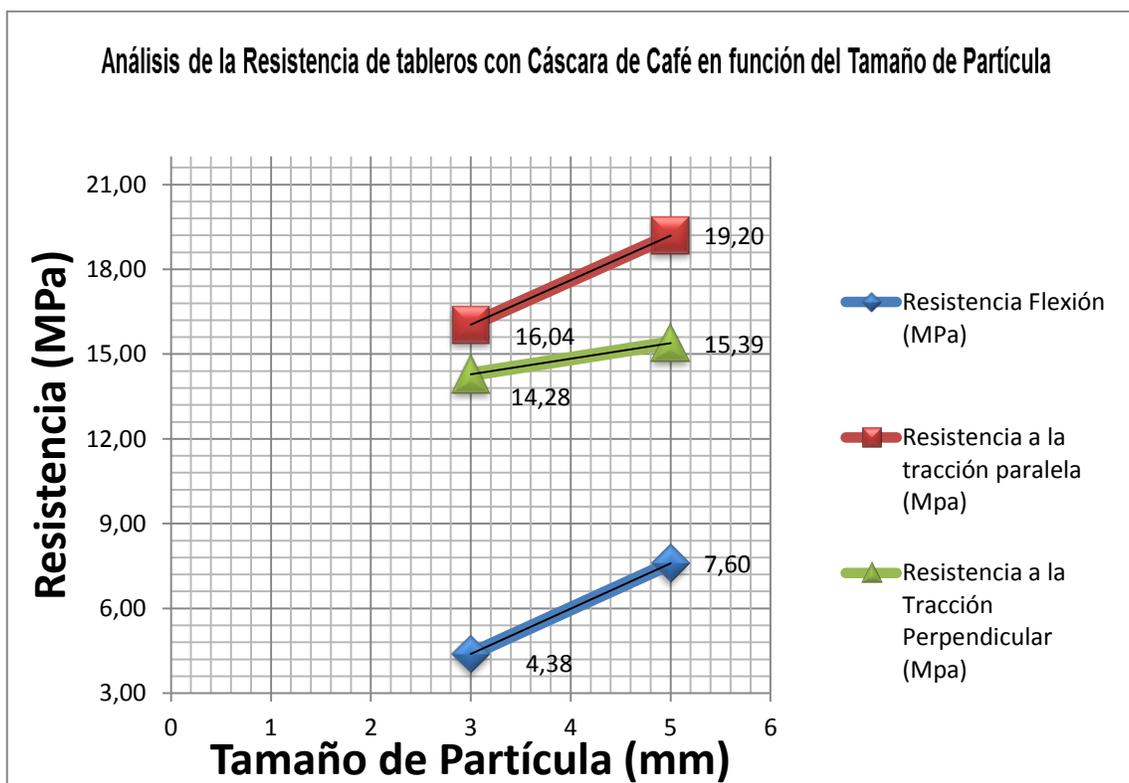


Figura 149. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia

Análisis:

La figura 149 muestra la influencia del tamaño de partícula en la resistencia de los tableros aglomerados con partículas de 5 mm y 3 mm con relación 50/50 de almidón de yuca y PVA.

Los tableros presentan una tendencia de incremento en la Resistencia a la Flexión, Resistencia a la Tracción Paralela, Resistencia a la Tracción Perpendicular a la superficie al aumentar el tamaño de partícula.

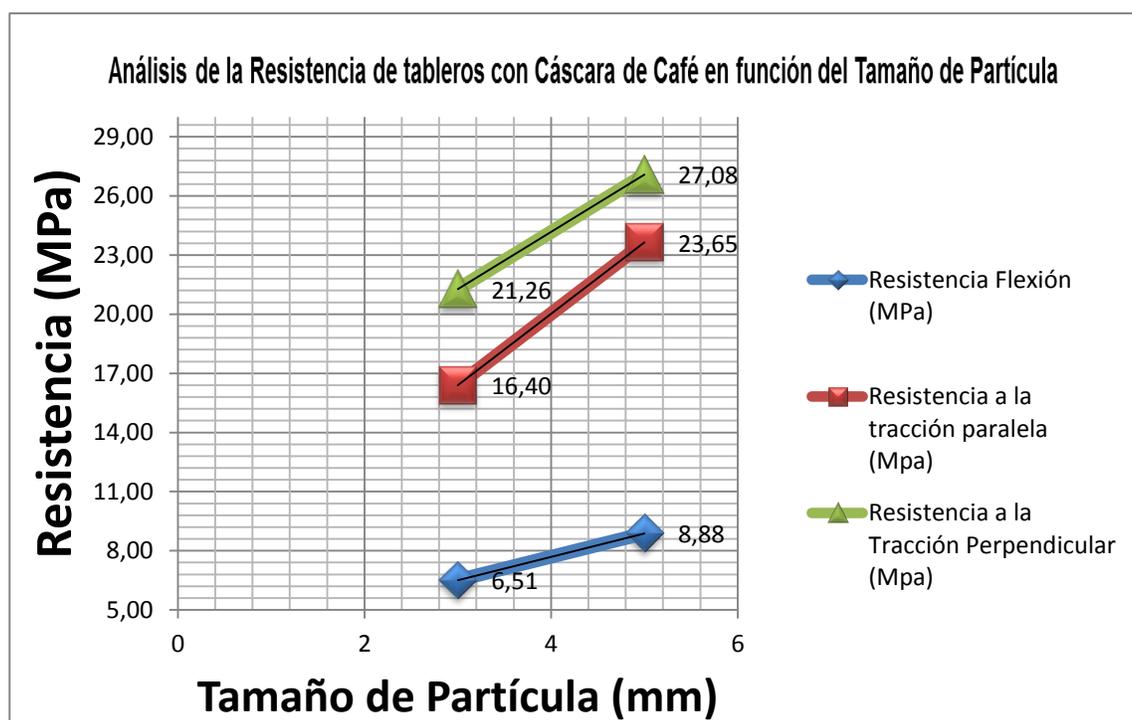


Figura 150. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia

Análisis:

La figura 150 muestra la influencia del tamaño de partícula en la resistencia de los tableros aglomerados con partículas de 5 mm y 3 mm con relación 70/30 de almidón de yuca y PVA.

Los tableros presentan una tendencia de incremento en la Resistencia a la Flexión, Resistencia a la Tracción Paralela, Resistencia a la Tracción Perpendicular a la superficie al aumentar el tamaño de partícula.

Por lo tanto para las dos combinaciones de almidón y PVA el aumento del tamaño de partícula incrementó la resistencia de los tableros.

8.2.7.2 TAMAÑO DE PARTÍCULA EN TABLEROS CON CASCARILLA DE CACAO

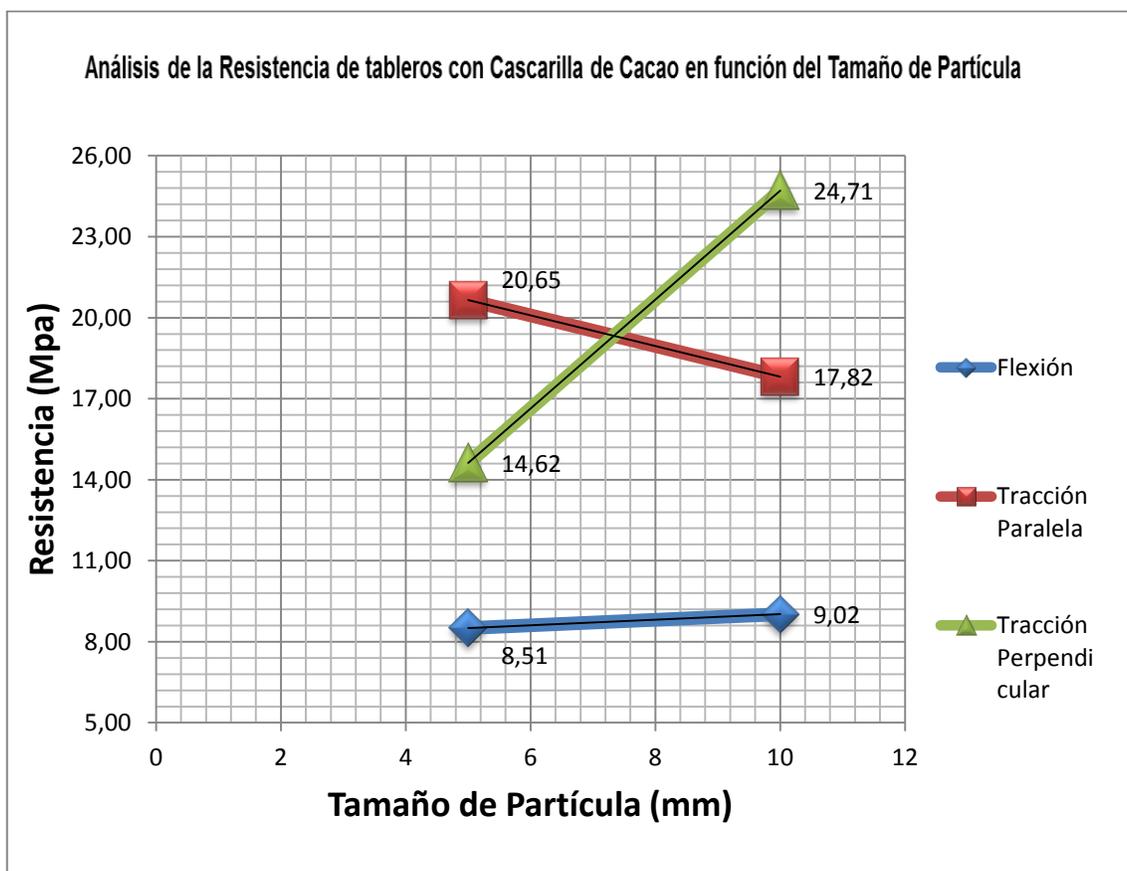


Figura 151. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia

Análisis:

La figura 150 muestra la influencia del tamaño de partícula en la resistencia de los tableros aglomerados con partículas de 5 mm y 10 mm con relación 50/50 de almidón de yuca y PVA.

Los tableros presentan una tendencia de incremento en la Resistencia a la Flexión, Resistencia a la Tracción Perpendicular a la superficie y una reducción en la Resistencia a la Tracción Paralela al aumentar el tamaño de partícula.

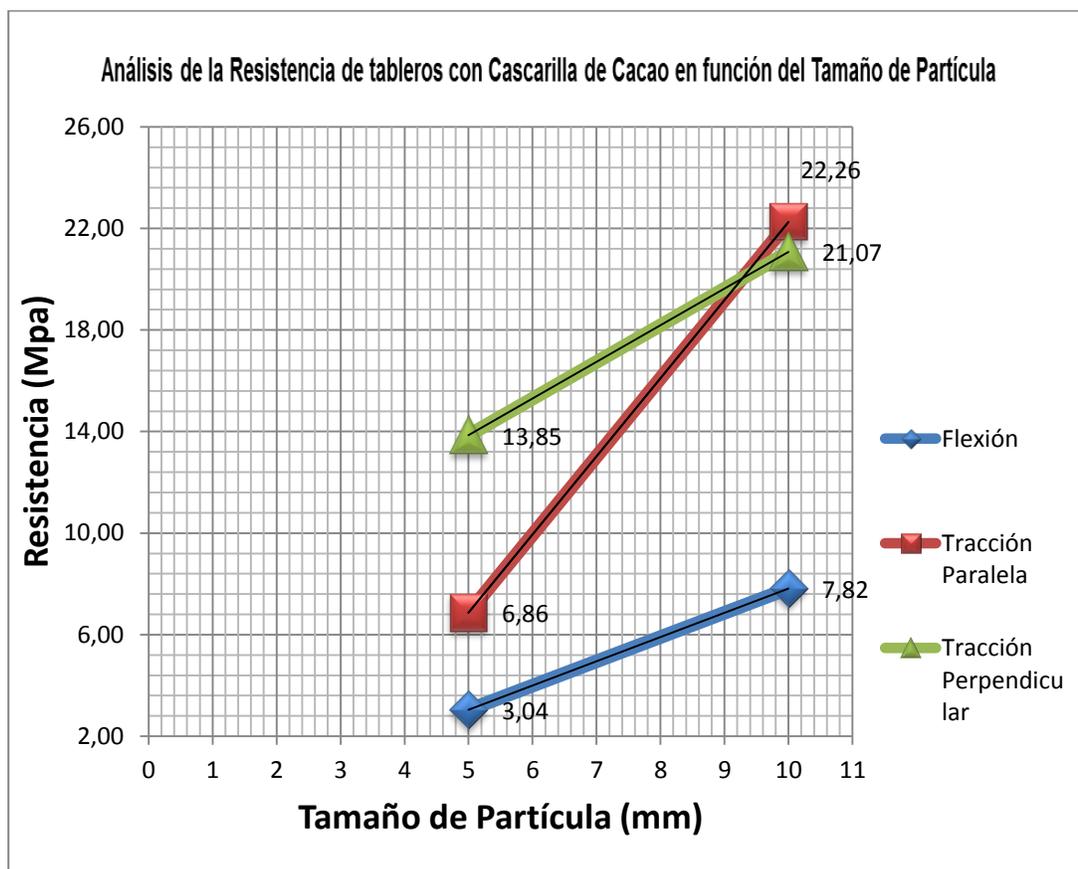


Figura 152. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia

Análisis:

La figura 152 muestra la influencia del tamaño de partícula en la resistencia de los tableros aglomerados con partículas de 5 mm y 10 mm con relación 70/30 de almidón de yuca y PVA.

Los tableros presentan una tendencia de incremento en la Resistencia a la Flexión, Resistencia a la Tracción Perpendicular a la superficie y Resistencia a la Tracción Paralela al aumentar el tamaño de partícula.

El comportamiento de la resistencia en los tableros aglomerados con cascarilla de cacao presenta una tendencia de crecimiento, excepto para la Resistencia a la

Tracción Paralela en donde se presentó una reducción para tableros con relación 70/30 almidón de yuca y PVA.

8.2.7.3 TAMAÑO DE PARTÍCULA EN TABLEROS CON TUSA DE MAÍZ

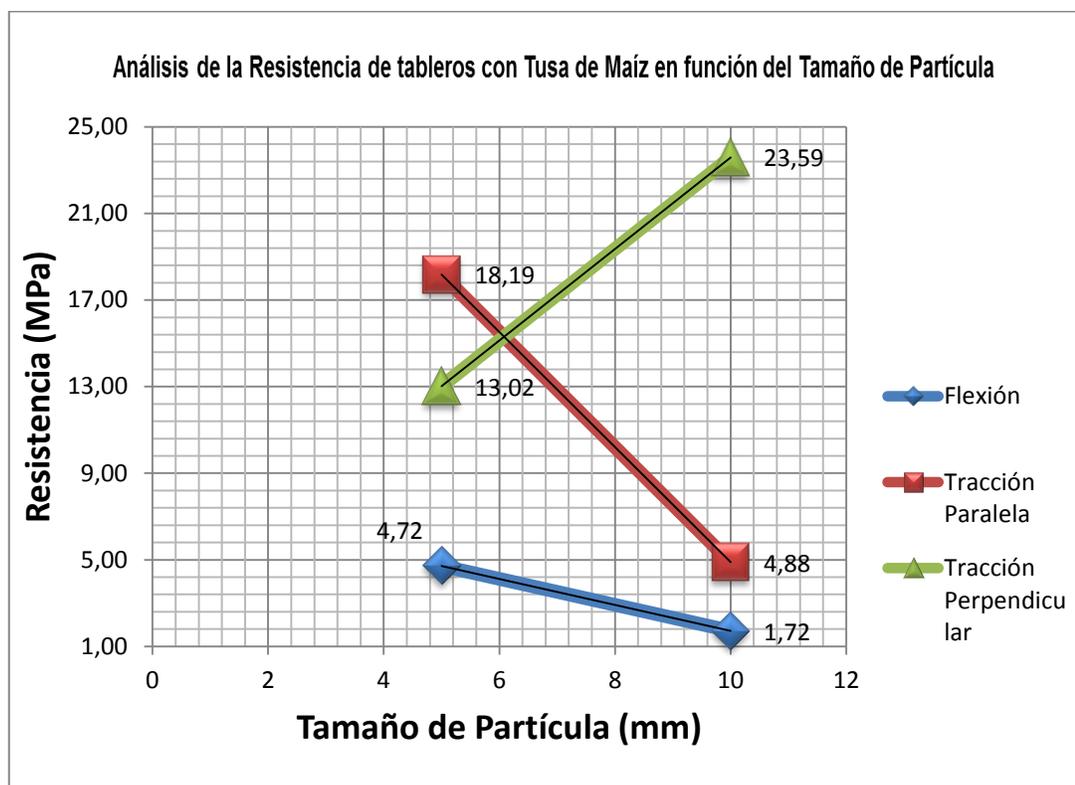


Figura 153. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia

Análisis:

La figura 153 muestra la influencia del tamaño de partícula en la resistencia de los tableros aglomerados con partículas de 5 mm y 10 mm con relación 50/50 de almidón de yuca y PVA.

Los tableros presentan una tendencia de reducción en la Resistencia a la Flexión, Resistencia a la Tracción Paralela a la superficie y un incremento en la Resistencia a la Tracción Perpendicular al aumentar el tamaño de partícula.

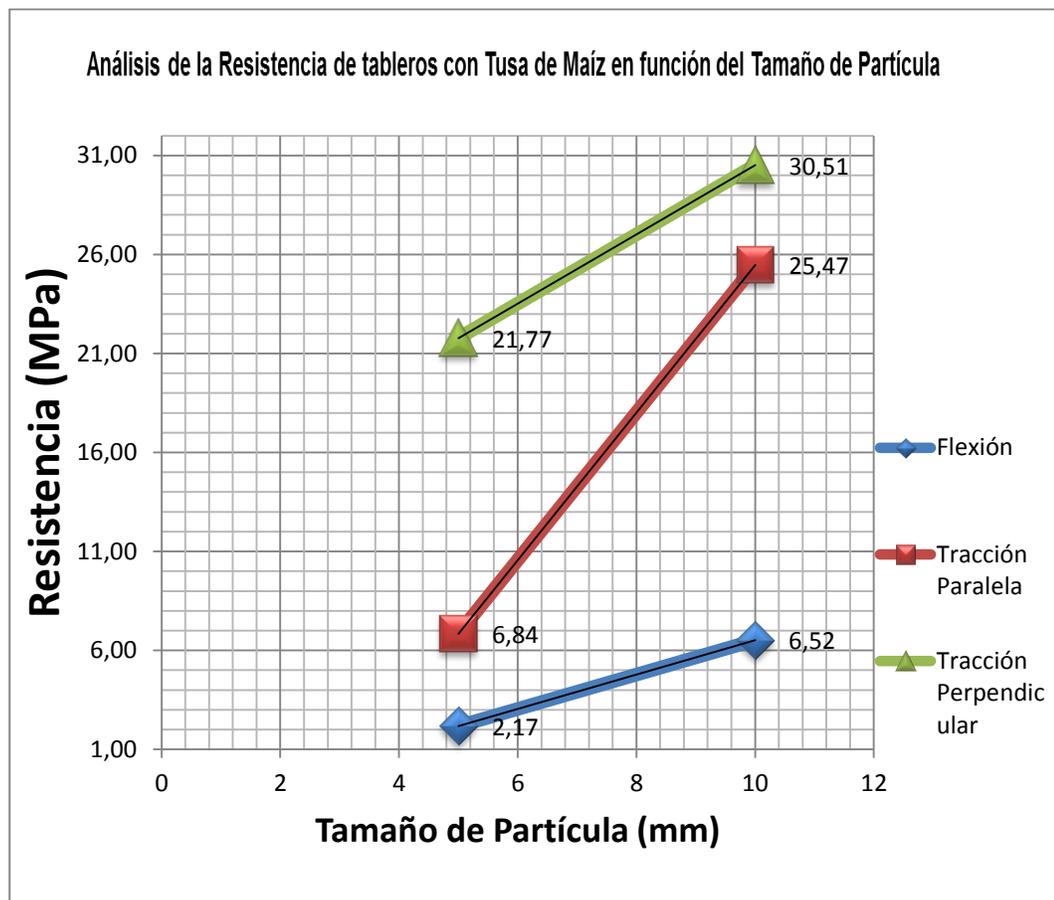


Figura 154. Influencia del tamaño de partícula en la Resistencia

La figura 154 muestra la influencia del tamaño de partícula en la resistencia de los tableros aglomerados con partículas de 5 mm y 10 mm con relación 70/30 de almidón de yuca y PVA.

Los tableros presentan una tendencia de incremento en la Resistencia a la Flexión y Resistencia a la Tracción Perpendicular a la superficie y Resistencia a la Tracción Paralela donde se produjo una adición considerable al aumentar el tamaño de partícula.

El comportamiento de la resistencia en los tableros aglomerados con partículas de tusa de maíz presenta una tendencia de crecimiento con la relación de almidón de yuca y PVA 70/30, y una tendencia de reducción para tableros con relación 50/50 almidón de yuca y PVA.

8.2.7.4 ALMIDÓN DE YUCA EN TABLEROS CON CÁSCARA DE CAFÉ

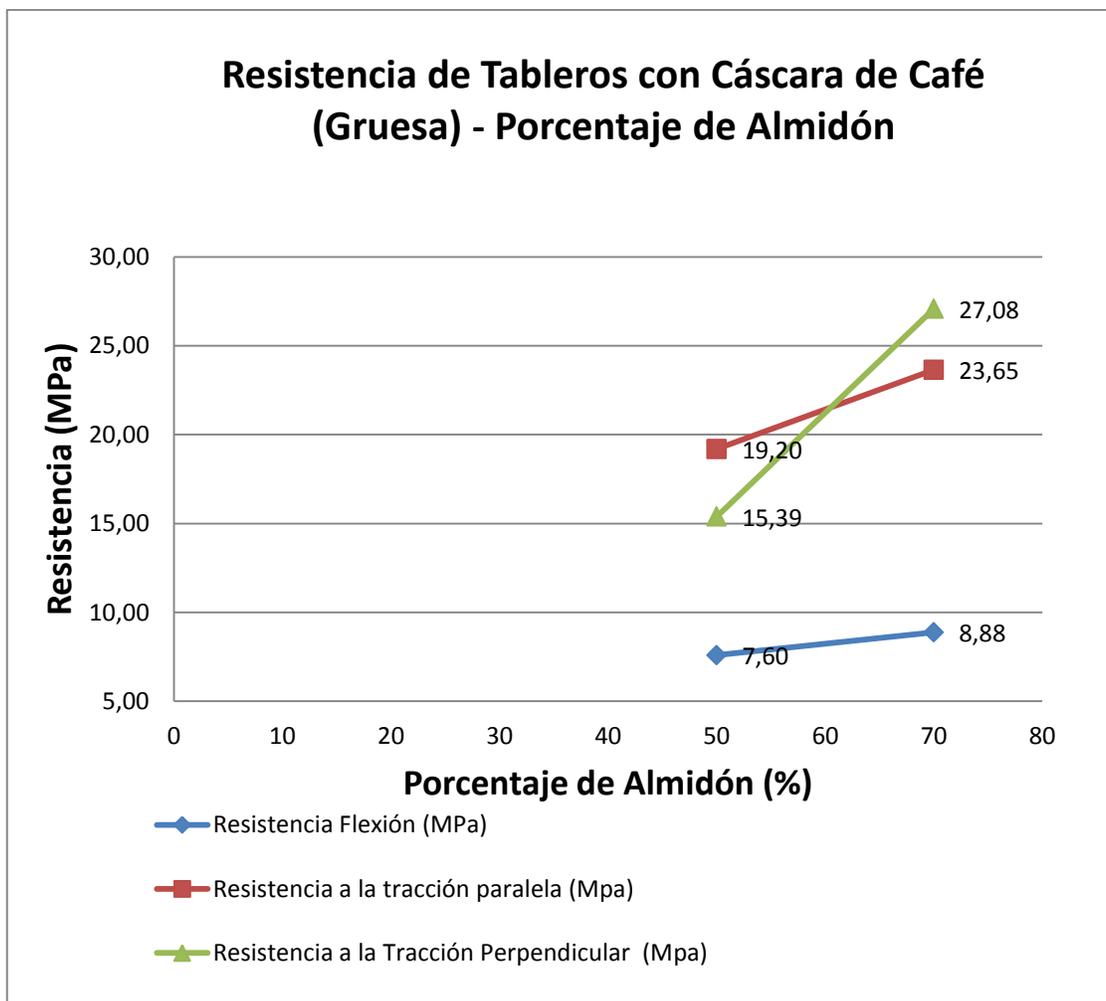


Figura 155. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia

La figura 155 muestra la influencia del porcentaje de almidón de yuca en la resistencia de tableros aglomerados con cáscara de café con partículas de 5 milímetros.

Al aumentar el porcentaje de almidón este aumento la resistencia de los tableros generando una tendencia de incremento.

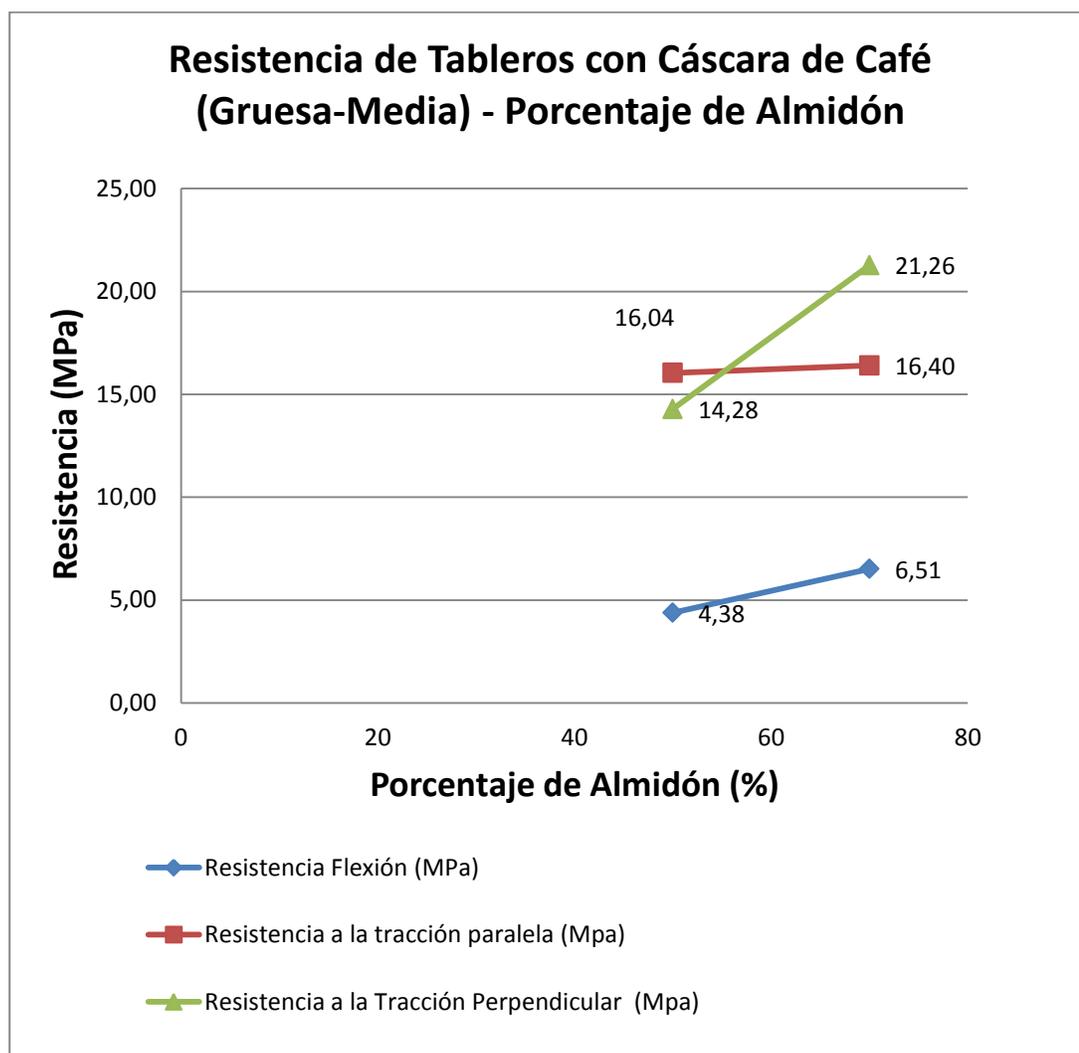


Figura 156. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia

La figura 156 muestra la influencia del porcentaje de almidón de yuca en la resistencia de tableros aglomerados con cáscara de café con partículas de 3 milímetros.

Al aumentar el porcentaje de almidón este aumento la resistencia de los tableros generando una tendencia de incremento.

8.2.7.5 ALMIDÓN DE YUCA EN TABLEROS CON CASCARILLA DE CACAO

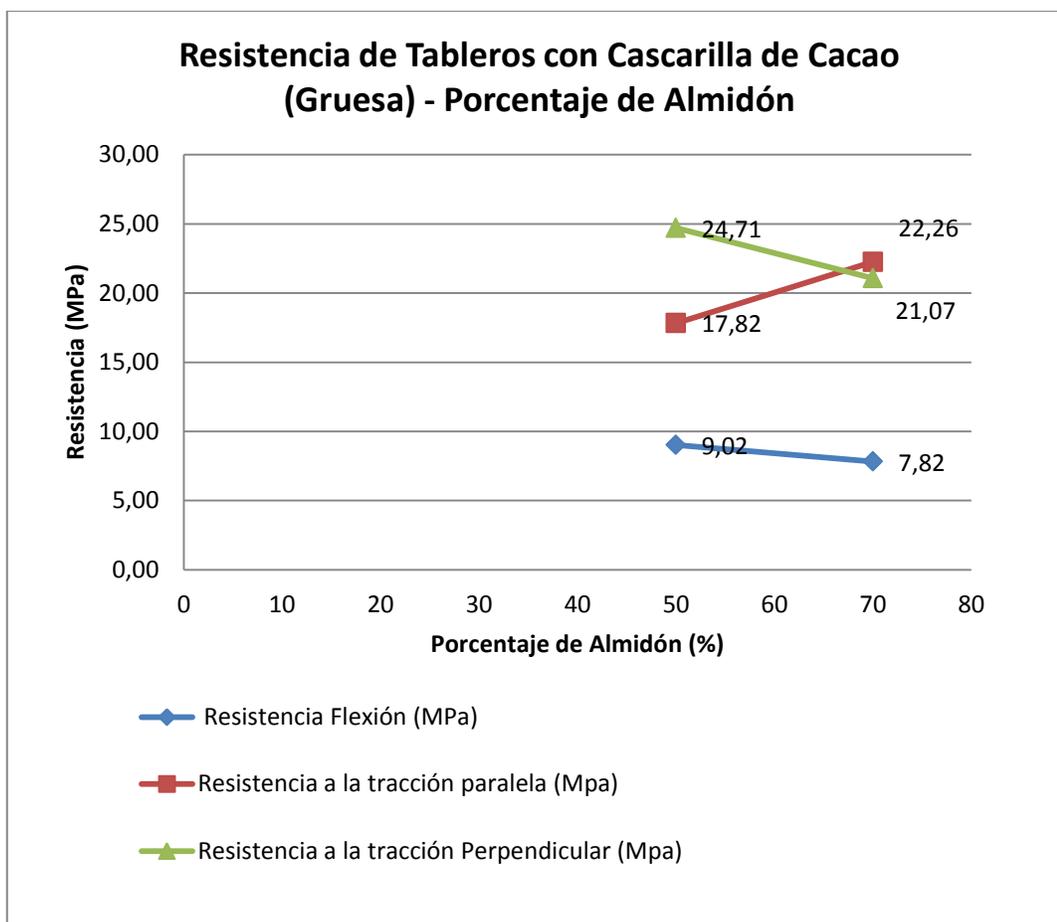


Figura 157. . Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia

La figura 157 muestra la influencia del porcentaje de almidón de yuca en la resistencia de tableros aglomerados con cáscara de café con partículas de 10 mm.

Al aumentar el porcentaje de almidón este genera una tendencia de reducción poco significativa de la resistencia a la flexión y a la Tracción Perpendicular, mientras una tendencia de aumento se manifiesta en la resistencia a la tracción paralela del mismo modo poco significativa.

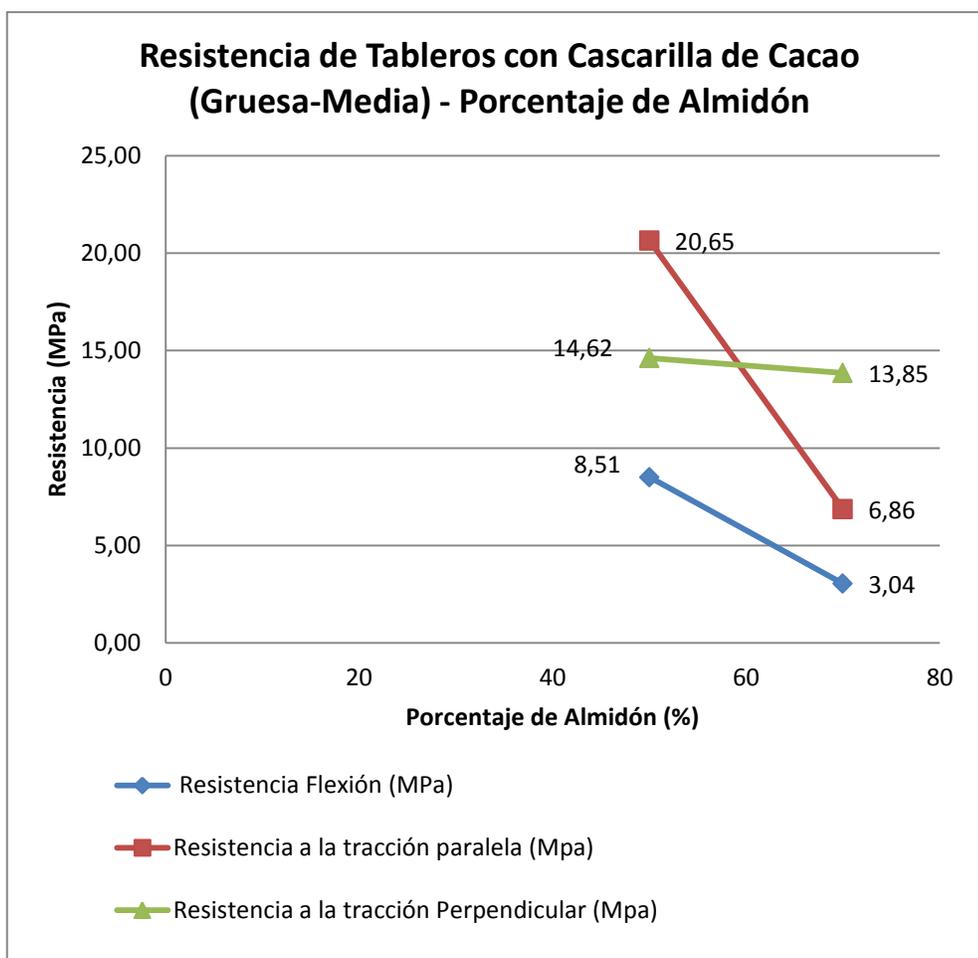


Figura 158. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia

La figura 158 muestra la influencia del porcentaje de almidón de yuca en la resistencia de tableros aglomerados con cáscara de café con partículas de 5 mm.

Al aumentar el porcentaje de almidón al 70% este influye en la resistencia generando una tendencia de reducción, destacando una considerable reducción en la Resistencia a la Tracción Paralela.

8.2.7.6 ALMIDÓN DE YUCA EN TABLEROS CON TUSA DE MAÍZ

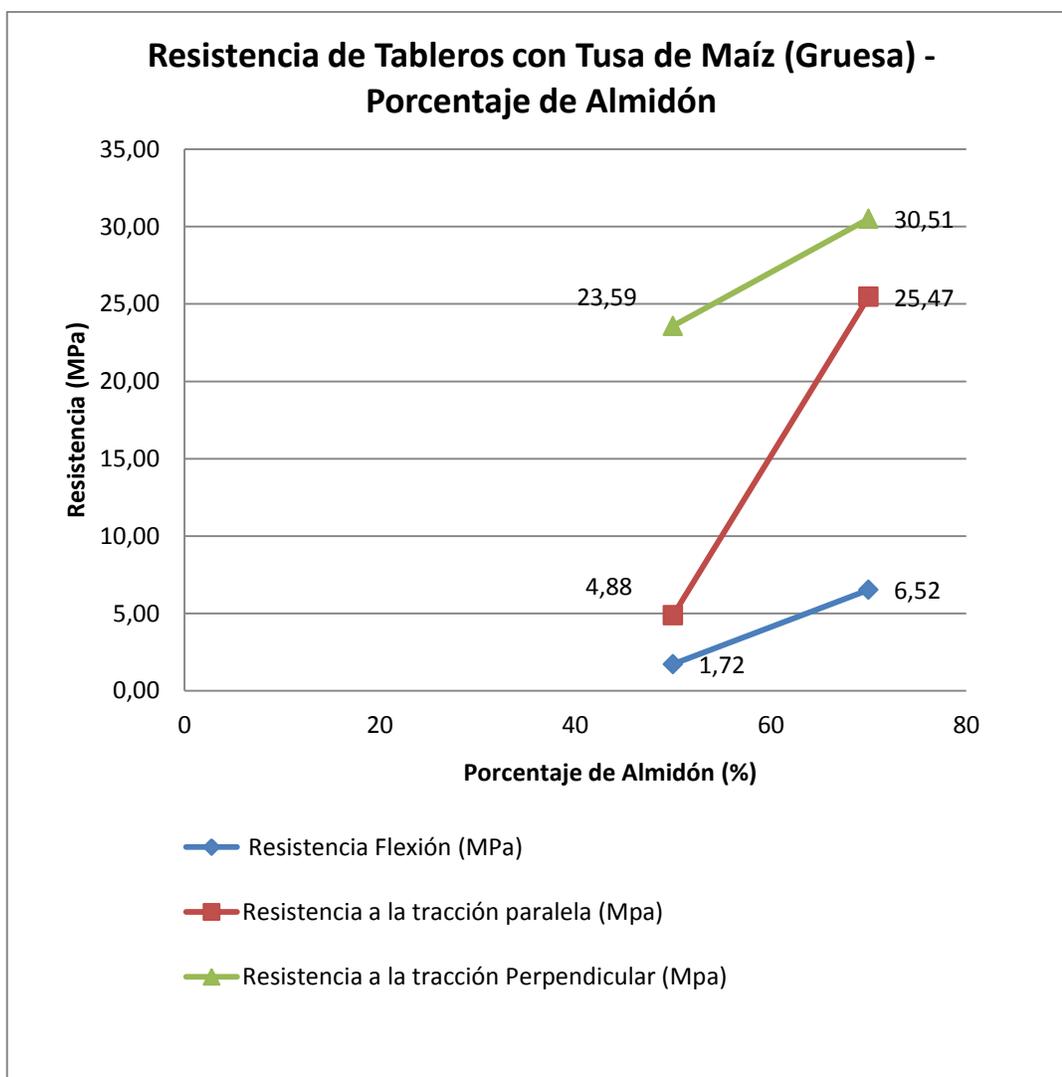


Figura 159. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia

La figura 159 muestra la influencia del porcentaje de almidón de yuca en la resistencia de tableros aglomerados con cáscara de café con partículas de 10 mm.

El aumento de porcentaje de almidón de yuca del 70% genera una tendencia de crecimiento para todas las resistencias del tablero, destacando un aumento considerable con respecto a la Resistencia a la Tracción Paralela.

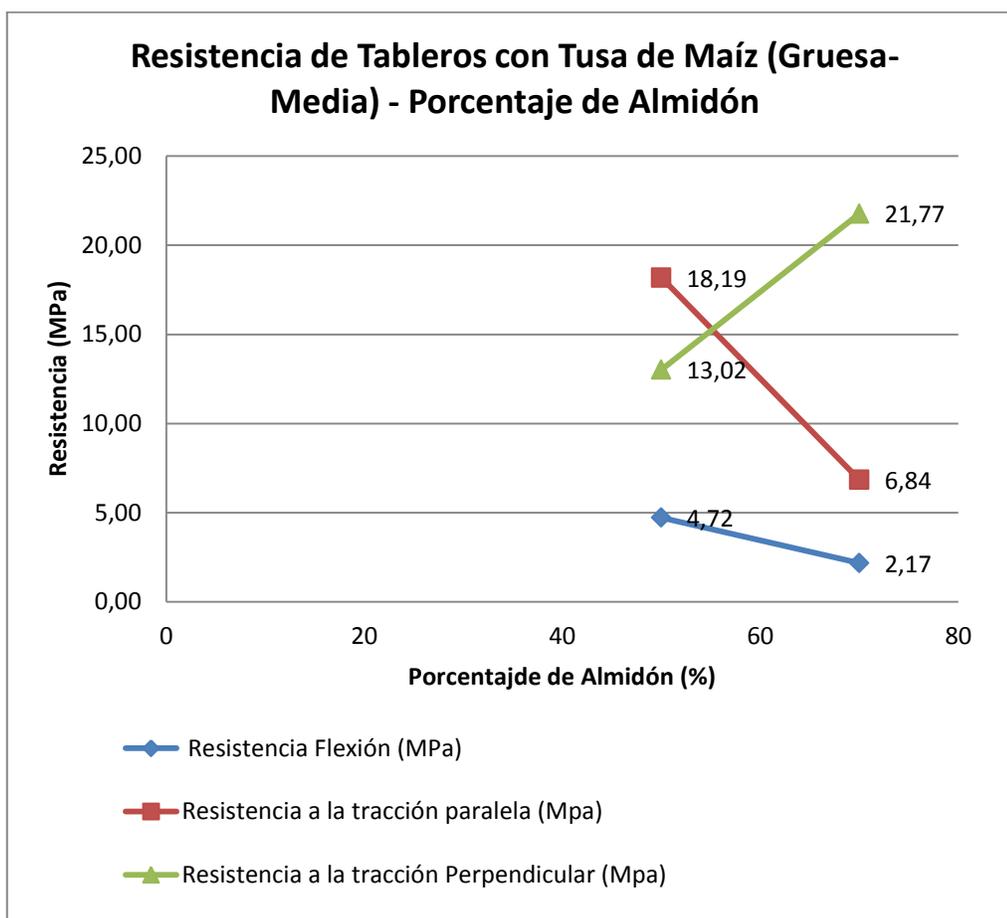


Figura 160. Influencia del Porcentaje del Almidón de Yuca en la Resistencia

La figura 160 muestra la influencia del porcentaje de almidón de yuca en la resistencia de tableros aglomerados con cáscara de café con partículas de 5 mm.

El aumento de porcentaje del almidón de yuca en 70% genera una tendencia de reducción de la resistencia en la resistencia a la flexión y de manera significativa en la resistencia a la tracción Paralela, mientras presentó una tendencia de aumento en la Resistencia a la Tracción Perpendicular.

8.2.7.7 PVA EN TABLEROS CON CÁSCARA DE CAFÉ

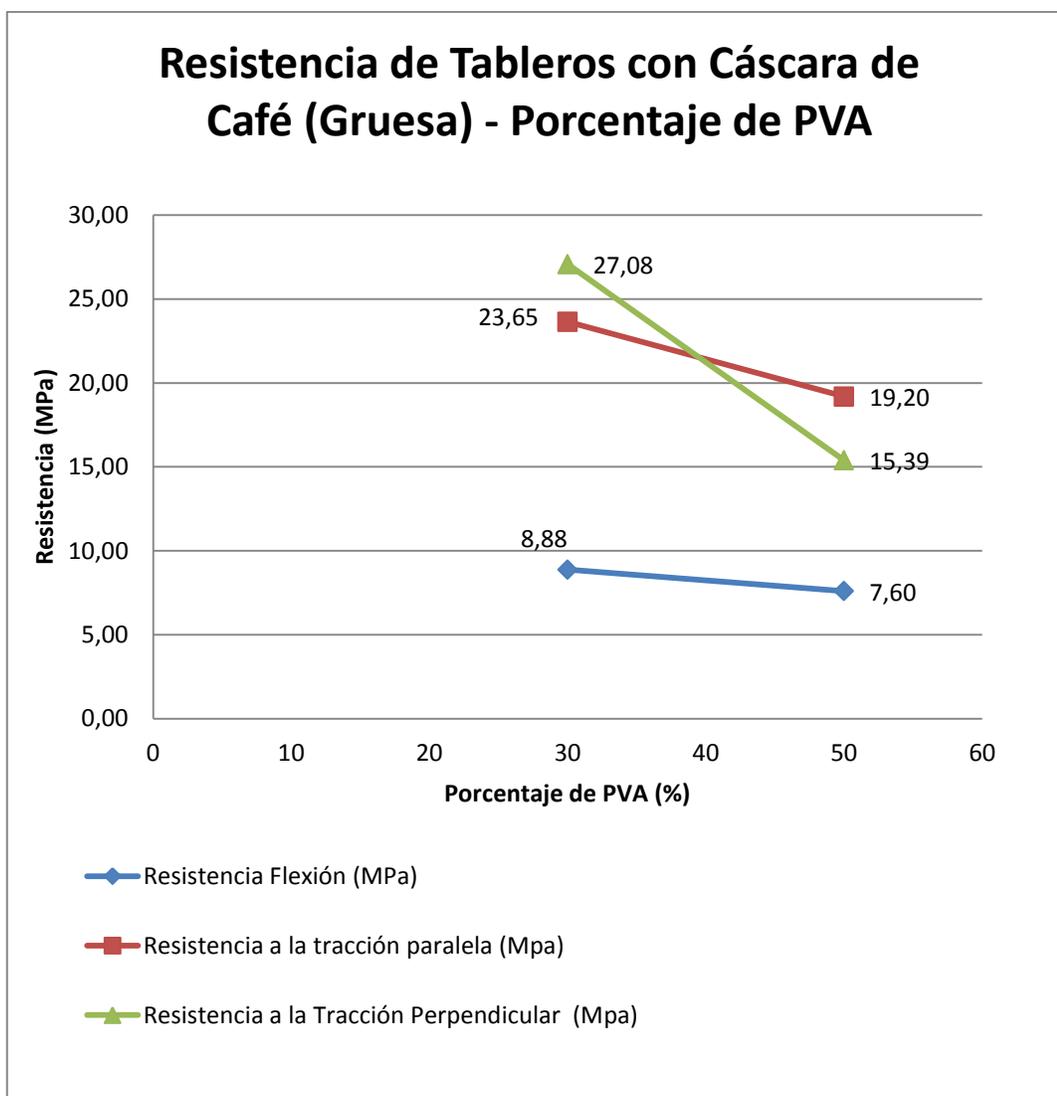


Figura 161. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia

La figura 161 muestra la influencia del porcentaje de PVA en la resistencia de tableros aglomerados con cáscara de café con partículas de 5 milímetros.

El aumento del porcentaje de PVA en combinación con el almidón genera una tendencia de reducción en la resistencia.

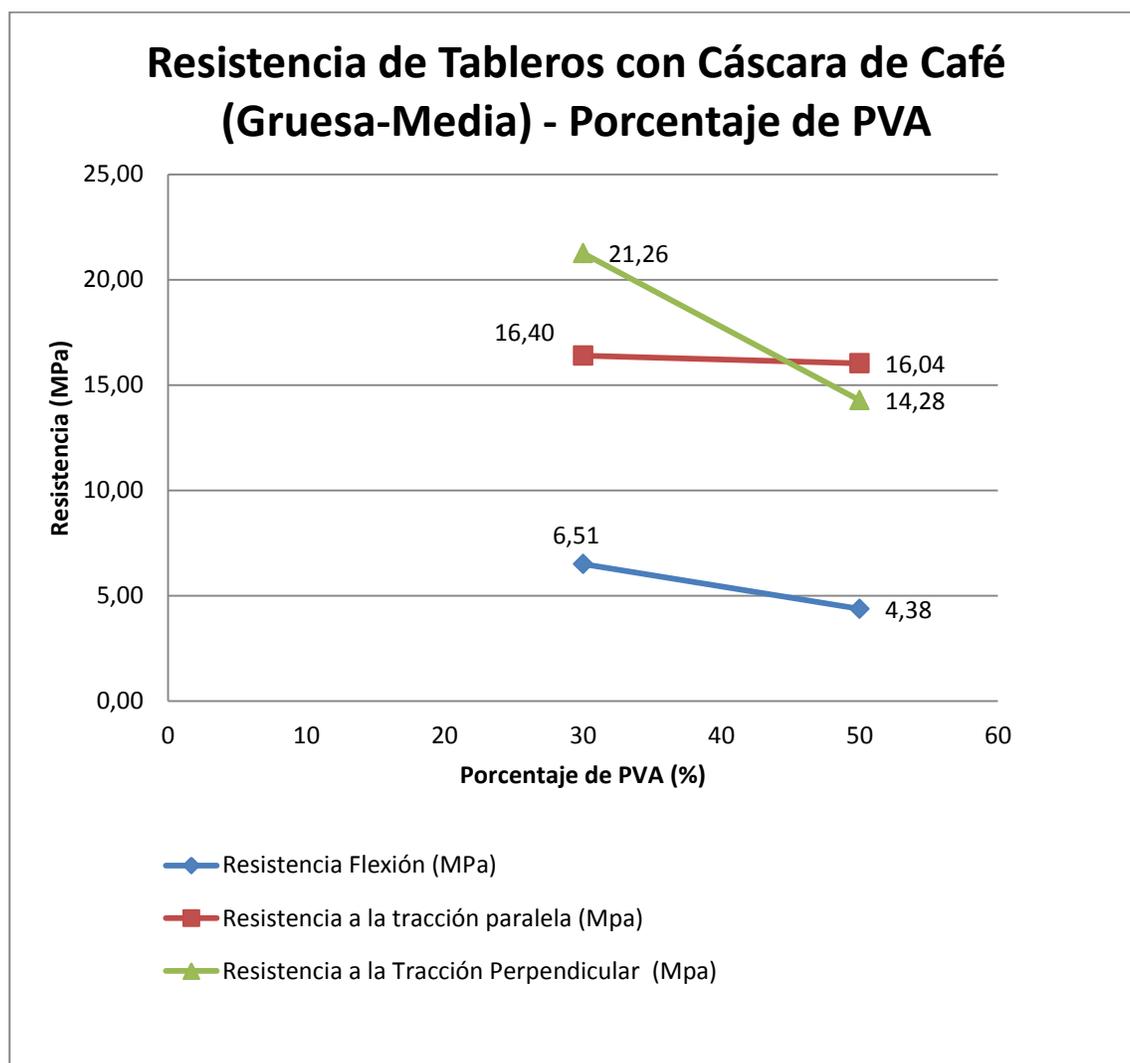


Figura 162. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia

La figura 162 muestra la influencia del porcentaje de PVA en la resistencia de tableros aglomerados con cáscara de café con partículas de 3 milímetros.

El aumento del porcentaje de PVA en combinación con el almidón genera una tendencia de reducción en la resistencia.

8.2.7.8 PVA EN TABLEROS CON CASCARILLA DE CACAO

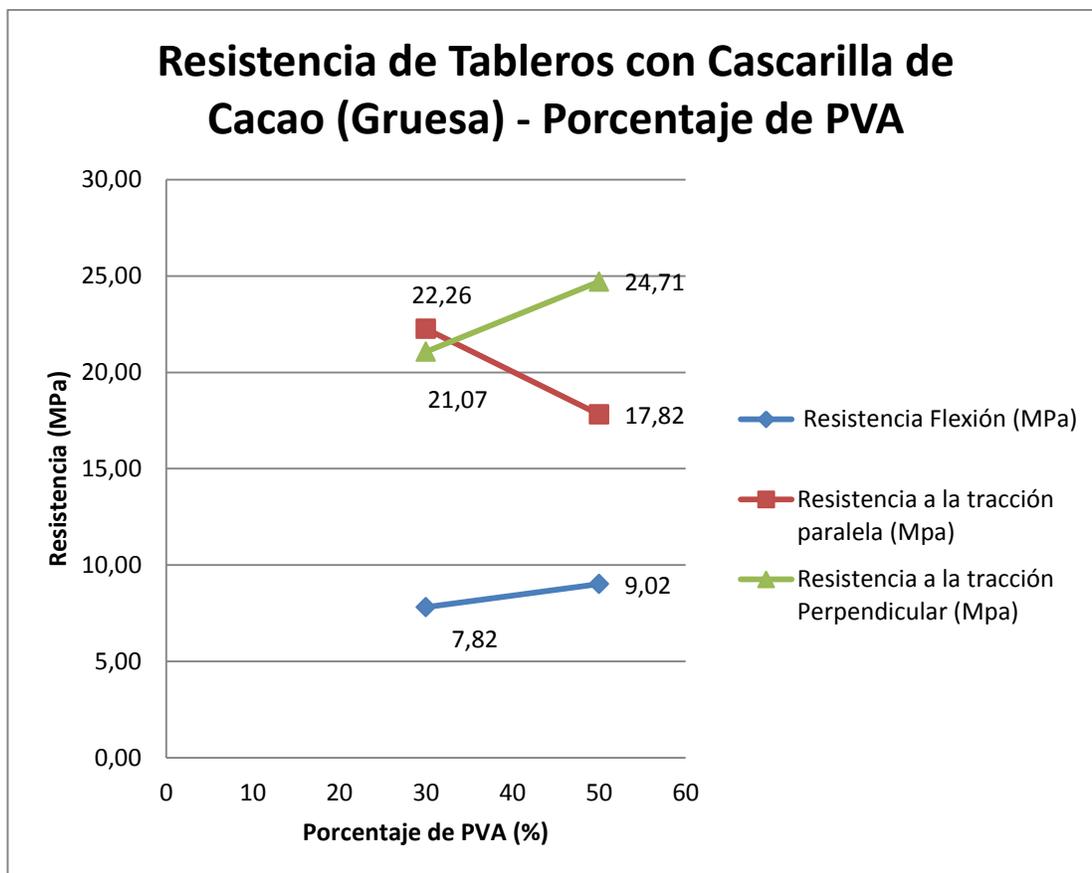


Figura 163. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia

La figura 163 muestra la influencia del porcentaje de PVA en la resistencia de tableros aglomerados con cascarilla de cacao con partículas de 10 mm.

El aumento del porcentaje de PVA en combinación con el almidón genera una tendencia de aumento poco significativa en la resistencia a la Flexión y a la Tracción Perpendicular, mientras se muestra una tendencia de reducción en la Resistencia a la tracción Paralela.

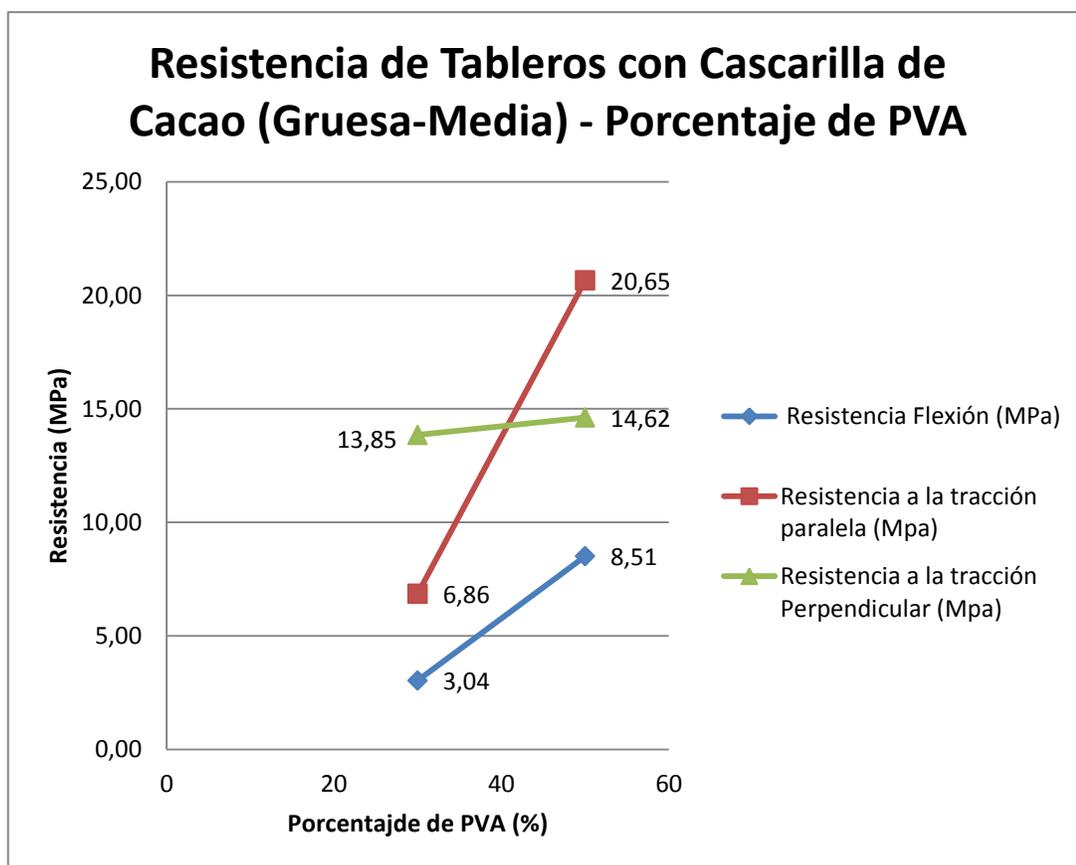


Figura 164. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia

La figura 164 muestra la influencia del porcentaje de PVA en la resistencia de tableros aglomerados con cascarilla de cacao con partículas de 5 mm.

El aumento del porcentaje de PVA en combinación con el almidón genera una tendencia de aumento poco significativa en la resistencia a la Flexión y a la Tracción Perpendicular, mientras se muestra un aumento considerable en la Resistencia a la tracción Paralela.

8.2.7.9 PVA EN TABLEROS CON TUSA DE MAÍZ

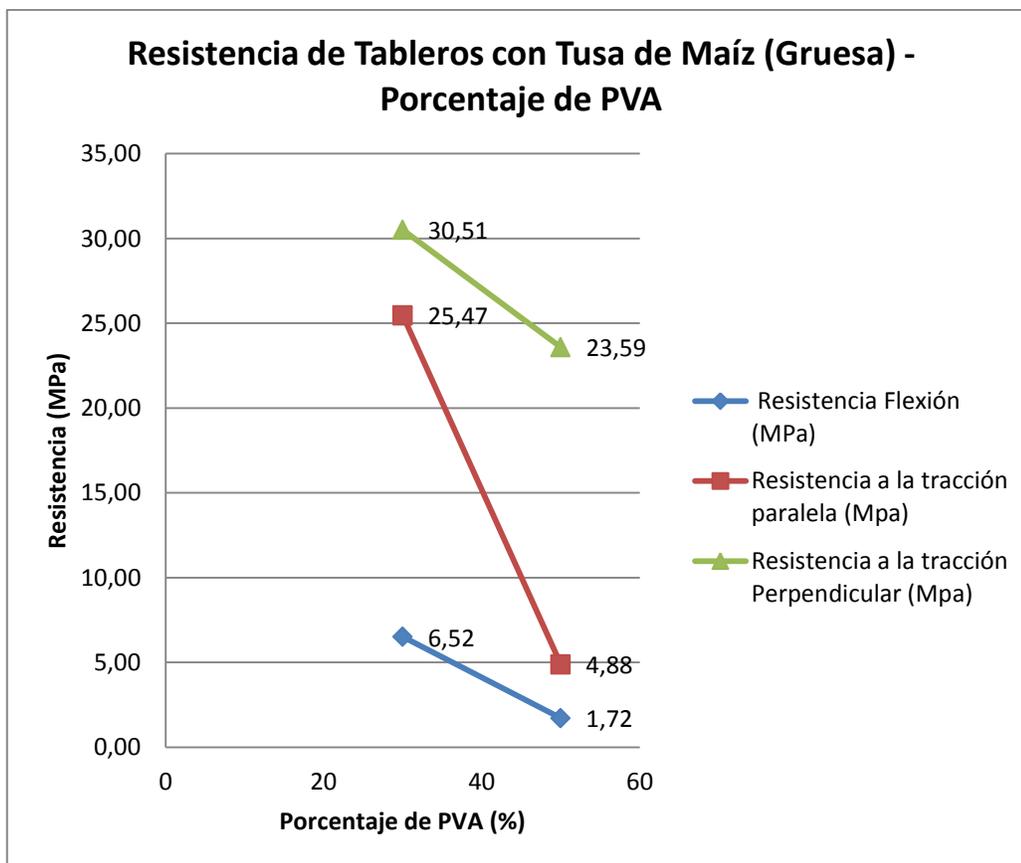


Figura 165. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia

La figura 165 muestra la influencia del porcentaje de PVA en la resistencia de tableros aglomerados con tusa de maíz con partículas de 10 mm.

El aumento del porcentaje del PVA en combinación con el almidón de yuca presenta una tendencia de reducción en la resistencia de los tableros, destacando un valor considerable en la Resistencia a la Tracción Paralela.

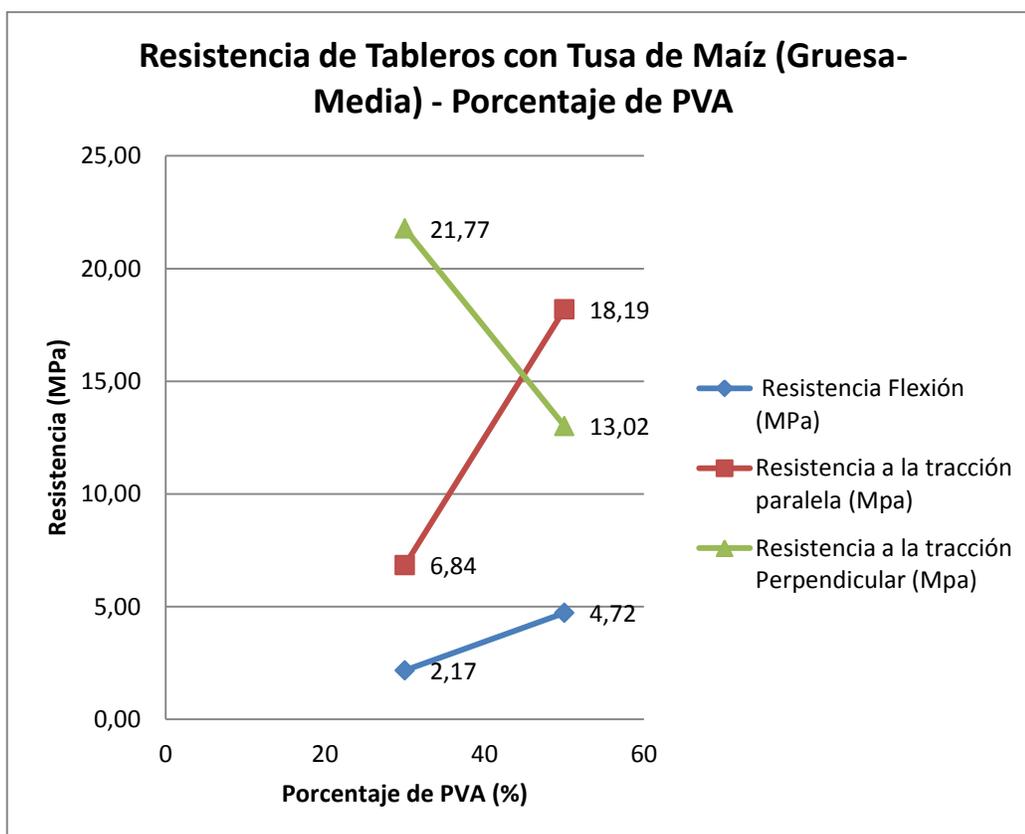


Figura 166. Influencia del Porcentaje de PVA en la Resistencia

La figura 166 muestra la influencia del porcentaje de PVA en la resistencia de tableros aglomerados con tusa de maíz con partículas de 5 mm.

El aumento del porcentaje del PVA en combinación con el almidón de yuca genera un tendencia de aumento en la resistencia a la Flexión y a la Tracción Paralela de una manera considerable mientras en la Resistencia a la Tracción Perpendicular se produjo una tendencia de reducción.

8.2.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.2.8.1 TAMAÑO DE PARTÍCULA

El aumento del tamaño de partículas de 3 a 5 milímetros manifestó una tendencia de incremento en las tres resistencias analizadas, el promedio del valor de acrecentamiento es de 2,5 y 5,15 Mpa con las relaciones de almidón-PVA 50/50 y 70/30 respectivamente para los tableros aglomerados con cáscara de café.

Los tableros aglomerados con partículas de cascarilla de cacao indican una tendencia de incremento y reducción de la resistencia:

- Tableros con relación de almidón-PVA 50/50, registra un valor promedio de incremento de 5.3 MPa en la resistencia a la flexión y a la tracción perpendicular a la superficie. El valor de reducción de la resistencia a la tracción paralela es de 2,83 MPa.
- Tableros con relación de almidón-PVA 70/30, se manifiesta una tendencia de crecimiento con un valor promedio de 9,13 MPa, para las tres resistencias analizadas.

Los tableros aglomerados con partículas de tusa de maíz demostraron tendencia de incremento y reducción de la resistencia:

- Tableros con relación de almidón-PVA 50/50, registran una tendencia de decrecimiento con un valor promedio de reducción de 8,16 MPa para la resistencia a Flexión y a la Tracción Paralela a la Superficie. La tendencia de aumento se manifiesta en la resistencia a la tracción perpendicular a la superficie con un valor de 10.58 MPa.
- Tableros con relación de almidón-PVA 70/30, presentan una tendencia de incremento con un valor promedio de 10,57 MPa, para las tres resistencias analizadas.

8.2.8.2 PORCENTAJE DE ALMIDÓN DE YUCA

El aumento del almidón de yuca de 50 a 70% genera una tendencia de incremento en las resistencias analizadas en un valor promedio de 5,81 MPa y 3.16 MPa para tableros elaborados con partículas de cáscara de café gruesas y gruesa-media respectivamente.

Los tableros aglomerados con partículas de cascarilla de cacao al incrementar el almidón de yuca presentan tendencia de incremento y reducción de su resistencia:

- Tableros elaborados con partículas gruesas presentaron una tendencia de reducción en cuanto a la resistencia a la flexión y a la Tracción Perpendicular a las caras en un valor promedio de 2,42 MPa, mientras la tendencia de crecimiento se presentó en la resistencia a la tracción paralela con un valor de 4,44 MPa.
- Tableros aglomerados con partículas gruesa-media presentaron una tendencia de reducción de sus resistencias con un valor promedio de 6,68 MPa.

Los tableros aglomerados con partículas de tusa de maíz presentan tendencia de incremento y reducción de su resistencia al aumentar el porcentaje del almidón de yuca:

- Tableros elaborados con partículas gruesas presentaron una tendencia de crecimiento con un valor promedio de 10,77 MPa.
- Tableros aglomerados con partículas gruesa-media presentaron una tendencia de reducción de la resistencia a la Flexión y a la Tracción Paralela a la superficie con un valor promedio de 5,66 MPa, la tendencia de crecimiento se presenta en la Tracción Perpendicular a la superficie con un valor de 8,75 MPa.

8.2.8.3 PORCENTAJE DE PVA

El aumento del porcentaje de PVA en la elaboración de los tableros aglomerados con cáscara de café genera una tendencia de reducción de sus resistencias tanto con partículas gruesas y medias.

Los tableros aglomerados con partículas gruesas de cascarilla de cacao presentan tendencia de crecimiento para la resistencia a la flexión y a la tracción perpendicular, sin embargo existe una tendencia de reducción en la resistencia a la tracción paralela.

Los tableros aglomerados con partículas gruesa-media de cascarilla de cacao presentan tendencia de crecimiento para las tres resistencias analizadas.

Los tableros aglomerados con partículas gruesas de tusa de maíz presentan tendencia de reducción para las tres resistencias analizadas.

Los tableros aglomerados con partículas gruesa-media de tusa de maíz presentan tendencia de crecimiento para la resistencia a la flexión y a la tracción paralela sin embargo existe una tendencia de reducción en la resistencia a la tracción perpendicular.

8.2.9 ANÁLISIS FINAL

Los tableros elaborados con cáscara de café:

- El aumento del tamaño de partícula es un factor que genera una tendencia de aumento en las resistencias en un valor promedio de 3,83 MPa.
- El aumento del porcentaje de almidón de yuca provoca una tendencia de crecimiento en las resistencias en un valor promedio de 4,49 MPa.
- El aumento del porcentaje de PVA manifiesta una tendencia de reducción en las resistencias.

Los tableros elaborados con cascarilla de cacao:

- El aumento del tamaño de partícula, porcentaje de almidón de yuca y porcentaje de PVA son factores que generan tanto una tendencia de crecimiento y reducción como se estableció en el apartado anterior.

Los tableros elaborados con tusa de maíz:

- El aumento del tamaño de partícula, porcentaje de almidón de yuca y porcentaje de PVA son factores que generan tanto una tendencia de crecimiento y reducción como se estableció en el apartado anterior.

Tabla 64

Cuadro de Resultados

Material	Propiedades de los materiales aislantes a base de biomasa residual agrícola a una temperatura media de 25° C							
CÁSCARA DE CAFÉ	Relación	Tamaño de Partículas	Tablero	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	Resistencia a la Tracción Perpendicular (Mpa)	Conductividad Térmica λ (W/°K.m)
	50/50	G	T1A	812,40	7,60	19,20	15,39	0,071
	50/50	G-M	T1B	1001,44	4,38	16,04	14,28	0,063
	70/30	G	T2C	1081,46	8,88	23,65	27,08	0,060
	70/30	G-M	T2D	1033,16	6,51	16,40	21,26	0,057
CASCARILLA DE CACAO	Relación	Tamaño de Partículas	Tablero	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	Conductividad Térmica λ (W/°K.m)
	50/50	G	T3A	1007,20	9,02	17,82	24,71	0,057
	50/50	G-M	T3B	1354,31	8,51	20,65	14,62	0,069
	70/30	G	T4C	1920,19	7,82	22,26	21,07	0,069
	70/30	G-M	T4D	1317,84	3,04	6,86	13,85	0,059
TUSA DE MAÍZ	Relación	Tamaño de Partículas	Tablero	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	Conductividad Térmica λ (W/°K.m)
	50/50	G	T5A	699,73	1,72	4,88	23,59	0,061
	50/50	G-M	T5B	859,72	4,72	18,19	13,02	0,060
	70/30	G	T6C	1237,00	6,52	25,47	30,51	0,076
	70/30	G-M	T6D	1470,24	2,17	6,84	21,77	0,080
Material	Densidad (kg/m³)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la tracción paralela (Mpa)	Resistencia a la Tracción Perpendicular (Mpa)	Conductividad Térmica λ (W/°K.m)			
Poliestireno Expandido	0,35	0,05 - 0,375	0,1 - 0,58	-	0,033			
Tableros y planchas de madera	-	10,00	-	-	0,800			

CAPÍTULO 9

ANÁLISIS ECONÓMICO

9. COSTOS DE DESARROLLO

Para la etapa de construcción de los modelos constructivos propuestos se analizan los costos de la materia prima, los materiales, por servicios prestados, indirectos y mano de obra para proyectar el costo por metro cuadrado de fabricación del tablero aglomerado.

9.1 MATERIA PRIMA

En la tabla 64 se presentan los costos de la materia prima que es residuo agrícola, en este caso la biomasa fue recolectada en mercados.

Tabla 65

Costos de Materia Prima

MATERIA PRIMA	Unidad	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
Cáscara de café	kg	12	0,02	0,24
Cascarilla de Cacao	kg	12	0,02	0,24
Tusa de maíz	kg	12	0,05	0,6
TOTAL (\$)				1,08

Tabla 66**Costos del Aglomerante**

AGLOMERANTE	Unidad	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
Almidón de Yuca	kg	7	1,60	11,2
PVA	Galón	1	7,94	7,94
TOTAL (\$)				19,14

La tabla 65 muestra los costos del aglomerante donde el costo total es de 19,14 dólares. El almidón de yuca se lo encuentra de manera accesible en tiendas y el PVA es distribuido por Edimca es un adhesivo industrial de madera.

9.2 MATERIALES

Los materiales para el desarrollo de los tableros aglomerados se muestran en la tabla 66 con su costo respectivo.

Tabla 67**Costos de Materiales**

MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
Molde de Acero	Unidad	2	58	116
Tool	Unidad	1	26	26
Extensión para Mezclar	Unidad	1	4,62	4,62
Malla 1/8 "	Unidad	1	4,33	4,33
Malla 1/4"	Unidad	1	4,14	4,14
Malla	Unidad	1	3,02	3,02
Espátula plástica	Unidad	1	2,37	2,37
Prensa en C	Unidad	4	7,92	31,68
Jarra con medida	Unidad	1	2	2
Aceite Vegetal	1 litro	1	1,8	1,8
Aluminio	Unidad	2	3	6
TOTAL (\$)				201,96

9.3 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos se muestran en la tabla 67 de los suministros de laboratorio y normas ISO que se adquirieron para el desarrollo del trabajo de investigación.

Tabla 68

Costos Indirectos

COSTOS INDIRECTOS	Precio Total \$
Suministros de Laboratorio	16
Normas ISO	30
Papelería-Impresiones	40
TOTAL (\$)	86

9.4 COSTOS DE SERVICIOS

La tarifa para un m³ de agua es de 0,72 centavos de dólar, la electricidad es considerada para el uso del taladro y el horno durante 15 días de la etapa de fabricación de los tableros tomando en consideración que el kW/h tiene un costo de 0,10 centavos de dólar.

Tabla 69

Costos de Servicios

COSTOS DE SERVICIOS	Precio Total \$
Agua	0,72
Electricidad	6,63
Corte de Probetas	50
Molienda	25
Transporte	15
TOTAL	97,35

La tabla 68 muestra el costo de los servicios requeridos para la elaboración de los tableros aglomerados de biomasa, donde: el corte de probetas fue necesario para la realización de los ensayos de caracterización, la molienda de las tusas de maíz se la

realizó en un molino de piedras y el transporte fue de la materia prima, aglomerantes y materiales.

9.5 COSTOS DE MANO DE OBRA

Se considera el costo de la mano de obra de 2,09 \$ de acuerdo al salario mínimo dividido para los 22 días laborables con 8 horas de trabajo.

Son 15 días de trabajo con 6 horas diarias, con un total de 90 horas en la tabla 69 se presenta el costo total de la mano de obra

Tabla 70

Costo Mano de Obra

Mano de Obra	Costo/Hora	Horas	TOTAL (\$)
Ejecutor	2,09	90	188,1

9.6 COSTO TOTAL DE DESARROLLO

En la tabla 70 se muestra el costo total del desarrollo de este proyecto de investigación, con un valor de 554, 23\$.

Tabla 71

Costo Total de Desarrollo

COSTOS	Precio Total \$
MATERIA PRIMA	1,68
AGLOMERANTE	19,14
MATERIALES	201,96
INDIRECTOS	86
SERVICIOS	97,35
MANO DE OBRA	188,1
TOTAL	594,23

Observación: Costo 0\$ Patrocinio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Manejo de equipos, Ensayos Conductividad, Resistencia)

9.7 COSTO POR METRO CUADRADO

La tabla 71 muestra el costo por metro cuadrado del tablero según el tipo de biomasa, los rubros representativos son los gastos fijos (agua-electricidad) y el triturado de la biomasa que para el caso de la tusa de maíz como se lo realizó en un molino de piedras presenta un mayor valor.

Tabla 72

Costo del Material Aislante por metro cuadrado según el tipo de Biomasa

Fabricación	(Café- Cacao) Precio \$	(Maíz) Precio \$
Biomasa	0,01	0,025
Triturado	0,40	0,80
Almidón	0,13	0,13
Resina	0,4	0,4
Papel aluminio	0,1	0,1
Aceite Vegetal	0,09	0,09
Gastos Fijos	0,321	0,321
Molde	0,31	0,31
Prensa	0,1	0,1
Costo (0,3 m²) \$	1,46	1,48
Costo (m2)\$	13,54	14,12

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10. CONCLUSIONES

- El desarrollo de esta investigación experimental permitió la determinación de las propiedades de la solución constructiva propuesta dando como resultados materiales aislantes con un rango de conductividad térmica comprendido de 0,057 a 0,080 ($W/^{\circ}K.m$), dentro del análisis de resultados de todos los ensayos practicados la opción con mejor rendimiento es la de cascarilla de cacao T3A (Almidón 50% - PVA 50%), siguiendo la cáscara de café T2C (Almidón 70% - PVA 30%, Tamaño de Partícula Gruesa) y finalmente la tusa de maíz (Almidón 50% - PVA 50%, Tamaño de Partícula Gruesa); cabe destacar que las tres opciones presentaron resultados dentro de los valores exigidos para considerar un material aislante.
- Los aspectos iniciales que se deben considerar para la elaboración de tableros aglomerados son: la disponibilidad de la materia prima (tipo de cultivo transitorio o permanente así como las etapas de cosecha), la accesibilidad de este recurso.
- Las variables independientes para el diseño del modelo constructivo son: porcentaje de biomasa (50%), porcentaje de almidón de yuca (50% y 70%), porcentaje de PVA (50% y 30%) y tamaño de partícula (Gruesa 100% y

gruesa- media (50/50). En la etapa inicial del diseño se planteó una relación constante entre biomasa-aglomerante de 50/50 en relación al peso.

- La mejor alternativa para los tableros aglomerados con partículas de cáscara de café es: tamaño de partícula 3 milímetros, almidón de yuca 70% y PVA 30%, con ciclo de prensado de 2 toneladas durante 12 minutos y una temperatura de secado de 90°C durante 2 horas y media .
- La mejor alternativa para los tableros aglomerados con partículas de cascarilla de cacao es: tamaño de partícula de 10 milímetros, almidón de yuca 50% y PVA 50%, con ciclo de prensado de 1 tonelada durante 12 minutos y una temperatura de secado de 90°C durante 2 horas y media.
- La mejor alternativa para los tableros aglomerados con partículas de tusa de maíz es: tamaño de partícula de 10 milímetros, almidón de yuca 50% y PVA 50%, con ciclo de prensado de 1 tonelada durante 12 minutos y una temperatura de secado de 90°C durante 2 horas y media.
- Se determinó para esta investigación como aglomerante natural al almidón de yuca y como aglomerante sintético al adhesivo de Polivinil Acetato (PVA).
- El tamaño de las partículas con las que se elaboraron los tableros de tusa de maíz y cascarilla de cacao es de partículas gruesas (6,1 – 15) milímetros y partículas medias (3- 6) milímetros y para la cáscara de café es de partículas gruesas (3,1 - 6) milímetros y partículas medias (0,6 - 3) milímetros.
- Las características de la materia prima de los tableros aglomerados son las siguientes: cascarilla de cacao tiene el mayor porcentaje de Ceniza (8,68%), Fibra (64,37%), Grasa (14,69%), y Proteína (3,65%); y con porcentaje intermedio de Humedad (7,58%); cáscara de café tiene el mayor porcentaje de Humedad (9,34%), porcentaje intermedio de Ceniza (5,52%), Proteína (2,34%) y el menor porcentaje de Fibra (53,90%), Grasa (3,32%), tusa de maíz tiene el menor porcentaje de Ceniza (2,37%), Humedad (6,44%), Proteína (0,64%), y un porcentaje intermedio de Fibra (60,30%), Grasa (4,90%).

- La conductividad térmica de los tableros se presenta en los siguientes rangos: Cáscara de Café (0,05692 – 0,071) (W/°K.m), Cascarilla de Cacao (0,057 – 0,069) (W/°K.m), y Tusa de Maíz (0,060 – 0,080) (W/°K.m), de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11, Capítulo 13 Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador todos los tableros son considerados material aislante ya que sus conductividades son menores a 0,10 (W/°K.m).
 - El uso de la Norma ASTM C 209-98 Standard Test Methods for Cellulosic Fiber Insulating Board (Métodos de prueba estándar para tablero celulósico aislante) establece la metodología para realizar las pruebas sin embargo no establece los valores mínimos o máximos requeridos
Para las condiciones ensayadas se concluye:
- La relación entre la densidad de los tableros y la conductividad térmica es directamente proporcional, para todas las biomásas se comprobó esta tendencia en su comportamiento.
- El aumento de tamaño de partícula genera una tendencia de incremento (8,28 Mpa) con las tres biomásas con una relación almidón- PVA de 70/30, sin embargo en la relación almidón- PVA de 50/50 la influencia de este parámetro genera dos tendencias una de incremento y una de reducción en las resistencias de los tableros, por lo tanto sólo se refleja un comportamiento uniforme con las probetas con 70% de almidón.
- El aumento del porcentaje de almidón generó una tendencia de crecimiento en las tres resistencias analizadas con partículas gruesas y gruesa media de cáscara de café, con valores promedio de 5,81 MPa y 3,16 MPa respectivamente.
- El aumento del porcentaje de almidón generó una tendencia de reducción con un valor promedio de 2,42 MPa en la resistencia a la flexión y a la tracción perpendicular y una tendencia de incremento de 4,44 MPa en la resistencia a la Tracción Paralela para tableros aglomerados con partículas gruesas de cascarilla de cacao. Sin embargo para tableros aglomerados con partículas

gruesa-media de cascarilla de cacao el aumento de almidón de yuca genera una tendencia de reducción con un valor promedio de 6,68 MPa.

- El aumento del porcentaje de almidón para tablero con partículas gruesa de tusa de maíz presenta una tendencia de incremento con un valor aproximado de 10,77 MPa. Sin embargo tableros con partículas gruesa-media presentaron una tendencia de reducción en la resistencia a la flexión y tracción paralela con un valor promedio de 5,66 MPa y una tendencia de crecimiento en la resistencia a la tracción perpendicular de 8,75.
- El aumento de PVA genera una influencia opuesta a la del aumento de almidón de yuca, es decir todos los incrementos de resistencia por el almidón se convierten en reducciones con el aumento de PVA, así como toda reducción de resistencia con aumento de almidón se convierte en incremento con aumento de PVA.
- La porosidad identificada mediante la inspección visual de 48 probetas en relación a los resultados obtenidos no genera un parámetro determinante (sólo el 17% de las probetas cumplieron el criterio de a mayor porosidad menor densidad) para la reducción o incremento de la resistencia, por lo que se descarta la idea de una influencia directa y significativa en las propiedades (aceptación a priori de una posible influencia en la resistencia a la flexión) de cada material.
- Se considera arbitrario señalar sólo un factor como determinante para el comportamiento en la resistencia y conductividad de los tableros, por esta razón se concluye que no sólo la porosidad, el tamaño de partícula, el porcentaje de almidón y PVA influyen en las propiedades. Existen varios factores que no se tomaron en cuenta en esta investigación, como la calidad del proceso de elaboración, el encolado de la muestra, penetración, esparcimiento, adhesión y cohesión del aglomerante natural y sintético, y la propia naturaleza de la biomasa.
- Una de las limitaciones del material aislante a partir de las tres biomásas en su degradación frente a la humedad, ya que al exponer los tableros al agua

permite el crecimiento de hongos, por lo que su vida útil depende de la exposición y las condiciones en las que estará sometido.

- El costo por metro cuadrado de tableros aglomerados con cáscara de café y cascarilla de cacao es de 13,54 dólares y con partículas de tusa de maíz es de 14,32 dólares.

10.1 RECOMENDACIONES

- En el proceso de elaboración de tableros se recomienda mezclar los dos aglomerantes antes de mezclarlo con la biomasa, para garantizar que toda la materia prima sea esparcida.
- Se recomienda trabajar con una variedad de porcentajes de tamaño de partículas y biomasa para ampliar el conocimiento del comportamiento de las partículas y su influencia en las propiedades de los tableros.
- Se debe considerar el uso de una prensa con cámara de calentamiento incorporado para suplir el secado del tablero aglomerado.
- Se recomienda combinar las biomasas en la etapa de elaboración de los tableros para un posterior estudio.
- Es necesario un profundo análisis de todos los factores que intervienen en el proceso de elaboración de un tablero aglomerado para identificar la influencia de sus componentes en el rendimiento de este tipo de materiales.
- Se recomienda tomar alrededor de cuatro datos después de verificar la estabilización de las temperaturas en la prueba de Conductividad.

BIBLIOGRAFÍA

- Córdoba, J. A., Salcedo, E., Rodríguez, R., Zamora, J., Manríquez, R., & Contreras, H. (Octubre de 2013). *Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas*. Obtenido de Scientific Electronic Library Online Colecciones de Revistas Científicas : http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0370-59432013000300004&script=sci_arttext
- Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. (21 de Agosto de 2011). *Análisis de los alimentos, Fundamentos y Técnicas*. Obtenido de Universia Recursos de Aprendizaje : http://dspace.universia.net/bitstream/2024/1068/1/ManualdeFundamentosyTecnicasdeAnalisisdeAlimentos_6501.pdf
- Gutiérrez, J., Cadena, C., & Bula, A. (2 de Diciembre de 2013). *Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae**. Obtenido de Revista Cielo Colombia Artículos Científicos : http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200018&lng=es&nrm=iso
- Moore, D., Stechbart, M., & Global Footprint Network (GFN). (28 de Septiembre de 2011). *Análisis de la Huella Ecológica de la Ciudad de Quito*. Obtenido de Global Footprint Network Advancing the science of Sustainability: http://www.footprintnetwork.org/images/article_uploads/Huella_Ecol%C3%B3gica_Quito_imp_28_sep_11.pdf
- Prinsen, P. (20 de Septiembre de 2010). *Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas*. Obtenido de Universidad de Sevilla Tesis de Maestría: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiOpYqZ3b7LAhWG7yYKHQk5COsQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fdigital.csic.es%2Fbitstream%2F10261%2F66265%2F1%2FComposici%25C3%25B3n%2520qu%25C3%25ADmica%2520de%2520diversos>
- Acosta, D., & Cilento, A. (Abril de 2005). *Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo*. Obtenido de Scientific Electronic Library Online:

- http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-96012005000100003&lng=es&nrm=i
- Acústica Media . (s.f.). *Aislante de Cábano* . Obtenido de AM Acústica Media : <http://aislamiento.acustica.media/?p=128>
- Aglutinantes* . (11 de Junio de 2013). Obtenido de Universidad de Guayaquil : <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/703/33/TESISC~4.pdf>
- Aislamiento Térmico Construpedia* . (s.f.). Obtenido de Construmática Arquitectura Ingeniería y Construcción: http://www.construmatica.com/construpedia/Aislamiento_T%C3%A9rmico
- Aislamiento Térmico, tipos y recomendaciones* . (2 de Mayo de 2011). Obtenido de Grupo Unamacor : <http://www.grupounamacor.com/?p=1147>
- Almidón como auxiliar* . (23 de Octubre de 2008). Obtenido de Biblioteca de desarrollo sostenible y salud ambiental : <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/025022/cap4.pdf>
- Almidones en los alimentos*. (10 de Septiembre de 2008). Obtenido de Universidad de Córdoba Capítulo 4: http://www.uco.es/master_nutricion/nb/Vaclavik/almidones.pdf
- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera . (28 de Junio de 2011). *Tablero Contrachapado* . Obtenido de Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera : http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_375_Tableros_CONTRA_CHAPADOS_28.06.2011.pdf
- Asociación Nacional de Poliestireno Expandido . (24 de Abril de 2003). *Guía de Aplicaciones de Aislamiento en Edificación*. Obtenido de Asociación Nacional de Poliestireno Expandido : <http://www.anape.es/pdf/Guia%20de%20Aplicaciones%20de%20Aislamiento%20en%20Edificacion.pdf>
- Atecos Asistente Técnico para la Construcción Sostenible . (7 de Marzo de 2011). *Materiales Aislantes Térmicos* . Obtenido de Ingeniería Civil y Medio Ambiente : http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Materiales_aislantes_terminicos.PDF
- Ayora, M. (2014). *Prototipo de vivienda modular para hospedaje o prestación de servicios complementarios para el turismo en Puerto López*. Obtenido de Universidad Católica de Santiago de Guayaquil Tesis Pregrado: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/123456789/2451>

- Baena, L. M., & García Cardona, N. (2012). *Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de cascarilla de las semillas tostadas de Theobroma cacao L. de una industria chocolatera colombiana*. Obtenido de Universidad Técnica de Pereira Tesis Pregrado: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/3036>
- Baño Nieva, A., & Vigil, A. (2005). *Guía de la construcción sostenible*. España: Paralelo.
- Barba Pacheco, C. (Abril de 2002). *Materiales Lignocelulósicos. Fundamentos Tesis Doctoral en Ingeniería Química*. Obtenido de Universidad Rovira i Virgili: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/8503>
- Barroso Casillas, M. (2010). *Pretratamiento de Biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una Biorrefinería*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid: http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf
- Bedoya, C. (30 de Junio de 2011). *Construcción Sostenible 2011*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia Repositorio Institucional: http://www.bdigital.unal.edu.co/3738/1/CONSTRUCCI%C3%93N_SOSTENIBLE_2011.pdf
- Beraldo. (20 de Julio de 2011). *Aprovechamiento de los Residuos Agro-Industriales como Fuente Sostenible de Materiales de Construcción*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <http://www.apuama.org/wp-content/uploads/2012/06/publicationcap14.pdf>
- Bioconstrucción como Solución*. (30 de Diciembre de 2013). Obtenido de Bioconstruye: <http://bioconstruye.blogspot.com/2014/01/aislamientos-naturales.html>
- Biohaus Goierri Materiales de Construcción Ecológicos. (s.f.). *Aislante de Lino*. Obtenido de Biohaus Bioconstrucción: <http://www.biohaus.es/pdf/Flachshaus.pdf>
- Borsani, M. (4 de Marzo de 2011). *Materiales Ecológicos*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cataluña: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13759/Borsani,%20Mar%20a%20Si%20lvia.pdf?sequence=1>
- Cambia Pie. (s.f.). *Calor en la Tierra*. Obtenido de Cambia.pie: <http://cambia.pe/calor-de-la-tierra/>
- Camino, M. (2012). *Proyecto de Investigación, ULEAM-UVA*. Obtenido de LA CAÑA GUADUA Y LOS BTC DE TERRO-CEMENTO: <http://www5.uva.es/grupotierra/aecid/publicaciones/2013/6d.pdf>
- Características Térmicas Básicas*. (s.f.). Obtenido de Soluciones Arquitectónicas Sustentables: <http://www.sol-arq.com/index.php/caracteristicas-materiales/caracteristicas-basicas>

- Carangui , S., & Lasso, V. (s.d. de s.m. de 2010). *Estudio de los Sistemas Constructivos Tradicionales en Madera* . Obtenido de Universidad de Cuenca Repositorio Institucional : <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3368>
- Carazas , W., & Rivero , A. (Agosto de 2002). *Bahareque Guía de la Construcción Parasísmica*. Obtenido de Misereor: <http://www.misereor.org/fileadmin/redaktion/Guia%20de%20construccion%20-%20Bahareque.pdf>
- Carrera Hidalgo , Á. (2015). Análisis y Desarrollo para la Fabricación de Bloques de Hormigón como Aislantes Térmicos basados en la Biomasa de la Cascarilla de Cacao apto para Construcción en Edificaciones. En Á. Carrera Hidalgo.
- Casa Pasiva* . (24 de Diciembre de 2012). Obtenido de Construcción 21 : <http://www.construction21.org/espana/data/sources/users/813/images/constr0.jpg>
- Casado Martinez . (1996). *Edificios de alta calidad ambiental* . Ibérica : Alta Tecnología .
- Castells , X. (2012). *Aprovechamientos de los Residuos Agrícolas y Forestales Colección de Monografías*. Madrid: Díaz de Santos.
- Castells , X. (2012). *Residuos Destinados a la fabricación de materiales densos*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
- Castells , X. E. (2012). Biomasa y Bionergía. En X. E. Castells, *Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad* (págs. 745-764). Madrid : Ediciones Días de Santos .
- CD-0508 Uso del Adobe como material de construcción*. (30 de Enero de 2008). Obtenido de Escuela Politécnica Nacional Repositorio Digital : <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1979/1/CD-0508.pdf>
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de Calor y Masa* (Tercera ed.). México: McGraw-HillInteramericana.
- Centro de de Avance y Sustentabilidad en Ingeniería de la Universidad de Villanova (VCASE). (25 de Mayo de 2012). *Potencial de la Cascarilla de Café Como Fuente de Energía, Combustible y Químicos*. Obtenido de Congreso Cafetalero del Norte de Nicaragua: https://icongresocafetalero.files.wordpress.com/2012/02/uni-presentation-j-satrio-utilization-of-coffee-husks-final_250512.pdf
- Centro de Investigaciones CIUDAD . (Enero de 1999). *Ciudad Alternativa*. Obtenido de Flacso Ecuador: <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/4745/2/RFLACSO-CA14-23-Ortiz.pdf>

- Chan , M., Araujo Molina , O., Azueta García , M., & Solis , L. (2004). *Tableros de madera de partículas* . Obtenido de Universidad Autónoma de Yucatán : <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen8/tableros.pdf>
- Chanchí Golondrino , J., Bonilla Campos, D., Gaviria Rojas, J., & Giraldo López, J. (Diciembre de 2008). *Ensayos a compresión y tensión diagonal sobre muretes hechos a base de papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca*. Obtenido de Univeridad Nacional de Colombia Revista Científica de la Construcción : http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732008000300002&script=sci_arttext
- Chavez Brito, D. (12 de Marzo de 2012). *Elaboración de Goma modificada a partir de la dextrina de yuca para uso en la industria cartonera* . Obtenido de Universidad de Guayaquil Tesis Pregrado : <repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4691/1/T188.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad . (s.f.). *Biodiversidad Mexicana* . Obtenido de Razas de Maíz : <http://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/maices/razas2012.html>
- Consejo Cafetero Nacional . (30 de Noviembre de 2012). *Café Robusta* . Obtenido de Agronegocios : http://agronegociosecuador.ning.com/notes/En_el_tr%C3%B3pico_seco_se_puede_cosechar_caf%C3%A9_robusta?show=true
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas . (2007). *Nuevos Materiales en la sociedad del siglo XXI*. Obtenido de Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid : <http://www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/materiales.pdf>
- Definiciones conceptos y significados Aislante* . (s.f.). Obtenido de Quees.la Diccionario online : <http://quees.la/aislante-de-calor/>
- Departamento de Investigación en Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. (Junio de 2012). *Uso del olote de maíz como sustrato microbiano*. Obtenido de Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación: <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.%207/7.html>
- Díaz Castro, L., & Fiallos Fierro, F. (21 de Marzo de 2011). *Obtención de un nuevo adhesivo a partir del almidón modificado (carrier) de maíz para la industria cartonera Ecuatoriana* . Obtenido de Universidad de Guayaquil Tesis de pregrado : <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/2061/1/1062.pdf>
- Diseño en Caña de Bambú* . (Abril de 2008). Obtenido de Sistema Constructivo : <https://arteybambu.wordpress.com/sistema-constructivo/>

- Edificios Verdes, Green Building en Chile.* (15 de Junio de 2009). Obtenido de Construcción Sostenible : <https://ingenieriaverde.wordpress.com/tag/eficiencia-energetica/>
- El aislante térmico NITA-COTON-FRP, de RMT, fabricado a partir de fibras de algodón recicladas.* (30 de Agosto de 2013). Obtenido de Construible : <https://www.construible.es/noticias/el-itec-renueva-el-dite-para-el-aislante-termico-nita-coton-frp>
- El Banco Mundial. (2011). *Emisiones de CO2.* Obtenido de Indicadores del Desarrollo Mundial: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC/countries/EC-XJ-XT?display=default>
- El Banco Mundial. (2015). *Emisiones de CO2.* Obtenido de Indicadores del Desarrollo Mundial: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC/countries/EC-XJ-XT?display=default>
- Escalante , H., Orduz , J., Zapata, H., Cardona , M., & Duarte , M. (12 de Agosto de 2014). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia.* Obtenido de Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia : http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia__.pdf
- Ficha Técnica de Aislante de Cáñamo .* (s.f.). Obtenido de Cannabric Soluciones para un Futuro Habitable : http://www.cannabric.com/media/documentos/ce13e_THERMOHANF_ficha_tecnica.pdf
- García Triñanes, P. (Mayo de 2010). *Avances en aglomeración y compactación de partículas.* Obtenido de Universidad de Santiago de Compostela Tesis de Doctorado: https://dspace.usc.es/bitstream/10347/2822/1/9788498874266_content.pdf
- Granero, V., Gatani, M., Medina, J. C., Ruiz, A., Fiorelli, J., Kreiker, J., & Lerda, M. J. (Junio de 2013). *Determinación de la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en paneles aglomerados.* Obtenido de Sistema de Información Científica Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48130000008>
- INEN . (22 de Diciembre de 2012). *Determinación de Fibra cruda .* Obtenido de Norma Técnica Ecuatoriana: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0542.1981.pdf>
- Institute Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria INTE. (2010). *Guía Tecnológica del Cultivo del Cacao .* Obtenido de Asociación Cámara Nacional del Cacao Fino de Costa Rica:

http://www.canacacao.org/uploads/smartsection/19_Gui_cacao_INTA_Nicaragua_2010.pdf

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (Agosto de 2010). *Nuevo adhesivo no Tóxico*.
Obtenido de <http://www.inti.gob.ar/sabercomo/sc91/inti3.php>

Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE). (2008). *Los Aislamientos Térmicos de Origen Vegetal*. Obtenido de Rehabilitación de Edificios:
<http://www.tracrehabilitacio.es/es/articulo-rehabilitacion-edificios/aislamientos-termicos-origen-vegetal>

Instituto Valenciano de la Edificación . (22 de Diciembre de 2011). *Productos y Materiales* .
Obtenido de Instituto Valenciano de la Edificación :
http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf

Introducción al aumento de Tamaños Cinética de Sólidos . (29 de Octubre de 2007). Obtenido de Centro Científico Tecnológico Bahía Blanca Argentina :
<http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo8.pdf>

La Casa Sostenible . (s.f.). Obtenido de <http://www.lacasasostenible.com/>

Lafebre , E. (7 de Septiembre de 2012). *Arquitectura Vernácula en Ecuador* . Obtenido de Ingeniería Civil y Arquitectura Construyeaprende :
<http://www.construyeaprende.com/pdfx/t12-arquitectura-vernacula-ecuador.pdf>

Lana de Oveja. (20 de Enero de 2013). Obtenido de Aisla en Verde:
<http://aislaenverde.com/portfolio/lana-de-oveja/>

Lanting , R. (Mayo de 1998). *Synthesis Sustainable Development and the future of construction*.
Obtenido de Sustainable Design International Ltd.: <http://www.sustainable-design.ie/sustain/Synthesis.pdf>

Los Aislamientos Térmicos de Origen Vegetal. (13 de Noviembre de 2013). Obtenido de Beyond Sustainable: <http://beyondsustainable.net/2013/11/13/los-aislamientos-termicos-de-origen-vegetal/>

Martínez, V., & Gil, M. (7 de Julio de 2012). *Fuentes renovables para la producción de materias primas y energía*. Obtenido de Real Sociedad Española de Química:
<https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiIhfvwrrHKAhXK5yYKHXumDxEQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4042848.pdf&usg=AFQjCNGtYQkyD1QzohgE7exd5oTv1uPMcw&bvm=bv.112064104>

- Matute , M. (Marzo de 2014). *Tesis Tecnología Sostenible y Eficiencia Energética Aplicada al Diseño de una Vivienda* . Obtenido de Universidad de Cuenca Repositorio Institucional : <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5539/1/tesis.pdf>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2014). *Atlas Bioenergético del Ecuador*. Obtenido de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable: <http://www.energia.gob.ec/biblioteca/>
- Ministerio del Ambiente. (7 de Noviembre de 2013). *Reporte de la Huella Ecológica Ecuador 2008 y 2009* . Obtenido de Global Footprint Network : http://www.footprintnetwork.org/images/article_uploads/2008_and_2009_NFA_Ecuador_Report.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente . (2014). *Generación de Capacidades para el Aprovechamiento Energético en Sistemas Agrícolas y Pecuarios*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/GENCAPER.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (Julio de 2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador ENCC* . Obtenido de Red de interesados en Servicios Ambientales : <http://www.redisas.org/pdfs/ENCC.pdf>
- Monterroso Waight, B. (Octubre de 2013). *Evaluación de las propiedades Físico-Mecánicas de los Tableros Aglomerados elaborados con cascarilla de café y colofonia, por el efecto de la carga de compactación y tiempo de prensado*. Obtenido de Universidad de San Carlos de Guatemala Tesis de Pregrado: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1378_Q.pdf
- Morfología de las Plantas Vasculares* . (s.f.). Obtenido de Hipertextos del Área de Biología : <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema12/12-5uso.htm>
- Nevado , M. (31 de Julio de 2003). *Tablero de Partículas*. Obtenido de Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera : http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_459_particulas.pdf
- Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 sobre Condiciones Térmicas en lo Edificios España. (12 de Junio de 1979). *Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 sobre Condiciones Térmicas en lo Edificios Ministerio de Obras Públicas y Transportes*. Obtenido de Eficiencia Energética: http://www.efenergia.com/efenergia/resources/legislacion/espana_eficiencia_energetica/NBE-CT-79.pdf

- NTE INEN-ISO 7345 . (1987). NTE INEN-ISO 7345. *Aislamiento Térmico: Magnitudes Físicas y Definiciones*. Quito. Obtenido de Norma Técnica Ecuatoriana .
- Oficina Regional para Centroamérica de Biomass Users Network. (2002). *Manual sobre Energía Renovable Biomasa* . Obtenido de Enersilva Promoción del Uso Sostenible de la Biomasa : <http://www.enersilva.org/libros/manual%20biomasa.pdf>
- Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y Clima Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (Primera ed.). Gustavo Gili.
- Onnis , S. (2012). *Manual de la Técnica Constructiva Validada*. Obtenido de Pontificia Uninversidad Católica de Perú: <http://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/ctierra/publicacion/manual-de-la-tecnica-constructiva-validada-tapial-tarma/>
- Ordoñez Amoroso, J. (2 de Julio de 2013). *Tesis Incorporación de principios de sostenibilidad en los sistemas constructivos para edificaciones de uso residencial en la ciudad de Cuenca*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3349/1/tesis.pdf>
- Palacios, L., & Betancurt, E. (02 de Agosto de 2005). Caracterización de propiedades fluidodinámicas de lechos fluidizados en frio con mezclas de carbón - biomasa, usados en procesos de co- gasificación. Medellin, Medellin, Colombia.
- Quevedo Machuca, V. (30 de Enero de 2008). *Adherencia y adhesivos para la madera* . Obtenido de Universidad de Alcalá: [https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PD-GP-MA-ASIG/PD-GP-ASIG-200637/TAB42359/ADHERENCIA%20Y%20ADHESIVOS%20PARA%20MADERA%20\(V%20Quevedo\).pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PD-GP-MA-ASIG/PD-GP-ASIG-200637/TAB42359/ADHERENCIA%20Y%20ADHESIVOS%20PARA%20MADERA%20(V%20Quevedo).pdf)
- Quezada, F., & Vásconez , L. (Mayo de 2012). *Desarrollo experimental de un aislante térmico utilizando cascarilla de arroz y aglutinantes naturales, en planchas rígidas*. Obtenido de Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Tesis de Pregrado: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5500/1/T-ESPE-033587.pdf>
- Ramirez, A. (2006). *La construcción sostenible* (13 ed.). España.
- Rojo Recio , E. (Octubre de 2011). *Formulación y caracterización de materiales compuestos de matriz fenólica reforzados con fibras celulósicas modificadas tipo viscosa*. Obtenido de Universidad Complutense Madrid Tesis Doctoral : <http://eprints.ucm.es/14749/1/T33497.pdf>

- Romero Salvador, A. (2010). *Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles*. Obtenido de Real academia de Ciencias : <http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- Rotondaro . (31 de Agosto de 2012). *Aislantes Ecológicos de Origen Vegetal y Animal* . Obtenido de Rotondaro Reciclar es Volver a Empezar : <http://rotondaro.com.uy/blog/es/node/12>
- Rougeron , C. (1977). *Aislamiento Acústico y Térmico en la Construcción* . Barcelona : Eyrolles Editores Técnicos Asociados .
- Rudofsky, B. (1984). *Constructores prodigiosos: apuntes sobre una historia natural de la arquitectura*. México: Concepto.
- Ruseckaite, R., Ciannamea, E., Altuna, F., Sagües, M., Martucci, J., & Saumell, C. (29 de Agosto de 2011). *Materiales Poliméricos y Adhesivos Sostenibles basados en Soja* . Obtenido de Asociación de la Cadena de la Soja Argentina: http://www.acsoja.org.ar/images/cms/contenidos/327_b.pdf
- Sainz Guerra, J., & Camino Solórzano , M. (11 de Junio de 2014). *4b La Arquitectura Vernácula en el medio rural y urbano de Manabí*. Obtenido de Universidad de Valladolid Albergue Web: <http://www5.uva.es/grupotierra/aecid/publicaciones/2013/4b.pdf>
- Tapia, C., Paredes , C., Simbaña , A., & Leao , A. (12 de Marzo de 2009). *Elaboración de tableros de particula fina a partir de residuos lignocelulósicos y resinas termoestables*. Obtenido de Escuela Politécnica del Litoral - Tesis Pregrado : <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4759>
- TECTONICA . (s.f.). *Aislamiento de Fibra de Cáñamo*. Obtenido de Tectonica Productos : http://www.tectonica-online.com/productos/1917/canamo_fibra_aislante_hanf_thermo/
- Torres Reynoso , S. (1 de Junio de 2012). *Revista Digital Universitaria*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num6/art69/>
- Triana Caranton , C. (Mayo de 2010). *Producción de Etanol a partir de Residuos Provenientes del cultivo del Café. Tesis de Posgrado*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1974/1/cristianfernandotrianacaranton.2010.pdf>
- Universidad Nacional Autónoma de México . (21 de Marzo de 2010). *Cascarilla de Café como Materia Prima para elaborarl Papel*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México :

http://www.feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria18/CT_L_IE%20La_cascarilla_d_e_cafe_como_mater.pdf

- Vásquez , M. (Julio de 2011). *Reciclaje de Residuos Agrícolas de Café y Cabuya en la elaboración de Tableros Compuestos en Base de Resina Urea-Formaldehído UF*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Tesis de Pregrado : <http://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/171/1/T72593.pdf>
- Velasco Roldan, L., Delgado García, R., Pérez, G. L., Páez Flor, N., Ibarra, A., & Terneus, F. (2014). *Construcción y calibración nuevo aparato de medición de conductividad térmica válido para composites basados en residuos de Biomasa*. Obtenido de Secretaría Ecuatoriana de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación : <http://luisvelascoroldan.com/?p=1313>
- Velasco, L., & Velasco Roldán, L. (s.f.). *Construcción y calibración nuevo aparato de medición de conductividad térmica válido para composites basados en residuos de biomasa*. Obtenido de Luis Velasco Roldán: <http://luisvelascoroldan.com/?p=1313>
- Vidal , M. (17 de Agosto de 2011). *Huella de Carbono la primera medida*. Obtenido de Ecodes : http://ecodes.org/documentos/Ecodes_HC_Ser%20Responsable.pdf
- Villamar Cabezas, D. E. (18 de Abril de 2013). *Caracterización de materiales compuestos lignocelulósicos obtenidos mediante extrusión*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional - Tesis de Pregrado: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6164>
- Washington, DC: World Resources Institute. (2011). *Total de emisiones de gases efecto invernadero en el mundo*. Obtenido de Climate Analysis Indicators Tool (CAIT): <http://ecolife.co/index.php/ecotendencias/137-total-de-emisiones-de-gases-efecto-invernadero-en-el-mundo>
- Yepez Tambaco, D. (9 de mayo de 2012). *Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador*. Obtenido de Secretaría Ecuatoriana de Educación Superior : <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/829/1/T-SENESCYT-0372.pdf>

