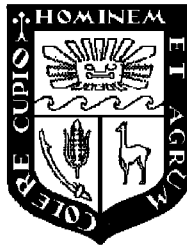


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



APTITUD DE *GUADUA*

***ANGUSTIFOLIA* KUNTH EN LA**

ELABORACIÓN DE TABLEROS

AGLOMERADOS CON CEMENTO

Tesis para optar el Título de

INGENIERO FORESTAL

ALEJANDRO JESÚS ESPINOZA

SAAVEDRA

Lima – Perú

2010

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. Alejandro Jesús Espinoza Saavedra, intitulado “Aptitud de *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros aglomerados con cemento”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 17 de Agosto de 2010

.....
Ing. Milcíades Leonidas Miguel
Presidente

.....
Ing. Neptalí Bustamante Guillén
Miembro

.....
Ing. Graciela Egoavil Cueva-Gálvez
Miembro

.....
Dr. Héctor Enrique Gonzales Mora
Patrocinador

.....
Ing. Moisés Acevedo Mallque
Co-patrocinador

RESUMEN

Guadua angustifolia Kunth. (Poaceae) es una gramínea perteneciente al grupo de especies conocidas como “bambú” clasificadas dentro de la sub-familia Bambusoidae, esta especie es conocida localmente como “caña guayaquil” o “caña guadua” y su culmo es utilizado principalmente como elemento constructivo en construcciones rurales debido a los altos valores de resistencia que presenta, otras partes del culmo y de la planta son utilizadas como tutores en cultivos de frutales, materia prima para artesanías, material vegetativo para propagación.

La base de la resistencia de los culmos se basa en las características de sus fibras y en la disposición que éstas presentan dentro del culmo, sin embargo no se han realizado estudios que permitan dar un uso a las fibras aprovechando estas características especiales.

Se probó la utilización de las fibras de *G. angustifolia* “caña guayaquil” como material de refuerzo en tableros de fibro-cemento con fines de revestimiento. La materia prima para la obtención de las fibras se colectó en el distrito de La Florida, en el departamento de Cajamarca en Noviembre del 2009. Para la obtención de las fibras se utilizó el método de desfibrado mecánico CMP (Chemi-mechanical pulp)

Se caracterizó la composición química de las fibras obtenidas: holocelulosas, extractivos, cenizas, lignina, humedad, además se clasificó las fibras obtenidas según el método del grado de desfibrado Schopper-Riegler, y composición fibrosa de Bauer- McNett.

Los tableros fueron elaborados con 3 diferentes proporciones de fibra en la composición, y con adición de cloruro de calcio como acelerador del fraguado. Los tableros de prueba fueron ensayados según las normas DIN 52361, DIN 52362, DIN 52364, DIN 52365 y comparados con los valores señalados por la Norma DIN 1101.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	¡ERR
OR! MARCADOR NO DEFINIDO....	V
ÍNDICE.....	¡E
RROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	¡E
LISTA DE TABLAS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE	
LITERATURA.....	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.3	
2.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LAS POACEAE.....	3
2.1.1 Descripción botánica de las Poaceae (BARNHART).....	3
2.1.1.1 Morfología de la familia.....	3
2.1.2 SUB-FAMILIA BAMBUSOIDAE.....	4
2.1.2.1. Filogenia y evolución de la subfamilia Bambusoidae.....	5
2.1.3 Género y especie: Guadua angustifolia	5
2.1.3.1 Descripción de la especie.....	7
2.1.3.1.1 Descripción morfológica.....	7
2.1.3.1.2 Características anatómicas del culmo	8
2.1.3.1.3 DESCRIPCIÓN DE TEJIDOS Y CÉLULAS DEL CULMO DE G. ANGUSTIFOLIA.....	9
2.1.3.2 Etimología	11
2.1.3.3 Nombres comunes.....	11
2.1.3.4 Distribución natural y hábitat	12
2.2 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL BAMBÚ.....	12
2.3 TABLEROS DE FIBRO-CEMENTO	14
2.3.1 Definición.....	14
2.3.2 Usos.....	14
2.3.3 Antecedentes.....	15
2.3.4 Fibras de refuerzo para el cemento.....	16
2.3.4.1 Tableros de fibro-cemento con refuerzo de fibras de bambú	16
2.3.4.2 Tableros de fibro-cemento con refuerzo de fibras de sisal	16
2.3.4.3 Tableros de fibro-cemento con refuerzo de fibras de maguey.....	17
2.3.4.4 Tableros de fibro-cemento con refuerzo de fibras de coco.....	17
2.3.5 Componentes de tableros de fibro-cement.....	18

2.3.5.1Fibras vegetales	18
2.3.5.1.1 OBTENCIÓN DE FIBRAS VEGETALES	19
2.3.5.1.2 Aptitud de fibras como refuerzo del cemento	20
2.3.5.2 CEMENTO	22
2.3.5.2.1Tipos de cemento: Cemento Portland	22
2.3.5.2.2 Composición del cemento Portland	23
2.3.5.2.3 Tipos de cemento Portland	23
2.3.5.2.4 CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO	24
2.3.5.2.5Pasta de cemento.....	24
2.3.5.2.6 Fraguado y endurecimiento del cemento.....	25
2.3.5.2.7 Curado.....	26
2.3.5.3 Agua	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
<i>3.1 LUGAR DE MUESTREO.....</i>	<i>29</i>
3.1.1 Ubicación.....	29
3.1.2Clima.....	29
3.1.3Relieve y suelos.....	30
3.1.4 Ecología.....	30
<i>3.2 MATERIALES Y EQUIPOS</i>	<i>31</i>
3.2.1 Materiales	31
3.2.1.1Fibras.....	31
3.2.1.2 Cemento.....	31
3.2.1.3 Aditivos: Mineralizante.....	31
3.2.1.4 Insumos: Agua.....	31
3.2.2 Equipos y herramientas	32
3.2.2.1 Para la obtención de fibras	32
3.2.2.2 Para la elaboración de los tableros de prueba	32
3.2.2.3 Para los ensayos físico-mecánicos	33
<i>3.3 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....</i>	<i>34</i>
3.3.1.Recolección de muestras	34
3.3.2 Acondicionamiento de las muestras y obtención de fibras	34
3.3.2.1 Acondicionamiento de las muestras.....	34
3.3.2.2 Obtención de fibras	35
3.3.3 Caracterización de la materia prima	37
3.3.3.1 Grado de desfibrado Schopper -Riegler	37
3.3.3.2 Composición fibrosa Bauer McNett	37
3.3.3.3 Determinación de Humedad gravimétrica	37

3.3.3.4 Determinación de extractivos	37
3.3.3.5 Cenizas	37
3.3.3.6 Holocelulosa.....	37
3.3.4 Preparación de la solución mineralizante y mineralización de fibras.....	38
3.3.5 Mezclado.....	38
3.3.6 Prensado y desmoldado	38
3.3.6.1 Prensado	38
3.3.6.2 Desmoldado.....	39
3.3.6.3 Fraguado y curado.....	40
3.3.7 Evaluación de los tableros.....	42
A. Contenido de humedad.....	42
B. Densidad.....	42
C. Hinchamiento y absorción de agua.....	42
D. Flexión estática.....	42
E. Compresión.....	42
<i>3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....</i>	<i>44</i>
<i>3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</i>	<i>46</i>
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
<i>4.1 RENDIMIENTO.....</i>	<i>47</i>
<i>4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS FIBRAS.....</i>	<i>47</i>
4.2.1 Grado de desfibrado Schopper- Riegler.....	48
4.2.2 Composición fibrosa Bauer - McNett.....	48
4.2.3 Contenido de humedad.....	49
<i>4.3 Caracterización química de las fibras</i>	<i>49</i>
4.3.1 Contenido de extractivos.....	49
4.3.2 Contenido de cenizas.....	50
4.3.3 Contenido de holocelulosas.....	51
4.3.4 Contenido de lignina.....	51
<i>4.4 EVALUACIÓN FÍSICAS DE LOS TABLEROS.....</i>	<i>52</i>
4.4.1 Contenido de humedad.....	52
4.4.2 Densidad	52
4.4.3 Absorción de agua.....	54
4.4.4 Hinchamiento en espesor.....	55
<i>4.5 EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS.....</i>	<i>57</i>
4.5.1 Resistencia a la compresión.....	57
4.5.2 Flexión estática.....	60
5. CONCLUSIONES.....	64

6. RECOMENDACIONES.....	65
7. BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXOS.....	73

Lista de Tablas

Página

TABLA 1. PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS FIBRAS DE G. ANGUSTIFOLIA.....	6
TABLA 2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE TEJIDOS DENTRO DEL CULMO DE G. ANGUSTIFOLIA.....	10
TABLA 3. DISTRIBUCIÓN NATURAL POR ZONAS DE VIDA DE G. ANGUSTIFOLIA.....	11
TABLA 4. DISTRIBUCIÓN NATURAL POR ZONAS DE VIDA DE G. ANGUSTIFOLIA.....	12
TABLA 5. CLASIFICACIÓN, POR APTITUD, DE MATERIAL DE REFUERZO SEGÚN CONTENIDO DE EXTRACTIVOS.....	21
TABLA 6. COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND	23
TABLA 7. DIMENSIONES DE MUESTRAS DE G. ANGUSTIFOLIA	34
TABLA 8. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	45
TABLA 9. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS OBTENIDAS.....	49
TABLA 10. CONTENIDO DE EXTRACTIVOS DE ASTILLAS Y PULPA.....	50
TABLA 11. CONTENIDO DE CENIZAS EN ASTILLAS Y PULPA DE G. ANGUSTIFOLIA.....	51
TABLA 12. CONTENIDO DE HOLOCELULOSAS DE G. ANGUSTIFOLIA.....	57
TABLA 13. CONTENIDO DE LIGNINA EN ASTILLAS Y PULPA DE G. ANGUSTIFOLIA	51
TABLA 14. CONTENIDO DE HUMEDAD DE TABLEROS DE FIBRO-CEMENTO.....	52
TABLA 15. DENSIDAD SEGÚN PORCENTAJE DE FIBRAS.....	52
TABLA 16. TEST DE TUKEY PARA DENSIDAD.....	54
TABLA 17. ABSORCIÓN DE AGUA EN TABLEROS SEGÚN PORCENTAJE DE FIBRAS Y MINERALIZACIÓN.....	54
TABLA 18. HINCHAMIENTO EN ESPESOR EN 2 Y 24, SEGÚN PORCENTAJE DE FIBRAS Y MINERALIZACIÓN.....	55
TABLA 19. TEST DE TUKEY PARA HINCHAMIENTO EN ESPESOR.....	57
TABLA 20. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	58
TABLA 21. TEST DE TUKEY PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	58
TABLA 22. TEST DE TUKEY PARA MÓDULO DE RUPTURA.....	60
TABLA 23. MÓDULO DE RUPTURA EN FLEXIÓN ESTÁTICA POR PORCENTAJE DE FIBRAS Y MINERALIZACIÓN.....	61

Lista de figuras

	Página
FIGURA 1. MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LA SUBFAMILIA BAMBUSOIDAE.....	4
FIGURA 2. GUADUA ANGUSTIFOLIA EN EL DISTRITO DE LA FLORIDA, CAJAMARCA.....	6
FIGURA 3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE G. ANGUSTIFOLIA.....	8
FIGURA 4. SISTEMA DE DESFIBRADO EN ESPIRAL.....	20
FIGURA 5. REACCIÓN QUÍMICA DE INHIBICIÓN DEL FRAGUADO DEL CEMENTO.....	21
FIGURA 6. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DEL CEMENTO.....	26
FIGURA. 7. MAPA DE UBICACIÓN DEL DISTRITO DE LA FLORIDA, CAJAMARCA.....	30
FIGURA 8. HORMAS DE MADERA PARA TABLEROS DE FIBRO-CEMENTO.....	32
FIGURA. 9. PRENSA MECÁNICA.....	33
FIGURA 10. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS.....	35
FIGURA 11. EQUIPO DESFIBRADOR DE DISCOS.....	36
FIGURA 12. DIAGRAMA DE OBTENCIÓN DE PULPA DE G. ANGUSTIFOLIA.....	36
FIGURA 13. PENSADO DE MOLDES TABLEROS DE ENSAYO.....	39
FIGURA 14. TABLERO RECIÉN DESMOLDADO.....	39
FIGURA 15. CURADO DE TABLEROS	40
FIGURA 16. DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA FABRICACIÓN DE TABLEROS DE FIBRO-CEMENTO.....	41
FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO EN UN TABLERO DE PRUEBA.....	43
FIGURA 18. HACES DE FIBRAS OBTENIDO EN EL PROCESO MECÁNICO-QUÍMICO Y SEPARADO POR TAMAÑO.....	48
FIGURA 19. FIBRAS CLASIFICADAS SEGÚN MALLAS 30; 50; 100 Y 200.....	49
FIGURA 20. DENSIDAD VS. CONTENIDO DE FIBRAS.....	53
FIGURA 21. EFECTO DE LA DENSIDAD DEL TABLERO EN LA ABSORCIÓN DE AGUA.....	55
FIGURA 22. EFECTO DE LA DENSIDAD EN EL HINCHAMIENTO DEL ESPESOR.....	56
FIGURA 23. COMPRESIÓN DEL ESPESOR POR PORCENTAJE DE FIBRAS.....	59
FIGURA 24. RELACIÓN ENTRE DENSIDAD Y PORCENTAJE DE COMPRESIÓN EN ESPESOR.....	60
FIGURA25. MÓDULO DE RUPTURA VS. DENSIDAD.....	62
FIGURA 26. MOR VS. $CaCl_2$	63

1. INTRODUCCIÓN

Con el nombre de *bambú* se conoce a un grupo de más de 1000 especies, de la familia POACEAE. Estas especies, que están presentes de manera natural en todos los continentes, menos Europa, representan una gran fuente de ingresos para muchos países debido a la gran variedad de productos que se pueden obtener a partir de éstas. La familia Poaceae comprende varios géneros, siendo los más importantes Phyllostachis, Bambusa, Dendrocalamus, Gigantochloa, Chusquea, Guadua, estas dos últimas, endémicas en Sudamérica.

Dentro del género Guadua, destaca la *Guadua angustifolia* Kunth (sub-familia BAMBUSOIDAE) que es la especie más utilizada en el Perú debido a las características de resistencia que presentan sus culmos, que la hacen deseable para ser utilizada en construcciones, generalmente rurales. La especie *G. angustifolia* aparentemente fue introducida en el país y se encuentra presente en 16 de los 24 departamentos del Perú (Takahashi y Ascencios, 2004). El endemismo de la especie se circunscribe en la zona norte de América tropical, destacando su presencia en Ecuador, Colombia y Venezuela; en el caso del Perú su presencia natural no está totalmente definida, aunque se ha identificado la especie *G. aff. angustifolia*, de la zona de Madre de Dios.

El uso de los culmos de esta especie ha aumentado de manera importante en los últimos años, con tendencia a seguir haciéndolo debido a que presenta mayores formas de usos en la construcción; asimismo, se destaca el apoyo actual de políticas públicas de promoción para su investigación y desarrollo en tecnología, además de la promoción de plantaciones comerciales. A pesar de la importancia de la especie, sin embargo, en el Perú existen pocas experiencias de plantaciones manejadas con *G. angustifolia* a pesar de la amplia difusión de las ventajas de los productos de bambú. El desarrollo actual del bambú en el país es aún incipiente y el mercado es en su gran mayoría orientado a la construcción, existiendo aún muchas posibilidades de nuevos productos y usos sin explorar.

Actualmente, el *bambú* (o “caña guayaquil”) ha tomado gran importancia comercial debido a su rápido crecimiento, a su capacidad de rebrote, a su sencillo manejo, a la gran cantidad de usos comerciales además de los beneficios ambientales que se obtienen mediante la instalación

de plantaciones masivas como control de la erosión y captura de carbono. En el Perú existen pocas experiencias de plantaciones manejadas de *G. angustifolia* y el mercado está en su gran mayoría orientado a la construcción, existiendo aún muchas posibilidades de nuevos productos y usos aún sin explorar

Por las características de resistencia observadas en los culmos (cañas) de bambú éstos han sido utilizados desde hace muchos años como material para construcciones rurales. Las actividades de aprovechamiento generan muchos desperdicios pues pese a las buenas propiedades mecánicas del culmo se utiliza solamente la parte media y basal que presentan mayores diámetros, siendo la parte apical desaprovechada, o destinada para usos de menor valor. Estos residuos podrían ser utilizados para elaborar paneles compuestos o aglomerados, además de la obtención de otros usos (productos químicos).

Una alternativa de uso la constituyen los tos tableros de fibro-cemento, que pueden ser utilizados según Dix (citado por Beraldo, 2008) en obras externas, techos, muros prefabricados, mobiliario, revestimiento de túneles, cierres industriales, puertas corta-fuegos, en construcciones con estructura de madera, paneles, conductos de ventilación, etc. Esta amplia gama de usos de los tableros de fibro-cemento los vuelve un producto interesante para la industria, pues el uso de biomasa vegetal como material de refuerzo en este material reside en su inagotabilidad, y ahorro en el consumo de energía.

El propósito del estudio fue evaluar de la aptitud de los haces fibrosos de *G. angustifolia* para ser utilizadas como material de refuerzo en tableros de fibro-cemento. De esta manera se busca promover el mejor y mayor uso del bambú y contribuir con la información existente sobre el tema.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LAS POACEAE

2.1.1 FAMILIA POACEAE (BARNHART)

La familia Poaceae (ó Gramíneas) es una familia de plantas herbáceas, presentándose muy raramente especies leñosas, que pertenecen al orden Poales, dentro de las monocotiledóneas. Su distribución es cosmopolita, habitan desde los desiertos hasta los hábitats de agua dulce o marinos, y en todas las elevaciones salvo las más altas de la Tierra. Esta gran capacidad de adaptación puede ser explicada por su enorme diversidad morfológica, fisiológica, reproductiva y en las asociaciones mutualísticas que realizan con otros organismos (Judd *et. al*, 2002).

La familia Poaceae está compuesta por más de 670 géneros y cerca de 10 000 especies descritas, convirtiéndose en la cuarta familia en riqueza de especies, por detrás de las familias Asteraceae, Orchidaceae y Fabaceae, sin embargo es la primera en importancia económica a nivel global pues gran parte de la dieta de la población mundial proviene directa o indirectamente de las poáceas. (Judd *et. al*, 2002)¹. En el Perú se encuentran descritos alrededor de 157 géneros y 750 especies, existiendo además 81 endemismos en 19 géneros (Ulloa Ulloa *et al*, 2004).

2.1.1.1 Morfología de la familia

Las especies de la familia Poaceae desarrollan normalmente hábitos herbáceos perennes, solo en el caso de los bambúes se presentan especies leñosas y de porte arbóreo, en ningún caso presentan engrosamiento secundario (Watson y Dallwitz, 1992).

Las hojas son dísticas, de lineares a lanceoladas, presentándose en algunos casos dispuestas en espiral, con una vaina abierta (raras veces se presenta cerrada) y paralelinervia, generalmente estrecha y alargada. (Werker, 1997)

La planta presenta flores hermafroditas, en ocasiones unisexuales o estériles con dos glúmelas o brácteas membranosas. Tienen 3 estambres con grandes anteras, exertos en la floración. La

¹ Cfr. Robbretch (2009) afirma que la familia Rubiaceae es la cuarta familia botánica más numerosa.

inflorescencia está formada por espiguillas, están formadas por un raquis sobre el que se inserta 1 ó más flores cubiertas por 2 brácteas situadas en la base de la espiguilla y que cubren a las flores. El fruto o grano de las gramíneas es un cariósipide, fruto seco indehiscente, con una semilla cuya testa está soldada con el pericarpio formando una envoltura muy delgada. Esta envoltura encierra al embrión y al albumen o endospermo (Werker, 1997).

2.1.2 SUB – FAMILIA BAMBUSOIDAE

La sub-Familia Bambusoidae incluye a todas las especies de la familia Poaceae conocidas comúnmente con el nombre de *bambú* (Judd *et. al*, 2008)

La sub-familia Bambusoidae se divide en dos grandes grupos llamados Tribus, los bambúes leñosos, situados taxonómicamente en la Tribu Bambuseae y los bambúes herbáceos, pertenecientes a la Tribu Olyrae. Se encuentran distribuidos de manera natural en todos los continentes, excepto Europa (ver figura 1). (Judziewicz y Clark, 1993; Londoño, 1990).

En el Perú se les encuentran en todos los pisos bioclimáticos, desde el nivel del mar hasta el piso subnival de los Andes y la llanura amazónica. (La Torre *et. al*, 2003)



Figura 1. Mapa de distribución natural de la subfamilia Bambusoidae (Fuente: GPWS, 2001)

2.1.2.1 Filogenia y evolución de la sub-familia Bambusoidae

Los conocimientos sobre el proceso evolutivo de los bambúes proviene principalmente de estudios moleculares que apoyaron la hipótesis de que los bambúes están más relacionados al arroz (perteneciente a la subfamilia Ehrhartoidae) y a los pastos azules (de la subfamilia Pooideae), estos trabajos permitieron dejar de considerar como bambúes algunos pastos de hojas anchas que eran considerados como tales. (Clark, *et. al* ,1995; GPWG, 2001).

La presencia de células lobuladas del tejido fotosintético (llamadas también células armadas) indica que el grupo de especies de bambúes tiene un solo origen evolutivo, esto se confirma analizando la similitud a nivel de ADN entre las diferentes especies. Se cree que todas las especies de bambúes leñosos provienen de un solo ancestro común debido a la presencia de varias características morfológicas, que incluye la presencia de hojas caulinares, bien diferenciadas de las hojas de las ramas, además de la ramificación vegetativa compleja y un ciclo de florecimiento gregario y monocárpico, con ciclos de florecimiento algunas veces mayores a los 120 años, sin embargo no se ha encontrado evidencia a nivel de ADN. En el caso de los bambúes herbáceos si se ha encontrado evidencia en el ADN acerca de un ancestro común, sin embargo no se han identificado caracteres morfológicos únicos para demostrar tal conclusión. (GPWG, 2001).

2.1.3 GÉNERO Y ESPECIE: *Guadua angustifolia*

El género *Guadua* Kunth contiene aproximadamente 30 especies. Hay 24 descritas y otras muchas aún no catalogadas (Judziewicz *et al*, 1999) Varían ampliamente desde plantas delgadas y espinosas con culmos trepadores a espinosas con culmos erectos (Young y Judd 1992; Londoño, 1998).

En la Tabla 1 se presenta la clasificación taxonómica de *G. angustifolia* mientras que en la figura 2 se observa un individuo presente en la zona de muestro.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *G. angustifolia* (López, et. al, 1987)

Reino	Plantae
División	Espermatofita
Sub-división	Angiospermae
Clase	Monocotiledónea
Sub-clase	Commelinidae
Orden	Cyperales/Glumiforales
Familia	Poaceae
Sub-familia	Bambusoidae
Super-tribu	Bambusodae
Tribu	Bambuseae
Sub-tribu	Guaduinae
Género	Guadua
Especie	angustifolia
Nombre científico	Guadua angustifolia Kunth
Sinónimos botánicos	Bambusa guadua - Humboldt. & Bonpland



Figura 2. *Guadua angustifolia* en el distrito de La Florida, Cajamarca (Foto: A. Espinoza)

2.1.3.1 Descripción de la especie

2.1.3.1.1 Descripción morfológica

G. angustifolia se caracteriza por presentar culmos de hábito erecto, con tendencia a arquearse en el ápice, de entre 15 y 30 metros de altura, con diámetros variables entre 9 y 22 centímetros siendo mayores en la parte basal y disminuyendo con la altura. Los culmos presentan ramas provistas de espinas, especialmente en los entrenudos basales, siendo esta característica típica del género *Guadua*. Presentan entrenudos huecos con bandas de pelos blancos en la región del nudo, de entre 20 y 45 centímetros de largo, siendo los de la parte media los que presentan mayor longitud, y los de la parte basal más cortos, cada culmo presenta entre 60 y 85 entrenudos. Se observa una rama dominante y de 1 a 3 ramas secundarias, siendo la rama principal espinosa, con entre 2 y 5 espinas por cada nudo. (Young, 1992)

La hoja caulinar es coriácea, de forma triangular con la vaina y la lámina continuas mientras que la vaina es escabrosa por el envés, cubierta de pelos irritantes de color café, glabra y brillante por el haz. La lámina es de menor tamaño que la vaina, erecta, persistente y pubescente por ambas superficies. La lámina foliar es muy variable en tamaño y forma, desde oblonga hasta linear-lanceolada, presenta pelos transparentes dispersos sobre el haz y pseudopeciolo glabro. (Londoño, 2002).

La inflorescencia presenta forma de espiguilla, con pseudoespiguilla multiflora, de forma delgada y alargada hasta 9 centímetros de longitud. El ovario presenta 3 estigmas plumosos de color púrpura, cuenta además con 6 estambres. El fruto es un cariopsis seco. (Young, 1992).

La figura 3 representa las partes descritas de la especie.

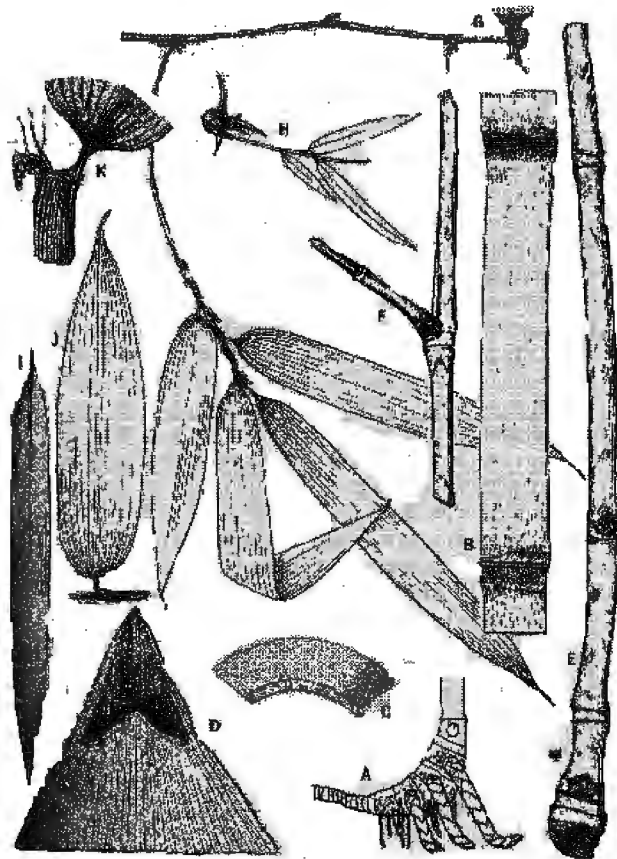


Figura 3. *Guadua angustifolia*. A. Base del culmo con su rizoma. B. Corte tangencial del internudo y nudos. C. Sector de la sección transversal de la pared del culmo. D. Ápice de la bráctea del culmo, vista por el lado interno. E. Parte basal de ramas mostrando las yemas intactas. F. Ramas de segundo orden con yemas intactas. G. Ramas de tercer orden mostrando espinas y follaje. H. Complemento de la espina con una rama que sale del nudo. I y J. ejemplos de formas de hojas. K. ápice de la bráctea de la hoja y su base (Hidalgo, 1974)

2.1.3.1.2 Características anatómicas del culmo

La estructura anatómica del culmo está principalmente determinada por los haces vasculares colaterales embebidos en el tejido del parénquima. La forma, el tamaño, el número y la concentración de haces vasculares varían desde la periferia hacia la parte interna del culmo y desde la base del culmo hacia el ápice del mismo. Cerca de la periferia los haces vasculares son pequeños, numerosos y concentrados, mientras que en la parte media del culmo son más grandes y con una distribución más amplia. En todos los bambúes el tamaño de los haces vasculares decrece notoriamente desde la base hacia el ápice, pero su densidad se incrementa

correspondientemente. Todas las células de un entrenudo están orientadas axialmente. Los bambúes, al igual que las demás monocotiledóneas, no poseen ningún tipo especial de células que permitan el transporte radial, como sí sucede con el tejido de cambium en las dicotiledóneas y en las gimnospermas. (Grosser y Liese ,1971).

2.1.3.1.3 Descripción de tejidos y células de un culmo de *G. angustifolia*

a) Composición de tejidos

El tejido está conformado por el parénquima (51%), las fibras (40%) y por los haces vasculares (9%). (Liese ,1998).

b) Corteza

La corteza es la parte externa del culmo y tiene como funciones prevenir la pérdida de agua y proteger los tejidos, está compuesta por epidermis e hipodermis (Liese, 1998).

La epidermis está compuesta por células largas entre mezcladas con células cortas y con estomas. Las células cortas, de corcho y sílice, están agrupadas en pares entre las células largas. Los estomas, con sus células guardianes, tiene forma ovoide, siendo horizontalmente más largos que anchos. La alta concentración de cuerpos silíceos en la epidermis del culmo contribuye a la dureza de los mismos. La hipodermis consiste en de 2 a 3 capas de células esclerenquimatosas de pared gruesa. El parénquima cortical es homogéneo y está formado por 8-10 capas de células de paredes delgadas y gruesas. (Londoño *et. al*, 2002)

c) Parénquima

Está compuesto por células largas y cortas. Las células largas generalmente tienen paredes gruesas y se lignifican con el tiempo: las células cortas son más pequeñas, de forma cúbica y de citoplasma más denso, tiene paredes delgadas y no se lignifican con la edad. (Liese, 1998)

d) Haz vascular (hv)

Está compuesto por 2 grandes vasos de metaxilema, 1 ó 2 elementos de protoxilema, por el floema y por las vainas de esclerénquina y de fibras. Hay mayor número de haces vasculares en la zona de periferia y transición (346-530 hv/cm²) e interna (81-194 hv/cm²). El metaxilema

tiene un diámetro que varía entre 0,02 y 0,22 mm. Aumentan de tamaño desde la periferia hacia la parte media e interna. Son más grandes en el segmento medio del culmo que en los segmentos basal y apical. El floema: Está compuesto por 14-25 tubos cribosos, mientras que las vainas de esclerénquima son 4 en total; dos ubicadas a lado y lado de los vasos de metaxilema, otra alrededor del protoxilema y la última alrededor del floema. (Grosser y Liese, 1971).

e) Fibras

El porcentaje de fibra por haz vascular fluctúa entre 64,8% y 97,2%. Mientras que el porcentaje de fibras es mayor en los haces de la periferia y de la transición (90-97%) que en los haces de la zona media (65-87%). En la tabla 2 se describen los parámetros físicos de las fibras., mientras que en la tabla 3 se muestra la distribución de las fibras de acuerdo a la altura dentro del culmo. (Cáceres, 1989).

Tabla 2. Parámetros físicos de fibras de *G. angustifolia* (Cáceres, 1989)

Parámetro	Medida
Densidad del culmo (gr/cm ³)	0,62
% de lignina	26,1
% de celulosa	44,3
Longitud de fibra (mm)	1,7
Ancho de fibra (μ)	14
Ancho del lumen (μ)	9
Espesor de la pared (μ)	2,5
Coefficiente de esbeltez	117
Índice de flexibilidad	0,65

Tabla 3. Distribución porcentual de tejidos en el culmo (Nieto, 2002)

Tejido	Segmento del culmo		
	Basal (%)	Medio (%)	Apical (%)
Parénquima	63	64	36
Fibras	29	26	56
Conductivo	8	10	8
Total	100	100	100

2.1.3.2 Etimología

G. angustifolia fue clasificada inicialmente por Alexander von Humboldt y Bonpland como *Bambusa guadua*, en 1822 fue reclasificada por el botánico Karl S. Kunth quien creó el género *Guadua* haciendo uso del vocablo indígena “guadua” que es el nombre con que se le conoce en Ecuador y Colombia; el término “angustifolia” hace referencia a sus hojas angostas. (Pérez-Florez, 2006).

2.1.3.3 Nombres comunes

Guadua angustifolia recibe los siguientes nombres comunes: (Pérez-Florez, 2006).

- Paraguay: takuruasu
- Argentina y Uruguay: takuarusu, tacuara
- Brasil: taquaruçu
- Colombia: guadua, caña brava, caña mansa, garipa
- Ecuador: caña brava, caña mansa, guadua
- Perú: guadua, guayaquil.
- Venezuela: juajua, puru puru
- América Central : tarro, otate

2.1.3.4 Distribución natural y hábitat

G. angustifolia es una especie endémica en América y se le considera como nativa de Colombia, Venezuela y Ecuador. La distribución de esta especie se da en las siguientes zonas de vida²: Bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST), bosque húmedo subtropical (bh-ST), bosque seco tropical (bs-T) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), tal como se muestra en la Tabla 4. Crece desde 0 msnm hasta 2 600 msnm, con temperaturas muy variables que van desde los 16 °C hasta los 36 °C, soporta alta humedad ambiental. (Castaño y Moreno, 2004).

Tabla 4. Distribución natural por zonas de vida de *G. angustifolia*

ZONAS DE VIDA	RANGO DE PP (mm)	RANGO ALTITUDINAL (msnm)
Bosque muy húmedo tropical (bmh-T)	4000 - 8000	0 - 1000
Bosque seco tropical (bs-T)	1000 - 2000	0 - 1000
Bosque muy húmedo sub tropical (bmh- ST)	2000 - 4000	800 - 2000
Bosque muy húmedo montano bajo (bmh - MB)	2000 - 4000	1800 - 3000

(Fuente: Castaño y Moreno, 2004)

2.2 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL BAMBÚ

Los bambúes están considerados como unos de los grupos de plantas más útiles del mundo pues tiene una ilimitada cantidad de usos comerciales. De acuerdo a la especie que se utilice se pueden destinar a diferentes usos, tomando en consideración las propiedades físico-mecánicas de los culmos se pueden utilizar estos como material de construcción o para elaboración de

² Según la clasificación ecológica por zona de vida de Holdridge (1967)

muebles. En tanto que sus propiedades anatómicas son tenidas en cuenta para usos como la producción de pulpa para papel o de fibra textil, mientras que la composición química de las diferentes especies abre posibilidades para nuevos usos. (Montiel, 1998).

- Alimento

Los brotes de bambú han sido utilizados como alimento humano en Asia desde tiempos remotos. Los brotes son consumidos frescos, secos, ahumados o encurtidos. Las hojas en forma de heno o forraje sirven como alimento para animales.

- Pulpa y papel

Muchas especies de bambú (principalmente *Bambusa vulgaris*) son aprovechadas para la producción de pulpa y papel. Las ventajas de la utilización del bambú radican en su rápido crecimiento, la facilidad del cultivo y transporte de las cañas.

- Medicinal

En algunas comunidades se utiliza la savia de bambú en tratamientos antimicóticos, contra la mordedura de serpientes y la ceniza de las hojas como cicatrizante.

- Muebles, artesanías

Se utilizan diferentes especies de bambú para la elaboración de diferentes tipos de muebles, cestería, y los nudos son utilizados para la elaborar instrumentos musicales. En Ecuador y Colombia los rizomas son utilizados también para la elaboración de muebles.

- Construcción

Es la mayor aplicación comercial del bambú, aunque no todas las especies son aptas para el mismo. Las cañas pueden ser utilizadas para construir todas las partes de una casa o combinarse con otros materiales como otras maderas, arena, cal barro, concreto, entre otros.

- Protección y conservación de suelos

Debido a la morfología de los rizomas y al sistema radical que estos construyen en los primeros 50-100 centímetros del suelo, los bambúes son un recurso ideal para la protección del suelo,

estabilización de laderas, prevención de la erosión por escorrentía, por vientos o desmoronamientos. Las especies de bambú con rizomas del tipo *leptomorfo* son ideales para la protección de suelos en laderas muy empinadas, mientras que especies de bambú con rizoma del tipo *paquimorfo* (entre las cuales se encuentra *G. angustifolia*) son ideales para el control de la erosión de riberas de ríos.

2.3 TABLEROS DE FIBRO-CEMENTO

2.3.1 Definición

Son tablas o paneles que consisten de fibras de maderas químicamente tratadas, mezcladas con cemento Portland, comprimidos, acabados y exactamente cortados a medida. (Instituto Británico de Normas Técnicas, 1981).

Los tableros fibro-cemento pueden ser clasificados como composites de biomasa vegetal y cemento (CBVC), conformados mediante la asociación de un aglomerante mineral (cemento Portland) con partículas vegetales y, en ciertos casos, con diversos aditivos, que pueden ser aceleradores, cargas minerales, plastificantes, entre otros. Modificando la proporción de los constituyentes dentro del tablero y la distribución y el tamaño de las partículas se puede obtener una amplia gama de productos. (Beraldo, 2008)

El cemento sin ningún refuerzo tiene generalmente una alta resistencia a la compresión, esto es deseable para muchas aplicaciones de construcción, sin embargo es necesario reforzarlo con fibras cuando además de la resistencia a la compresión se necesita que presente propiedades específicas como resistencia a la tensión, a la flexión o al agrietamiento. Los diferentes tipos de fibras (naturales o sintéticas), utilizadas como refuerzo del concreto le confieren ductilidad y la capacidad de absorber energía, sin embargo la contribución más importante de estas fibras a las propiedades del concreto es el aumento de su tenacidad (Juárez *et. al*, 2003)

2.3.2 Usos

Valenzuela *et. al* (1991) clasifican a los tableros según el material usado como refuerzo en:

- Paneles densos: fabricados a partir de elementos finos (partículas o aserrín), con una masa volumétrica de 1000 a 1200 kg/m³

- Paneles ligeros: fabricados a partir de lana de madera, con una masa volumétrica de 500 a 700 kg/cm³.

Los usos de los paneles densos son los mismos que los paneles ligeros: paneles de protección térmica, acústica y de protección contra incendios, revestimiento acústico y térmico en paredes y techos, tabiquería simple o doble con estructuras de metal o madera.

Mientras que los usos específicos, teniendo en cuenta su mayor resistencia mecánica respecto a los paneles ligeros son:

- Revestimientos de fachadas, paneles anti-ruido, tabiquería, construcciones provisionales, galpones.

2.3.3 Antecedentes

Los materiales compuesto por fibras naturales y cemento se remontan a 1908 con la aparición de tableros elaborados con refuerzo de fibras de madera de las especies *Picea abies* (Epeicea) y *Pinus sylvestris* (Pino), sin embargo las primeras aplicaciones comerciales de composites reforzados con fibras naturales se dieron en los años 50 del siglo pasado con la elaboración de paneles ligeros de magnesita (mezcla de cloruro de magnesio y óxido de magnesio) reforzados con madera. Estos paneles eran conocidos con el nombre de “Excelsior” en Estados Unidos y con el nombre de “Heraklit” en Europa. (Valenzuela *et. al*, 1991)

En los últimos años el desarrollo de composites a base de cemento reforzados con fibras naturales se vio incrementado debido a la prohibición de utilizar fibras de asbesto como refuerzo en materiales destinados a la construcción de viviendas debido a los efectos cancerígenos que éstas producen^{3,4}, el Perú se ha aprobado el reglamento “Prohibición de asbestos en todas sus variedades y regulación de procesos de remoción de asbesto” que desarrolla el artículo 97° de la ley N° 26482, Ley General de Salud, esto abre la posibilidad de sustituir las fibras de asbesto con fibras recicladas de cultivos agrícolas y fibras de celulosa, ya que ambas opciones presentan precios competitivos respecto a las fibras artificiales. (Olivares *et. al*, 2003).

³ Asociación Internacional de Seguridad Social (AISS) “el Amianto: Hacia una prohibición mundial”

⁴ FAO. “Inclusión del producto amianto crisotilo y aprobación del documento de orientación para la adopción de decisiones”

2.3.4 tableros fibro-cemento con fibras vegetales

2.3.4.1 *Tableros de cemento con refuerzo de fibras de bambú*

La adición de fibras de bambú en paneles logró aumentar la resistencia mecánica de estos además de lograr un control sobre el agrietamiento, si bien este es inevitable las fibras tienen la capacidad de controlar la propagación del agrietamiento y así transformar una matriz frágil en un material con cierto grado de ductilidad. Se probaron diferentes proporciones de fibra y cemento y una relación agua/cemento (A/C) = 0,33. (Arbeláez, 1997).

Los inconvenientes más importantes encontrados al usar las fibras de 3 especies de bambú (*Bambusa tuldoides*; *Dendrocalamus giganteus* y *Phyllostachys viridis*) fueron la pérdida de humedad de las fibras dentro del cemento, además en el proceso de compactación de los tableros se afectaba demasiado a la resistencia de las fibras. Sin embargo el principal inconveniente de las fibras de bambú es su alto contenido de azúcares, que retardan el proceso de fraguado. (Beraldo, 2008).

Se probaron fibras de bambú tratándolas para lograr un mejor fraguado de la mezcla notando que la glucosa presente en las fibras retarda este proceso. Se utilizaron dos tratamientos diferentes a las fibras con la intención de lograr un mejor fraguado de la mezcla, partiendo de la premisa de que el contenido de azúcares dentro de las fibras retarde el fraguado del cemento, uno sumergiendo las fibras durante 15 minutos en cemento diluido en agua y el otro consistió en hervir las fibras en agua durante el mismo lapso de tiempo, con los dos tratamientos se mejoró la resistencia de los paneles pero en los dos casos los valores fueron menores a los obtenidos para tableros sin refuerzo. (Smith, 1979).

2.3.4.2 *Tableros de cemento con refuerzo de fibras de sisal*

Tableros reforzados con fibras de sisal (*Agave sisalana*) fueron ensayados y comparados con tableros sin refuerzo encontrándose que los tableros reforzados habían incrementado 3 veces la resistencia en flexión, 7 veces la tenacidad y 7 veces la resistencia al impacto. Se trabajó con una relación agua/cemento (A/C) de 0,5. (Swift y Smith, 1979).

Utilizando una relación A/C de (0,74) se encontró que los morteros con refuerzo de fibras mantienen los mismos valores de resistencia a compresión, tensión y flexión que los morteros sin refuerzo alguno. (Moreira, 1986).

Teniendo en cambio como variable la condición de humedad de las fibras se puede afirmar que la resistencia disminuye cuando la fibra estaba saturada. En tanto se concluyó que la resistencia de los morteros es inversa a la cantidad de fibra presente en estos. (Filho, 1990).

2.3.4.3 Tableros de cemento con refuerzo de fibras de maguey

Fibras de maguey (*Agave lechuguilla*) fueron utilizadas como refuerzo en tableros compuestos con cemento Portland. Se determinó el porcentaje de absorción de agua (67% relativo al peso seco) y la densidad de las fibras ($1,24 \text{ g/cm}^3$). Para la conformación de los tableros se probó con diferentes proporciones de fibra, desde 5% hasta 12% encontrándose que el volumen de la fibra no influye significativamente en la resistencia a la primera grieta. (Castro y Naaman, 1981).

2.3.4.5 Tableros de cemento con refuerzo de fibras de coco

En Singapur fueron utilizadas fibras de coco (*Cocos nucifera*) como material refuerzo en sustitución de las fibras de asbesto en la fabricación de láminas acanaladas de concreto. Se ensayaron láminas acanaladas de 10 mm de espesor en resistencia a la flexión, además se realizaron ensayos para evaluar sus propiedades térmicas y acústicas. Los mayores valores de módulos de ruptura se encontraron con tableros preparados con 3% de volumen de fibra (Paramasivan *et. al*, 1984).

En Malasia se realizaron pruebas para utilizar la fibra de coco como refuerzo para placas delgadas de cemento, se ensayaron placas planas y acanaladas probando concentraciones de fibras entre 1% a 6% y una relación A/C = 0,35. Se reportó un incremento en la resistencia a flexión conforme se incrementa el porcentaje de fibra hasta un 5%, a partir del cual la resistencia disminuye ligeramente. (Hussin y Zakaria, 1990).

2.3.5 Componentes de los tableros de fibro-cemento

2.3.5.1 Fibras vegetales

Las fibras que han de ser usadas como refuerzo deben tener ciertas características necesarias para poder ser utilizadas con ese fin. Estas han de ser fuertes, resistentes rígidas, ligeras y con una temperatura de fusión alta, prefiriéndose las fibras que tengan límites plásticos específicos y módulos de elasticidad altos. Un mayor porcentaje de fibras dentro de los tableros asegura una mayor rigidez y resistencia de éstos, sin embargo existe un porcentaje máximo que está determinado por la necesidad de que la totalidad de superficie de las fibras esté recubierta con el material matriz, este límite máximo suele ser de 80%. La orientación de las fibras dentro del compuesto puede hacer variar las propiedades de resistencia, especialmente en su módulo de elasticidad. Si las fibras continuas son colocadas paralelas y unidireccionalmente se obtiene un compuesto más resistente aunque con serios problemas de anisotropía. Para evitar estos problemas se coloca las fibras en disposición ortogonal cruzada en una o varias capas, así se obtiene un compuesto menos resistente pero más estable dimensionalmente. (Olivares *et al*, 2003).

Tapia *et. al* (2006) señalan algunas características de las fibras naturales como material de refuerzo:

- Ambientalmente amigables tanto en el proceso, producción y como desecho al final del ciclo.
- Son renovables y se necesita menor cantidad de energía de entrada por unidad de producción.
- Propiedades similares a aquellos materiales con refuerzo de fibra de vidrio.
- Mejor elasticidad.
- Son menos abrasivos durante el proceso de fabricación.
- Absorben bien las vibraciones y por lo tanto el sonido.
- De 2 a 3 veces más barato que trabajar con fibra de vidrio.

- Cuando se queman los compuestos con fibras naturales hay una menor producción de CO₂ y otros gases tóxicos.

Y las desventajas que presentan son:

- La calidad de las fibras depende de las condiciones naturales.
- Requiere de grandes áreas de cultivo si se empieza una producción a escala.
- La baja densidad se vuelve una desventaja durante el proceso.
- La capacidad hidrofílica de las fibras naturales podría afectar las propiedades, dependiendo de la aplicación.
- El enlace entre los polímeros y las fibras naturales es débil.

2.3.5.1.1 Obtención de fibras vegetales

El tratamiento químico-mecánico es un proceso de dos etapas, la primera de ellas implica un tratamiento químico moderado de la materia prima, el fin de la etapa química del proceso es degradar o afectar las uniones entre fibras, la segunda etapa consiste en la separación mecánica de las fibras en una pulpa apta para la fabricación de una amplia gama de productos. El rendimiento promedio para este tipo de procesos se sitúa entre 71% a 85%. (Ortiz, 1987).

El proceso de soda en frío consiste en remojar las astillas del material fibroso en una solución de hidróxido de sodio a baja temperatura y a presión ambiental, La cantidad de álcali absorbido por la materia prima hace que la energía requerida para la separación mecánica de las fibras sea menor, esto debido a que se suaviza la pared de la fibra, tanto dentro de la lámina media como dentro de la pared secundaria. El rendimiento esperado para este proceso se estima entre 85% a 90%. (Cassey, 1990).

Para obtener rendimientos óptimos en un proceso mecánico-químico se debe prestar atención al tratamiento químico de la materia prima, que representa una fase crítica dentro del proceso. El proceso de impregnación requiere que el aire presente dentro del lumen de las fibras sea removido para que el licor de soda entre a la estructura de la fibra. (Keneth y Kjell, 1982).

En la figura 4 se puede observar el diagrama de un equipo diseñado especialmente para desfibrar cañas de bambú, y las fibras extraídas mediante este sistema.



Figura 4. Sistema de desfibrado en espiral. (Ogawa *et al*, 2008).

2.3.5.1.2 Aptitud de fibras como refuerzo del cemento

Uno de los factores que es de suma importancia para utilizar fibras vegetales como refuerzo del cemento es que sean compatibles con el cemento, esta compatibilidad se expresa en la facilidad para el fraguado de la mezcla cemento/fibras. La presencia de ciertas sustancias en las fibras vegetales puede hacer inviable la utilización de fibras naturales como refuerzo del cemento. (Beraldo, 2008).

En general se señala que los azúcares son los principales responsables del retardo del fraguado del cemento, Kholer (1966) indica por su parte que los taninos y colorantes también tiene efecto inhibitor sobre el fraguado del cemento y que en cambio las resinas no tienen efecto alguno, sin embargo Beraldo (2008) señala que se debe hacer un análisis detallado de los extractivos contenido en las fibras para poder determinar de manera más detallada los compuestos presentes en las fibras que puedan causar retardo en el fraguado, en tanto que Noriega (1996) menciona que un porcentaje mayor a 0,03% de azúcares en la mezcla disminuye la resistencia del concreto, mientras que contenidos mayores a 0,10% pueden llegar a inhibir completamente el fraguado del cemento, señala que este fenómeno se debe al efecto retardador del azúcar en el proceso de fraguado, que al bloquear las moléculas de hidróxido de calcio, uno de los componentes principales del cemento, impide una completa combinación con los aluminatos tricálcicos provocando una lenta e incompleta reacción.

La reacción química de inhibición del fraguado, mediante la formación de sacaratos en la mezcla se representa en la figura 5.

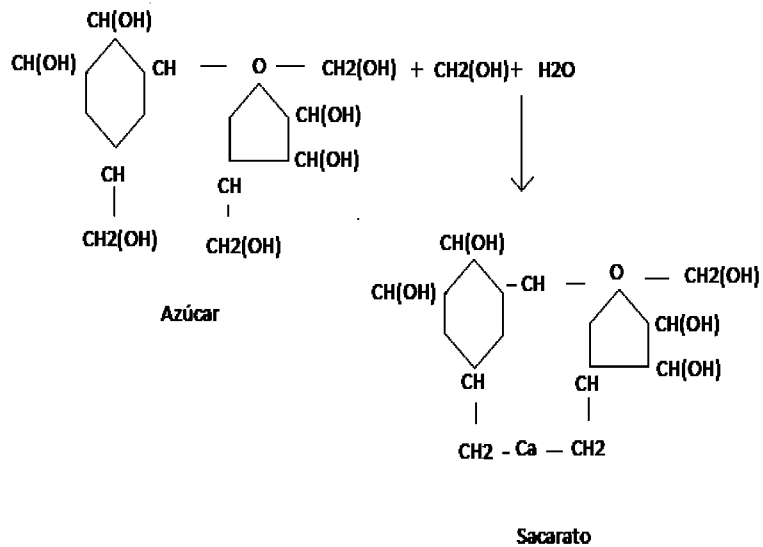


Figura 5. Reacción química de inhibición del fraguado del cemento (Kholer, 1966)

Existe una clasificación para la afinidad de las especies para la fabricación de fibro-cemento basándose en el contenido de extractivos desarrollada por Cruz (1982) basándose en el fraguado inicial de tableros de fibro-cemento de baja densidad con fibras de 3 especies forestales maderables . La clasificación por extractivos según solvente se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación, por aptitud, de material de refuerzo según contenido de extractivos

CLASIFICACIÓN	CONTENIDO DE EXTRACTIVOS, POR TIPO DE SOLVENTE	
	Agua caliente	Alcohol-benceno
Apta	0 – 3,25	0- 2,25
Medianamente apta	3,26 – 4,25	2,26 – 3,50
No apta	> 4,25	> 3,50

Fuente: Cruz (1982)

Si bien no existe una forma universal de hacer compatibles todas las fibras con el cemento existen diferentes tratamientos para mejorar la compatibilidad entre la fibra y el cemento, estos tratamientos pueden ser clasificados en dos categorías: (Beraldo, 2008).

- Eliminar o extraer las sustancias inhibidoras
- Minimizar su efecto inhibidor

Dentro de los tratamientos más utilizados se encuentran:

- Envejecimiento de los fibras
- Eliminación de extractivos
- Secado de las fibras
- Recubrimiento de las fibras
- Mineralización de las fibras.

2.3.5.2 Cemento

2.3.5.2.1 Tipos de cemento: Cemento Portland

El cemento Portland es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes. (Pasquel, 1998).

Cuando el cemento Portland es mezclado con agua se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas después y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica. El endurecimiento inicial es producido por la reacción del agua, yeso y aluminato tricálcico, formando una estructura cristalina de calcio-aluminio-hidrato, estringita y monosulfato. (Valenzuela *et. al*, 1991).

2.3.5.2.2 Composición del cemento Portland

Luego del proceso de formación del clinker (nódulos obtenidos luego de la primera molienda, mezcla y horneado de las materias primas) y molienda final se obtiene los compuestos que son los que definen el comportamiento del cemento hidratado. Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las proporciones generales que interviene, estas se presentan en la Tabla 6. (Pasquel, 1998).

Tabla 6. Componentes del cemento Portland. (Pasquel, 1998)

	Componente químico	Procedencia Usual	Porcentaje típico	Abreviatura
95%	Óxido de Calcio (CaO)	Rocas calizas	61-67%	C
	Óxido de Sílice (SiO ₂)	Areniscas	20%-27%	S
	Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas	4%-7%	A
	Óxido de Hierro (Fe ₃ O ₂)	Arcillas, mineral de hierro, pirita	2%-4%	F
	Óxido de magnesio, sodio	Minerales varios	1%-3%	
Potasio, titanio, azufre	1%-5%			
Fósforo, manganeso	0,25%-1,5%			

2.3.5.2.3 Tipos de cemento Portland

Este tipo de cemento se clasifica de la siguiente manera: (Pasquel, 1998).

- Tipo I: De uso general, donde no se requieren propiedades especiales.
- Tipo II: De moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo II: Para uso en climas fríos
- Tipo IV: De bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos.

2.3.5.2.4 Cemento Portland Puzolánico

El cemento que contiene puzolana se obtiene por la pulverización conjunta de una mezcla de clinker Portland y puzolana con la adición eventual de sulfato de calcio. El contenido de Puzolana debe estar entre el 15% y 40%. (Pasquel, 1998).

Así se tienen los siguientes tipos de cementos puzolánicos:

- Tipo IP: El porcentaje adicionado de puzolana se encuentra entre 15% y 40%
- Tipo IPM: El porcentaje adicionado de puzolana es menor de 15%.

En la actualidad en el Perú se fabrican los cementos Tipo I, Tipo II, Tipo V, Tipo IP y Tipo IPM. (Pasquel, 1998). El cemento utilizado en la fabricación de tableros de fibro-cemento es el Portland Tipo I (Noriega, 1996).

2.3.5.2.5 Pasta de cemento

Se llama así a la mezcla entre cemento y agua en proporciones definidas, esta mezcla tiene propiedades aglomerantes. La dosificación, expresada como el cociente del peso del agua y el cemento se llama relación agua/cemento (expresada como A/C). Este parámetro es un indicador de las características de calidad del cemento. Por ejemplo una relación A/C de 0,7

proporciona una mezcla pobre, mientras que una relación de 0,4 proporcionará un concreto con una mayor resistencia. La explicación para esto es que una mayor proporción de agua en la mezcla aumenta las separaciones entre las partículas de cemento, las cuales deberían estar juntas. (Trüb, 1977).

2.3.5.2.6 Fraguado y endurecimiento

Las partículas de cemento absorben agua para poder cumplir su rol de aglomerante. Así se forman nuevas combinaciones, denominadas *hidratos*, que ocupan un volumen mayor que el de los productos sólidos que los forman, esto permite una unión rápida entre las partículas entre sí. La transformación debido al agua (hidratación) se realiza rápidamente con el aluminato tricálcico y el aluminio-ferrito tricálcico, la hidratación de estos compuestos es decisiva para la evolución de la resistencia, estos hidratos de silicato cálcico que se van formando parecen geles semejantes a los de un vidrio soluble gelatinoso. A medida que transcurre la hidratación los geles se van endureciendo y haciendo insolubles en agua (Trüb, 1977). La hidratación del cemento precisa de una cantidad de agua equivalente a 1/5 del peso del cemento, la misma cantidad es absorbida por la superficie de los huecos del gel, mientras que el agua restante se desplaza libremente encontrándose en los poros capilares. El fraguado y endurecimiento del cemento sigue 4 etapas según la teoría de Chatelier (Saad, 1969).

- 1) Fraguado o resistencia inicial: Se debe a los aluminatos cálcicos, cuya fortificación es más eficiente en las primeras 24 horas.
- 2) Reacción de los silicatos tricálcicos (C_3S): Estos elementos del cemento son más estables y reaccionan más lentamente con el agua formando hidratos cálcicos gelatinosos y sílice gelatinoso que protegen a los granos del cemento, que no han sido atacados por el agua, haciendo la hidratación más lenta. Esta acción hidratadora del C_3S está comprendida a las 24 horas y 7 días.
- 3) Hidratación del silicato bicálcico (C_2S): Esta reacción es muy lenta y su acción endurecedora está comprendida entre los 7 y 28 días e influye en la resistencia de la pasta en periodos mayores a un año.

- 4) Endurecimiento indefinido del cemento Portland: Este proceso continúa durante años, aumentando la resistencia del concreto debido a la continua cristalización del hidrato cálcico que de un nuevo elemento de dureza.

Se debe fraguar el cemento por un periodo de 28 días, que es el tiempo en que el cemento demora en alcanzar el 85% de su resistencia final (Figura 6), en este punto la curva de desarrollo de resistencia comienza a decaer, y los incrementos de resistencia son bajos y a intervalos cada vez más grandes, lo que se conoce como endurecimiento indefinido. (Soria, 1972).

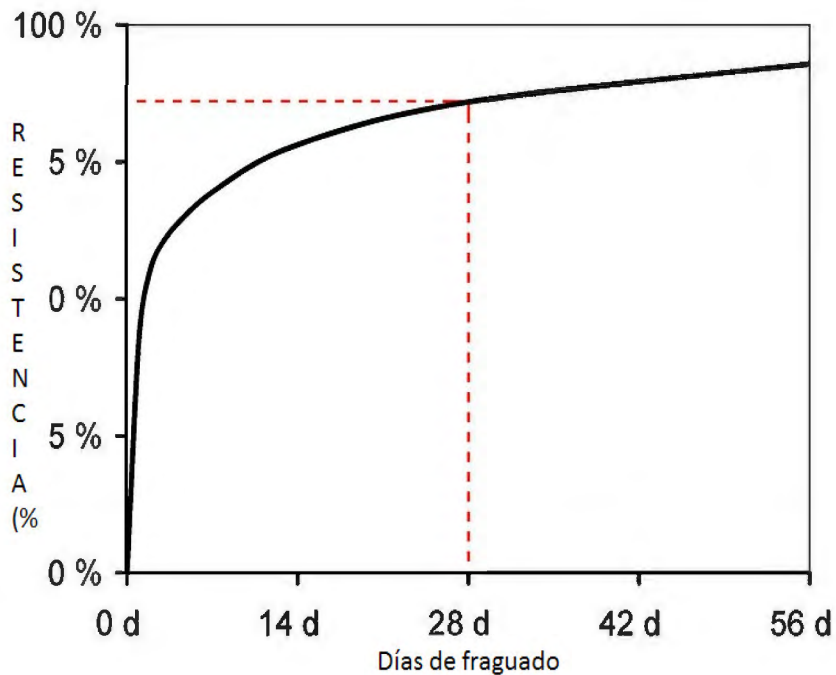


Figura 6. Desarrollo de la resistencia (%) que adquiere el cemento a los 14, 29, 42 y 56 días. (Soriano, 1972).

2.3.5.2.7 Curado

Se llama así al procedimiento que se utiliza para promover la hidratación del cemento y consiste en un control del movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y fuera del concreto (Neville, 1989).

La necesidad de curar se explica por el hecho de que la hidratación del cemento se logra únicamente con los capilares llenos de agua. Por ello se debe evitar la pérdida de humedad de los capilares, causada por la evaporación. Las formas más comunes de evitar esta pérdida de agua consisten en recubrir la superficie con pajillas, arena, plásticos, sumergir el cemento bajo agua, o manteniendo húmeda la superficie mediante riego. (Neville, 1989).

2.3.5.3 Agua

El agua es un elemento esencial en la mezcla del cemento pues permite que este reaccione químicamente para poder brindarle las propiedades al concreto, es por ello que el agua utilizada no debe contener sustancias que puedan perjudicar o perturbar el fraguado del cemento, como algas, aceites, humus, entre otros. (Kholer, 1966).

La norma NTP 339.088:2006 “Agua de mezcla utilizada en producción de concreto de cemento Portland. Requisitos” indica que el agua a utilizar para mezclas de cemento para concreto y/o morteros debe presentar valores de sustancias contenidas dentro de los siguientes límites:

- Contenido máximo de materia orgánica, expresada en oxígeno consumido: 3 kg/l (3 ppm).
- Contenido máximo de residuos sólidos: 5 g/l (5000 ppm)
- pH comprendido entre 5,5 y 8.

2.3.5.4 Aditivos: Mineralizante

Para favorecer el fraguado de la mezcla de cemento y fibras se utilizan mineralizantes. El efecto del mineralizante es la aceleración del fraguado inicial, este aceleramiento del fraguado y del endurecimiento varía mucho en función de la clase y el tipo de cemento, de la cantidad de agua y de la temperatura de la mezcla. De forma genérica se puede afirmar que la incorporación de un acelerante de fraguado produce un aumento de la resistencia inicial. (Trüb, 1977).

Valenzuela *et. al* (1991) señala que los mineralizantes más utilizados son:

- Cloruro de aluminio ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- Sulfato alumínico ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)
- Cloruro de sodio (NaCl)
- Cloruro de calcio (CaCl_2)

Siendo este último tratamiento el más utilizado a nivel comercial por ser el que representa un menor costo económico y porque es más adaptable para ser llevado a una escala industrial. (Beraldo, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE MUESTREO

3.1.1 Ubicación

El distrito de La Florida se encuentra en la provincia de San Miguel departamento de Cajamarca a 1200 m.s.n.m., ocupando un área 61.33 km². Limita al sur con el distrito de Niepos, al norte con el distrito de Catache, al este con el distrito de Calquis y al oeste con el distrito de Oyotún.

La provincia de San Miguel está ubicada en la parte alta de la cuenca del río Zaña, la cual, en su conjunto, está ubicada entre los paralelos 06° 46' y 07 06' LS y los meridianos 78° 54' y 79° 44' LO. En la Figura7 se puede observar la ubicación geográfica de la zona de muestreo.

3.1.2 Clima

La zona de colección de la muestra posee un clima cálido, semihúmedo y húmedo. La variación orográfica de esta cuenca produce una diferencia climática entre la parte baja costanera de clima cálido y la parte alta de clima frío y seco. Las estaciones climáticas en la cuenca se encuentran en la parte más alta (estación Udimá, a 2200 msnm) o ingresando a la costa, cerca de Oyotún (estación Bebedero, 322 msnm).

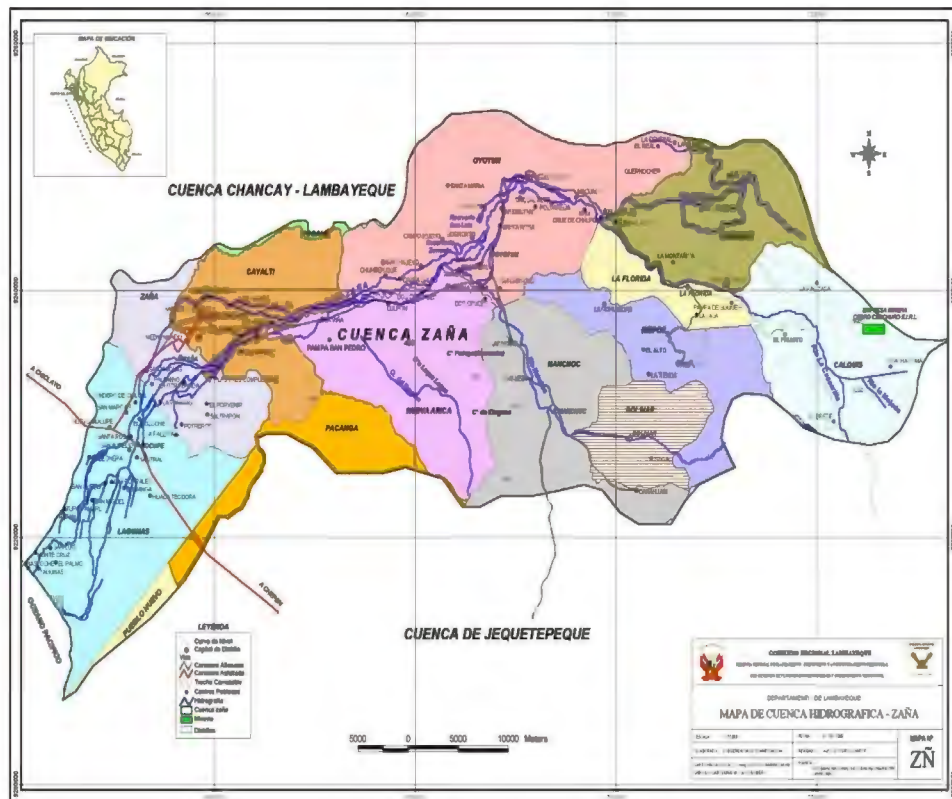


Figura. 7. Mapa de ubicación del distrito de La Florida, Cajamarca (CIGA, 2001)

3.1.3 Relieve y suelos

Según el Mapa de Suelos la zona de estudio se encuentra ubicada en un terreno donde predominan suelos leptosol lítico. La topografía es accidentada, presentando fuertes pendientes. (INRENA, 1996).

3.1.4 Ecología

El área de estudio se encuentra dentro de la franja denominada Bosque seco de montaña en el Mapa Forestal del Perú, Este tipo de bosque está representado por especies arbóreas, generalmente de porte medio, con alturas máximas de 12 m y excepcionalmente, llegan a duplicar esta altura árboles localizados en el fondo de las quebradas y zonas transicionales de los bosques subhúmedos. (INRENA, 1996).

Utilizando la clasificación de Zonas de vida de Holdridge el lugar se denomina como monte espinoso pre-montano tropical, el cual es tipificado como una región semiárida, de topografía quebrada, suelos de profundidad variable, de naturaleza calcárea, dominados por procesos de calcificación y de bajo contenido de materia orgánica. La vegetación que caracteriza a esta zona de vida es un monte pluvifolio con sotobosque graminal temporal. Las especies dominantes son “hualtaco” (*Loxopterygium huasango*), “palo santo” (*Bursera graveolens*), “faique” (*Acacia* sp.), “charán” (*Caesalpinia corymbosa*), “pasallo” (*Bombax* sp.), “polo polo” (*Cochlospermum vitifolium*), “ceibo” (*Bombax* sp.). Se presentan “algarrobo” (*Prosopis pallida*) y cactáceas columnares en menor abundancia que en zonas de vida presentes a menores altitudes. Se encuentran epifitas por la presencia de neblinas (INRENA, 1996).

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 MATERIALES

3.2.1.1 Fibras

A. Especie: Se utilizaron fibras obtenidas mediante un proceso químico-mecánico, provenientes de la parte apical de cañas maduras de *G. angustifolia* provenientes de una plantación ubicada en el distrito de La Florida, Cajamarca.

3.2.1.2 Cemento

A. Cemento: El cemento utilizado fue Portland Normal Tipo I marca “El Sol”.

3.2.1.3 Aditivos: Mineralizante

El mineralizante utilizado fue el Cloruro de Calcio (Cl_2Ca), al 4% de solución, preparada a partir de una solución al 90%.

3.2.1.4 Insumos: Agua

Se empleó agua corriente del laboratorio de Transformación Química de la Facultad de Ciencias Forestales. La caracterización se encuentra descrita en el Anexo 1.

3.2.2 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

3.2.2.1 Para la obtención de las fibras

- Machete
- Desfibrador de discos de 40 HP
- Balanza analítica de 0,1 mg de precisión
- Bolsas de tela
- Clasificador de Tamiz Noram

3.2.2.2 Para la elaboración de tableros de prueba

- Molde de madera

Se utilizó un molde de madera compuesto por dos marcos de madera, que le dieron el espesor a los tableros, y dos planchas de metal, una inferior para soportar la mezcla y una superior para obtener una superficie uniforme. Se puede observar el molde utilizado en la figura 8.

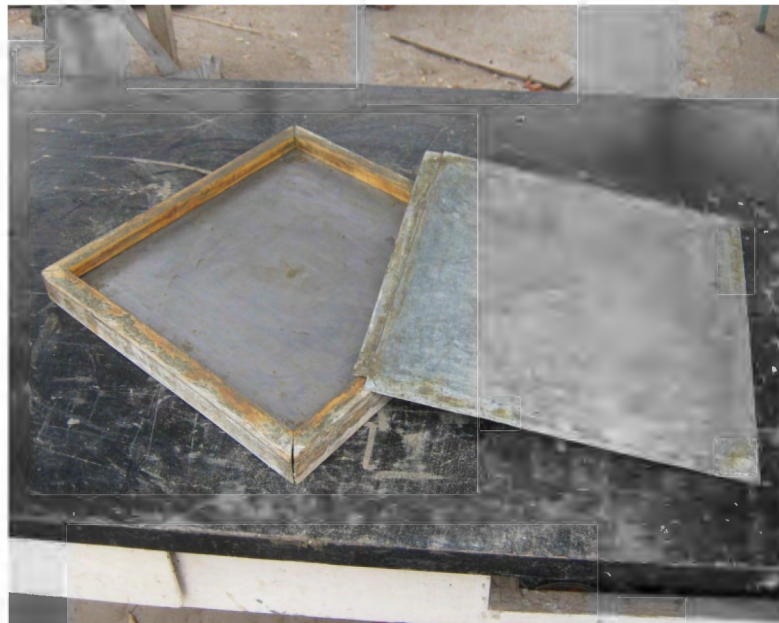


Figura 8. Hormas de madera para tableros de fibro-cemento (Foto: A. Espinoza)

- Prensa mecánica

Se utilizó una prensa mecánica con un plato de 50 cm x 40 cm. (Figura 9)



Figura. 9. Prensa mecánica (Foto: A. Espinoza)

3.2.2.3 Para los ensayos físico-mecánicos

- Prensa Universal “Tyinius Olsen” de 60000 lb de capacidad, con accesorios.
- Deflectómetro de 1mm de carrera.
- Vernier digital
- Campana desecadora con sílica gel
- Estufa eléctrica
- Placas de metal de 5 cm x 5 cm

3.3 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.3.1 *Recolección de muestras*

Corresponde a la colección de cañas maduras de *G. angustifolia*, en el distrito de La Florida, en la Provincia de San Miguel, Cajamarca.

Los culmos de *G. angustifolia* cosechados fueron seleccionados tomando en cuenta su madurez, las cañas de bambú alcanzan la madurez aproximadamente entre los 4 a 5 años, edad en la que las propiedades de resistencia de los culmos alcanzan sus valores máximos. Se utilizó la parte apical de los culmos maduros, que es la porción que queda como residuo de la cosecha. Las dimensiones de las cañas cosechadas se muestran en la Tabla 7.

Las cañas maduras pueden ser reconocidas porque presentan manchas blanquecinas y por la ausencia de hojas caulinares en la zona basal. Presentan alturas que varían entre 15 y 30 metros, con diámetros de entre 8 y 18 centímetros. La cosecha se realiza con machete y siempre por encima del primer nudo, evitando dejar espacio en el tocón para la acumulación de agua que causaría la pudrición del rizoma.

Tabla 7. Dimensiones de las muestras de *G. angustifolia* provenientes de la parte apical de los culmos.

# Caña	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (m)
1	12,2	5,8
2	14,1	6,2
3	13,6	6,3
4	14,5	5,6

3.3.2 *Acondicionamiento de las muestras y obtención de fibras*

3.3.2.1 *Acondicionamiento de muestras*

Las cañas obtenidas fueron cortadas en astillas de 3 centímetros de largo en promedio, con espesores uniformes y anchos variables, siempre siguiendo la orientación de las fibras. El

acondicionamiento se puede apreciar en la Figura 10. Una vez obtenidas las astillas estas fueron apiladas para obtener un contenido de humedad uniforme en toda la muestra.



Figura 10. Acondicionamiento de muestras (Foto: A. Espinoza)

3.3.2.2 Obtención de haces fibrosos

Se obtuvo las astillas mediante un proceso de desfibrado químico-mecánico. Las astillas obtenidas pasaron por un tratamiento previo al desfibrado, fueron humedecidas y luego sumergidas por 24 horas y a temperatura ambiente en una solución de NaOH al 5%. Transcurrido este tiempo se lavaron las astillas con agua corriente para eliminar los residuos de la solución en la superficie de las mismas.

Enseguida las astillas ya tratadas pasaron por el equipo desfibrador de discos Bauer. En la figura 11 se muestra el equipo utilizado para el proceso de desfibrado, este material pasó por el tamizador eléctrico de malla # 6 que clasificó las fibras en dos fracciones.



Figura 11. Equipo desfibrador de discos (Foto: A. Espinoza)

El proceso completo para la obtención de haces fibrosos se grafica en la Figura 12.

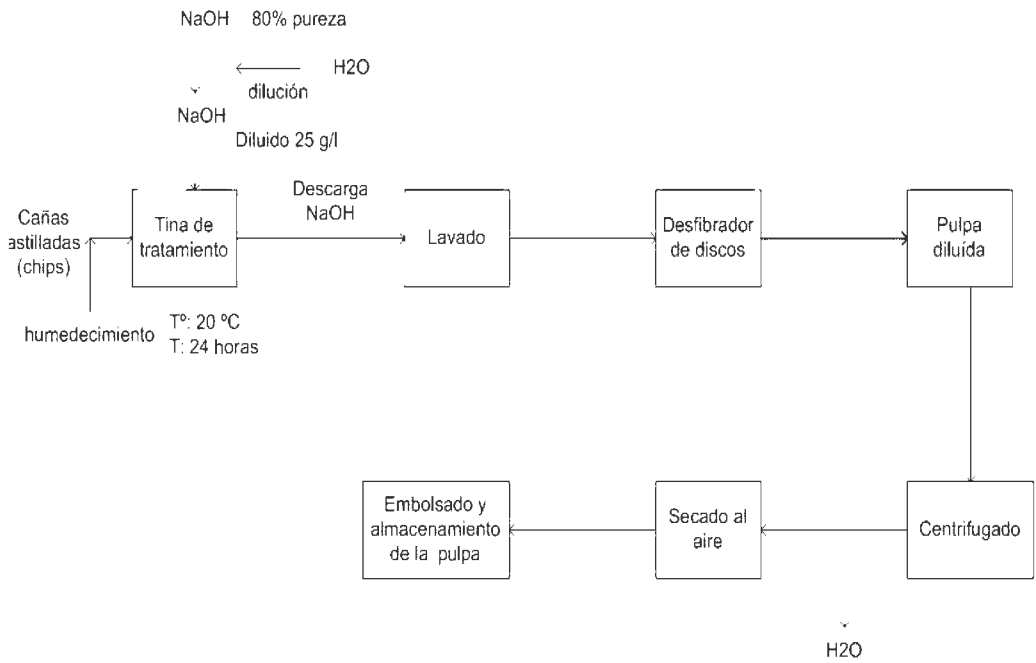


Figura 12. Diagrama de obtención de haces fibrosos de *G. angustifolia* (Fuente: elaboración propia)

3.3.3 Caracterización de la materia prima

3.3.3.1 Grado de desfibrado Schopper -Riegler

Para la determinación del grado de refinamiento y la velocidad de drenaje de los haces fibrosos se utilizó el método Schopper-Riegler siguiendo los procedimientos especificados en la norma ISO 5267-1:2001.

3.3.3.2 Composición fibrosa Bauer McNett

Se determinó la composición porcentual por tamaño de fibra en un equipo clasificador Bauer-McNett de acuerdo con la Norma Tappi T 233 cm - “Bauer McNett Fiber Classification”.

3.3.3.3 Determinación de Humedad gravimétrica

El grado de humedad de las muestras se determinó siguiendo los procedimientos descritos en la norma TAPPI T3-wd-77.

3.3.3.4 Determinación de extractivos

Se determinó el porcentaje de extractivos solubles en alcohol-benceno siguiendo los procedimientos indicados en la Norma TAPPI T 6 wd-73, mientras que el porcentaje de extractivos solubles en agua fue calculado según lo indicado en la Norma TAPPI T 1 wd-75. El procedimiento completo para la determinación de extractivos se encuentra detallado en el Anexo 2

3.3.3.5 Cenizas

Para la determinación del contenido de cenizas en la materia prima, se empleó la Norma ASTM D – 1762. El procedimiento completo se detalla en el Anexo 3.

3.3.3.6 Holocelulosa

Para la determinación del contenido de holocelulosa se empleó el Método Jayme-Wise. El procedimiento se detalla en el Anexo 4.

3.3.4 Preparación de la solución mineralizante y mineralización de las fibras

Para la preparación de la solución mineralizante se disolvió la solución líquida de CaCl al 90% con agua destilada. La concentración de la solución final utilizada fue de 4%.

Las fibras obtenidas fueron sumergidas en la solución mineralizante durante 10 minutos para obtener una total impregnación de la superficie de éstas con la solución, luego se las dejó escurrir para eliminar el exceso.

3.3.5 Mezclado

El proceso de mezclado empezó con la pasta de cemento, que se hizo con una relación agua/cemento (A/C) de 0,4 y con la cantidad de fibras estimadas para cada mezcla ensayada.

Las fibras mineralizadas fueron mezcladas con la pasta de cemento, este procedimiento debe ser rápido, el tiempo de mezclado no debe exceder los 5 minutos pues la resistencia promedio del concreto aumenta con un mayor tiempo de mezclado; la proporción de este aumento disminuye después de un minuto no es significativa después de dos minutos. Mezclar por un periodo mayor a 5 minutos genera la evaporación del agua de la mezcla, disminuyendo la trabajabilidad de la mezcla. Inmediatamente después se colocó la mezcla dentro de las hormas formadoras, antes de llenarlas con la mezcla se impregnó el interior de las hormas con grasa neutra para permitir un desmoldado más rápido, además se asegura de esa manera que la madera del molde de madera no absorba el agua de la mezcla.

3.3.6 Prensado y desmoldado

3.3.6.1 Prensado

Las mezclas fueron prensadas dentro de las hormas con una prensa mecánica (Figura 13) para darle la forma y espesor finales, las dimensiones teóricas de los tableros de prueba fueron 1,5 cm x 35 cm x 35 cm. La importancia de este paso es que antes del prensado la densidad de la mezcla es muy baja, con presencia de burbujas de aire dentro de la misma, el propósito del prensado es reducir el espacio entre las partículas y obtener una mejor consistencia de la mezcla.



Figura 13. Prensado de moldes tableros de ensayo (Foto: A. Espinoza)

La mezcla, prensada dentro de las hormas, se mantuvo así durante 24 horas, que es el tiempo que toma el fraguado inicial del cemento.

3.3.6.2 *Desmoldado*

Al cabo de 24 horas se desmoldaron los paneles (Figura 14), al momento de desmoldar se observó la consistencia de los tableros, ya que la facilidad para el desmoldado y para el manejo de los tableros es un primer indicativo acerca de la compatibilidad entre los haces fibrosos y el cemento.



Figura 14. Tablero recién desmoldado (Foto: A. Espinoza)

3.3.6.3 *Fraguado y Curado*

Los tableros se dejaron fraguar por 28 días, sin apilarlos y bajo sombra, evitando exponerlos al sol directo para evitar la evaporación del agua, facilitando así el curado. Los tableros en proceso de fraguado se observan en la figura 15.

El curado se realizó durante los 28 días que se dejó fraguar los tableros, durante ese tiempo se efectuaron riegos continuos para mantener húmeda la superficie. Al final de los 28 días de fraguado se dejó secar los tableros.



Figura 15. Curado de tableros (Foto: A. Espinoza)

En la Figura 16 se muestra el diagrama de operaciones para la elaboración de los tableros de fibrocemento.

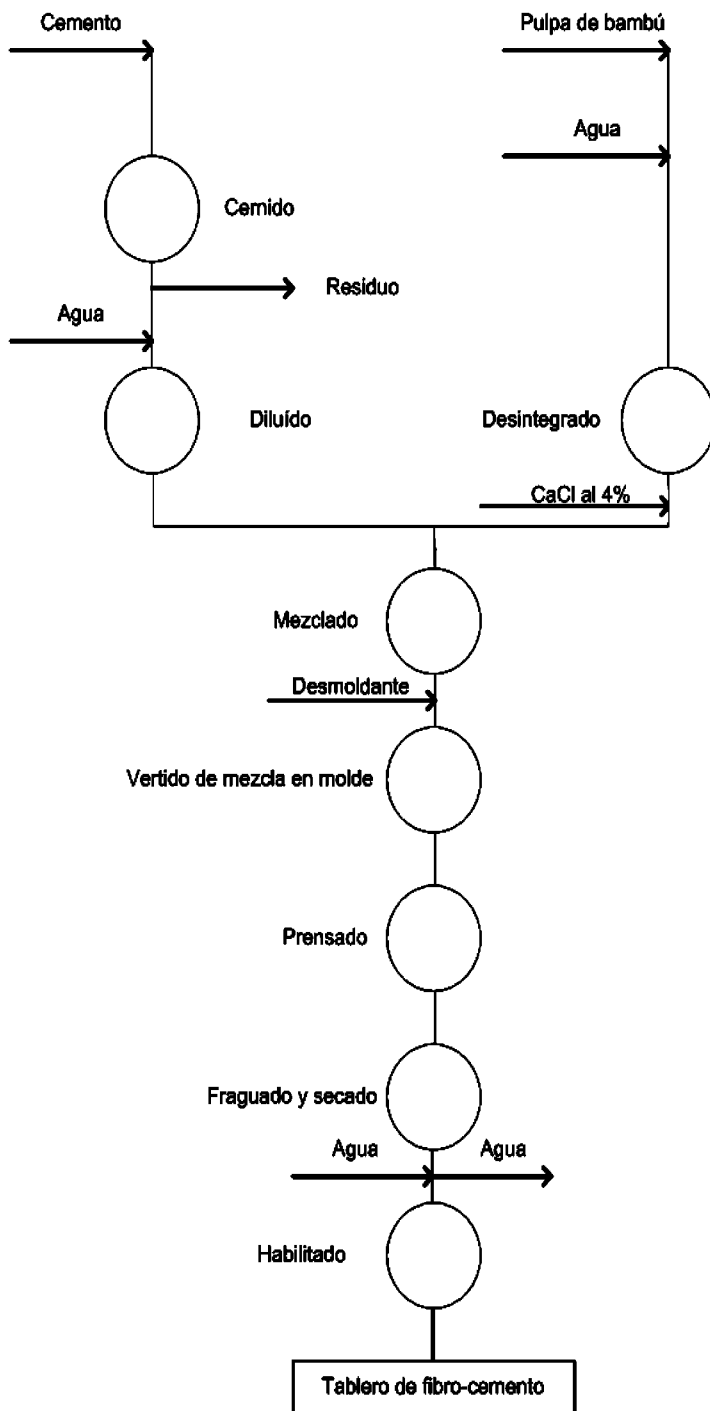


Figura 16. Diagrama de operaciones para la fabricación de tableros de fibro-cemento (Fuente: Elaboración propia)

3.3.7 Evaluación de los tableros

A. Contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad de los tableros elaborados se realizó siguiendo el método gravimétrico. Se ensayaron probetas de 2,5 cm x 2,5 cm, con 10 repeticiones por cada tablero. El procedimiento seguido se encuentra descrito en el Anexo 5.

B. Densidad

El ensayo de densidad se realizó según la norma DIN 52361. Se emplearon probetas de 5 cm x 5 cm, con 5 repeticiones por cada tablero de prueba. El procedimiento seguido se encuentra descrito en el Anexo 6.

C. Hinchamiento y absorción de agua

Las pruebas de absorción de agua e hinchamiento en espesor se realizaron según lo indicado en la Norma DIN 52364 en probetas de 5 cm x 5 cm, con 5 repeticiones por cada tablero de prueba. El procedimiento seguido es el descrito en el Anexo 7.

D. Flexión estática

Para este ensayo se tomó como referencia la norma DIN 52362, las probetas utilizadas fueron de 25 cm x 5 cm, con 3 repeticiones por cada tablero, el procedimiento para este ensayo está detallado en el Anexo 8.

E. Compresión perpendicular

El ensayo fue realizado según la Norma DIN 53291. Se utilizó probetas de 5 cm x 5 cm, con 4 repeticiones por cada tablero. El procedimiento seguido se encuentra descrito en el Anexo 9.

En la Figura 17 se muestra la distribución de probetas de ensayo en cada tablero.

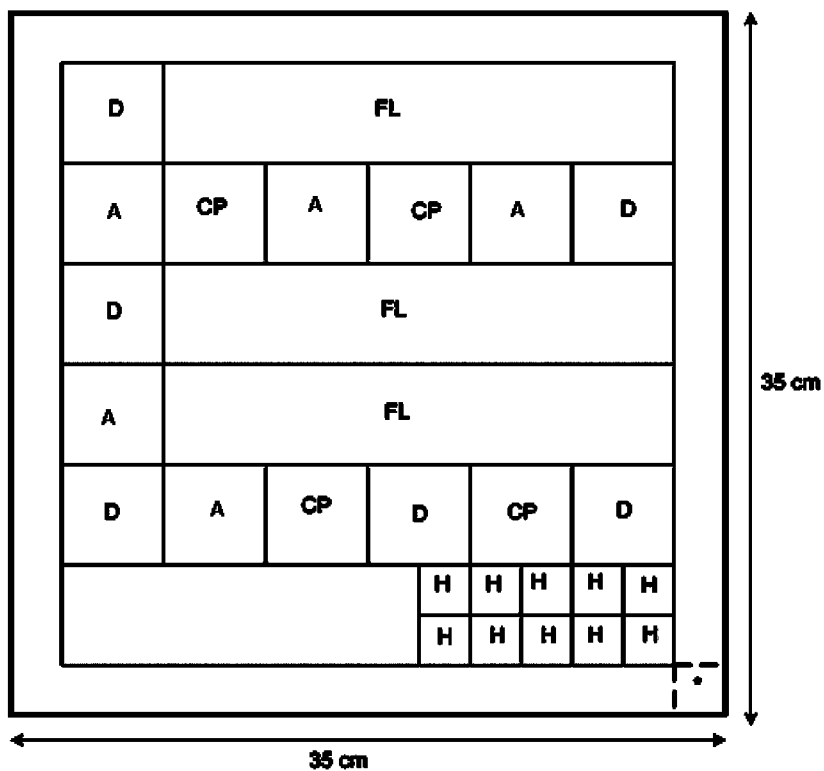


Figura 17. Distribución de probetas de ensayo en un tablero de prueba (Fuente: Elaboración propia)

*: Recorte para eliminar el efecto de borde en el tablero (1,5 cm en cada lado del tablero)

Donde:

- FL : Probeta para ensayo de flexión estática (5 x 25 cm)
- D: Probeta para ensayo de densidad (5 x 5 cm)
- H: Probeta para ensayo de humedad (2,5 x 2,5 cm)
- A: Probeta para ensayo de hinchamiento y absorción de agua (5 x 5 cm)
- CP: Probeta para ensayo de compresión perpendicular (5 x 5 cm)

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la investigación se realizó un arreglo factorial (2x3) bajo un diseño de 2 factores con interacción fija y 3 repeticiones, teniendo en cuenta las variables que se mencionan a continuación, por lo cual el diseño quedó organizado de la siguiente manera:

Fuentes de variabilidad:

- Porcentaje de haces fibrosos (% respecto al peso del cemento)
- Adición de mineralizante

Variables en estudio

- Densidad
- Absorción de agua e hinchamiento en espesor
- Flexión estática
- Resistencia a la compresión

En la Tabla 8 se observa el diseño experimental, con la codificación de los tableros elaborados y los ensayos realizados para cada combinación.

Tabla 8. Diseño experimental de los tratamientos empleados para la elaboración de tableros de fibro-cemento

N° Tablero	Tratamientos		Densidad (g/cm ³)	Absorción de agua (%)	Hinchamiento 2 y 24 H (%)		MOR (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión
	Porcentaje de fibras	CaCl ₂ (%)						
1	5	0	X	X	X	X	X	X
2	5	0	X	X	X	X	X	X
3	5	0	X	X	X	X	X	X
4	5	4	X	X	X	X	X	X
5	5	4	X	X	X	X	X	X
6	5	4	X	X	X	X	X	X
7	10	0	X	X	X	X	X	X
8	10	0	X	X	X	X	X	X
9	10	0	X	X	X	X	X	X
10	10	4	X	X	X	X	X	X
11	10	4	X	X	X	X	X	X
12	10	4	X	X	X	X	X	X
13	15	0	X	X	X	X	X	X
14	15	0	X	X	X	X	X	X
15	15	0	X	X	X	X	X	X
16	15	4	X	X	X	X	X	X
17	15	4	X	X	X	X	X	X
18	15	4	X	X	X	X	X	X

Leyenda:

- Porcentaje de fibras (%): Porcentaje de fibras en la mezclas, porcentaje basado en el peso del cemento.
- CaCl₂: Solución de cloruro de Calcio con el que se mineralizaron las fibras.

Número de ensayos

1 procedencia x 3 porcentajes de fibras x 2 concentraciones de mineralizante x 3 repeticiones=18 Tableros de ensayo.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los datos de ensayos se realizó un análisis de varianza multifactorial según el modelo estadístico de 2 factores (Porcentaje de haces fibrosos y mineralización) de efectos fijos con interacción, con 3 repeticiones. Los datos obtenidos en laboratorio fueron analizados con el programa SPSS PASW Statistics 18, se utilizó el ANVA y el Test de Tukey para comparar las medias de las variables, con un nivel de significación del 5%.

El análisis de resultados se realizó tomando como hipótesis que las medias de las propiedades físico-mecánicas evaluadas son iguales para cada contenido de humedad y que la mineralización de las fibras no afecta dichas propiedades. Se rechazaron las hipótesis con un valor de significancia menor a 5%, aceptando como hipótesis válida que el porcentaje de fibras y la mineralización de las mismas si afectan los valores de propiedades tecnológicas de los tableros elaborados.

El análisis de varianza identifica el origen de la variabilidad de una o más fuentes potenciales, llamadas también *tratamientos*. El objetivo del análisis de varianza es comparar los promedios de los tratamientos e identifica si la variabilidad depende de los tratamientos o de un error aleatorio. Es así que la hipótesis inicial de la investigación es:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$$

Donde μ_i representa cada tratamiento aplicado, siendo estos las diferentes combinaciones de 3 proporciones de haces fibrosos: 5%; 10% y 15% y dos tratamientos a las fibras: CaCl al 4% y 0% (Testigo)

En donde:

μ_0 = porcentaje de haces fibrosos + mineralización

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RENDIMIENTO

El peso de las 4 cañas utilizadas para obtener las fibras fue en total de 37.25 kg, (CH: 35%).

El proceso de astillado tuvo un rendimiento de 85,6%, mientras que el rendimiento del desfibrado fue de 67,25%. El proceso de pulpeado produjo, además de la obtención del material fibroso: (i) Solubilización de extractivos; (ii) solubilización de algunos tipos de hemicelulosa solubles en álcalis; (iii) Hidrólisis de la lignina de la lámina media.

El rendimiento del proceso es inferior al señalado por Ortiz (1987) para este tipo de pulpeado, sin embargo se debe considerar que hubo pérdidas considerables dentro del proceso, el astillado de las cañas fue realizado con machete y no se logró un tamaño homogéneo de astillas, con lo que la cantidad de astillas sin pulpear luego del desfibrado también fue considerable.

4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MATERIA FIBROSA

En el proceso de obtención de fibras se obtuvieron haces fibrosos de diferentes tamaños, se hizo una primera clasificación utilizando un tamiz de malla #6, separando el material obtenido en 2 fracciones en 2 tamaños diferentes, la mayor representa el 56% y la menor el 44% del material obtenido. En la figura N° 18 se observa la pulpa obtenida y las dos fracciones resultantes luego del tamizado. Las dos fracciones fueron utilizadas para elaborar los tableros de prueba. El tamaño de los haces fibrosos obtenidos permitió que la mezcla puede ser más homogénea al ser un material fino de fácil manejo.

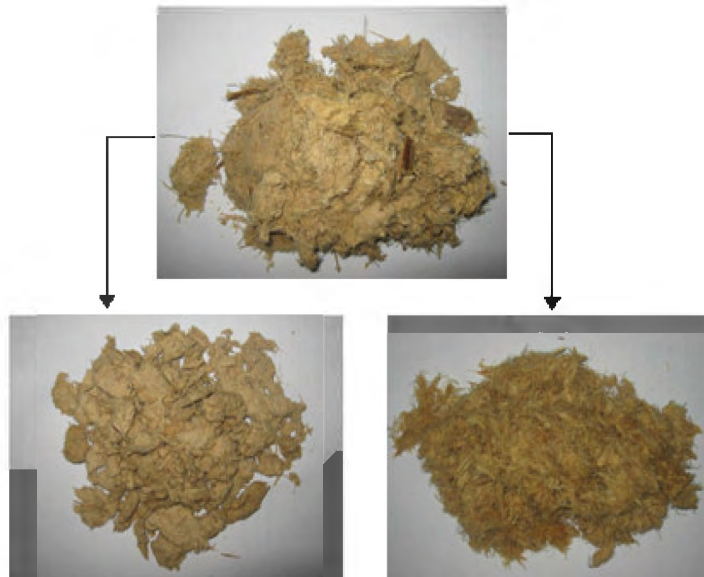


Figura 18. Haces fibrosos obtenidos en el proceso mecánico-químico y separado por tamaño (Foto: A. Espinoza)

4.2.1 Grado de desfibrado Schopper – Riegler

Este parámetro da un acercamiento sobre el grado de refinamiento que se ha obtenido con la pulpa, relacionándolo con la velocidad de drenaje de una suspensión diluida de la pulpa obtenida. Esta velocidad de drenaje está relacionada con las condiciones de la superficie de la pulpa y la dilatación de los haces fibrosos, es así que indica el efecto del tratamiento mecánico aplicado.

Se determinó que las fibras obtenidas presentan un valor de drenabilidad de 13°SR.

4.2.2 Composición fibrosa Bauer – McNett

Este parámetro da una caracterización de la distribución de tamaño de los haces fibrosos obtenidas en el proceso (ver Figura 19). Las pulpas mecánicas se encuentran fibras largas (0.8 a 4.5 mm), fibras cortas (0.2 a 0.8 mm) y fibras muy finas que por su parte se clasifican como harinas (0.02 a 0.2 mm) y mucflagos (menos de 0.02 mm), y que la cantidad de fibras muy finas en la pulpa mecánica (la proporción de pulpa que pasa por un filtro de 100) incluye habitualmente del 30% al 60% de la pulpa. (Casey, 1990).

En la tabla 9 se observa que la proporción que pasó el filtro 100 fue de 41,04 %, este resultado concuerda con lo descrito por Casey (1990).

Tabla 9. Clasificación de haces fibrosos obtenidos según la retención por tipo de malla

# Tamiz	%
Tamiz +30	39,11
Tamiz -30/+50	19,85
Tamiz -50/+100	13,39
Tamiz -100/+200	8,47
Finos (-200)	19,18

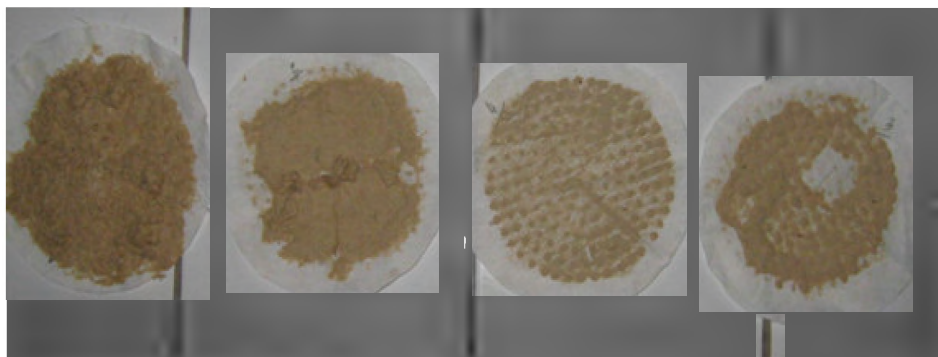


Figura 19. Haces fibrosos clasificados según mallas 30; 50; 200 y 100 respectivamente. (Foto: A. Espinoza)

4.2.3 Contenido de humedad

La humedad gravimétrica para los haces fibrosos de bambú y para las astillas fue la siguiente: los haces fibrosos presentaron un contenido de humedad promedio de 11,98%, mientras que las astillas presentaron en promedio 14,04%.

4.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

4.3.1 Contenido de extractivos

En la tabla 10 se observa que el contenido de extractivos para los dos solventes es mayor para en el caso de las astillas (12,81% y 4,53% respectivamente para alcohol y agua caliente), que no han pasado por ningún tratamiento, mientras que los haces fibrosos ha pasado por un

proceso químico-mecánico que incluyó un tratamiento con NaOH, lo que produce una reducción significativa en el contenido de extractivos. Se realizaron 3 repeticiones para cada caso.

Tabla 10. Contenido de extractivos en cañas y haces fibrosos.

Material	Extractivos en agua caliente (%)	Coefficiente de variabilidad (%)	Extractivos en alcohol (%)	Coefficiente de variabilidad (%)
Cañas	12,81	0,47	4,53	10,06
Haces fibrosos	7,24	1,25	1,58	12,46

4.3.2 Contenido de cenizas

El contenido de cenizas totales indica la cantidad de material que queda remanente luego de ser sometido a ignición. Este material remanente está formado principalmente por minerales esenciales como generalmente se encuentran cantidades altas de potasio, magnesio y calcio. La tabla 11 muestra contenidos similares de cenizas entre astillas y pulpa. Se realizaron 3 repeticiones para cada caso.

Tabla 11. Contenido de cenizas en astillas y pulpa de *G. angustifolia*

Material	Contenido de cenizas (%)	Coefficiente de Variabilidad (%)
Cañas	2,12	2,13
Haces fibrosos	2,42	2,66

4.3.3 Contenido de Holocelulosa

Las holocelulosas comprenden a la celulosa y la hemicelulosa. El contenido de holocelulosas (Tabla 12) dentro del material señalan el contenido de material de refuerzo, pues las fibras están compuestas en su mayoría por holocelulosas y son estos compuestos los que son susceptibles de ser degradados con el tiempo, debido a los tratamientos previos o por la matriz misma. Se realizaron 3 repeticiones para cada caso.

Tabla 12. Contenido de holocelulosas en astillas y pulpa de *G. angustifolia*

Material	Contenido de Holocelulosas (%)	Coefficiente de variabilidad (%)
Cañas	54,23	0,43
Haces fibrosos	66,25	0,27

4.3.4 Contenido de lignina

En la Tabla 13 se observa que el contenido de lignina para las astillas es de 26,31%, mientras que la pulpa obtenida presenta un contenido de lignina de 22,61%. Para el caso de las astillas el valor obtenido coincide con el porcentaje de lignina para la especie que indica Cáceres (1988), asimismo se puede observar el efecto del tratamiento con NaOH sobre el contenido de lignina en las fibras obtenidas, esta reducción de lignina facilitó el proceso de desfibrado mecánico pues la lignina forma parte de la lámina media, que une entre sí a las fibras. Se realizaron 3 repeticiones para cada caso.

Tabla 13. Contenido de lignina en astillas y pulpa de *G. angustifolia*

Material	Contenido de Lignina (%)	Coefficiente de Variabilidad (%)
Cañas	26,31	0,61
Haces fibrosos	22,61	1,46

4.4 EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS TABLEROS

4.4.1 Contenido de humedad

En la tabla 14 se observa el contenido de humedad de los tableros ensayados luego de 28 días de fraguado. Los resultados completos del ensayo se presentan en el Anexo 11.

Tabla 14. Contenido de humedad de tableros obtenidos.

Tratamientos		Contenido de humedad (%)
Fibras (% con respecto al cemento)	CaCl₂ (%)	
5	0	14.02
5	4	14.19
10	0	14.12
10	4	14.37
15	0	14.79
15	4	14.90

4.4.2 Densidad

La densidad es uno de los parámetros más importantes pues influye en otras propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la compresión y la flexión estática del material. La densidad de los tableros disminuye con el aumento del porcentaje de fibras dentro de la mezcla

debido a la menor densidad de la pulpa. Una fuente importante de variabilidad para determinar la densidad, y que también, va a afectar a la determinación de las demás propiedades mecánicas es la homogeneidad de la mezcla, debido a deficiencias en la preparación de la pasta de cemento o en la mezcla final con las fibras. Los resultados completos se presentan en el Anexo 12.

Tabla 15. Densidad según porcentaje de fibras.

Tratamientos		DENSIDAD (gr/cm ³)
Haces de Fibras (% respecto al cemento)	CaCl ₂ (%)	
5	0	1,57
5	4	1,57
10	0	1,39
10	4	1,34
15	0	1,20
15	4	1,21

Los resultados presentados en la Tabla N° 15 presentan los promedios encontrados en los 3 tableros ensayados para cada tratamiento para la determinación de densidad para las diferentes proporciones de mezclas, además de los coeficientes de variabilidad para cada proporción de fibras, que presentan valores muy bajos, lo que indica que las fibras se encuentran repartidas de manera homogénea dentro de la mezcla.

El efecto de la densidad en las propiedades mecánicas será tratado en el análisis de resultados de cada una de las propiedades mecánicas evaluadas.

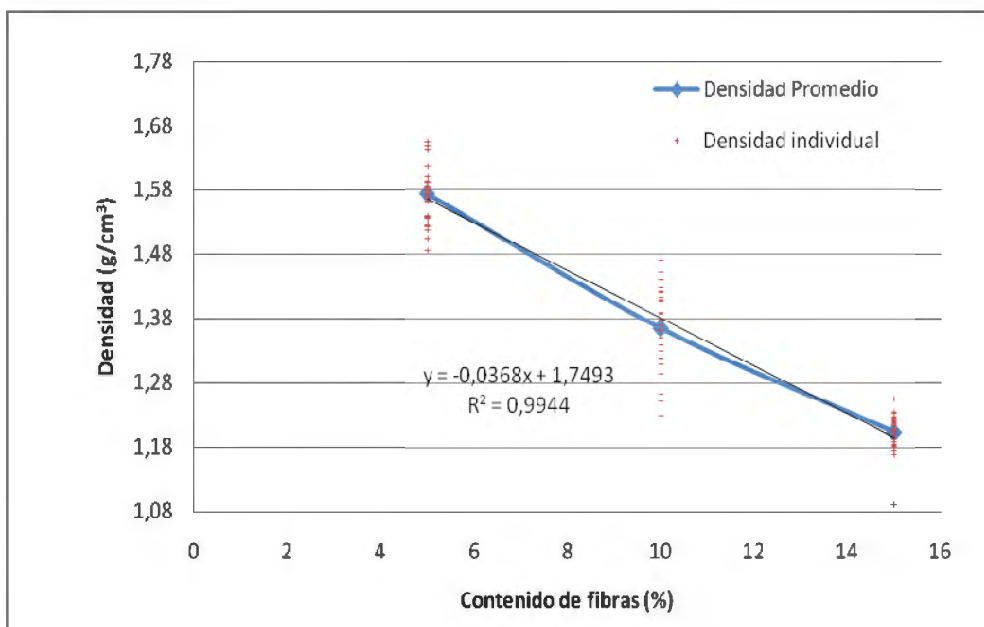


Figura 20. Densidad vs Contenido de fibras

En la Figura N° 20 se puede observar que la relación entre la densidad y el contenido de haces fibrosos dentro de la mezcla es lineal, mientras que el coeficiente de correlación (99,42%) nos indica el grado de influencia de las fibras sobre la densidad. Se puede afirmar que la diferencia entre las medias presentadas por tableros elaborados con 3 diferentes porcentajes de fibras es significativa a un nivel de significancia del 95%. Tal como demuestra el Test de Tukey, que se observa en la tabla 16.

Tabla 16. Test de Tukey para densidad

(I)Porcentaje de fibras (%)	(J)Porcentaje de fibras (%)	Diferencia de medias (I-J)	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
5	10	0,2067	0,1629	0,2504
5	15	0,3667	0,3229	0,4104
10	15	0,1600	0,1163	0,2037

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

4.4.3 Absorción de agua

Se puede observar mediante el ANVA (Anexo 10) que el porcentaje de haces fibrosos tiene una influencia significativa sobre la absorción de agua, si bien se pueden observar pequeñas diferencias entre los valores de tableros con haces de fibrosos testigo y mineralizadas, sin estas diferencias no pueden ser atribuidas a la mineralización, tal como demuestra el análisis estadístico. Los resultados completos se presentan en el Anexo 13.

Los resultados presentados en la tabla 17 indican que el porcentaje de absorción de agua aumenta directamente proporcionalmente al aumento del porcentaje de haces fibrosos dentro de las mezclas, con un valor mínimo de absorción de 10,13% para tableros con 5% de haces fibrosos y un valor máximo de 22,46% para tableros con 15% de haces fibrosos.

Tabla 17. Absorción de agua en tableros según porcentaje de fibras y mineralización.

Tratamientos		Absorción de agua (%)	
Haces de Fibras (% respecto al cemento)	CaCl ₂ (%)	2 Horas	24 Horas
5	0	10,13	10,67
5	4	10,11	10,70
10	0	15,13	15,67
10	4	15,43	16,39
15	0	21,14	22,46
15	4	21,03	22,46

En la figura 21 se muestra que el aumento en la cantidad de haces fibrosos provoca un aumento en la absorción de agua, tanto para la inmersión en 2 horas como en 24 horas. Los tableros con mayor porcentaje de haces fibrosos presentan mayor higroscopicidad en su estructura, lo que permite la entrada de una mayor cantidad de agua. Los coeficientes de correlación son altos (> 95%) para ambos casos (2 y 24 horas), corroboran la influencia descrita.

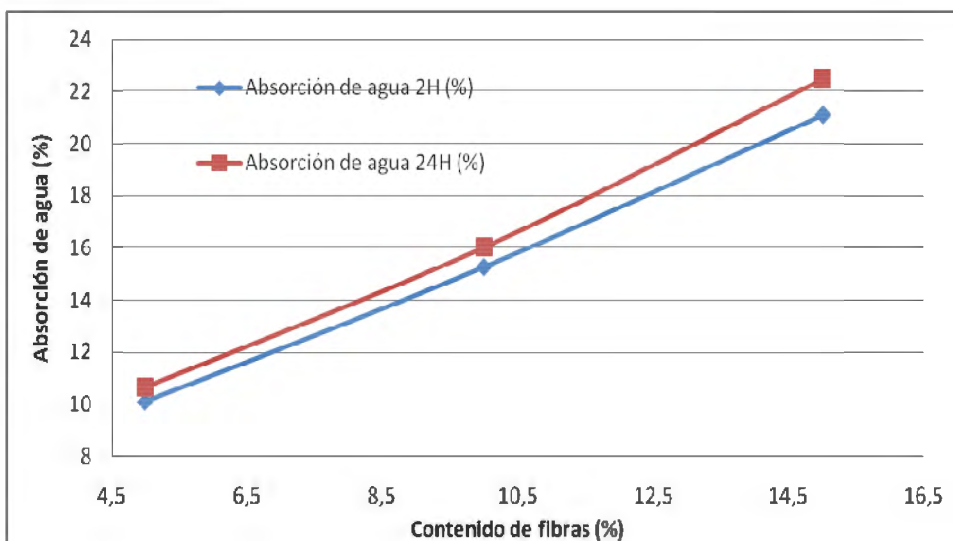


Figura 21. Efecto del porcentaje de fibras en el tablero sobre la absorción de agua (2 y 24 horas) de tableros de fibrocemento con *G. angustifolia*

4.4.4 Hinchamiento en espesor

Según los resultados del ANVA (Anexo 10) se puede observar la gran influencia que ejerce el porcentaje de haces fibrosos en la mezcla sobre el hinchamiento en espesor de los tableros, mientras que la mineralización no presenta una influencia significativa. Los valores para los diferentes tratamientos se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Hinchamiento en espesor en 2 y 24.

Tratamientos		Hinchamiento en espesor (%)	
Haces de Fibras (% del cemento)	CaCl ₂ (%)	2 Horas	24 Horas
5	0	1,48	1,24
5	4	1,34	1,34
10	0	1,24	1,28
10	4	1,17	1,06
15	0	1,14	1,20
15	4	1,17	1,17

Se encuentra una tendencia a disminuir el hinchamiento con aumento de la cantidad de haces fibrosos en los tableros, esto se puede explicar por la disminución de la cantidad de cemento en la mezcla de los tableros, por tanto la mezcla se vuelve menos higroscópica, con lo cual el hinchamiento disminuye. Los altos valores de los coeficientes de correlación (>95%) muestran la influencia de la cantidad de haces fibrosos sobre el hinchamiento y la estabilidad dimensional del material. Los valores completos de los ensayos se presentan en el Anexo14.

En la figura 22 se presentan los valores de hinchamiento para 2 y 24 horas y su relación con la densidad

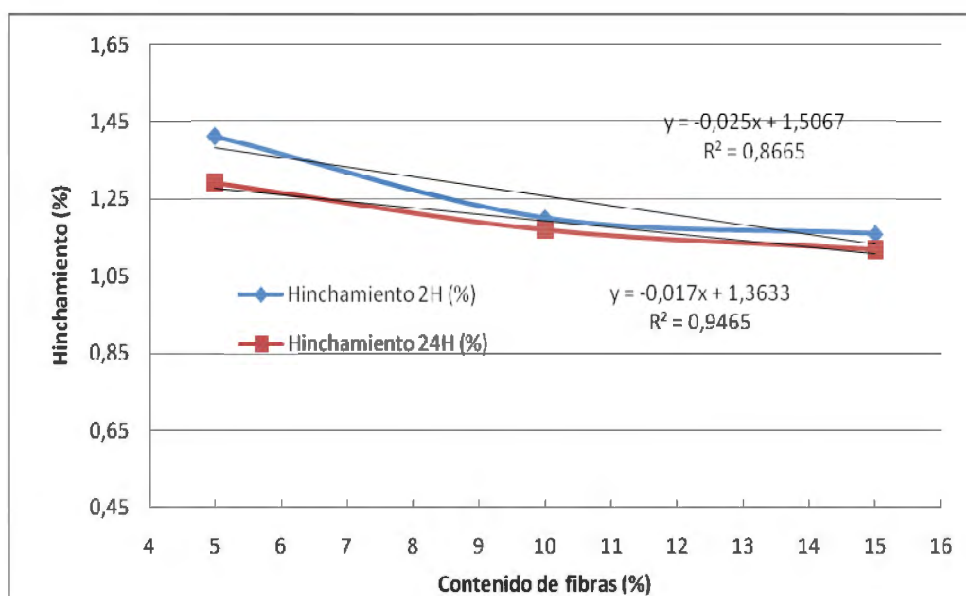


Figura 22. Efecto del porcentaje de haces fibrosos en los tableros sobre el hinchamiento del espesor de tableros de fibrocemento con *G. angustifolia* para 2 y 24 horas.

El Test de Tukey (Tabla 19) para el hinchamiento en espesor muestra que para el hinchamiento en 2 horas existen diferencias significativas entre los tableros con 5% y 10%, mientras que entre los tableros de 10% y 15% no se presentan diferencias que puedan ser consideradas significativas, mientras que para el caso de el hinchamiento para las 24 horas no se presentan diferencias significativas entre las diferentes cantidades de haces fibrosos adicionadas.

Tabla 19. Test de Tukey para hinchamiento en espesor.

(I)Porcentaje de fibras (%)	(J)Porcentaje de fibras (%)	Diferencia de medias (I-J)	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
5	10	0,2083*	0,0865	0,3302
5	15	0,2517*	0,1298	0,3735
10	15	0,0433*	-0,785	,1652

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

4.5. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS

4.5.1 Resistencia a la compresión

Los resultados del ANVA (Anexo 10) muestran que el porcentaje de haces fibrosos tiene un efecto significativo sobre la resistencia a la compresión de los tableros ensayados, mientras que no existen diferencias significativas para los valores de resistencia a la compresión entre tableros con haces fibrosos mineralizadas.

Para tableros de 25 mm la reducción máxima permitida es de 15%, como se observa la reducción de todos los tipos de paneles ensayados son largamente inferiores a la permitida, siendo 1,98 cm el promedio de los tableros ensayados. Se observa además que el contenido de fibras dentro de las mezclas ensayadas presentan un comportamiento similar, tomando los valores de reducción en el espesor se puede afirmar que a un nivel bajo de adición de fibras estas aumenta la resistencia a la compresión de la matriz de cemento. Las fibras absorben la energía, de no estar presentes las fibras no existiría compresión, en una matriz de cemento sin adición de fibras las probetas fallarían.

En la tabla 20 se muestran los valores promedios de reducción del espesor para cada tipo de tablero ensayado. En el Anexo 15 se presentan los valores completos del ensayo de resistencia a la compresión.

Tabla 20. Resistencia a la compresión

Tratamientos		Compresión (%)
Haces de fibras (% con respecto al cemento)	CaCl ₂ (%)	
5	0	0,51
5	4	0,50
10	0	0,75
10	4	0,75
15	0	0,97
15	4	0,96

El Test de Tukey (Tabla 21) muestra que existen diferencias significativas entre las medias entre cada uno de los porcentajes de haces fibrosos ensayados, por lo que se puede afirmar que el aumento de haces en la mezcla ocasiona una mayor compresión en los tableros. Asimismo se puede afirmar que no existen diferencias significativas en los valores de compresión que puedan ser influenciados por la adición de cloruro de calcio.

Tabla 21. Test de Tukey para resistencia a la compresión

Compresión (%) DHS de Tukey				
(I)Porcentaje de Fibras	(J)Porcentaje de Fibras	Diferencia de medias (I-J)	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
5	10	-0.24	-0.38	-0.10
5	15	-0.46	-0.60	-0.32
10	15	-0.22	-0.36	-0.08

La Figura N° 23 presenta la relación entre el contenido de haces fibrosos y el porcentaje de espesor comprimido, observándose que a una mayor cantidad de fibras dentro de la mezcla el porcentaje del espesor comprimido será mayor.

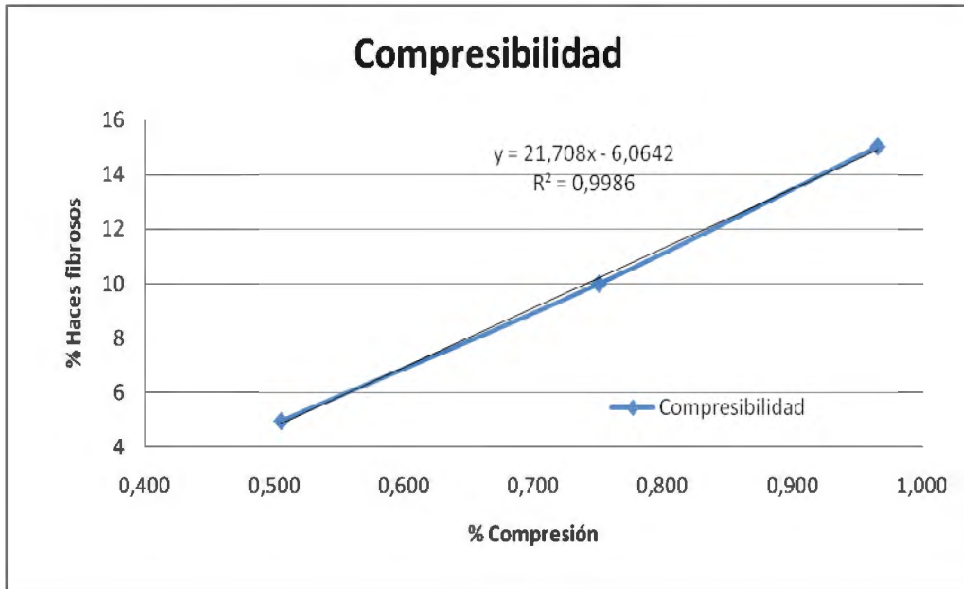


Figura 23. Porcentaje de compresión del espesor por porcentaje de haces fibrosos en tableros de fibro-cemento

En la figura N° 24 se presenta la relación entre la densidad y los valores de compresión obtenidos en los ensayos, observado la curva se puede afirmar que a una mayor densidad disminuye la compresión presentada por los tableros, esto se debe a que los haces de fibras absorben la energía ejercida y al ser un material mucho más flexible que el cemento puede soportar ser sometido a presión sin fallar. Se puede afirmar que la densidad es un buen predictor del comportamiento a la compresión de los tableros de fibro-cemento.

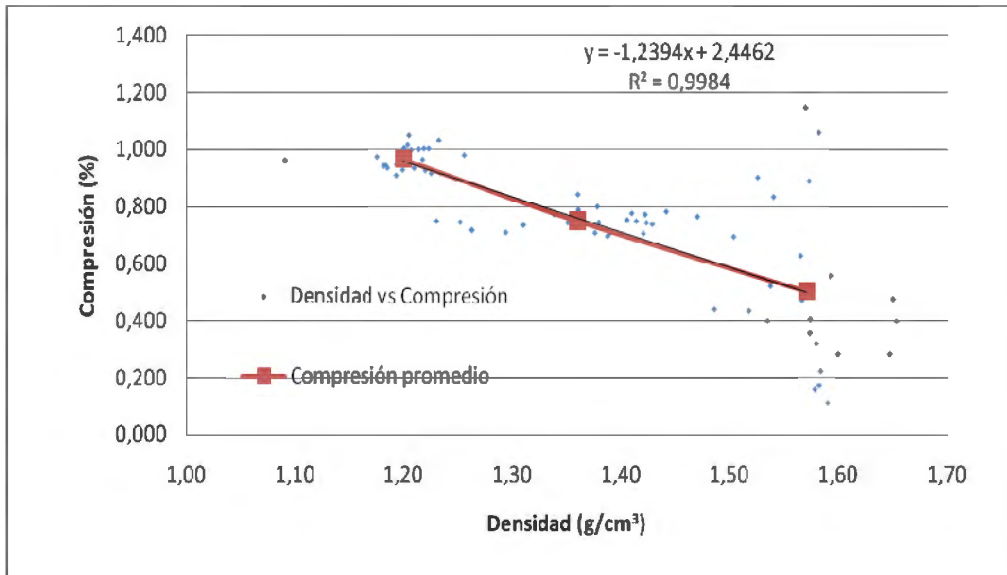


Figura 24. Relación entre densidad de los tableros ensayados y porcentaje de compresión en espesor para tableros de fibro-cemento

4.5.2 Flexión Estática

En el caso de la flexión estática, representada por el Módulo de Ruptura (MOR) el análisis estadístico muestra que los valores del módulo de ruptura son significativamente influenciados por el porcentaje de fibras de cada tablero ensayado, igual caso ocurre con el cloruro de calcio. El Test de Tukey (Tabla 22) muestra las diferencias existentes entre los promedios del MOR encontrados para cada porcentaje de fibras ensayado.

Tabla 22. Test de Tukey para módulo de ruptura

(I)Porcentaje de fibras (%)	(J)Porcentaje de fibras (%)	Diferencia de medias (I-J)	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
5	10	9,7950*	26,464	169,436
5	15	17,8833*	107,348	250,319
10	15	8,0883*	,9398	152,369

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

En la Tabla 23 se presentan los valores promedio del módulo de ruptura para cada tipo de tablero, según el porcentaje de haces de fibras dentro de las mezclas y el tratamiento previo de las mismas. En el Anexo 16 se observan los valores de los ensayos para cada tablero.

Tabla N° 23 Módulo de ruptura en Flexión Estática por porcentaje de fibras y mineralización.

Tratamientos		MOR (kg/cm ²)	Coeficiente de Variabilidad (%)
Haces Fibras (% del cemento)	Mineralizante (%)		
5	0	34,99	21,35
5	4	42,33	15,05
10	0	27,68	25,82
10	4	30,05	24,94
15	0	19,81	23,75
15	4	21,75	13,98

Los valores más altos presentados con tableros elaborados con haces de fibras mineralizados pueden responder al efecto de un mejor fraguado de las mezclas, así se acentúa el efecto de las fibras sobre el cemento debido a que el módulo de ruptura depende en mayor grado del nivel de cohesión entre las fibras y el cemento. Los coeficientes de variabilidad dentro del mismo tipo de tableros para 4 de los 6 tipos de tableros elaborados son altos, con un coeficiente máximo de 25,82%, estos valores pueden deberse a una mezcla no homogénea entre los haces de fibras y la pasta de cemento o a una pasta de cemento con partículas de cemento sin hidratar. Estas deficiencias pueden haberse visto acentuadas debido a que las mezclas fueron realizadas manualmente.

Los gráficos arrojados en el análisis previo y los resultados mostrados en la figura 25 muestran el efecto de la mineralización con CaCl₂ en el módulo de ruptura (MOR), esto coincide con lo señalado por Ramachandran (2001) que predice un aumento en la resistencia del concreto cuando se utiliza cloruro de calcio como acelerante del fraguado.

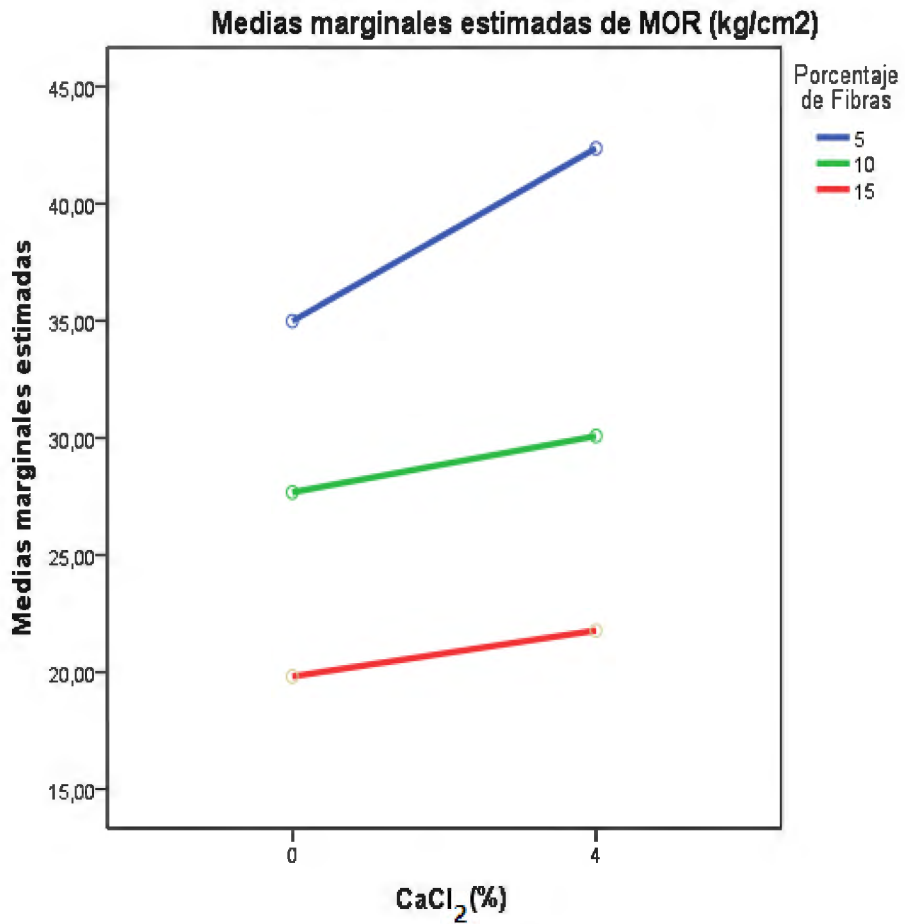


Figura 25 MOR vs CaCl₂

Otro de los factores que están relacionado con el módulo de ruptura es la densidad, esta relación se puede observa en la figura N° 26, donde se puede observa que el coeficiente de correlación es cercano a 1 (0,995) lo que permite asegurar que existe un efecto significativo de la densidad sobre el módulo de ruptura del material.

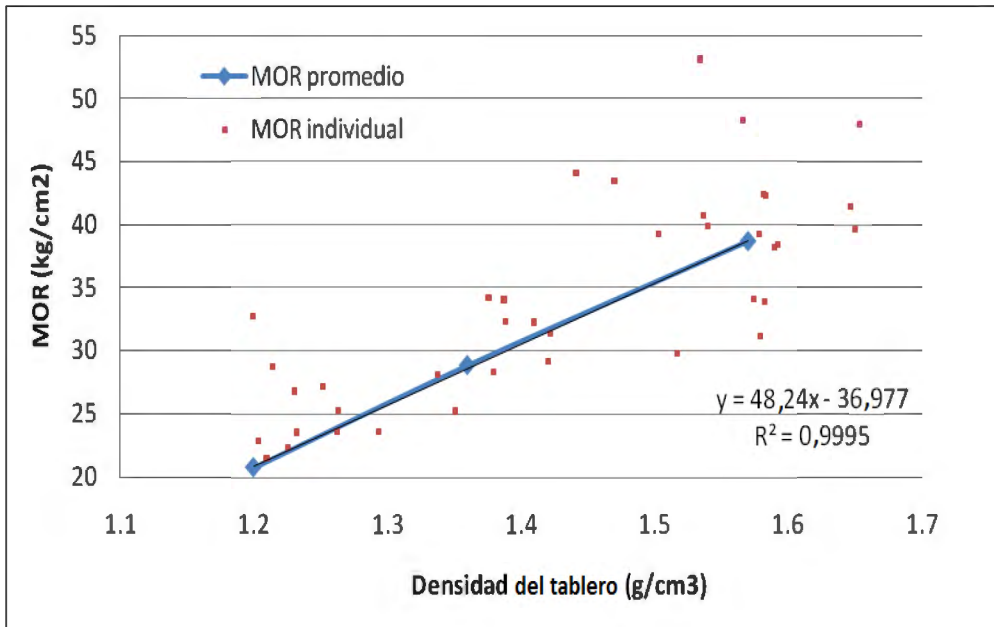


Figura 26. Módulo de ruptura vs. Densidad

Al comparar los valores de MOR obtenidos con los valores mínimos requeridos por la Norma DIN 1101, para tableros de 15 mm de espesor se requiere un valor mínimo de 17 Kg/cm², los valores de MOR para los tres porcentajes de haces de fibras ensayados superan estos valores mínimos en promedio en valores individuales de cada ensayo.

5. CONCLUSIONES

- Se determinó que los haces fibrosos de *G. angustifolia* son aptos para la elaboración de tableros aglomerados con cemento, presentando la mezcla un fraguado completo y logrando un material con características tecnológicas acordes con la norma DIN 1101.
- La presencia de haces fibrosos y su cantidad dentro de la mezcla influye en las propiedades del producto final, siendo la variable más importante al momento de diseñar una mezcla que pueda presentar propiedades de acuerdo al uso final que se quiera dar.
- La mineralización de los haces fibrosos con una solución al 4% de CaCl_2 incrementa los valores del módulo de ruptura para todas las proporciones de mezclas ensayadas. En los demás propiedades no existe evidencia estadística de que influya en los valores presentados por los tableros.
- El método de obtención de los haces fibrosos influye en la aptitud de éstas con el cemento, reduciendo los contenidos de extractivos y lignina, aumentando así la viabilidad de un correcto fraguado de la mezcla.
- Los valores de compresibilidad presentados por los tableros están muy por debajo de los límites máximos señalados en la norma DIN 1101. La compresión presentada en los tableros disminuye en relación directa con el porcentaje de haces de fibras utilizado para cada tipo de tablero.
- La densidad de los tableros disminuye en forma lineal, y la absorción de agua aumenta también en forma lineal a medida que aumenta la proporción de haces de fibras dentro de las mezclas

6. RECOMENDACIONES

- Efectuar estudios de microscopía electrónica para verificar a nivel microscópico la unión entre los haces fibrosos y la matriz, además se podría apreciar la superficie de las fibras, lo que daría un indicativo acerca de la capacidad de adhesión entre las fibras y la matriz.
- Investigar en otros métodos para la extracción de las fibras de *G. angustifolia* que puedan permitir obtener fibras más homogéneas y en los posibles efectos que puedan tener los tratamientos químicos sobre la durabilidad de las fibras dentro de la matriz.
- Investigar la aptitud de otras especies forestales no maderables para la elaboración de tableros aglomerados con cemento, especialmente aquellas que tengan un crecimiento rápido y ciclos de corta.
- Ampliar la investigación en la elaboración de tableros ondulados, tuberías, entre otros usos que pueden ampliar el mercado para el producto.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AISS .ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE LA SEGURIDAD SOCIAL (2006) El Amianto: Hacia una prohibición mundial. Consultado el 02 de Agosto de 2009. Disponible en: <http://www.issa.int/esl/Recursos/Publicaciones-de-la-AISS/El-amianto-hacia-una-prohibicion-mundial>
- ARBELÁEZ, A.1997. Morteros reforzados con fibras de bambú Revista de la Facultad de Agronomía Medellín, CO. Vol. 50 n° 2.
- BERALDO, A. 2008. Compósita Biomassa Vegetal e Cimento CBVC. Facultad de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas.
- CÁCERES, H. 1989. Bambusoideas de Colombia. Características químicas y biométricas de algunos bambúes como fuente de pulpa para papel. Universidad Industrial de Santander. Santander, CO.
- CASEY, J. 1990. Pulpa y Papel. Química y Tecnología Química. Vol I. Limusa. México D.F., MX. 200 p.
- CASTAÑO, F. y Moreno, R. 2004. Guadua para todos: cultivo y aprovechamiento. Ed. B Trujillo. Ed. Rev. Bogotá, CO. 188p.
- CASTRO, J., Naaman, A. E. 1981. Cement Mortar Reinforced with Natural Fibers. ACI Journal, Proceedings, Vol. 78 (1981) 69-78, No. 1. Miami, EU.
- CIGA (Centro De Investigaciones en Geografía Aplicada). Atlas de Cajamarca. Consultado el 15 de agosto de 2009. Disponible en http://www.atlascajamarca.info/index.php?option=com_content&task=view&id=77&Itemid=19
- CLARK, L.G., W.-P.Zhang & J.Wendel.1995.A phylogeny of the grass family (Poaceae) based on ndh F sequence data. Systematic Botany 20:436-460.
- CRUZ, T. 1982. Aptitud de la madera de 5 especies forestales del Perú para la fabricación de paneles de fibro-cemento. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE. UNALM. 103 p.
- DECRETO SUPREMO 004-2008-AG. 2008. Ley de promoción de instalación de plantaciones de caña brava y bambú. Lima, PE.

- DIX R. J. H. R. 1988. The principles of cement-bonded particleboards manufacture. International Conference of fiber and particleboard bonded with inorganic binder, Spokane, SA, v. 1, p.136-139.
- FAO/UNEP. 2004. Inclusión del producto químico amianto crisotilo y aprobación del documento de orientación para la adopción de decisiones. Nota de la secretaría.
- FILHO, A. C. 1990. Mortar Reinforced with Sisal - Mechanical Behaviour in Flexure. Second International RILEM Symposium Proceedings, Salvador Bahia, BR, Chapman and Hall, edited by H. S. Sobral, pp. 130 – 138.
- Grass Phylogeny Working Group (GPWG). 2001. Phylogeny and subfamilial classification of the grasses (Poaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 88: 373-457.
- GROSSER, D. y W. Liese. 1971. The anatomy of bamboo culms. 208p Consultado el 30 de Junio de 2009. Disponible en: http://books.google.es/books?id=sbYpOU_pjsC&printsec=frontcover&dq=The+anatomy+of+bamboo+culms&hl=es&ei=r5CGTIvXLIK8lQeRuLSWDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCsQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false.
- GUZMÁN, D. 2003. Conexiones y losas con bambú. Edificaciones sismorresistentes de bambú. Seminario Taller. Lima, PE.
- HIDALGO, O. 1974. Bambú, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería y artesanía. Bogotá, CO. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. 318 p.
- HUSSIN, M. W., Zakaria, F. 1990. Prospects for Coconut-Fiber-Reinforced Thin Cement Sheets in the Malaysian Construction Industry. Second International RILEM Symposium Proceedings, Salvador Bahia, BR. Chapman and Hall, edited by H. S. Sobral, pp. 77 – 86.
- INRENA (INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES). 1996. Guía explicativa del mapa forestal. Lima, PE.
- INSTITUTO BRITÁNICO DE NORMAS TÉCNICAS. 1981. Especificaciones para la preparación de tablas de fibro-cemento hasta 125 mm. de espesor. Londres, GB.
- INEI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA). 2007 Informe final del Censo Nacional de Población y vivienda 2007. Material predominante de paredes y pisos. Lima, PE.

- JÚAREZ A., C., P. Rodríguez, R. Rivera, M. Rechy de Von Roth 2003. Uso de las fibras naturales de Lechuguilla como refuerzo en el concreto. Revista Ciencia UANL/Vol. VI, N° 4. México D.F., MX.
- JUDD, W. S., Campbell, C. S. Kellogg, E. A. Stevens, P.F. Donoghue, M. J. 2002. «Poaceae» Plant systematics: a phylogenetic approach, Sinauer Assoc, 287-292. ISBN 0-87893-403-0.
- JUDZIEWICZ, E.J. & L.G. Clark. 1993. The South American species of *Arthrostylidium* (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae). Systematic Botany 18(1): 80-99.
- JUDZIEWICZ, E.J. L.G. Clark, X. Londoño, & M.J. Stern. 1999. American bamboos. Washington, D.C. EU. Smithsonian Institution Press. 392p.
- KENETH, S. Kjell, Y. 1982. Production of Chemimechanical Pulp from Eucalyptus Design and Product Quality. XV ABCP Annual Congress The Paper Week. BR, 463-478p.
- KOHLER R. 1966. La fabricación de la tabla de pajilla de madera y cemento. Boletín N° 20-21 IFLA. Mérida, VE.
- LA-TORRE, M.I., Cano, A; y Tovar, O. 2003. Las Poáceas del Parque Nacional Yanachaga-Chemillén, Oxapampa, PE. Parte I: Bambusoidae. Rev. Perú biol., Julio /Diciembre. 2003, vol.10, no.2, p.145-154.
- LIESE, W. 1998. The Anatomy of Bamboo Culms. INBAR Technical Report N° 18. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing.CH.
- LONDOÑO, X. 1990. Aspectos sobre la distribución y la ecología de los bambúes de Colombia (Poaceae: Bambusoideae) Bogotá, CO. Caldasia 16 (77): 139-153.
- LONDOÑO, X. 1998. A decade of observations of a *Guadua angustifolia* plantation in Colombia. California, EU. J. American. Bamboo Society. 12(1):37-43
- LONDOÑO, X. 2002. Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. Bamboo Science & Culture. California, CO. The Journal of the American Society of Bamboo 16(1):18-31.
- LÓPEZ, J.A; Little, E; Ritz, G; Rombold, J; Hahn, W. 1987. Árboles comunes del Paraguay: Ñande yvyra mata kuera. Asunción, PA, Cuerpo de Paz, 425 p.
- MINAG (MINISTERIO DE AGRICULTURA). 2008. Programa para el desarrollo de la Amazonía. Plan Nacional de Promoción del Bambú. Lima, PE.

- MINAG (MINISTERIO DE AGRICULTURA).2008. Programa para el desarrollo de la Amazonía. “Cultivo y Manejo del Bambú”. Paquete tecnológico. Lima, PE.
- MONTIEL, M. 1998.Cultivo y uso del bambú en el neotrópico. San José, CR Editorial Universidad de Costa Rica. 86 pp.
- NORIEGA, M.T. 1996. Aptitud del *Eucalyptus globulus* en la preparación de tableros de fibro-cemento. Tesis (Mg. Sc.). Lima, PE. UNALM. 121 p.
- MOREIRA, A. 1986. The Use of Sisal Fiber in Cementitious Pastes and Mortars Physical and Mechanical Properties, Joint Symposium RILEM/CIB/NCCL, Baghdad IQ, October pp. C 97 – C 106.
- MORENO. L.; L. Osorio; E, Trujillo. 2006. Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibras de *Guadua angustifolia*. Revista Ingeniería & Desarrollo. Numero 20. 125-133 PP. Julio-Diciembre 2006.Barranquilla, CO.
- NEVILLE A., 1989. “Tecnología del concreto”, Instituto Mexicano del Cemento y del concreto. México D.F., MX. Ed. Limusa, 549 p.
- NIETO, L 2008. Estudio anatómico de los culmos de “Bambú macho” (*Guadua angustifolia* Kunth) y “Bambú hembra” (*Bambusa vulgaris* Schard. Ex J.C. Wendl) del distrito de Santa Cruz de Flores, Cañete, Lima. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE.UNALM. 68 p.
- OGAWA, K., T. Hirogaki, E. Aoyama, H. Imamura. 2008. Bamboo fiber extraction method using a machining center. Kansai, JP. Journal of Advanced Mechanical Design, systems and Manufacturing. Vol. 2 (2008) N° 4. 550-559 pp.
- OLIVARES, M., C. Galán, J. Roa. 2003. Los composites: Características y aplicaciones en la edificación. Informes de la construcción, Vol. 54, N° 484. Sevilla, ES.
- ORTIZ, M.S. 1987. Pulpa mecanoquímica a la soda en frío y a la soda sulfito a partir del *Eucalyptus globulus* Labill. Tesis para (Ing. Forestal). UNALM. Lima, PE. 97 p.
- PASQUEL, E. 1998. Tópicos de Tecnología del Concreto. 2° Edición. Lima, PE. Ediciones Colegio de Ingenieros del Perú. Consejo Nacional. 380p.
- PARAMASIVAN, P., Nathan, G. K., Das Gupta, N. C. 1984. Coconut Fiber Reinforced Corrugated Slabs. Int. J. Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 6, No. 1, pp. 19 –27. 1984.

- PÉREZ FLOREZ, A. M. 2006. *Guadua angustifolia* Kunth, 1822. Consultado el 20 de Junio de 2009 .Disponible en: <http://www.siac.net.co/sib/catalogoespecies/especie.do?idBuscar=280&method=displayAAT>.
- RAMACHANDRAN, V, J. Beaudoin. 2001. Handbook of analytical techniques in concrete science and technology. Building Material Series. Nueva York, EU. 964 p.
- RILEM, H. 1990. Symposium Proceedings, Salvador Bahia Brazil, Chapman and Hall, edited by H. S. Sobral, pp. 77 – 86.
- SAAD, A. 1969. Tratado de construcción. Lima, PE. Editorial Continental. 490 p.
- SCHEJTMAN, A. “Wood-based products and Panel products”. Consultado el 15 de mayo de 2009. disponible en https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200637/TAB42359/Compuestos%20de%20madera%20%28ariel%20schejtman%29.pdf
- SMITH, P. D. 1979, Bamboo Fiber as Reinforcing Material in Concrete. Appropriate Technology. London, GB. Vol. 6, No. 2, pp. 8 – 10.
- SORIA, F. 1972. Estudio de materiales: IV.-Conglomerantes Hidráulicos, Madrid, ES. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. 186 p.
- SWIFT, P. G., Smith, R. B. L. 1979. Sisal-Cement Composites as Low-Cost Construction Materials. Appropriate Technology. London, GB. Vol. 6, No. 3, pp. 6 – 8.
- TAPIA, C., Paredes, C., Simbaña, A., Bermúdez, J. 2006. Aplicación de Fibras Naturales en el desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. Guayaquil, EC. Revista tecnológica ESPOL, Vol. 19, N° 1, 113-120. ISSN: 0257-1749.
- TAKAHASHI, J.; D. Ascencios. 2004. Inventario de Bambú en el Perú. Informe final. Lima, PE.
- TENECHE, G. Taxonomía de la guadua. Consultado el 15 de marzo de 2009 Disponible en <http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/Guadua%20angustifolia%20-%20por%20Guznay.pdf>

- TRÜB, U. 1977. Die Betonoberfläche. Superficies de hormigón visto. Editorial técnicos asociados. 207 p.
- TUK, J. 1979. Tableros de virutas aglomeradas con cemento portland. Cartago, CR. Revista Tecnología en marcha. Vol. N° 2. 3-16 pp.
- ULLOA ULLOA, C., J. L. Zarucchi & B. León. 2004. Diez años de adiciones a la flora del Perú: 1993-2003. Lima, PE. Arnaldo Edición Especial Nov. 2004: 1-242.
- VALENZUELA, W., S. Morse, J. Carre. 1991. Paneles de fibro-cemento: Fabricación, características y usos. Lima. PUBLIFOR. UNALM. 25 p.
- WATSON, L., Dallwitz, M.J. 1992. The grass genera of the world: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, photochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references. Disponible en línea: http://books.google.es/books?id=e8XqwJBeQ7oC&pg=PA467&dq=The+grass+genera+of+the+world:+descriptions,+illustrations,+identification,+and+information+retrieval;+including+synonyms,+morphology,+anatomy,+physiology,+photochemistry,+cytology,+classification,+pathogens,+world+and+local+distribution,+and+references&hl=es&ei=II-GTPiHD8SA1AfD9unWDw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0C CgQ6AEwAA#v=onepage&q=The%20grass%20genera%20of%20the%20world%3A%20descriptions%2C%20illustrations%2C%20identification%2C%20and%20information%20retrieval%3B%20including%20synonyms%2C%20morphology%2C%20anatomy%2C%20physiology%2C%20photochemistry%2C%20cytology%2C%20classification%2C%20pathogens%2C%20world%20and%20local%20distribution%2C%20and%20references&f=false
- WERKER, E. 1997. Seed Anatomy [Handbuch der Pflanzenanatomie]. Berlin, AL. E. Schweizerbart Science Publishers. 424 p.
- YOUNG, SM; Judd, WS. 1992. Systematics of the Guadua angustifolia complex (Poaceae: Bambusoideae). St. Louis, EU. Annals of the Missouri Botanical Garden. 79(4):737-769

ANEXO 1

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA POTABLE DEL LABORATORIO DE TRANSFORMACIÓN QUÍMICA

- Alcalinidad expresada como iones de CO_3 : 70 ppm
- Dureza (expresada como cationes de Ca^{+2}): 390,78 ppm
- pH: 7,09
- Conductividad eléctrica: 1560 ppm

ANEXO 2

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE EXTRACTIVOS SEGÚN LAS NORMAS TAPPI T 6 WD-73 Y TAPPI T 1 WD-75

Equipos:

- Extractos Soxhlet
- Papel filtro
- Calentador eléctrico
- Balones de vidrio
- Estufa eléctrica

Reactivos:

- Alcohol etílico de 95%
- Agua destilada

Muestra:

- Cantidad suficiente de muestra, con humedad conocida.

Procedimiento:

Se coloca la muestra dentro del papel filtro, empaquetándolo de tal manera que no haya pérdidas posteriores. Al momento de colocar el paquete dentro del extractor Soxhlet se debe tener cuidado que quede por debajo del nivel del líquido extractor.

Se debe extraer por 4 horas para el caso del alcohol, hasta que el solvente sea incoloro, que indica que la extracción ha terminado. En cada extracción se debe descargar el Soxhlet por lo menos 4 veces por hora.

Una vez terminada la extracción se debe retirar la muestra del extractor, reservándola para la extracción con agua caliente. El balón de vidrio, conteniendo el solvente con el material

extraído debe ser dejado en una estufa para que el solvente evapore. Con el solvente disuelto se debe pesar el balón con los restos de extractivos, restando el peso del balón se puede calcular el porcentaje de extractivos de la muestra utilizada.

Luego se repite el procedimiento para el caso del agua caliente para calcular el total de extractivos de la muestra

ANEXO 3

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS SEGÚN LA NORMA ASTM D – 1762

Colocar los crisoles destapados usados para el análisis de Volátiles, conteniendo la muestra a 750 °C durante 6 horas en la mufla.

Colocar las tapas en la mufla.

Enfriar los crisoles con las tapas colocadas en el desecador por una hora y pesar.

Repetir el calentamiento de la muestra por una hora, poner e el desecador por 1 hora con su respectiva tapa y pesar; debiendo arrojar una perdida menor a 0.0005 gr.

Expresar los resultados en porcentaje.

$$Cz = \frac{PCz}{PS} \times 100$$

Donde:

Cz = El contenido de ceniza expresado en porcentaje.

PCz = Peso de la ceniza expresado en porcentaje.

PS = Peso seco en gramos de la muestra problema.

ANEXO 4

DETERMINACIÓN DE HOLOCELULOSA (MÉTODO DE JAYME-WISE)

Equipos:

- Erlenmeyer de 250 ml
- Equipo de baño maría
- Crisoles de capa filtrante
- Termómetro
- Pipetas
- Vidrio de reloj

Reactivos:

- Clorito de sodio
- Ácido acético concentrado ($\pm 96\%$)

Muestra:

- Dos gramos de astillas secas al aire y dos gramos de pulpa para hacer la comparación del contenido, libres de extractivos.

Procedimiento:

Se depositó la muestra en el Erlenmeyer y se la trató con 150 ml de solución de clorito de sodio al 1,5% y 10 gotas de ácido acético concentrado; se cubrió con un vidrio de reloj y se dejó a baño maría a 70 °C durante una hora.

Después de la hora se añadieron 10 gotas de ácido acético concentrado y 1,5 gramos de clorito de sodio. Se repitió esta operación cada hora, por 4 horas.

Terminado el tratamiento se enfrió con agua helada y se filtró en un crisol tarado; se lavó el residuo 5 veces con 40 ml de agua destilada helada; se secó luego a 105 ± 3 °C hasta obtener peso constante. Se enfrió en un desecador y se pesó.

Cálculos:

$$\% \text{ de holocelulosa} = \frac{R \times 100}{W}$$

Donde: R = Peso del residuo

W = Peso seco de la muestra

Resultados:

Se expresaron los resultados como porcentaje de holocelulosa en base seca, libre de extractivos, promedio de 3 determinaciones, con una variación no mayor a 0.1%.

ANEXO 5

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE TABLEROS DE FIBRO-CEMENTO

El procedimiento seguido fue el siguiente:

1. Una vez identificadas las probetas se procedió a pesar cada una de ellas.
2. Luego de pesarlas se colocó las probetas en una estufa eléctrica a 103 ± 2 °C hasta que las probetas alcancen un peso constante. Se deben repetir el procedimiento de pesado cada dos horas.
3. Los resultados se calcularon con la siguiente fórmula:

$$M(\%) = \frac{m_h - m_o}{m_o} \times 100$$

Donde:

M (%): Contenido de humedad en base seca

m_h: Peso de la probeta húmeda (g)

m_o: Peso de la probeta seca al horno (g)

ANEXO 6

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE TABLEROS DE FIBRO-CEMENTO

Se utilizó como referencia la Norma DIN 52361, el procedimiento seguido fue el siguiente:

1. Se tomaron las medidas de longitud y espesor de cada probeta, con ayuda de un vernier digital para determinar el volumen
2. Se pesaron las probetas, anotándose los datos correspondientes a cada una.
3. Los resultados se calcularon con la siguiente fórmula:

$$\frac{gr}{cm^3} \quad)$$

Donde:

D: Densidad

P: Peso húmedo (gr)

V: volumen húmedo (cm³)

ANEXO 7

DETERMINACIÓN DEL HINCHAMIENTO EN ESPESOR Y ABSORCIÓN DE AGUA DE TABLEROS DE FIBRO-CEMENTO

Se utilizó la Norma DIN 52364, el procedimiento seguido es el descrito a continuación:

Absorción de agua

1. Las probetas fueron pesadas y medidas según el procedimiento descrito para el ensayo de densidad, luego fueron introducidas en un recipiente con agua destilada, disponiéndolas de forma vertical por debajo del nivel superficial del agua.
2. Al cabo de 2 horas se sacaron del recipiente, dejando escurrir el agua superficial durante 10 minutos. Fueron pesadas y medidas, anotándose los resultados.
3. Al cabo de 24 horas totales fueron sacadas nuevamente del recipiente, repitiéndose el procedimiento anterior, pesándolas y midiéndolas.
4. Expresión de resultados. El porcentaje de agua absorbido se calculó con la siguiente formula

$$A (\%) = \frac{Pf - Pi}{Pi} \times 100$$

Donde:

A: Absorción de agua en porcentaje

Pf: Peso final después de la inmersión

Pi: Peso inicial

Hinchamiento en espesor

Mientras que el hinchamiento en espesor el procedimiento fue el siguiente:

1. El ensayo de hinchamiento en espesor fue realizado por inmersión de las probetas en agua destilada por 24h. Las probetas fueron las mismas utilizadas para el ensayo de absorción de agua y los ensayos fueron realizados en simultáneo.

2. El espesor de las probetas fue medido en la intersección de las diagonales antes y después de su inmersión en agua. El hinchamiento fue calculado por la siguiente ecuación:

$$H(\%) = \frac{E_f - E_i}{E_i} \times 100$$

Donde:

H: Hinchamiento en espesor

E_i: Espesor inicial de la probeta

E_f: Espesor final de la probeta

ANEXO 8

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

Para este ensayo se tomo como referencia la norma DIN 52362, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Tamaño de probeta: 5 cm x 25 cm x espesor
- Luz entre los soportes: 20 cm
- Velocidad de ensayos: 0,24 plg/min (0.5996 cm/min)

El procedimiento seguido en el ensayo fue el siguiente:

1. Se colocó el soporte en la posición correcta debajo del cabezal móvil de la prensa.
2. En cada probeta se marcó la luz correspondiente para el ensayo
3. Se colocó la probeta sobre los apoyos.
4. Se eligió la escala adecuada de lectura de acuerdo al ensayo (2.5 libras)
5. El ensayo se inicia accionando el dispositivo de prensa y el reloj. Se anotó la deformación por cada 2.5 libras, se siguió hasta la carga máxima, se anotaron los datos de deformación por cada incremento de carga.

Una vez terminado el ensayo de cada probeta se anotó el tipo de falla presentado, el tiempo de duración de cada ensayo y la carga máxima registrada.

6. Gráfica de la carga-deformación. Para graficar la carga-deformación del ensayo se utilizó un eje de coordenadas cartesianas; en el eje de las ordenadas se ubicaron las cargas en Libras (kilogramos), mientras que en el eje de abscisas se colocaron las deformaciones en pulgadas (centímetros).

Se graficó la curva de carga-deformación y se ubicó en esta las zonas características para el material ensayado.

7. Expresión de resultados. Los valores de resistencia fueron calculados utilizando las siguientes expresiones:

- Módulo de resistencia (MOR)

$$\frac{kg}{cm^2} \quad)$$

Donde:

P: Carga máxima

L: Luz entre los soportes (en cm)

a: Ancho de la probeta (en cm)

e: Espesor de la probeta (en cm)

ANEXO 9

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El ensayo se realizó siguiendo la norma DIN 53291, el procedimiento seguido para los ensayos de compresión perpendicular fue el siguiente:

1. De cada tablero elaborado se cortaron 4 probetas de 5 cm x 5 cm x espesor.
2. Se adicionó una placa de madera del tamaño de la probeta de ensayo al cabezal de la prensa, y debajo de la misma se colocó otra placa de mayor tamaño.
3. Se tomaron las medidas de espesor, ancho y largo para cada probeta.
4. Se calculó la carga necesaria para cada probeta, que dependió del área de cada una de ellas. Según los requerimientos de la norma DIN 1101 los paneles de fibrocemento de 25 mm tienen una tolerancia máxima en la reducción de su espesor del 20% al serle aplicada una carga de 3 kg/cm².
5. Se activó la prensa, hasta llegar a la carga indicada para cada probeta.
6. Se retiró la probeta de la prensa y se procedió a medir el espesor, calculando la reducción de espesor en porcentaje, usando la siguiente fórmula:

$$\% R = \frac{E_i - E_f}{E_i} \times 100$$

Donde:

%R = Porcentaje de reducción en el espesor de la probeta

E_i = Espesor inicial de la probeta

E_f = Espesor de la probeta luego de aplicada la carga

ANEXO 10

ANÁLISIS DE VARIANZA

A continuación se muestran los resultados de análisis de varianza arrojados por el programa SPSS PASW Statistics 18

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados		Media cuadrática	F	Sig.
		tipo III	gl			
Modelo corregido	Densidad	,409 ^a	5	,082	101,651	,000
	Absorción de agua (%)	507,728 ^b	5	101,546	16,973	,000
	Hinchamiento 2H (%)	,257 ^c	5	,051	8,205	,001
	Hinchamiento 24 H(%)	,132 ^d	5	,026	2,367	,103
	MOR (kg/cm2)	1057,207 ^e	5	211,441	9,817	,001
	Compresibilidad (%)	,635 ^f	5	,127	15,268	,000
Intersección	Densidad	34,307	1	34,307	42587,759	,000
	Absorción de agua (%)	4669,645	1	4669,645	780,495	,000
	Hinchamiento 2H (%)	28,426	1	28,426	4540,057	,000
	Hinchamiento 24 H(%)	26,523	1	26,523	2383,537	,000
	MOR (kg/cm2)	15596,135	1	15596,135	724,080	,000
	Compresibilidad (%)	9,886	1	9,886	1187,955	,000
Porcentaje_De_Fibras	Densidad	,406	2	,203	251,697	,000
	Absorción de agua (%)	500,705	2	250,353	41,844	,000
	Hinchamiento 2H (%)	,217	2	,109	17,348	,000
	Hinchamiento 24 H(%)	,050	2	,025	2,255	,147
	MOR (kg/cm2)	962,354	2	481,177	22,340	,000
	Compresibilidad (%)	,635	2	,318	38,156	,000
CaCl	Densidad	,001	1	,001	,834	,379
	Absorción de agua (%)	2,977	1	2,977	,498	,494
	Hinchamiento 2H (%)	,016	1	,016	2,587	,134
	Hinchamiento 24 H(%)	,010	1	,010	,923	,356
	MOR (kg/cm2)	67,900	1	67,900	3,152	,101
	Compresibilidad (%)	,000	1	,000	,024	,879
Porcentaje_De_Fibras	Densidad	,003	2	,002	2,014	,176
* CaCl	Absorción de agua (%)	4,046	2	2,023	,338	,720
	Hinchamiento 2H (%)	,023	2	,012	1,871	,196
	Hinchamiento 24 H(%)	,071	2	,036	3,201	,077

	MOR (kg/cm2)	26,954	2	13,477	,626	,551
	Compresibilidad (%)	3,333E-5	2	1,667E-5	,002	,998
Error	Densidad	,010	12	,001		
	Absorción de agua (%)	71,795	12	5,983		
	Hinchamiento 2H (%)	,075	12	,006		
	Hinchamiento 24 H(%)	,134	12	,011		
	MOR (kg/cm2)	258,471	12	21,539		
	Compresibilidad (%)	,100	12	,008		
Total	Densidad	34,726	18			
	Absorción de agua (%)	5249,168	18			
	Hinchamiento 2H (%)	28,758	18			
	Hinchamiento 24 H(%)	26,789	18			
	MOR (kg/cm2)	16911,813	18			
	Compresibilidad (%)	10,622	18			
Total corregida	Densidad	,419	17			
	Absorción de agua (%)	579,523	17			
	Hinchamiento 2H (%)	,332	17			
	Hinchamiento 24 H(%)	,265	17			
	MOR (kg/cm2)	1315,678	17			
	Compresibilidad (%)	,735	17			

a. R cuadrado = .977 (R cuadrado corregida = .967)

b. R cuadrado = .876 (R cuadrado corregida = .824)

c. R cuadrado = .774 (R cuadrado corregida = .679)

d. R cuadrado = .497 (R cuadrado corregida = .287)

e. R cuadrado = .804 (R cuadrado corregida = .722)

f. R cuadrado = .864 (R cuadrado corregida = .808)

ANEXO 11

DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS TABLEROS

CÓDIGO CB.5.1.T

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	15.04	26.05	13.32	26.05	13.14	27.05	13.13	27.05	14.55
2	17.57	26.05	15.65	26.05	15.38	27.05	15.39	27.05	14.17
3	16.64	26.05	14.81	26.05	14.55	27.05	14.54	27.05	14.44
4	17.08	26.05	15.14	26.05	14.85	27.05	14.85	27.05	15.02
5	16.88	26.05	14.92	26.05	14.66	27.05	14.63	27.05	15.38
6	16.06	26.05	14.24	26.05	14.07	27.05	14.06	27.05	14.22
7	17.07	26.05	15.18	26.05	14.94	27.05	14.94	27.05	14.26
8	16.81	26.05	14.9	26.05	14.67	27.05	14.67	27.05	14.59
9	16.01	26.05	14.14	26.05	13.92	27.05	13.91	27.05	15.10
10	16.53	26.05	14.55	26.05	14.26	27.05	14.27	27.05	15.84

Promedio: M (%) **14.76**

CÓDIGO CB.5.2.T

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	18.20	26.05	16.53	26.05	16.29	27.05	16.24	27.05	12.07
2	17.47	26.05	15.78	26.05	15.53	27.05	15.50	27.05	12.71
3	15.82	26.05	14.23	26.05	14.02	27.05	14.00	27.05	13.00
4	16.48	26.05	14.76	26.05	14.52	27.05	14.50	27.05	13.66
5	16.23	26.05	14.58	26.05	14.36	27.05	14.34	27.05	13.18
6	16.23	26.05	14.77	26.05	14.59	27.05	14.58	27.05	11.32
7	16.11	26.05	14.54	26.05	14.38	27.05	14.35	27.05	12.26
8	15.59	26.05	14.02	26.05	13.83	27.05	13.79	27.05	13.05
9	16.45	26.05	14.79	26.05	14.61	27.05	14.56	27.05	12.98
10	16.81	26.05	15.16	26.05	14.93	27.05	14.90	27.05	12.82

CÓDIGO

CB.5.3.T

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	16.47	24.05	14.37	25.05	14.34	26.05	14.34	26.05	14.85
2	17.18	24.05	14.94	25.05	14.93	26.05	14.93	26.05	15.07
3	16.27	24.05	14.21	25.05	14.21	26.05	14.21	26.05	14.50
4	15.65	24.05	13.73	25.05	13.71	26.05	13.73	26.05	13.98
5	16.33	24.05	14.31	25.05	14.30	26.05	14.30	26.05	14.20
6	19.11	24.05	16.68	25.05	16.66	26.05	16.66	26.05	14.71
7	20.04	24.05	17.41	25.05	17.39	26.05	17.38	26.05	15.30
8	19.35	24.05	16.84	25.05	16.81	26.05	16.81	26.05	15.11
9	17.58	24.05	15.41	25.05	15.41	26.05	15.42	26.05	14.01
10	16.56	24.05	14.50	25.05	14.48	26.05	14.48	26.05	14.36

Promedio: M (%) **14.61**

CÓDIGO

CB.5.1.C

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	18.52	26.05	16.45	26.05	16.11	27.05	16.09	27.05	15.10
2	15.69	26.05	13.83	26.05	13.71	27.05	13.7	27.05	14.53
3	14.85	26.05	13.07	26.05	12.96	27.05	12.94	27.05	14.76
4	15.69	26.05	13.8	26.05	13.66	27.05	13.66	27.05	14.86
5	15.46	26.05	16.57	26.05	13.41	27.05	13.42	27.05	15.20
6	16.28	26.05	14.44	26.05	14.3	27.05	14.3	27.05	13.85
7	15.90	26.05	14.06	26.05	13.89	27.05	13.89	27.05	14.47
8	17.19	26.05	15.21	26.05	15.01	27.05	15.02	27.05	14.45
9	16.84	26.05	14.84	26.05	14.68	27.05	14.67	27.05	14.79
10	14.81	26.05	13.06	26.05	12.89	27.05	12.91	27.05	14.72

CÓDIGO **CB.5.2.C**

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	16.43	11.06	14.89	11.06	14.36	14.06	14.35	14.06	14.49
2	16.60	11.06	14.95	11.06	14.52	14.06	14.52	14.06	14.33
3	18.45	11.06	16.45	11.06	16.10	14.06	16.06	14.06	14.88
4	16.23	11.06	14.82	11.06	14.25	14.06	14.22	14.06	14.14
5	15.47	11.06	14.12	11.06	13.66	14.06	13.67	14.06	13.17
6	15.13	11.06	14.06	11.06	13.29	14.06	13.28	14.06	13.93
7	16.00	11.06	15.01	11.06	13.98	14.06	13.97	14.06	14.53
8	15.80	11.06	14.78	11.06	13.92	14.06	13.93	14.06	13.42
9	16.79	11.06	15.25	11.06	14.65	14.06	14.66	14.06	14.53
10	17.19	11.06	16.12	11.06	15.00	14.06	15.00	14.06	14.60

Promedio: M (%) **14.20**

CÓDIGO **CB.5.3.C**

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	16.58	31.05	14.61	1.06	14.61	1.06	14.59	3.06	13.64
2	15.57	31.05	13.7	1.06	13.7	1.06	13.67	3.06	13.90
3	16.18	31.05	14.21	1.06	14.21	1.06	14.18	3.06	14.10
4	15.90	31.05	13.96	1.06	13.96	1.06	13.92	3.06	14.22
5	16.16	31.05	14.17	1.06	14.18	1.06	14.15	3.06	14.20
6	15.85	31.05	14.04	1.06	14.05	1.06	14.03	3.06	12.97
7	15.79	31.05	13.92	1.06	13.89	1.06	13.87	3.06	13.84
8	14.06	31.05	12.47	1.06	12.48	1.06	12.46	3.06	12.84
9	14.52	31.05	12.76	1.06	12.76	1.06	12.74	3.06	13.97
10	15.34	31.05	13.55	1.06	13.55	1.06	13.53	3.06	13.38

Promedio: M (%) **13.71**

CÓDIGO CB.10.1.T

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
	Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	
1	14.92	31.05.	13.34	1.06	13.34	1.06	13.33	3.06	11.93
2	15.79	31.05.	14.01	1.06	14.02	1.06	14.05	3.06	12.38
3	16.64	31.05.	14.64	1.06	14.64	1.06	14.65	3.06	13.58
4	16.6	31.05.	14.69	1.06	14.65	1.06	14.68	3.06	13.08
5	16.44	31.05.	14.40	1.06	14.45	1.06	14.43	3.06	13.93
6	15.62	31.05.	14.03	1.06	14.02	1.06	14	3.06	11.57
7	16.12	31.05.	14.40	1.06	14.36	1.06	14.37	3.06	12.18
8	15.61	31.05.	13.91	1.06	13.92	1.06	13.85	3.06	12.71
9	15.59	31.05.	13.86	1.06	13.86	1.06	13.84	3.06	12.64
10	15.59	31.05.	13.82	1.06	13.8	1.06	13.8	3.06	12.97

M
Promedio: (%) **12.70**

CÓDIGO CB.10.2.T

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
	Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	
1	15.22	28.05	13.25	31.05	13.26	31.05	13.26	1.06	14.78
2	16.93	28.05	14.54	31.05	14.65	31.05	14.65	1.06	15.56
3	16.1	28.05	13.89	31.05	13.88	31.05	14.05	1.06	14.59
4	16.29	28.05	14.01	31.05	14.00	31.05	14.00	1.06	16.36
5	16.15	28.05	13.89	31.05	13.86	31.05	13.84	1.06	16.69
6	17.44	28.05	15.32	31.05	15.31	31.05	15.31	1.06	13.91
7	17.49	28.05	15.42	31.05	15.36	31.05	15.36	1.06	13.87
8	16.01	28.05	14.04	31.05	14.05	31.05	13.85	1.06	15.60
9	17.65	28.05	15.36	31.05	15.40	31.05	15.39	1.06	14.68
10	17.51	28.05	15.21	31.05	15.18	31.05	15.19	1.06	15.27

M
Promedio: (%) **15.13**

CÓDIGO
CB.10.3.T

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	16.28	3.06	14.23	4.06	14.23	4.06	14.22	7.06	14.49
2	18.57	3.06	16.05	4.06	16.05	4.06	16.05	7.06	15.70
3	18.59	3.06	16.01	4.06	16.01	4.06	16.35	7.06	13.70
4	17.29	3.06	14.80	4.06	14.81	4.06	15.09	7.06	14.58
5	16.54	3.06	14.16	4.06	14.14	4.06	14.43	7.06	14.62
6	14.70	3.06	12.84	4.06	12.84	4.06	12.85	7.06	14.40
7	16.09	3.06	13.90	4.06	13.90	4.06	13.92	7.06	15.59
8	15.62	3.06	13.58	4.06	13.58	4.06	13.84	7.06	12.86
9	16.10	3.06	14.30	4.06	14.27	4.06	14.25	7.06	12.98
10	15.19	3.06	13.03	4.06	13.02	4.06	13.05	7.06	16.40

Promedio: M (%) **14.53**

CÓDIGO **CB.10.1.C**

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	15.94	11.06	14.1	11.06	13.90	14.06	13.89	14.06	14.76
2	16.43	11.06	14.69	11.06	14.23	14.06	14.20	14.06	15.70
3	15.19	11.06	13.72	11.06	13.33	14.06	13.30	14.06	14.21
4	16.43	11.06	14.92	11.06	14.32	14.06	14.31	14.06	14.81
5	16.55	11.06	14.99	11.06	14.31	14.06	14.31	14.06	15.65
6	15.42	11.06	14.35	11.06	13.50	14.06	13.48	14.06	14.39
7	15.65	11.06	14.23	11.06	13.64	14.06	13.64	14.06	14.74
8	17.10	11.06	15.33	11.06	14.78	14.06	14.78	14.06	15.70
9	15.01	11.06	13.45	11.06	12.99	14.06	12.97	14.06	15.73
10	17.55	11.06	15.68	11.06	15.17	14.06	15.18	14.06	15.61

Promedio: M (%) **15.13**

CÓDIGO CB.10.2.C

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
N° Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	12.60	3.06	11.22	4.06	11.19	4.06	11.19	5.06	12.60
2	17.60	3.06	15.40	4.06	15.40	4.06	15.39	5.06	14.36
3	16.25	3.06	14.32	4.06	14.29	4.06	14.30	5.06	13.64
4	17.18	3.06	15.07	4.06	15.08	4.06	15.05	5.06	14.15
5	17.40	3.06	15.24	4.06	15.25	4.06	15.24	5.06	14.17
6	13.74	3.06	12.13	4.06	12.15	4.06	12.13	5.06	13.27
7	14.60	3.06	12.93	4.06	12.93	4.06	12.90	5.06	13.18
8	13.44	3.06	11.81	4.06	11.80	4.06	11.75	5.06	14.38
9	13.85	3.06	12.19	4.06	12.18	4.06	12.16	5.06	13.90
10	16.20	3.06	14.29	4.06	14.25	4.06	14.19	5.06	14.16

Promedio: M (%) **13.78**

CÓDIGO CB.10.3.C

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
N° Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	13.84	7.06	12.53	8.06	12.58	8.06	12.58	9.06	13.91
2	12.66	7.06	11.25	8.06	11.32	8.06	11.33	9.06	14.68
3	13.45	7.06	12.35	8.06	12.34	8.06	12.35	9.06	12.14
4	16.79	7.06	14.62	8.06	14.66	8.06	14.66	9.06	14.53
5	14.79	7.06	12.76	8.06	12.83	8.06	12.84	9.06	15.19
6	15.27	7.06	13.33	8.06	13.39	8.06	13.39	9.06	14.04
7	15.83	7.06	13.82	8.06	13.86	8.06	13.85	9.06	14.30
8	14.33	7.06	12.49	8.06	12.55	8.06	12.54	9.06	14.27
9	16.25	7.06	14.07	8.06	14.13	8.06	14.14	9.06	14.92
10	15.02	7.06	13.11	8.06	13.18	8.06	13.19	9.06	13.87

Promedio: M (%) **14.19**

CÓDIGO **CB.15.2.C**

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	14.42	11.06	13.52	11.06	12.62	14.06	12.60	14.06	14.44
2	15.00	11.06	13.75	11.06	13.03	14.06	13.02	14.06	15.21
3	13.99	11.06	12.92	11.06	12.14	14.06	12.12	14.06	15.43
4	15.55	11.06	14.26	11.06	13.59	14.06	13.59	14.06	14.42
5	13.67	11.06	12.78	11.06	11.90	14.06	11.89	14.06	14.97
6	14.80	11.06	13.45	11.06	12.77	14.06	12.78	14.06	15.81
7	13.98	11.06	12.94	11.06	12.08	14.06	12.08	14.06	15.73
8	13.66	11.06	12.56	11.06	11.88	14.06	11.89	14.06	14.89
9	13.78	11.06	12.84	11.06	12.08	14.06	12.07	14.06	14.17
10	13.05	11.06	12.56	11.06	11.44	14.06	11.42	14.06	14.27

Promedio: M (%) **14.93**

CÓDIGO **CB.15.3.C**

Código Muestra	Control 1		Control 2		Control 3		Control 4		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Nº Control	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	Peso (g)	Fecha/hora	
1	14.56	15.06	13.45	15.06	12.66	16.06	12.65	16.06	15.10
2	15.01	15.06	13.98	15.06	13.02	16.06	13.01	16.06	15.37
3	13.56	15.06	12.56	15.06	11.83	16.06	11.81	16.06	14.82
4	14.12	15.06	13.05	15.06	12.4	16.06	12.37	16.06	14.15
5	13.48	15.06	12.67	15.06	11.65	16.06	11.64	16.06	15.81
6	14.61	15.06	13.85	15.06	12.78	16.06	12.79	16.06	14.23
7	14.23	15.06	13.07	15.06	12.37	16.06	12.38	16.06	14.94
8	14.54	15.06	13.34	15.06	12.68	16.06	12.67	16.06	14.76
9	15.12	15.06	14.02	15.06	13.23	16.06	13.25	16.06	14.11
10	13.87	15.06	12.85	15.06	12.09	16.06	12.09	16.06	14.72

Promedio: M (%) **14.80**

ANEXO 12

RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE DENSIDAD POR TABLERO

Tablero	REPETICIÓN	Peso (g)	Espesor	Ancho	Largo	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Promedio
CB.5.1.T	1	70.60	1.825	4.940	4.950	44.63	1.58	1.57
	2	76.33	1.800	5.325	5.060	48.50	1.57	
	3	70.69	1.800	5.015	5.210	47.03	1.50	
	4	70.55	1.800	4.945	5.050	44.95	1.57	
	5	68.71	1.735	4.940	4.965	42.55	1.61	
CB.5.2.T	1	71.51	1.715	5.085	5.150	44.91	1.59	1.56
	2	72.49	1.750	5.100	5.110	45.61	1.59	
	3	75.86	1.875	5.030	5.080	47.91	1.58	
	4	76.16	1.935	5.145	5.150	51.27	1.49	
	5	71.61	1.750	5.100	5.125	45.74	1.57	
CB.5.3.T	1	72.32	1.770	4.975	5.200	45.79	1.58	1.58
	2	66.64	1.735	4.950	4.935	42.38	1.57	
	3	80.15	1.875	5.270	4.925	48.67	1.65	
	4	73.15	1.900	5.100	4.950	47.97	1.53	
	5	73.91	1.850	5.050	4.975	46.48	1.59	
CB.5.1.C	1	68.53	1.725	4.975	5.100	43.77	1.57	1.58
	2	76.71	1.890	4.910	5.000	46.40	1.65	
	3	72.39	1.835	4.950	5.050	45.87	1.58	
	4	72.63	1.835	5.015	4.935	45.41	1.60	
	5	69.79	1.875	4.950	4.940	45.85	1.52	
CB.5.2.C	1	72.78	1.900	4.985	5.000	47.36	1.54	1.56
	2	71.56	1.850	5.050	4.975	46.48	1.54	
	3	70.48	1.860	5.150	4.850	46.46	1.52	
	4	72.81	1.915	4.875	4.985	46.54	1.56	
	5	73.12	1.800	4.750	5.210	44.55	1.64	
CB.5.3.C	1	73.83	1.900	4.915	5.000	46.69	1.58	1.58
	2	70.74	1.750	5.000	4.900	42.88	1.65	
	3	73.58	1.890	5.100	4.975	47.95	1.53	
	4	72.26	1.850	5.025	4.940	45.92	1.57	
	5	73.11	1.800	5.065	5.135	46.82	1.56	
PROMEDIO		1.57						

Tablero	REPETICIÓN	Peso (g)	Espesor	Ancho	Largo	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Promedio
CB.10.1.T	1	65.05	1.900	4.850	4.965	45.75	1.42	1.38
	2	65.83	1.950	5.000	4.900	47.78	1.38	
	3	60.05	1.775	4.960	5.050	44.46	1.35	
	4	61.03	1.900	5.025	4.700	44.87	1.36	
	5	67.19	1.965	5.025	4.965	49.03	1.37	
CB.10.2.T	1	65.56	1.825	5.100	5.120	47.65	1.38	1.42
	2	66.15	1.900	4.975	4.965	46.93	1.41	
	3	74.25	1.940	5.415	5.000	52.53	1.41	
	4	76.57	2.000	5.130	5.225	53.61	1.43	
	5	77.34	2.100	5.00	5.070	53.24	1.45	
CB.10.3.T	1	67.33	1.850	5.100	5.025	47.41	1.42	1.37
	2	62.33	1.810	5.000	4.965	44.93	1.39	
	3	68.08	1.975	5.000	4.965	49.03	1.39	
	4	64.37	1.945	4.880	4.985	47.32	1.36	
	5	68.37	2.085	5.025	4.95	51.86	1.32	
CB.10.1.C	1	66.18	1.87	5.028	4.884	45.92	1.44	1.41
	2	70.8	1.956	4.954	4.971	48.17	1.47	
	3	67.73	1.996	4.952	4.968	49.10	1.38	
	4	69.53	1.995	5.002	4.958	49.48	1.41	
	5	66.36	1.945	5.004	4.993	48.60	1.37	
CB.10.2.C	1	66.21	1.950	5.025	5.050	49.48	1.34	1.30
	2	68.13	2.065	5.000	5.100	52.66	1.29	
	3	62.28	2.000	4.925	5.050	49.74	1.25	
	4	63.96	1.850	5.200	5.075	48.82	1.31	
	5	72.26	2.100	5.075	5.100	54.35	1.33	
CB.10.3.C	1	60.81	2.065	4.850	4.935	49.43	1.23	1.31
	2	65.46	2.150	4.945	4.875	51.83	1.26	
	3	66.72	2.135	4.950	5.000	52.84	1.26	
	4	71.98	2.075	4.900	4.975	50.58	1.42	
	5	62.31	1.825	5.100	4.970	46.26	1.35	
PROMEDIO		1.36						

Tablero	REPETICIÓN	Peso (g)	Espesor	Ancho	Largo	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Promedio
CB.15.1.T	1	60.12	1.945	4.960	5.095	49.15	1.22	1.20
	2	63.46	2.000	5.105	5.105	52.12	1.22	
	3	60.15	2.020	5.050	4.990	50.90	1.18	
	4	62.26	2.100	4.945	5.100	52.96	1.18	
	5	62.18	2.050	5.100	5.000	52.28	1.19	
CB.15.2.T	1	65.45	2.000	5.150	5.150	53.05	1.23	1.21
	2	61.45	2.000	5.100	5.000	51.00	1.20	
	3	61.75	2.000	5.115	5.100	52.17	1.18	
	4	60.60	2.020	4.900	5.100	50.48	1.20	
	5	60.09	1.950	5.100	5.020	49.92	1.20	
CB.15.3.T	1	64.01	2.115	4.869	5.095	52.47	1.22	1.19
	2	60.69	1.953	5.113	5.068	50.61	1.20	
	3	66.29	2.099	5.088	5.156	55.06	1.20	
	4	62.14	2.168	5.07	5.184	56.98	1.09	
	5	67.57	2.115	4.903	5.276	54.71	1.24	
CB.15.1.C	1	68.00	2.175	5.120	5.030	56.01	1.21	1.20
	2	62.49	2.065	4.910	5.200	52.72	1.19	
	3	63.40	2.000	4.950	5.100	50.49	1.26	
	4	67.48	2.175	5.015	5.185	56.56	1.19	
	5	70.29	2.335	5.120	5.025	60.07	1.17	
CB.15.2.C	1	64.64	2.000	5.10	5.200	53.04	1.22	1.21
	2	60.18	1.990	5.00	5.000	49.75	1.21	
	3	64.54	2.100	5.10	5.000	53.55	1.21	
	4	65.19	2.100	5.10	5.100	54.62	1.19	
	5	60.92	1.900	5.10	5.100	49.42	1.23	
CB.15.3.C	1	62.15	1.950	5.100	5.100	50.72	1.23	1.22
	2	60.45	1.950	5.050	5.100	50.22	1.20	
	3	64.74	2.000	5.150	5.100	52.53	1.23	
	4	61.23	2.050	5.050	4.900	50.73	1.21	
	5	60.48	1.950	5.100	4.950	49.23	1.23	
PROMEDIO		1.20						

ANEXO 13

DATOS PARA DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE AGUA

TABLERO	REPETICIÓN	Peso inicial (g)	Abs. de agua (Peso total) (g)		Abs. de agua (%)		Promedio (%)			
			2 H	24 H	2 H	24 H				
CB.5.1.T	1	66.59	73.41	73.73	10.24	10.72	10.13	10.67		
	2	66.69	74.03	74.50	11.01	11.71				
	3	68.94	75.82	76.10	9.98	10.39				
	4	68.31	75.08	75.48	9.91	10.50				
	5	71.39	77.95	78.34	9.19	9.74				
CB.5.2.T	1	68.07	76.46	77.02	12.33	13.15				
	2	75.12	83.26	83.70	10.84	11.42				
	3	77.22	85.99	86.22	11.36	11.66				
	4	73.84	82.25	82.66	11.39	11.94				
	5	68.90	77.47	77.83	12.44	12.96				
CB.5.3.T	1	71.96	78.52	78.88	9.12	9.62				
	2	68.38	74.06	74.39	8.31	8.79				
	3	80.04	87.51	87.98	9.33	9.92				
	4	80.65	87.29	87.59	8.23	8.61				
	5	68.90	74.65	75.10	8.35	9.00				
CB.5.1.C	1	76.51	83.64	83.75	9.32	9.46	10.11	10.70		
	2	67.33	74.59	75.12	10.78	11.57				
	3	68.34	75.11	75.45	9.91	10.40				
	4	64.30	71.88	72.45	11.79	12.67				
	5	76.71	84.50	84.8	10.16	10.55				
CB.5.2.C	1	72.10	77.95	78.51	8.11	8.89				
	2	69.15	75.98	76.55	9.88	10.70				
	3	68.76	75.21	75.69	9.38	10.08				
	4	72.17	79.32	79.71	9.91	10.45				
	5	72.80	80.45	80.65	10.51	10.78				
CB.5.3.C	1	72.88	79.60	80.23	9.22	10.09				
	2	72.49	79.95	80.16	10.29	10.58				
	3	75.62	83.34	83.8	10.21	10.82				
	4	72.07	80.10	80.45	11.14	11.63				
	5	69.70	77.45	77.90	11.12	11.76				
CB.10.1.T	1	65.07	76.03	73.29	16.84	12.63			15.13	15.67
	2	68.84	79.56	79.96	15.57	16.15				
	3	63.86	73.95	74.21	15.80	16.21				
	4	66.59	77.36	77.85	16.17	16.91				

	5	68.50	79.49	79.98	16.04	16.76		
CB.10.2.T	1	67.08	78.20	79.01	16.58	17.78		
	2	70.80	82.18	83.15	16.07	17.44		
	3	73.38	85.15	86.32	16.04	17.63		
	4	64.88	75.38	76.16	16.18	17.39		
	5	69.55	79.33	80.15	14.06	15.24		
CB.10.3.T	1	71.8	81.10	81.78	12.95	13.90		
	2	67.7	76.09	76.59	12.39	13.13		
	3	72.95	83.01	83.79	13.79	14.86		
	4	71.49	82.12	82.19	14.87	14.97		
	5	75.41	85.68	86.00	13.62	14.04		
CB.10.1.C	1	71.07	80.19	80.78	12.83	13.66	15.43	16.39
	2	73.55	83.23	83.91	13.16	14.09		
	3	68.60	77.13	77.55	12.43	13.05		
	4	67.14	75.23	76.10	12.05	13.35		
	5	68.90	78.29	79.33	13.63	15.14		
CB.10.2.C	1	70.47	80.41	80.79	14.11	14.64		
	2	64.24	74.56	74.69	16.06	16.27		
	3	70.58	80.73	80.80	14.38	14.48		
	4	71.21	81.27	81.35	14.13	14.24		
	5	60.06	70.49	70.59	17.37	17.53		
CB.10.3.C	1	59.78	71.04	72.33	18.84	20.99		
	2	68.07	79.35	80.13	16.57	17.72		
	3	62.54	73.61	74.83	17.70	19.65		
	4	60.05	72.15	73.12	20.15	21.77		
	5	62.26	73.53	74.24	18.10	19.24		
CB.15.1.T	1	62.12	75.32	76.48	21.25	23.12	21.14	22.75
	2	60.48	72.31	73.68	19.56	21.83		
	3	61.34	73.65	75.02	20.07	22.30		
	4	61.78	74.81	75.35	21.09	21.97		
	5	64.03	77.63	78.56	21.24	22.69		
CB.15.2.T	1	62.34	75.12	76.32	20.50	22.43		
	2	65.76	80.02	80.78	21.68	22.84		
	3	59.23	71.35	72.20	20.46	21.90		
	4	63.19	77.23	78.00	22.22	23.44		
	5	62.61	75.48	76.15	20.56	21.63		
CB.15.3.T	1	60.28	75.52	78.52	25.28	30.26		
	2	60.42	72.17	73.04	19.45	20.89		
	3	56.14	67.82	68.82	20.81	22.59		
	4	64.53	78.73	79.91	22.01	23.83		
	5	75.06	90.73	89.77	20.88	19.60		
CB.15.1.C	1	57.64	70.09	71.09	21.60	23.33	21.03	22.46

	2	62.23	75.83	76.75	21.85	23.33
	3	59.55	71.31	72.09	19.75	21.06
	4	58.46	70.66	71.54	20.87	22.37
	5	65.91	81.27	82.33	23.30	24.91
CB.15.2.C	1	62.45	74.56	75.38	19.39	20.70
	2	61.91	73.81	74.62	19.22	20.53
	3	59.34	72.23	73.66	21.72	24.13
	4	64.15	78.32	79.56	22.09	24.02
	5	62.99	76.12	77.23	20.84	22.61
CB.15.3.C	1	58.44	71.64	71.99	22.59	23.19
	2	64.68	77.56	78.49	19.91	21.35
	3	59.78	71.23	71.92	19.15	20.31
	4	66.12	80.16	80.76	21.23	22.14
	5	63.63	77.54	77.17	21.86	22.85

ANEXO 14

DATOS PARA DETERMINACIÓN DE HINCHAMIENTO EN ESPESOR

TABLERO	Espesor inicial (mm)	Hinchamiento en espesor		Hinchamiento en espesor (%)		Promedio (%)	
		2 H	24 H	2 H	24 H		
CB.5.1.T	1.775	1.800	1.820	1.41	1.13	1.48	1.24
	1.800	1.830	1.850	1.67	1.11		
	1.760	1.785	1.810	1.42	1.42		
	1.700	1.730	1.750	1.76	1.18		
	1.660	1.680	1.700	1.20	1.20		
CB.5.2.T	1.750	1.780	1.805	1.71	1.43		
	1.660	1.680	1.700	1.20	1.20		
	1.850	1.880	1.900	1.62	1.08		
	1.825	1.850	1.870	1.37	1.10		
	1.650	1.670	1.690	1.21	1.21		
CB.5.3.T	1.880	1.910	1.930	1.60	1.06		
	1.880	1.905	1.930	1.33	1.33		
	1.700	1.730	1.750	1.76	1.18		
	1.820	1.850	1.880	1.65	1.65		
	1.870	1.895	1.920	1.34	1.34		
CB.5.1.C	1.925	1.950	1.975	1.30	1.30	1.34	1.34
	1.700	1.725	1.745	1.47	1.18		
	1.740	1.760	1.780	1.15	1.15		
	1.725	1.745	1.765	1.16	1.16		
	1.930	1.955	1.975	1.30	1.04		
CB.5.2.C	1.710	1.730	1.755	1.17	1.46		
	1.725	1.750	1.770	1.45	1.16		
	1.770	1.790	1.815	1.13	1.41		
	1.770	1.795	1.820	1.41	1.41		
	1.715	1.740	1.765	1.46	1.46		
CB.5.3.C	1.845	1.870	1.895	1.36	1.36		
	1.855	1.880	1.910	1.35	1.62		
	1.900	1.925	1.950	1.32	1.32		
	1.800	1.825	1.850	1.39	1.39		
	1.775	1.805	1.835	1.69	1.69		
CB.10.1.T	1.930	1.950	1.975	1.97	1.30	1.24	1.28
	1.900	1.925	1.950	1.32	1.32		

	1.895	1.915	1.935	1.06	1.06		
	1.895	1.920	1.945	1.32	1.32		
	1.965	1.985	2.010	1.02	1.27		
CB.10.2.T	1.860	1.875	1.895	0.81	1.08		
	2.000	2.025	2.050	1.25	1.25		
	1.945	1.965	1.995	1.03	1.54		
	1.740	1.765	1.790	1.44	1.44		
	1.915	1.935	1.965	1.04	1.57		
CB.10.3.T	1.960	1.990	2.020	1.53	1.53		
	1.865	1.885	1.910	1.07	1.34		
	2.015	2.040	2.060	1.24	0.99		
	2.000	2.025	2.045	1.25	1.00		
	2.065	2.090	2.115	1.21	1.21		
CB.10.1.C	1.983	2.002	2.035	0.96	1.66	1.17	1.06
	2.068	2.078	2.098	0.48	0.97		
	1.868	1.895	1.905	1.45	0.54		
	1.860	1.914	1.934	2.90	1.08		
	2.057	2.069	2.075	0.58	0.29		
CB.10.2.C	1.980	2.000	2.020	1.01	1.01		
	1.865	1.885	1.905	1.07	1.07		
	1.980	2.005	2.025	1.26	1.01		
	2.000	2.020	2.045	1.00	1.25		
	1.855	1.880	1.905	1.35	1.35		
CB.10.3.C	1.905	1.925	1.945	1.05	1.05		
	2.155	2.180	2.205	1.16	1.16		
	2.020	2.045	2.070	1.24	1.24		
	1.990	2.010	2.035	1.01	1.26		
	1.925	1.945	1.965	1.04	1.04		
CB.15.1.T	1.785	1.805	1.826	1.12	1.18	1.14	1.20
	1.750	1.770	1.792	1.14	1.26		
	1.810	1.830	1.852	1.10	1.22		
	1.825	1.845	1.868	1.10	1.26		
	1.850	1.872	1.894	1.19	1.19		
CB.15.2.T	1.915	1.942	1.968	1.41	1.36		
	1.950	1.975	1.999	1.28	1.23		
	1.850	1.869	1.890	1.03	1.14		
	1.925	1.949	1.974	1.25	1.30		
	1.950	1.972	1.998	1.13	1.33		
CB.15.3.T	1.930	1.950	1.970	1.04	1.04		
	1.940	1.960	1.980	1.03	1.03		

	1.950	1.974	1.995	1.23	1.08		
	2.102	2.125	2.150	1.09	1.19		
	2.183	2.205	2.230	1.01	1.15		
CB.15.1.C	2.120	2.145	2.170	1.18	1.18	1.17	1.17
	2.000	2.021	2.042	1.05	1.05		
	2.000	2.022	2.045	1.10	1.15		
	2.125	2.150	2.170	1.18	0.94		
	2.240	2.265	2.290	1.12	1.12		
CB.15.2.C	1.985	2.007	2.031	1.11	1.21		
	1.900	1.922	1.946	1.16	1.26		
	1.975	2.000	2.023	1.27	1.16		
	2.000	2.024	2.048	1.20	1.20		
	1.850	1.875	1.896	1.35	1.14		
CB.15.3.C	1.945	1.968	1.992	1.18	1.23		
	1.890	1.912	1.935	1.16	1.22		
	1.860	1.882	1.905	1.18	1.24		
	1.930	1.952	1.975	1.14	1.19		
	2.050	2.075	2.100	1.22	1.22		

ANEXO 15

DATOS PARA DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA ALA COMPRESIBILIDAD

Tablero	Probeta	L1	L2	A (cm ²)	P (Kg)	Espesor Inicial (mm)	Espesor final (mm)	Reducción (%)	Promedio	
CB.5.1.T	1	4.934	4.858	23.97	71.91	1.740	1.737	-0.172	-0.51	
	2	5.049	4.981	25.15	75.45	1.720	1.713	-0.407		
	3	5.170	4.882	25.24	75.72	1.725	1.713	-0.696		
	4	5.017	4.933	24.75	74.25	1.745	1.725	-1.146		
CB.5.2.T	1	4.975	5.147	25.61	76.82	1.790	1.780	-0.559		
	2	5.189	5.092	26.42	79.27	1.770	1.768	-0.113		
	3	5.038	5.083	25.61	76.82	1.805	1.801	-0.222		
	4	5.026	5.045	25.36	76.07	1.810	1.802	-0.442		
CB.5.3.T	1	5.004	5.280	26.42	79.26	1.865	1.859	-0.322		
	2	5.269	5.292	27.88	83.65	1.800	1.784	-0.889		
	3	4.961	5.000	24.81	74.42	1.765	1.760	-0.283		
	4	4.835	4.993	24.14	72.42	1.775	1.759	-0.901		
CB.5.1.C	1	4.924	4.916	24.21	72.62	1.900	1.891	-0.474		
	2	5.258	4.995	26.26	78.79	1.755	1.748	-0.399		
	3	5.010	4.858	24.34	73.02	1.885	1.882	-0.159		
	4	5.085	4.943	25.14	75.41	1.765	1.760	-0.283		
CB.5.2.C	1	5.028	5.344	26.87	80.61	1.910	1.900	-0.524	-0.50	
	2	5.060	4.980	25.20	75.60	1.918	1.902	-0.834		
	3	5.048	4.996	25.22	75.66	1.831	1.823	-0.437		
	4	4.966	4.977	24.72	74.15	1.907	1.895	-0.629		
CB.5.3.C	1	5.020	4.982	25.01	75.03	1.700	1.682	-1.059		
	2	5.024	4.986	25.05	75.15	1.680	1.672	-0.476		
	3	5.159	5.055	26.08	78.24	1.750	1.743	-0.400		
	4	4.951	5.018	24.84	74.53	1.680	1.674	-0.357		
CB.10.1.T	1	4.969	4.931	24.50	73.51	1.940	1.93	-0.515		-0.50
	2	5.072	5.052	25.62	76.87	1.874	1.865	-0.480		
	3	4.943	5.195	25.68	77.04	1.880	1.848	-1.702		
	4	4.886	5.062	24.73	74.20	1.780	1.774	-0.337		
CB.10.2.T	1	4.926	5.068	24.96	74.89	1.975	1.972	-0.152		
	2	4.963	5.001	24.82	74.46	1.930	1.928	-0.104		
	3	5.051	5.028	25.40	76.19	2.000	1.993	-0.350		
	4	5.012	5.055	25.34	76.01	2.030	2.026	-0.197		

CB.10.3.T	1	5.065	4.917	24.90	74.71	1.840	1.830	-0.543	-0.51	
	2	4.869	4.905	23.88	71.65	1.865	1.847	-0.965		
	3	4.895	4.983	24.39	73.18	1.990	1.982	-0.402		
	4	4.858	4.980	24.19	72.58	1.900	1.895	-0.263		
CB.10.1.C	1	4.97	4.772	23.72	71.15	1.788	1.774	-0.783		
	2	5.011	4.935	24.73	74.19	1.959	1.954	-0.255		
	3	5.013	5.012	25.13	75.38	2.012	2.006	-0.298		
	4	4.965	5.009	24.87	74.61	1.857	1.850	-0.377		
CB.10.2.C	1	4.955	4.925	24.40	73.21	1.940	1.921	-0.979		
	2	5.037	4.890	24.63	73.89	1.830	1.825	-0.273		
	3	4.975	5.095	25.35	76.04	2.010	2.004	-0.299		
	4	4.934	5.164	25.48	76.44	2.038	2.030	-0.393		
CB.10.3.C	1	4.906	5.057	24.81	74.43	2.000	1.993	-0.350		
	2	4.978	4.974	24.76	74.28	2.090	2.079	-0.526		
	3	4.971	4.870	24.21	72.63	2.085	2.063	-1.055		
	4	4.896	4.938	24.18	72.53	2.150	2.139	-0.512		
CB.15.1.T	1	4.934	4.986	24.60	73.80	1.895	1.885	-0.528	-0.50	
	2	4.891	5.000	24.45	73.37	1.865	1.852	-0.697		
	3	4.853	4.864	23.60	70.81	1.910	1.900	-0.524		
	4	4.925	5.160	25.413	76.24	1.950	1.940	-0.513		
CB.15.2.T	1	5.020	4.862	24.40	73.22	1.962	1.955	-0.357		
	2	5.000	4.931	24.65	73.97	2.000	1.990	-0.500		
	3	4.995	5.000	24.97	74.93	2.012	2.000	-0.596		
	4	5.002	4.990	24.96	74.88	1.893	1.879	-0.740		
CB.15.3.T	1	4.988	5.260	26.24	78.71	1.943	1.935	-0.412		
	2	5.024	5.080	25.52	76.57	2.047	2.039	-0.391		
	3	4.902	4.868	23.86	71.59	2.070	2.060	-0.483		
	4	5.020	5.086	25.53	76.60	1.868	1.863	-0.268		
CB.15.1.C	1	4.996	4.986	24.91	74.73	2.200	2.185	-0.682		-0.51
	2	5.001	4.997	24.99	74.97	2.245	2.232	-0.579		
	3	4.978	5.004	24.91	74.73	2.041	2.034	-0.343		
	4	4.982	4.967	24.75	74.24	2.200	2.194	-0.273		
CB.15.2.C	1	4.985	4.992	24.88	74.655	1.895	1.885	-0.528		
	2	4.965	5.120	25.42	76.262	1.926	1.916	-0.519		
	3	4.895	5.000	24.47	73.425	1.765	1.755	-0.567		
	4	4.982	4.987	24.84	74.536	1.900	1.890	-0.526		
CB.15.3.C	1	5.000	4.865	24.32	72.975	1.964	1.954	-0.509		
	2	5.012	4.845	24.283	72.849	1.985	1.974	-0.554		
	3	5.100	4.963	25.31	75.934	1.938	1.928	-0.516		
	4	4.900	4.954	24.27	72.824	2.105	2.094	-0.523		

ANEXO 16

DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE RUPTURA

Código Tablero	Código Probeta	P (kg)	L (cm)	a (cm)	e (cm)	MOR (kg/cm ²)
CB.5.1.T	FL1	15.88	20	5.100	1.660	33.89
	FL2	18.60	20	4.915	1.825	34.08
	FL3	21.09	20	4.975	1.800	39.26
CB.5.2.T	FL1	22.91	20	5.175	1.860	38.38
	FL2	22.23	20	5.100	1.850	38.20
	FL3	23.07	20	5.050	1.800	42.29
CB.5.3.T	FL1	16.56	20	4.925	1.800	31.13
	FL2	8.62	20	5.100	1.765	16.27
	FL3	24.04	20	4.950	1.875	41.44
CB.5.1.C	FL1	24.27	20	5.100	1.720	48.25
	FL2	26.08	20	4.900	1.825	47.94
	FL3	21.09	20	4.975	1.800	39.26
CB.5.2.C	FL1	26.08	20	5.122	1.938	40.67
	FL2	26.31	20	5.042	1.981	39.89
	FL3	17.24	20	4.919	1.878	29.81
CB.5.3.C	FL1	21.55	20	4.980	1.750	42.38
	FL2	22.68	20	4.960	1.860	39.65
	FL3	30.84	20	4.955	1.875	53.12
CB.10.1.T	FL1	19.28	20	5.100	1.900	31.41
	FL2	10.43	20	5.025	1.950	16.38
	FL3	18.37	20	4.950	2.100	25.25
CB.10.2.T	FL1	19.50	20	4.950	1.860	34.17
	FL2	19.73	20	4.950	1.925	32.27
	FL3	8.85	20	4.955	1.950	14.08
CB.10.3.T	FL1	18.14	20	4.950	1.940	29.22
	FL2	23.68	20	4.965	2.050	34.04
	FL3	22.91	20	5.015	2.060	32.29
CB.10.1.C	FL1	31.75	20	4.935	2.093	44.06
	FL2	30.39	20	4.879	2.075	43.40
	FL3	17.01	20	4.719	1.954	28.32
CB.10.2.C	FL1	20.87	20	5.040	2.100	28.16
	FL2	17.01	20	5.020	2.075	23.61
	FL3	16.33	20	4.915	1.915	27.18

CB.10.3.C	FL1	18.14	20	4.950	2.025	26.82
	FL2	19.28	20	4.950	2.150	25.28
	FL3	18.82	20	5.100	2.165	23.62
CB.15.1.T	FL1	15.42	20	5.050	2.150	19.82
	FL2	13.61	20	5.150	2.150	17.15
	FL3	14.06	20	4.990	2.200	17.47
CB.15.2.T	FL1	14.97	20	5.200	2.250	17.06
	FL2	16.33	20	5.100	2.220	19.49
	FL3	13.83	20	5.150	2.150	17.43
CB.15.3.T	FL1	14.74	20	5.125	2.085	19.85
	FL2	16.10	20	4.955	1.726	32.73
	FL3	13.83	20	5.106	2.170	17.26
CB.15.1.C	FL1	17.92	20	4.840	1.965	28.76
	FL2	15.65	20	4.935	2.305	17.91
	FL3	17.24	20	4.975	2.300	19.65
CB.15.2.C	FL1	15.88	20	4.980	2.215	19.49
	FL2	14.52	20	4.985	2.015	21.51
	FL3	14.82	20	5.050	2.120	19.59
CB.15.3.C	FL1	14.97	20	5.100	1.985	22.35
	FL2	15.42	20	5.050	2.000	22.90
	FL3	15.88	20	5.000	2.010	23.58