



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

**“CARACTERIZACIÓN QUÍMICO MECÁNICA DE PANELES DE
AGLOMERADO ELABORADOS A PARTIR DE BIO-DESECHOS
DEL BANANO”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:

ANA BARRAGÁN LUCAS

CRISTHIAN LLERENA MIRANDA

Guayaquil – Ecuador

2014

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi padre quien me ha brindado todo el apoyo para poder cursar y culminar mi carrera con éxito. A toda mi familia quien ha puesto un grano de arena en mi formación profesional y personal. Mi novio quien me ha dado ánimos en el transcurso de la tesis. A cada uno de los profesores quienes impartieron sus conocimientos conmigo.

A mi directora de tesis la Dra. Patricia Manzano quien ha compartido sus conocimientos para el éxito de la tesis. De igual manera a la Dra. Migdalia Miranda, Ing. María Fernanda Quijano y al Ing. Iván Chóez y todo el personal que labora en el CIBE quienes son mis compañeros de tesis honorarios.

Anita.

DEDICATORIA

A mis padres, familia y mi novio.

Anita.

AGRADECIMIENTO

A Dios quién supo guiarme por el buen camino, dándome fuerzas para seguir adelante.

A mi familia por darme todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi directora de tesis la Dra. Patricia Manzano quien confió en mí para la ejecución del proyecto.

Además a todo el personal del CIBE quienes nos abrieron las puertas y nos ayudaron paso a paso en la tesis.

Y en especial a la Ing. María Fernanda Quijano por asesorarnos en la tesis.

Cristhian

DEDICATORIA

A mis Padres por todo su apoyo, confianza
y amor incondicional.

Cristhian.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Oswaldo Valle
DECANO FCNM

PhD. Patricia Manzano
DIRECTORA DE TESIS

MSc. Raúl Serrano
VOCAL PRINCIPAL

PhD. Olga González
VOCAL ALTERNO

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Ana Barragán Lucas

Cristhian Llerena Miranda

RESUMEN

El banano, uno de los principales productos de exportación del Ecuador, del cual se siembran anualmente más de 230000 hectáreas(1) lo cual genera una cantidad igual de residuos agroindustriales como el pseudotallo, cuyas fibras no han sido aprovechadas. El presente estudio tiene como objetivo la caracterización de los tableros de aglomerado fabricados a partir de fibras del pseudotallo del banano. En el diseño de la formación del tablero se consideraron las variables fijas: presión 50 y 100 Kg.cm⁻², parafina 10 %, tiempo 20 minutos. Se realizó un diseño factorial 2², los factores a considerar fueron resina y temperatura. El nivel bajo de la resina fue de 15% en la fibra gruesa (FG) y 35 % en la fibra fina (FF); como nivel alto 25 % FG y 45 % FF. En la temperatura los niveles fueron de 150°C y 170°C respectivamente. Los tableros realizados a partir del diseño factorial cumplieron con los parámetros de calidad evaluados con normas NTC y COVENIN correspondientes a densidad, humedad, módulo de rotura, módulo de elasticidad, emisión de formaldehído, absorción al agua a las dos horas. Sin embargo los tableros elaborados con un nivel bajo de resina no cumplieron con el parámetro hinchazón al agua a las dos horas. Con los resultados obtenidos se optimizaron las condiciones de proceso correspondientes a temperatura de prensado (162.61°C) y contenido de resina (43.15% FF 23.97% FG).

Los resultados demostraron que es factible aprovechar la cantidad de residuos del banano para innovar la industria de aglomerados.

Palabras claves: *Musa paradisiaca*, nuevos materiales, fibra, residuos, paneles.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	ix
ÍNDICE GENERAL	xi
ABREVIATURAS	xv
SIMBOLOGÍA	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	xxi
CAPÍTULO I. Generalidades	23
1.1. Antecedentes	23
1.2. Planteamiento del problema	24
1.3. Justificación	26
1.4. Hipótesis	28
1.5. Objetivos.....	29
1.5.1. Objetivo General.....	29
1.5.2. Objetivo Específico	29
1.6. Metodología General.	29
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	33
2.1. Paneles de aglomerado	33
2.2. Clasificación de los paneles de aglomerado de partículas	33

2.2.1.	Paneles aislantes o de baja densidad.....	35
2.2.2.	Paneles de media densidad.....	35
2.2.3.	Tableros de Alta densidad o HDF	36
2.3.	Proceso de producción de paneles de aglomerado de partículas	36
2.4.	Materias primas del panel de fibras	37
2.5.	Aspectos generales del cultivo de banano en el Ecuador.....	39
CAPÍTULO III. Producción y caracterización de tableros.		41
3.1.	Obtención y optimización de las fibras del pseudotallo del banano	41
3.2.	Elaboración del panel de aglomerado.....	43
3.3.	Diseño de experimento.	43
3.4.	Caracterización de producto terminado mediante normas de calidad	44
3.4.1.	Determinación de la densidad aparente	45
3.4.2.	Determinación del contenido de humedad.....	46
3.4.3.	Determinación del módulo de rotura y del módulo de elasticidad..	47
3.4.4.	Determinación de la hinchazón y de la absorción de agua por sumersión total.....	49
3.4.5.	Determinación del contenido de formaldehido	50
3.5.	Optimización de respuestas.....	51

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
4.1. Evaluación del rendimiento del proceso de elaboración de paneles de aglomerado	53
4.2. Caracterización química, mecánica y física de tablero de aglomerado.....	55
4.2.1. Prueba de densidad.....	56
4.2.2. Prueba de contenido de humedad.....	59
4.2.3. Prueba absorción de agua a las 2 horas	60
4.2.4. Hinchazón de agua a las 2 horas.....	63
4.2.5. Prueba de módulo de elasticidad.....	65
4.2.6. Prueba de módulo de rotura	68
4.2.7. Prueba de formaldehido.....	70
4.3. Optimización de Múltiples Respuestas	73
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
5.1. Conclusiones.....	76
5.2. Recomendaciones.....	77
ANEXO I – CURVA DE CALIBRACION DEL FORMALDEHIDO.....	80
ANEXO II – DESEABILIDAD DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS.....	81
ANEXO III – DETERMINACIÓN DE DENSIDAD, HINCHAZÓN Y ABSORCIÓN AL AGUA.....	82

ANEXO IV – DETERMINACIÓN MÓDULO DE ROTURA Y MÓDULO DE ELASTICIDAD	83
BIBLIOGRAFÍA.....	84

ABREVIATURAS

MDF	Tableros de media densidad (por sus siglas en inglés)
MOR	Módulo de rotura
MOE	Módulo de elasticidad
HPLC	Cromatografía líquida de alta eficiencia.
OSB	Tableros de virutas orientadas
DAD	Detector de arreglo de diodos
pH	Potencial de Hidrógeno
UF	Urea-formaldehído
NTC	Norma técnica colombiana
COVENIN	Comisión venezolana de normas industriales
JIS	Estándar industrial Japonés
SUIA	Sistema único de información ambiental
DNPB	2,4-dinitrofenilhidracina

SIMBOLOGÍA

cm	Centímetro
g	Gramo
mg	Miligramo
mL	Mililitros
°C	Grados centígrados
P	Valor P
R ²	Cociente de variabilidad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de paneles compuestos de madera por tamaño de partícula, densidad y proceso	34
Figura 2. Diagrama general de flujo para la fabricación de tableros de diferente composición	37
Figura 3. Medición de largo, ancho y espesor en puntos específicos de probetas.....	46
Figura 4. Cromatograma de estándar de formaldehído.	51
Figura 5. Diagrama de proceso para obtención de fibra	54
Figura 6. Diagrama de proceso de elaboración de paneles de aglomerado.	55
Figura 7. Gráfica del efecto resina para densidad	58
Figura 8 Gráfica del efecto Temperatura para densidad.....	58
Figura 9 Gráfica del efecto resina para absorción de agua a las 2 horas	62
Figura 10. Gráfica del efecto temperatura para absorción de agua a las 2 horas.	62
Figura 11. Gráfica del efecto resina para hinchazón de agua a las 2 horas.	64

Figura 12. Gráfica del efecto temperatura para hinchazón de agua a las 2 horas.	65
Figura 13. Gráfica del efecto resina para el módulo de elasticidad.....	67
Figura 14. Gráfica del efecto temperatura para el módulo de elasticidad.	67
Figura 15. Gráfica del efecto resina para el módulo de rotura	69
Figura 16. Gráfica del efecto temperatura para el módulo de rotura.....	70
Figura 17. Gráfica del efecto resina para la emisión de formaldehído	72
Figura 18. Gráfica del efecto temperatura para la emisión de formaldehído.	73
Figura 19. Gráfico de superficie de respuesta estimada.....	75
Figura 20. Gráfica de regresión lineal de los estándares de formaldehído. ..	80
Figura 21. Equipos y metodología en la determinación de densidad, hinchazón y absorción al agua.....	82
Figura 22. Determinación módulo de rotura y módulo de elasticidad	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Configuración de factores y niveles del diseño experimental.....	44
Tabla 2. Normas utilizadas en la caracterización del aglomerado.	45
Tabla 3. Densidad de tableros del diseño.	56
Tabla 4. Valores P para Densidad	57
Tabla 5. Humedad de tableros del diseño.	59
Tabla 6. Valores P para humedad	60
Tabla 7. Absorción de agua 2 horas de tableros del diseño	60
Tabla 8. Valores P para absorción de agua 2 h.....	61
Tabla 9. Hinchazón de agua a las 2 horas de tableros del diseño.....	63
Tabla 10 Valores P para la hinchazón al agua a las 2 horas	64
Tabla 11. Módulos de elasticidad de tableros del diseño.....	66
Tabla 12. Valores P para MOE	66
Tabla 13. Módulos de rotura de tableros del diseño.	68
Tabla 14. Valores P para MOR	68

Tabla 15. Emisión de formaldehído de tableros del diseño.....	71
Tabla 16. Valores P para emisión de formaldehído	71
Tabla 17-. Valores de optimización de la función deseabilidad	74
Tabla 18. Niveles óptimos de acuerdo a la función deseabilidad.....	74
Tabla 19. Respuesta estimada de acuerdo a valores óptimos	75
Tabla 20. Análisis de deseabilidad de corridas experimentales del diseño ..	81

INTRODUCCIÓN

Los tableros de partículas, son paneles formados por partículas de madera. La madera se reduce a virutas, que se transforman en partículas, que son conducidas a un proceso de secado. El material seco se mezcla con una resina sintética y la mezcla se coloca en una prensa, donde se somete a calor y presión, lo que resulta en un aglomerado (2).

Se han estudiado varias alternativas utilizando el residuo de cadenas de producción como cáscaras de arroz, coco y cacahuate; fibra de yute y sisal; paja de arroz y trigo para aplicaciones en materiales de construcción (3)

Es por esto que en este trabajo se busca una nueva materia prima para la elaboración de paneles de aglomerado a partir del residuo agroindustrial de uno de los principales productos de exportación de Ecuador como lo es el banano (4). Para determinar las condiciones de operación del prensado del

tablero se realizó un diseño factorial 2^k , de donde se tomaron como factores o variables controlables por el experimentador (k) la temperatura y resinosidad; los niveles se muestran en la tabla 1 y como variables fijas la presión (50 Kg.cm^{-2} por 10 min; 100 Kg.cm^{-2} por 10 min), parafina 10 %, porcentaje de fibra; relación entre fibra gruesa (45 % FG con respecto a la fibra total) y 55 % FF, tiempo (20 min). El diseño se realizó en el software STATGRAPHICS CENTURION XV, del cual se configuraron las combinaciones a analizar en 2 bloques.

Los tableros obtenidos del diseño se caracterizarán física, química y mecánicamente para conocer si estos cumplen con normas de calidad NTC y COVENIN.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La producción de paneles de aglomerado se ha incrementado desde su inicio durante 1941 en Europa (5), hasta la actualidad, donde se ha convertido en materia prima imprescindible para la industria de la construcción y mueblería debido a su versatilidad y bajo costo frente a productos tradicionales de madera (6). Este fenómeno ha obligado a la industria de la construcción y mueblería a ir innovando las propiedades de los tableros como resistencia a la humedad conservando las propiedades físico mecánicas en ambientes húmedos. Se han realizado estudios sobre las fibras naturales y su potencial como materiales de construcción (3).

Estudios presentados en el I Congreso Internacional de Producción Forestal Sostenible realizado en Quito, Ecuador en el 2013, indican que el crecimiento de la industria de los paneles de madera

mundialmente presenta entre el periodo de 1980-2011 un aumento en la producción del 250%, donde se destaca que el panel de aglomerado posee una tasa de crecimiento del 134%(7).

Debido al auge de la industria maderera, ésta se ha visto obligada a firmar acuerdos y realizar programas de gestión ambiental, lo que garantiza que la madera utilizada provenga de bosques específicos; y que además, se cumplan estrictamente campañas de reforestación. Sin embargo, el tiempo de maduración de los bosques a utilizar y el aumento exponencial de su demanda, hará que en un futuro se pierda este equilibrio ecológico, por lo que se recurrirá al uso de campos “vírgenes” o zonas destinadas a la industria alimenticia, ahí radica la importancia de recurrir a nuevas fuentes de materia primas.

En este contexto, el estudio de diversas fuentes de materias primas para la elaboración de sustitutos de madera, ha sido dirigido a diferentes variedades de especies vegetales no comerciales. En este campo, se busca agregar valor a los desechos agroindustriales de las plantaciones del banano y crear nuevos nichos de negocio relacionados con la fabricación de paneles a partir de estos desechos.

1.2. Planteamiento del problema

En el Ecuador, la tasa de deforestación y superficie promedio anual es de $77\,600 \text{ ha}\cdot\text{año}^{-1}$ según los indicadores encontrados en el

Sistema Único de Información Ambiental-SUIA durante el periodo 2000-2008 (8). El referido porcentaje se debe a la tala de árboles destinados a la fabricación de muebles, paneles, aglomerados de madera y demás. Es por esto, que el Ministerio del Ambiente desde el 2008 ha aplicado diferentes proyectos de mitigación, para evitar la tala descontrolada de árboles, impulsando varios programas, tales como: “Socio Bosque” cuyo fin consiste en lograr la recuperación de la cobertura natural mediante la rehabilitación ecológica y de la cobertura boscosa con la plantación de árboles forestales en sistemas agroforestales; a través de la inclusión de un sistema de incentivos para protección de bosques, páramos y vegetación (9).

Para dar solución a esta problemática, se buscan sustituir materias primas, que no dependan de árboles tradicionales (pino, roble, sauce, etc.), por fuentes como los residuos agroindustriales los cuales no están siendo aprovechados, como lo son los provenientes de las plantaciones de banano, que después de la cosecha no tienen ningún uso de nivel industrial, excepto en algunos casos que es utilizado para artesanías. Se examina la posibilidad de dar valor agregado a la producción del banano al utilizar las fibras del pseudotallo para su uso en la elaboración de paneles.

En la actualidad, el valor de las cajas de banano se mantiene fijo mediante el acuerdo ministerial N° 524 07/11/13 a 6 dólares americanos, pero los compradores pagan a los productores por debajo de ese valor y en el peor de los casos el exportador está expuesto al rechazo del producto (10).

Ecuador, como exportador de banano, siembra alrededor de 230.000 hectáreas al año (1) de este producto, los residuos que genera ésta industria en especial el pseudotallo del banano, del cual se estiman como desechos 45000 Kg.Ha^{-1} , que servirán como materia prima para la producción de paneles de aglomerado, la cual influirá en la reducción de las tasas de deforestación y además agregaría una ventaja competitiva a los productores de banano, creando nuevas fuentes de empleo y beneficiando a la industria agrícola ecuatoriana (11).

1.3. Justificación

Uno de los principales productos de exportación del Ecuador es el banano, según el Análisis Del Sistema Agroalimentario Del Banano el Ecuador se encuentra liderando la lista en cuanto a producción en la comunidad andina con el 77.3% (4). Las exportaciones del banano generan una fuente de ingresos para los productores y toda la cadena que depende de él. Pero las fluctuaciones del precio de la caja del

banano y el aumento de los costos que conlleva la producción del mismo como el flete de las navieras y el costo de las cajas para el banano han llevado a que los productores soliciten al gobierno ayudar al sector con rubros como fertilizantes y acuerdos comerciales.

La utilización de madera tanto en la industria primaria como secundaria tiene como consecuencia la disminución de los bosques en el Ecuador, es por eso que actualmente se buscan nuevas alternativas en el sector maderero, donde un recurso muy importante son las fibras vegetales obtenidas de los residuos agroindustriales, las cuales hasta ahora se obtienen de los árboles como el pino, eucalipto, etc. Esta nueva tendencia de aprovechamiento industrial evitará la dependencia del sector maderero del uso de los árboles tradicionales utilizados para este fin, que en muchos casos son de cultivo de ciclo largo como en el caso de la Teca, cuyo primer corte se recomienda a los 20 años (12).

En este ámbito, lo ideal es utilizar fuentes no convencionales y que se obtengan de una manera ecológica o de desperdicios de otras cadenas de producción como es el caso del pseudotallo del banano. Estudios realizados han demostrado la eficiencia de las fibras de banano con respecto a sus propiedades mecánicas y químicas, las

cuales podrían ser aplicadas en la producción de tableros aglomerados (13).

Por tanto, la fabricación de un tablero aglomerado que utilice como materia prima un desecho de la industria del banano y que posea características químicas y mecánicas similares a las del aglomerado presente en el mercado. Llevará a diversificar el mercado tanto en materia prima para los productores y como producto acabado para el consumidor. Además, tendrá un impacto en la disminución de niveles de deforestación en el Ecuador y será una nueva fuente de ingresos para el sector bananero, lo cual impulsará el sector productivo y revalorizará la producción del banano en el país.

Por los antecedentes expuestos, la presente investigación propone aprovechar el pseudotallo del banano (considerado desecho agroindustrial) que representa 45000 Kg.Ha^{-1} , como materia prima en la elaboración de paneles de aglomerado y darle valor agregado a la producción del mismo con la consecuente disminución de la tasa de deforestación en el Ecuador.

1.4. Hipótesis

Los paneles de aglomerados producidos a partir de bio desechos provenientes del banano, cumplirán con las mismas características

químico mecánicas que los paneles de aglomerado producidos a partir de virutas de madera.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Caracterizar química y mecánicamente los paneles de aglomerado producidos a partir de bio desechos del pseudotallo de banano

1.5.2. Objetivo Específico

- Obtención de fibras a partir del pseudotallo del banano para la elaboración de tableros de aglomerado.
- Determinar condiciones de operación para la formulación del tablero mediante un diseño factorial.
- Evaluar las propiedades de las muestras de ensayo mediante normas de calidad.
- Optimizar las variables de proceso mediante la metodología de superficie de respuesta.

1.6. Metodología General.

El trabajo se inició con la obtención de las fibras del pseudotallo del banano proveniente de la provincia de El Oro, el procesamiento de

materia prima se realizó mediante operaciones físicas como secado, molienda, etc. En el diseño experimental para la elaboración de tableros de aglomerado se tomó como variables fijas: presión, porcentaje de parafina, porcentaje de fibra y tiempo. Como factores o variables independientes la temperatura y porcentaje de resina.

La transformación a planchas de aglomerado se llevó a cabo utilizando una prensa hidráulica equipada con una resistencia a presión, temperatura y tiempo definidos, ya que estos factores influyen en el espesor y propiedades finales de las planchas de aglomerado.

Los tableros obtenidos de cada formulación fueron replicados y se evaluaron las propiedades de: densidad, humedad, hinchazón y absorción al agua a las 2 horas, módulo de rotura, módulo de elasticidad y emisión de formaldehído; los valores obtenidos fueron comparados con normas de calidad como Norma Técnica Colombiana (NTC), Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) referentes a las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los tableros de aglomerado.

1.7. Materiales y métodos

1.7.1. Materiales

- ✓ Parafina de alta pureza enriquecida con polímeros (Merk-1.11609.9025)

- ✓ Resina de Urea y formaldehido (Interquimec S.A.)
- ✓ Agua desionizada del sistema Barnstead (filtro de 0.2µm.)
- ✓ 2.4 Dinitrofenilhidrazina, grado reactivo 97% (CAS : 119-26-6)
- ✓ Metanol grado HPLC, ≥ 99 % (CAS: 67-56.1)

1.7.2. Equipos

- ✓ Balanza analítica, Metler Toledo modelo AB 204-S
- ✓ Estufa de circulación, VWR 1675
- ✓ Caladora eléctrica
- ✓ Prensa Hidráulica, MEGA (30 toneladas)
- ✓ Balanza mecánica industrial 100 Kg.
- ✓ Secador de bandejas
- ✓ Molino de martillo acoplado a un ciclón
- ✓ Equipo de resistencia de materiales, Soiltest
- ✓ Baño maría, VWR 1202
- ✓ Cromatógrafo liquido de alta eficiencia, Perkin Elmer con detector de arreglo de diodos.
- ✓ Columna analítica C18, de 3 µm de tamaño de partícula (250 X4.6mm)

1.7.3. Materiales de laboratorio

- ✓ Micro-pipetas Labnet, autoclavable.
- ✓ Desecador de vidrio.
- ✓ Agitador magnético, IKA RCT basic.

- ✓ Vasos de precipitación de 50 mL.
- ✓ Filtros de jeringa Agilent con porosidad de 0.45 μm .
- ✓ Núcleos de agitación
- ✓ Balón aforado de 50 mL.
- ✓ Calibrador vernier
- ✓ Flexómetro

1.7.4. Métodos de ensayo

- ✓ Densidad por el método geométrico (NTC 2261)
- ✓ Humedad por el método gravimétrico (NTC 2261)
- ✓ Hinchazón y absorción al agua a las 2 horas por el método de sumersión (COVENIN 847-91)
- ✓ Módulo de rotura por el método de resistencia mecánica (COVENIN 847-91)
- ✓ Módulo de elasticidad por el método de resistencia mecánica (COVENIN 847-91)
- ✓ Emisión de formaldehido mediante técnicas cromatografías (NTC 2261)

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Paneles de aglomerado

Según Maloney, en 1993, el panel de aglomerado se define como un panel producido a partir de material lignocelulósico principalmente en forma de partículas discretas, combinadas con resinas sintéticas u otros aglutinantes apropiados y unidos entre sí bajo calor y presión; además, especifica que es un proceso en el cual los enlaces entre partículas son creados por el adhesivo o aglutinante añadido cuyo objetivo principal es aprovechar maderas de bajas calidad, de pequeñas dimensiones o residuos resultantes para la formación de hojas lisas utilizables en fines estructurales o decorativos (14).

2.2. Clasificación de los paneles de aglomerado de partículas

La clasificación general de los paneles de aglomerado se basa principalmente en variables establecidas como: tamaño de partícula,

densidad y condiciones de proceso (Figura 1), donde se dividen los tipos de paneles de acuerdo a las tres variables antes mencionadas (15).

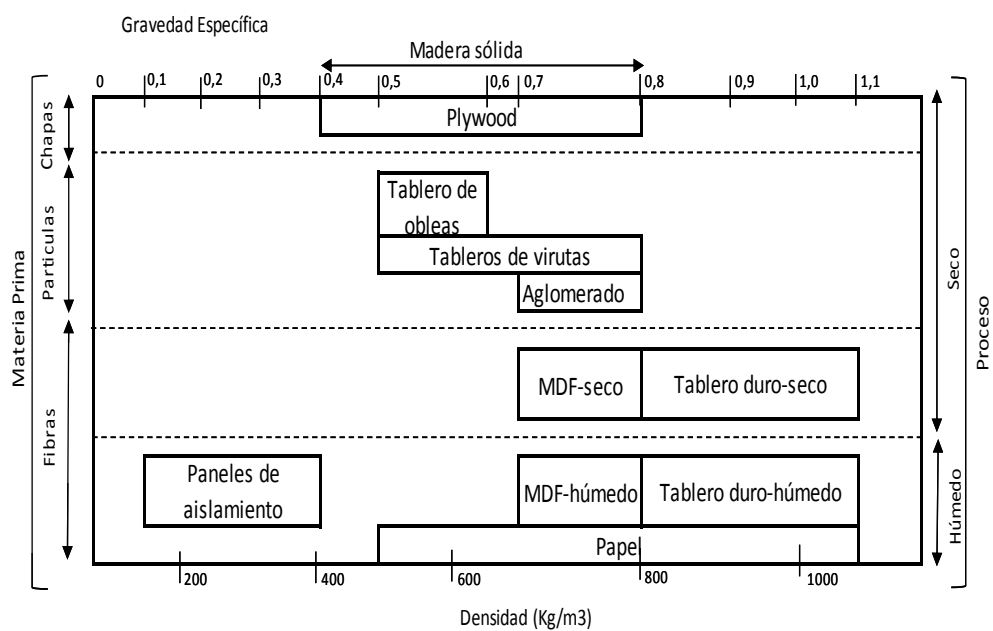


Figura 1 Clasificación de paneles compuestos de madera por tamaño de partícula, densidad y proceso (Stark et al., 2010).

De acuerdo a su densidad denota que dentro de los paneles compuestos de fibra de madera se subdividen de acuerdo a su densidad en: paneles aislantes, paneles de media densidad (MDF) y paneles duros.

2.2.1. Paneles aislantes o de baja densidad

Se llaman paneles aislantes a los que poseen una densidad hasta 400 Kg.m^{-3} (15), la primera planta de producción de panel aislante fue construida en 1988 en Inglaterra, respondiendo a los esfuerzos para capitalizar la gran cantidad de fibras de gran tamaño extraídos de la pulpa (16).

Estos tableros tienen utilidad en aplicaciones que requieran paneles ligeros, cuando es necesario amortiguar los ruidos o aislar del calor, o bien como alma en aquellas piezas o construcciones en que sea importante reducir el peso (17).

2.2.2. Paneles de media densidad

Las densidades de tableros que fluctúan entre 600 y 800 Kg.m^{-3} se conocen como paneles de densidad media (MDF), cuyo proceso de obtención se realiza por dos métodos por vía húmeda y vía seca. La primera fábrica de MDF mediante proceso seco tuvo lugar en Deposit, EEUU por el año de 1965; y en el año de 1973 en Alemania (18).

El MDF se subdivide de acuerdo a su aplicación en (19):

- Tableros estándar para utilización general en ambiente seco (MDF)
- Tableros estándar para utilización general en ambiente húmedo (MDF.H)

- Tableros estructurales para utilización en ambiente seco (MDF.LA)
- Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo (MDF.HLS)

2.2.3. Tableros de Alta densidad o HDF

Los tableros de alta densidad tienen todas las ventajas del MDF y es ampliamente utilizado en la decoración interior y exterior, muebles de oficina, equipos de música, la decoración de interiores de automóviles y la electrónica. También sirve como materiales de producción de suelo antiestático en salas de ordenadores (20); la densidad de estos tableros varía 850 a 1100 Kg.m⁻³ (15).

2.3. Proceso de producción de paneles de aglomerado de partículas

En general la producción de los paneles aglomerados comprendidos por paneles de aislamiento, duros, partículas, MDF, de obleas y tableros de fibra orientada (OSB) poseen el mismo proceso de producción el cual se refleja en la Figura 2. El proceso comienza con el secado de la fibra, separado y clasificado de acuerdo al tamaño necesario, la fibra es transportada al mezclador de resina donde se homogeniza la mezcla (21).

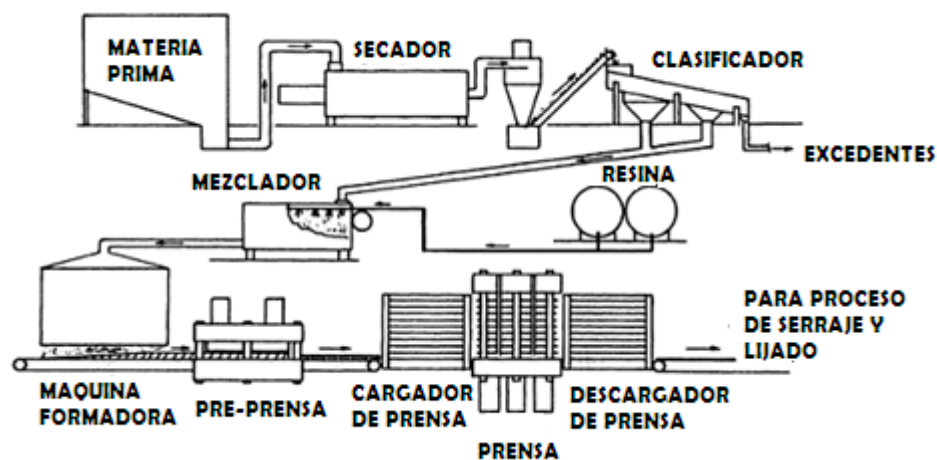


Figura 2. Diagrama general de flujo para la fabricación de tableros de diferente composición (WENG FOOK LEE, 1993)

La materia prima es pasada a la máquina formadora de paneles donde se da forma al colchón, dependiendo de la aplicación, éste se somete a un pre-prensado donde se reduce la altura del colchón. Luego se aloja en la prensa y es sometida a temperatura y presión conocidas por un intervalo de tiempo determinado.

En el proceso de producción de cada tablero de fibra, dependiendo del tipo a elaborar, el factor más importante es la condición de proceso en el prensado. Esto comprende la temperatura, presión, tiempo y porcentaje de resina (22).

2.4. Materias primas del panel de fibras

Entre los principales insumos para la elaboración de aglomerado constan las fibras vegetales, resinas sintéticas y demás aditivos para

mejorar la rigidez, dureza, propiedades de acabado, resistencia a la abrasión y humedad, así como para aumentar la resistencia, la durabilidad y la utilidad (23).

La industria maderera ecuatoriana utiliza como materia prima las fibras vegetales que provienen de especies arbóreas como pino *Pinus radiata* y *Pinus patula* (24). Ante la tendencia de preservar el ecosistema, en la actualidad se han estudiado varias alternativas utilizando el residuo de cadenas de producción como cáscaras de arroz, coco y cacahuate, fibra de yute y sisal, paja de arroz y trigo para aplicaciones en materiales de construcción (3).

Por otro lado las resinas sintéticas usadas en la fabricación de paneles son las resinas de fenol formaldehído; urea- formaldehído, melanina formaldehído; isocianatos, siendo la más común la resina de urea y formaldehído por su bajo costo y gran disponibilidad (15).

Las resinas de Urea-Formaldehído (UF), también conocidas como Urea-Metanal son resinas sintéticas pertenecientes a la familia de los polímeros de condensación termoestables, llamados así por su vía de síntesis y estructura general, son obtenidas a través de la reacción entre la urea y del formaldehído, que suele estar catalizada por cloruro de amonio en presencia de una base débil, y utilizadas principalmente

como adhesivos para el encolado de madera contrachapada, tableros de partículas y objetos moldeados (25).

La reacción de la urea y formaldehído se comenzó a trabajar por Goldschmidt en 1887, pero no fue hasta 1918 que John realizó la primera patente de aplicación de la resina. Subsecuentemente, existen varios trabajos de científicos y químicos que fueron la base para la comercialización de la resina de UF. La expansión de la resina comenzó con el desarrollo del tablero de partícula después de la segunda guerra mundial, con un tremendo aumento de producción en el año de 1980 (26).

La resina se utiliza en la producción de textiles, papel, moldes de arena de fundición, telas antiarrugas, mezclas de algodón, rayón, de pana, etc. Principalmente es utilizada como pegamento en la industria de madera; además, se utiliza en la producción de carcasa para aparatos eléctricos y también lámparas de escritorio (27).

2.5. Aspectos generales del cultivo de banano en el Ecuador

En general el banano se cultiva en alrededor de 150 países, se presume que existen 100 variedades de banano subdividido en 50 grupos, de los cuales el "Cavendish" es el más distinguido para exportación. Específicamente en Ecuador, en el 2012 se tuvo un ingreso de 2' 078 239.38 millones de dólares por exportación de

banano y 5' 196 065.09 toneladas siendo este el primer producto de exportación del sector privado del país. Dentro de los productos no tradicionales, las exportaciones ecuatorianas de banano, representan el 45.34 % del valor FOB exportado y el 87.14 % de las toneladas exportadas (28).

Las principales zonas del Ecuador donde se cultiva el banano y plátano son las provincias de Los Ríos, El Oro y Guayas nombradas en orden descendente de acuerdo a su producción(1) .

El banano constituye, un fuerte producto de exportación en el Ecuador, su industria genera varios residuos agroindustriales ya que solo se aprovecha su fruto, sin considerar que existen otras partes como hojas, pinzote, pseudotallo que no son aprovechadas ya que luego de la cosecha se considera a estas partes como desperdicio y da lugar a un nuevo proceso de siembra.

CAPÍTULO III. PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE TABLEROS.

3.1. Obtención y optimización de las fibras del pseudotallo del banano

Los pseudotallos de banano fueron recolectados de la bananera Jesi ubicada en la parroquia El Retiro, del cantón El Guabo, provincia de El Oro. Para las mediciones de las propiedades físicas del pseudotallo del banano se utilizó un flexómetro (medida de largo y ancho); y una balanza mecánica industrial de capacidad 100 Kg. para la determinación del peso. A todas las propiedades se les determinó la media y la desviación estándar.

La estructura del pseudotallo, es en capas, por lo que esta etapa se inicia con el secado de las mismas hasta llegar al tallo floral. Cada una de estas capas es cortada longitudinalmente en porciones de 9 cm aproximadamente. El pseudotallo, además, posee una gran cantidad

de líquido que se obtiene como remanente del prensado por un trapiche modelo SLGZ-807. Las fibras al salir del trapiche fueron pesadas para cuantificar el rendimiento de las mismas.

El secado inicial de las fibras se realizó en un secador solar utilizando fundas de plástico de polietileno como base de las fibras y éstas se voltearon cada 12 horas para un secado más uniforme; el periodo total fue de 24 horas. Después las fibras fueron cortadas a un tamaño de aproximadamente 25 cm. Para luego colocarlas en el secador de bandejas de confección artesanal ubicado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la ESPOL, el lapso de secado fue de 6 horas. Una vez secadas las fibras fueron dispuestas en sacos de papel para evitar que adquieran humedad del ambiente.

En cuanto a la molienda de las fibras del pseudotallo del banano se utilizó un molino de martillos de tipo artesanal perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil, el cual posee un ciclón para separar las fibras finas de las gruesas. Los productos fueron guardados en fundas de cierre hermético para evitar que adquieran humedad y separados en 2 tipos de fibras gruesa y fina.

3.2. Elaboración del panel de aglomerado.

Para la fabricación del tablero se realizó un colchón tipo sanduche, integrando las fibras obtenidas del pseudotallo, las cuales fueron engomadas con resina de urea y formaldehído facilitado por la compañía Interquimec S.A., y adicionalmente una proporción de parafina (Merk-1.11609.9025). Posteriormente, el colchón se sometió a un prensado en prensa hidráulica marca MEGA (30 toneladas) con controlador de temperatura y presión. Las condiciones de proceso y proporción de aditivos en el colchón se configuraron mediante un diseño de experimento.

3.3. Diseño de experimento.

Para determinar las condiciones de operación del prensado del tablero se realizó un diseño factorial 2^k , de donde se tomaron como factores o variables controlables por el experimentador (k) la temperatura y resinosidad los niveles se muestran en la Tabla 1 y como variables fijas la presión (50Kg.cm⁻² por 10 min; 100 Kg.cm⁻² por 10 min), parafina 10 %, porcentaje de fibra; relación entre fibra gruesa (45 % FG con respecto a la fibra total y 55 % fina , tiempo (20 min.). El diseño se realizó en el software STATGRAPHICS CENTURION XV, del cual se configuraron las combinaciones a analizar en 2 bloques.

Factor Nivel	Resina	Temperatura
-1	15 % FG, 35 % FF	150°C
+1	25 % FG, 45 % FF	170°C

Tabla 1. Configuración de factores y niveles del diseño experimental
Elaborado por: Autor

El colchón se realizó tipo sanduche por tanto cada capa tuvo diferentes porcentajes de resina y parafina, por eso que dentro de los niveles se encuentran 2 valores de resina relacionados a la fibra gruesa y fina. El colchón fue colocado en papel aluminio para evitar que en la etapa de prensado se quede en las placas de la prensa, posterior se somete al prensado a temperatura indicada en el diseño y presión constante.

Una vez transcurrido el tiempo de prensado se saca el tablero y se espera a que disminuya la temperatura por un tiempo de 3 horas.

3.4. Caracterización de producto terminado mediante normas de calidad

Los tableros obtenidos se sometieron a pruebas físicas, químicas y mecánicas de acuerdo a normas de calidad internacionales como se muestra en la Tabla 2.

Propiedad	Norma de ensayo
Densidad	NTC 2261
Humedad	NTC 2261
Absorción 2 horas	COVENIN 847-91
Hinchazón 2 horas	COVENIN 847-91
MOE	NTC 2261
MOR	NTC 2261

Tabla 2. Normas utilizadas en la caracterización del aglomerado.
Elaborado por: Autor

3.4.1. Determinación de la densidad aparente

Para la determinación de la densidad aparente se utilizaron muestras de análisis de tableros denominadas probetas, las cuales se cortaron en forma cuadrangular de 25 cm^2 de área mediante una caladora eléctrica. Para la determinación de densidad, de acuerdo a la ecuación 1 se deben calcular la masa y volumen según lo establecido en la norma NTC 2261. Se mide la masa (m_0) de la probeta en una balanza analítica marca Metler Toledo con aproximación de 0.1 mg. Para la determinación del volumen, se midió el espesor mediante un calibrador Vernier, las mediciones se hicieron en cuatro puntos colocados como se muestra en la Figura 3, y el promedio de estas se considera el espesor efectivo de la pieza de ensayo. El largo y ancho de las probetas son medidas en 2 puntos, paralelamente a los lados

sobre las líneas punteadas en la Figura 3, la media aritmética de las dos medidas paralelas se considera ancho y longitud.

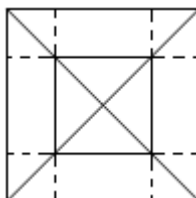


Figura 3. Medición de largo, ancho y espesor en puntos específicos de probetas

El valor de densidad aparente (DA) se debe calcular en kilogramos por metro cúbico (Kg.m^{-3}), donde la masa (m_0) se expresa en gramos y el volumen en mm^3 , utilizando la ecuación 1.

$$DA = \frac{m_0}{v} \times 10^6 \quad (\text{Ec. 1})$$

3.4.2. Determinación del contenido de humedad

La muestra utilizada para el ensayo tuvo un mínimo de peso de 20 gramos y un área de 25 cm^2 , la pieza de ensayo fue secada en una estufa de circulación de aire marca VWR a una temperatura de 103°C por una hora, luego fue pesada en una balanza analítica marca Mettler Toledo periódicamente hasta que el resultado de dos pesadas sucesivas no difieran en más del 1%. El contenido de humedad (CH) es expresado como la relación entre la diferencia de masa antes (m_0)

y después (m_1) del secado; y la masa después del secado como se refleja en la ecuación 2.

$$CH = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

3.4.3. Determinación del módulo de rotura y del módulo de elasticidad

El módulo de rotura y elasticidad del aglomerado, se realizó en un equipo de resistencia de materiales (Soilttest), que posee 2 apoyos paralelos, el cual está equipado con un dispositivo para medir la fuerza aplicada y la deflexión. Las dimensiones usadas para las probetas deben de ser 7.5 cm de ancho y el largo varía de acuerdo al espesor nominal de la probeta a ensayar. Si el espesor es inferior o igual a 7 mm el largo será 24 veces su espesor nominal más 5 cm y si el espesor es mayor a 7mm el largo será 15 veces su espesor nominal más 5 cm. El espesor es un factor importante en el ensayo por tanto se mide en 3 puntos, uno de ellos en el centro y los otros 2 a 5 mm de los bordes, la medida se hizo mediante un calibrador vernier. El promedio de estos valores es utilizado como el valor del espesor.

El espesor obtenido influye en la distancia entre los apoyos, si el valor del espesor es menor de 7 mm la distancia es 25 veces el espesor y si el espesor es mayor a 7 mm la distancia es 15 veces el espesor de la probeta. El ensayo consiste en aplicar una carga continua y uniforme

con una velocidad de cabezal de la maquina calculada con la ecuación 3.

$$N = \frac{ZL^2}{6e} \quad (Ec. 3)$$

Donde:

N es la velocidad de cabezal de la maquina (mm.min⁻¹)

Z velocidad de deformación unitaria de la fibra extrema 0.005 (mm.mm⁻¹.min⁻¹)

L distancia entre los apoyos (mm)

e espesor nominal de la probeta (mm)

En la norma NTC referente al módulo de rotura se recomienda que para calibres que estén entre 6 mm y < 12 mm se utilice como velocidad de cabezal de la maquina 9 mm.min⁻¹.

El módulo de rotura se calcula mediante la ecuación 4 y es expresada en N.mm⁻².

$$MOR = \frac{3xPxL}{2XaXe^2} \quad (Ec. 4)$$

Donde "P" es la carga aplicada (N), "L" distancia entre apoyos (mm), "a" ancho de la probeta (mm), "e" espesor nominal de la probeta (mm).

Para el ensayo de elasticidad se utilizan las mismas condiciones del ensayo de rotura, y se calcula por la ecuación 5.

$$MOE = \frac{P_1L^3}{4XaXe^3Xy_1} \quad (Ec. 5)$$

Donde “ P_1 ” es la carga límite proporcional (N), “ y_1 ” la deflexión en el límite proporcional (mm), “ e ” espesor nominal de la probeta (mm), “ a ” ancho de la probeta (mm), L distancia entre los apoyos (mm).

3.4.4. Determinación de la hinchazón y de la absorción de agua por sumersión total

Las probetas utilizadas en el ensayo son de forma cuadrada de 25 cm^2 de área, y se mide el volumen de las piezas de ensayo como en el caso de la densidad, y se toma el peso inicial en una balanza analítica. Las probetas son sumergidas en un recipiente que contenga agua limpia a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ cuidando de que no se topen entre si y se corrige el pH a 6 ± 1 , este proceso se realiza por dos horas y se giran las probetas al cabo de la primera hora.

Después de cada ensayo se vuelve a medir el espesor, longitud, ancho y peso. El porcentaje de hinchazón (H) se calcula mediante la diferencia entre el volumen después de la sumersión (V_1) y el volumen antes de la sumersión (V_0) y su razón con respecto al volumen inicial, esto expresado en porcentaje como lo muestra en la formula a continuación.

$$H = \frac{V_1 - V_0}{V_0} * 100 \quad (\text{Ec. 6})$$

El porcentaje de absorción de agua es representada por la diferencia del peso de la probeta después de la sumersión (P1) y el peso antes de la sumersión (P0) y su razón con respecto al peso inicial, valor expresado en porcentaje como se expresa en la ecuación 7.

$$A_a = \frac{P_1 - P_0}{P_0} * 100 \quad (Ec. 7)$$

3.4.5. Determinación del contenido de formaldehido

Para la captación de formaldehido contenido en los tableros se siguió la metodología descrita en la norma JIS A 1460 (29), donde se tomaron tableros de análisis de 25 cm², los cuales fueron colocados en un desecador de vidrio provisto por una caja petri en el interior con un volumen conocido de agua desionizada por un lapso de 24 horas. Para la evaluación del formaldehido absorbido por el agua y la construcción de la curva de calibración se siguió la metodología descrita por Soman, *et al.* en el 2008 (30) . En el que se indica que el formaldehido reacciona con 2,4-dinitrofenilhidrazina para formar la base Schiff; el cual fue medido en un cromatógrafo liquido de alta eficiencia (HPLC) marca Perkin Elmer con el detector de arreglo de diodos (DAD).

Se utilizó una columna analítica C18, de 3 µm de tamaño de partícula (250 X4.6mm).El volumen de muestra inyectada fue de 15.0 µl y las

condiciones de trabajo en el equipo fueron de: temperatura de columna C18 30°C, fase móvil agua-metanol (55:45, v/v). En el cromatograma de las muestras y estándares deben notarse principalmente dos picos como se muestra en la Figura 4, donde se refleja el pico del 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH) cuyo tiempo de retención promedio es de 3.3 minutos y el pico referente al producto de la reacción de la derivatización el DNP-HCHO cuyo tiempo de retención es de 7.2 minutos.

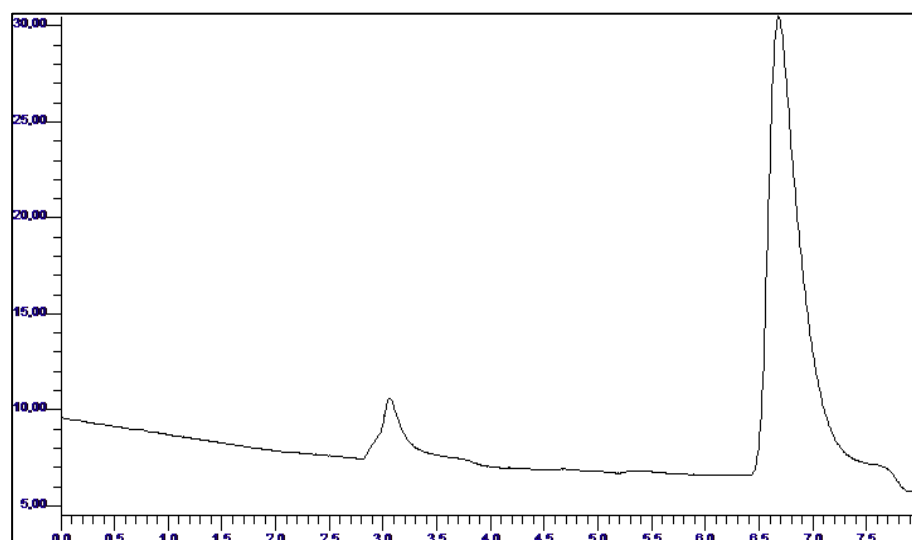


Figura 4. Cromatograma de estándar de formaldehído.
Elaborado por: Autor

3.5. Optimización de respuestas

El proceso de optimización se realizó en el programa estadístico Statgraphics Centurión XV mediante la metodología de superficie de respuestas múltiples considerando aquellas variables que tuvieron un

efecto significativo en el diseño factorial tales como la absorción e hinchazón a las 2 horas, densidad, emisión de formaldehído, módulo de rotura y módulo de elasticidad.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Evaluación del rendimiento del proceso de elaboración de paneles de aglomerado

Los valores promedio de las secciones del pseudotallo que intervienen en el proceso de fabricación de tableros de aglomerado fueron: 1.82 metros y 19.89 centímetros de largo y diámetro respectivamente.

Además, se muestra en la Figura 5 el balance de masa del proceso de obtención con respecto al peso de un pseudotallo promedio, en donde se observa que de un pseudotallo de 27.22 Kg. se obtiene 1.22 Kg de fibra seca lista para la elaboración del panel de aglomerado, representando que de un pseudotallo se tiene como materia prima útil el 4.19 % en peso del mismo.

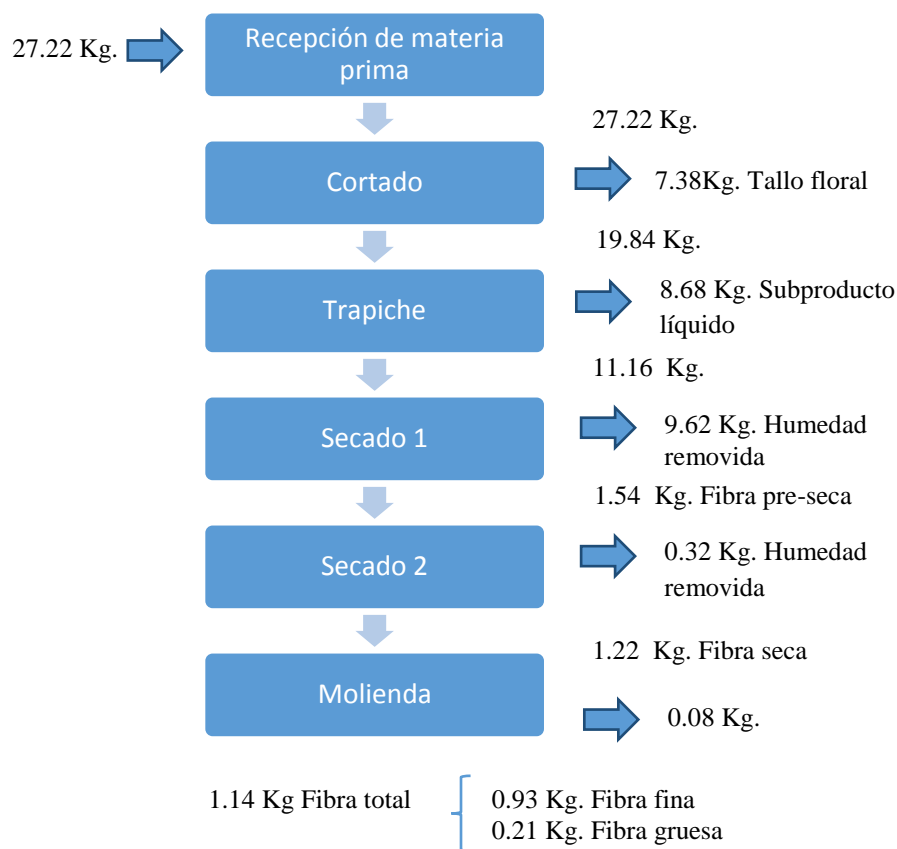


Figura 5. Diagrama de proceso para obtención de fibra
Elaborado por: Autor

La fibra resultante servirá como materia prima en el proceso de elaboración de paneles de aglomerado mostrado en la Figura 6, de donde se produce un tablero de dimensiones de 30x70x1 cm a partir de 1.14 Kg. de fibra como entrada del proceso, dando un rendimiento de 94.3 % en el proceso de elaboración de paneles. En cuanto al rendimiento total de ambos procesos este corresponde al 5.77% siendo un porcentaje bajo en comparación a la fabricación de tableros comerciales el cual es de 60% (31).

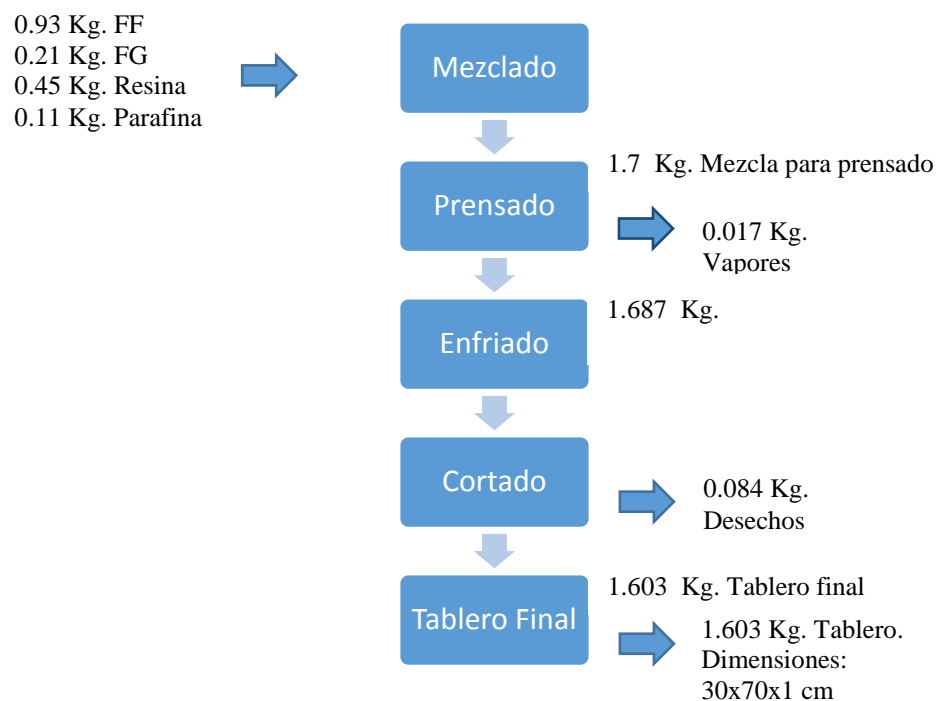


Figura 6. Diagrama de proceso de elaboración de paneles de aglomerado. Elaborado por: Autor

4.2. Caracterización química, mecánica y física de tablero de aglomerado

Dentro de los análisis de calidad abarcados están: densidad, humedad, porcentaje absorción a las 2 horas, porcentaje de hinchazón a las 2 horas, módulo de rotura, módulo de elasticidad y concentración de formaldehído emitida por el tablero.

4.2.1. Prueba de densidad

Para la clasificación de tableros de acuerdo a su densidad se utiliza la norma técnica colombiana 2261 (NTC 2261); los valores correspondientes a las formulaciones mostradas en la Tabla 3 corresponden a la denominación de tableros de alta densidad siendo su valor $> 0.8 \text{ g.cm}^{-3}$, a excepción de la formulación con nivel alto de resina y temperatura del bloque 2 que tiene un valor de 0.799 g.cm^{-3} lo que lo clasifica como tablero de media densidad. En el trabajo se buscó que los tableros posean una densidad homogénea ya que las propiedades físicas y mecánica varían de acuerdo a la variación de densidad (32).

Resina	Temperatura	Densidad(g.cm^{-3})
1	-1	0.864
-1	1	0.885
-1	-1	0.985
1	1	0.842
-1	-1	0.924
1	-1	0.846
-1	1	0.901
1	1	0.799

Tabla 3. Densidad de tableros del diseño.
Elaborado por: Autor

Para verificar la significancia de los factores sobre la densidad se emplearon los valores P de dichos efectos mostrados en la Tabla 4, donde sólo el efecto resina posee un P menor a 0.05 indicando que este factor influye en la respuesta.

Fuente	Valor-P
A:Resina	0.0143
B:Temperatura	0.0645
AB	0.4754
R ² : 92.6579 %	

Tabla 4. Valores P para Densidad
Elaborado por: Autor

En la Figura 7 y 8 se expresan los efectos principales sobre la densidad y se observa la tendencia de disminución de densidad cuando se aumenta la resina, resultados similares a los reportados por Oner Unsal & Zeki Candan (33). Además bibliográficamente, la densidad es independiente de las operaciones de prensado cuando la temperatura y tiempo de prensado son suficientes para polimerizar la resina permitiendo la evaporación del exceso de agua (34).

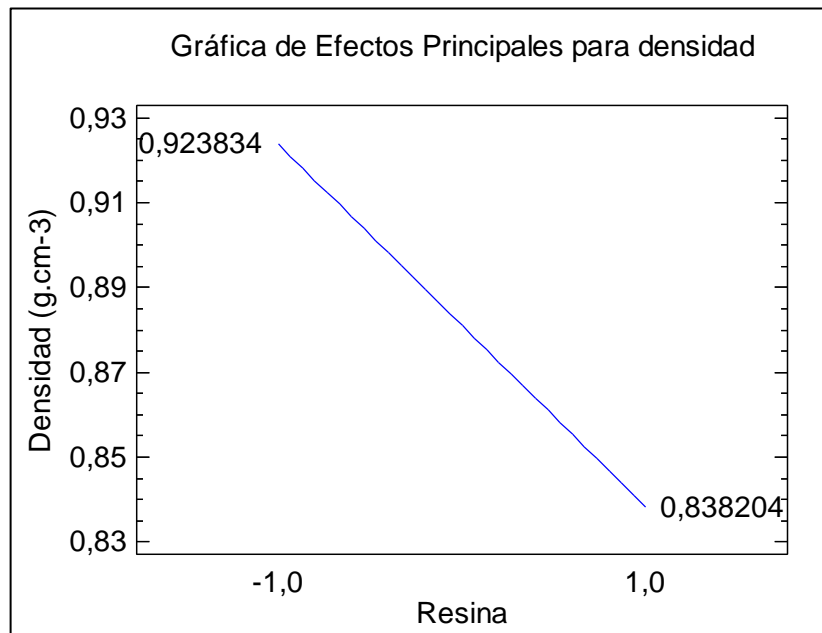


Figura 7. Gráfica del efecto resina para densidad
Elaborado por: Autor

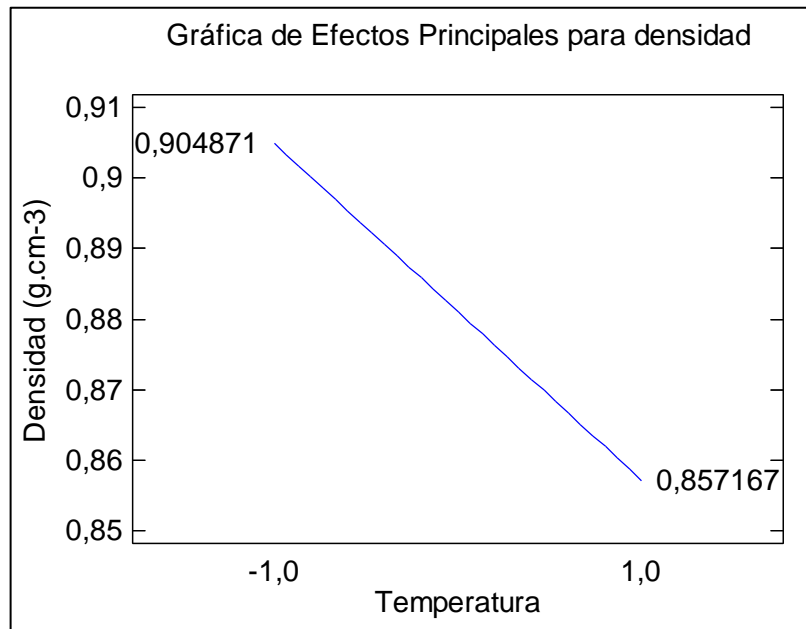


Figura 8 Gráfica del efecto Temperatura para densidad
Elaborado por: Autor

4.2.2. Prueba de contenido de humedad

La respuesta del contenido de humedad de las formulaciones del diseño se muestra en la Tabla 5. Analizando los valores del estadístico P de la Tabla 6, se observa que ninguno de los factores posee un valor menor a 0.05 indicando que estos factores no influyen en la humedad. Esto se debe a que el porcentaje de parafina utilizada en el diseño fue constante y al ser un agente impermeabilizante actúa como barrera entre los espacios porosos en las fibras (35).

Resina	Temperatura	Humedad %
1	-1	2.281
-1	1	2.579
-1	-1	3.179
1	1	1.837
-1	-1	3.227
1	-1	3.989
-1	1	2.610
1	1	1.800

Tabla 5. Humedad de tableros del diseño.
Elaborado por: Autor

<i>Fuente</i>	<i>Valor-P</i>
A:Resina	0.3927
B:Temperatura	0.1077
AB	0.4646
R ² : 72.5225%	

Tabla 6. Valores P para humedad
Elaborado por: Autor

4.2.3. Prueba absorción de agua a las 2 horas

El porcentaje de absorción de agua a las 2 horas de las probetas es mostrada en la Tabla 7, comparando los datos obtenidos con la COVENIN 847-91 de máximo 25% se observa que todos los valores se encuentran dentro del límite permitido.

Resina	Temperatura	Absorción 2 horas %
1	-1	5.224
-1	1	6.287
-1	-1	10.852
1	1	14.542
-1	-1	8.376
1	-1	8.026
-1	1	8.573
1	1	19.106

Tabla 7. Absorción de agua 2 horas de tableros del diseño
Elaborado por: Autor

Con respecto al experimento, se puede denotar en la Tabla 8 que la interacción entre el contenido de resina y temperatura ($P < 0.05$) tiene una influencia en la variable de respuesta.

En la Figura 9 y 10 se observa la gráfica de efectos principales para la absorción de agua a las dos horas donde se ve el aumento de esta propiedad a medida que la temperatura y resina se incrementa, aunque bibliográficamente se indica que la resina mejora las propiedades de absorción (36) en este caso el aumento de resina implica la disminución de las propiedades de absorción.

Por otro lado, la temperatura aumenta mientras que el porcentaje de absorción al agua aumenta estos son resultados similares a los de Winandy (2007) donde expresa que el incremento del tiempo y temperatura de prensado no inhibe la habilidad de los paneles a absorber agua (37).

<i>Fuente</i>	<i>Valor-P</i>
A:Resina	0.1232
B:Temperatura	0.0761
AB	0.0260
R ² : 90.9015%	

Tabla 8. Valores P para absorción de agua 2 h
Elaborado por: Autor

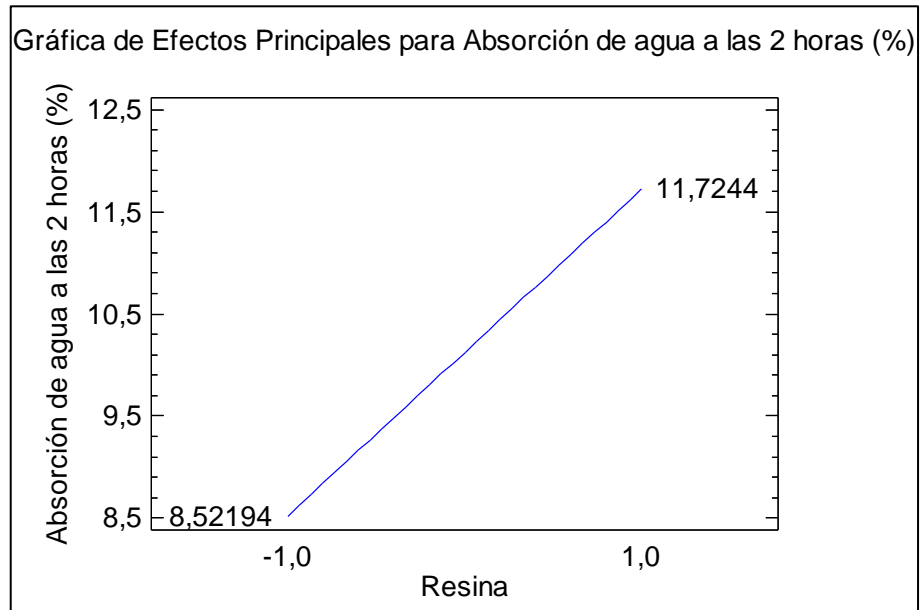


Figura 9 Gráfica del efecto resina para absorción de agua a las 2 horas
Elaborado por: Autor

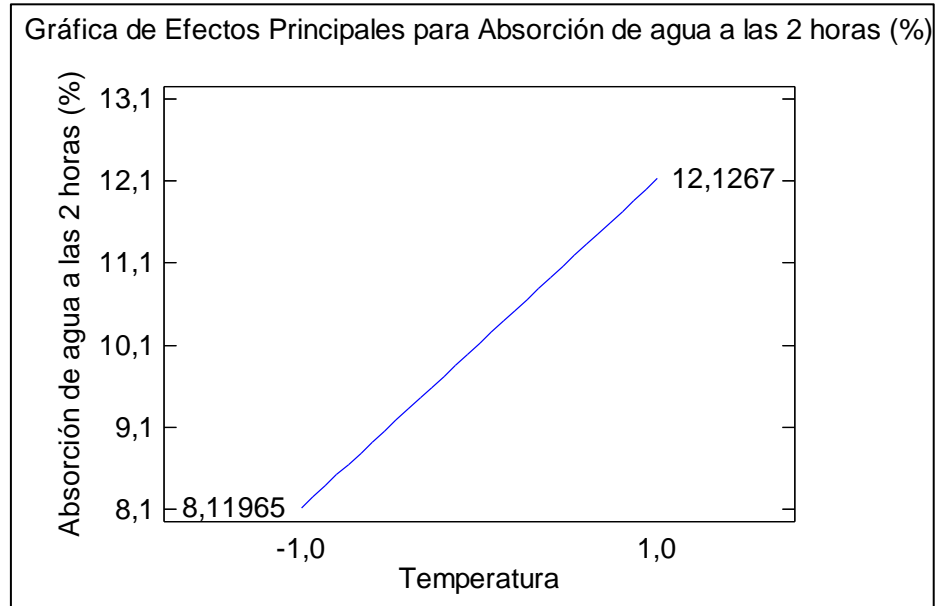


Figura 10. Gráfica del efecto temperatura para absorción de agua a las 2 horas. Elaborado por: Autor

4.2.4. Hinchazón de agua a las 2 horas

Los resultados de hinchazón de agua expuestos en la Tabla 9 muestran que 4 valores no cumplieron con el rango máximo de 6 % correspondiente a la norma COVENIN 847-91. Este comportamiento corresponde a todas las formulaciones que tienen un nivel bajo de resina, haciendo notar la relación de la resina con la hinchazón ya que ésta aumenta a medida que la cantidad de resina disminuye como se menciona en estudios hechos por Palardy, et al. y que además se refleja en la Figura 11 y 12 (38).

Resina	Temperatura	Hinchazón 2 horas %
1	-1	4.179
-1	1	8.320
-1	-1	8.615
1	1	4.615
-1	-1	9.312
1	-1	5.809
-1	1	9.392
1	1	5.179

Tabla 9. Hinchazón de agua a las 2 horas de tableros del diseño
Elaborado por: Autor

Con respecto al experimento se puede denotar en la Tabla 10 que solo la resina posee un valor de P menor a 0.005 indicando que este factor influye en el parámetro hinchazón.

<i>Fuente</i>	<i>Valor-P</i>
A:Resina	0.0005
B:Temperatura	0.6981
AB	0.9835
R ² : 98.9888%	

Tabla 10 Valores P para la hinchazón al agua a las 2 horas
Elaborado por: Autor

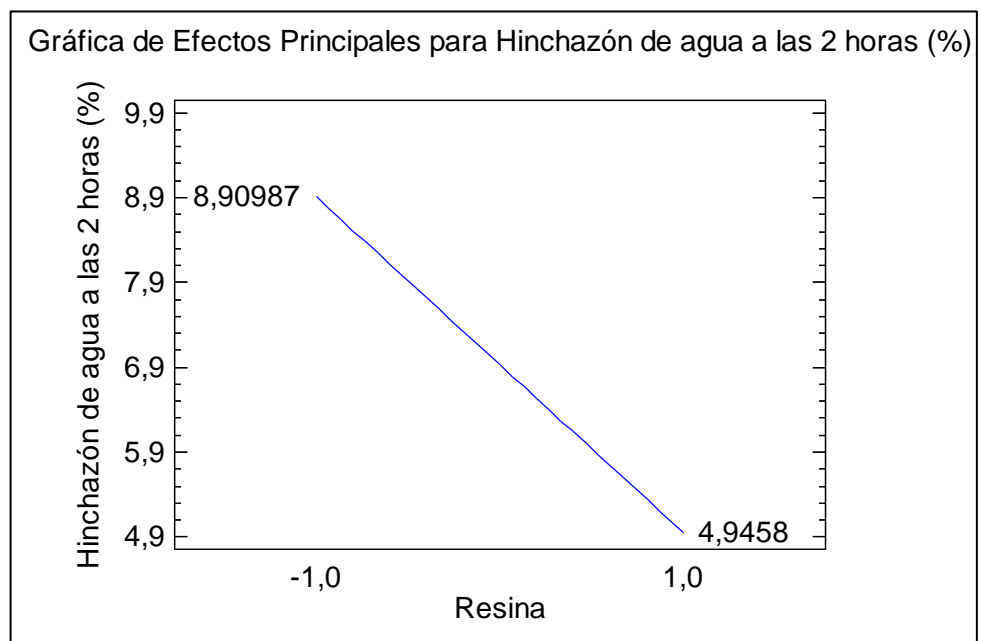


Figura 11. Gráfica del efecto resina para hinchazón de agua a las 2 horas. Elaborado por: Autor

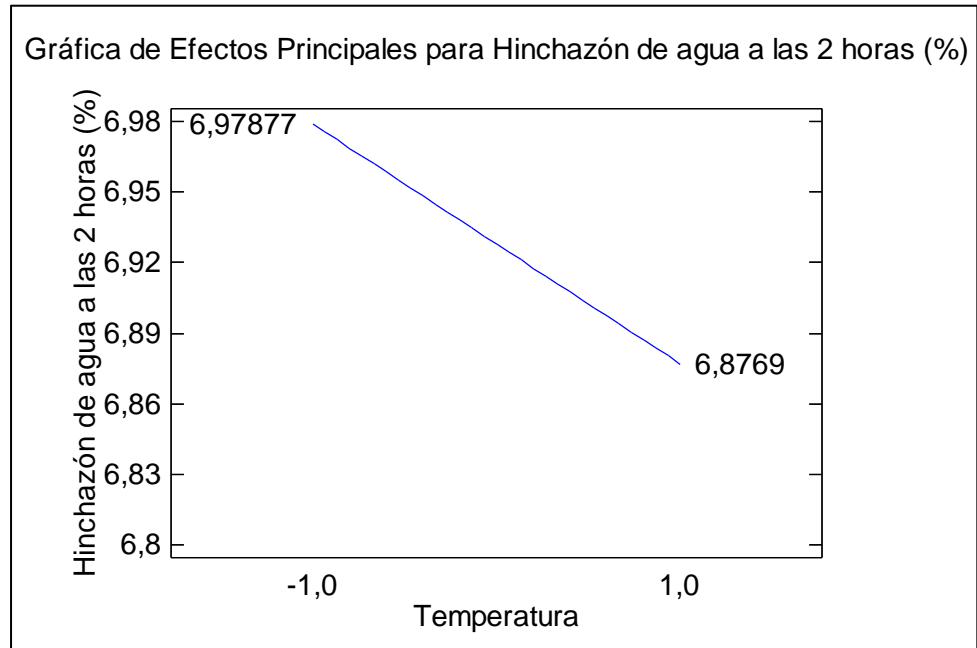


Figura 12. Gráfica del efecto temperatura para hinchazón de agua a las 2 horas. Elaborado por: Autor

4.2.5. Prueba de módulo de elasticidad

Las respuestas del diseño correspondientes al MOE están expuestas en la Tabla 11, donde todos los valores se encuentran dentro del rango mínimo aceptado 2400 N.mm^{-2} bajo la norma NTC 2261.

Resina	Temperatura	MOE N.mm ⁻²
1	-1	4006.569
-1	1	3074.771
-1	-1	3521.872
1	1	7740.905
-1	-1	3820.713
1	-1	3192.499
-1	1	2467.568
1	1	5295.171

Tabla 11. Módulos de elasticidad de tableros del diseño.
Elaborado por: Autor

Los valores P mostrados en la Tabla 12 indican que la resina y la interacción de la resina y temperatura influyen en el módulo de elasticidad.

Fuente	Valor-P
A:Resina	0.0488
B:Temperatura	0.1756
AB	0.0444
R ² :90.018	

Tabla 12. Valores P para MOE
Elaborado por: Autor

En la Figura 13 y 14 se muestra la relación proporcional entre los factores y el módulo de elasticidad. Los resultados obtenidos son similares a los que presenta Malanit quien indica que el MOE aumenta a medida que el contenido de resina aumenta (39) y de acuerdo a

Isiwanto que establece que el aumento de la temperatura de prensado incrementa el módulo de elasticidad (40).

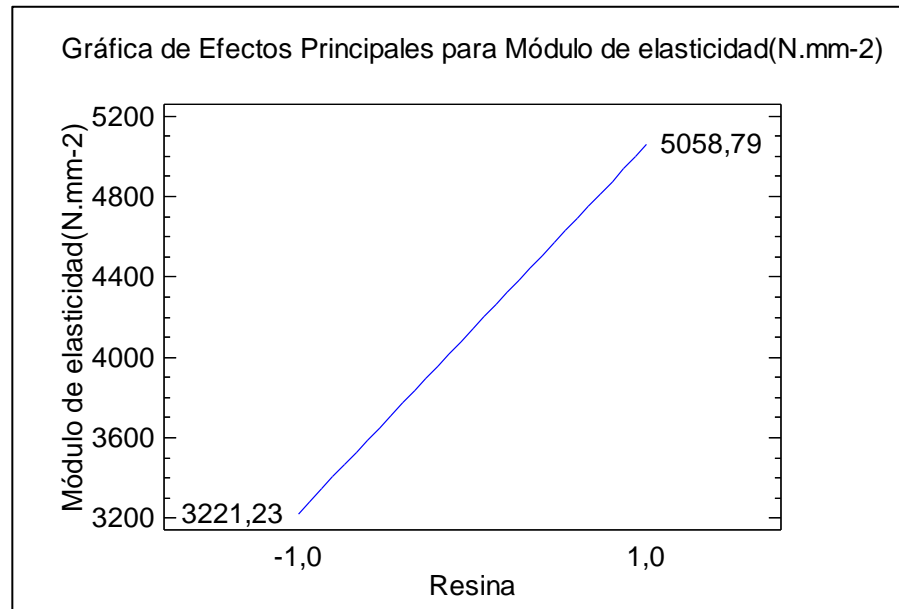


Figura 13. Gráfica del efecto resina para el módulo de elasticidad
Elaborado por: Autor

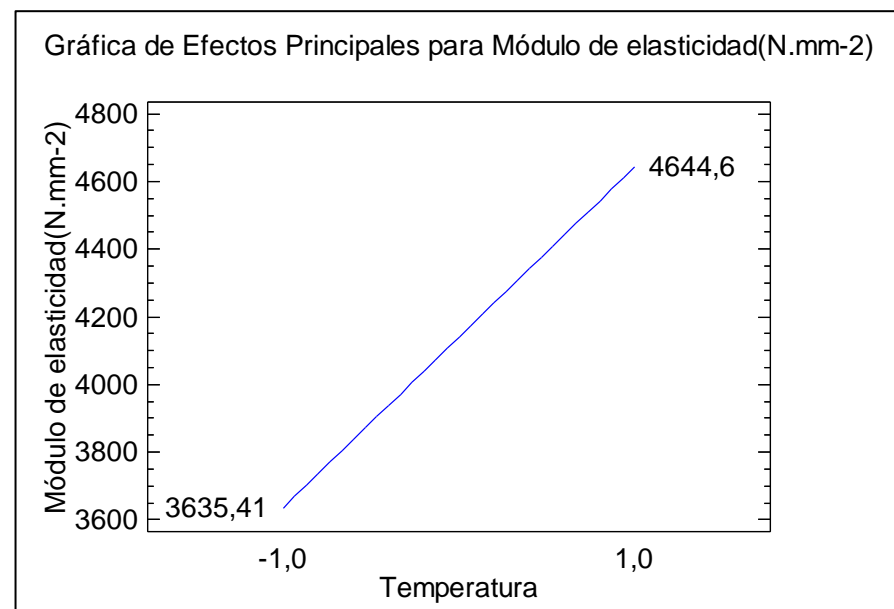


Figura 14. Gráfica del efecto temperatura para el módulo de elasticidad. Elaborado por: Autor

4.2.6. Prueba de módulo de rotura

Los resultados del diseño del módulo de rotura están expuestos en la Tabla 13. Todos los valores corresponden al rango mínimo aceptado de 21 N.mm⁻² bajo la norma NTC 2261.

Resina	Temperatura	MOR N.mm ⁻²
1	-1	28.41450549
-1	1	47.06241917
-1	-1	25.99569226
1	1	45.23782813
-1	-1	27.10593531
1	-1	33.91712043
-1	1	51.01854923
1	1	37.30363033

Tabla 13. Módulos de rotura de tableros del diseño.
Elaborado por: Autor

De acuerdo al valor P mostrado en la Tabla 14, se observa que la temperatura influye en el resultado de módulo de rotura.

Fuente	Valor-P
A:Resina	0.6360
B:Temperatura	0.0123
AB	0.1314
R2 = 91.887	

Tabla 14. Valores P para MOR
Elaborado por: Autor

En la Figura 15 y 16 se muestra la relación proporcional entre los factores y el módulo de rotura, resultados similares a los reportados por Iswanto, et al. donde reporta que mientras se aumenta la temperatura de prensado aumenta el módulo de rotura (30).

Con respecto a la resina se visualiza en la Figura 15 que posee una leve disminución de MOR mientras que aumenta el nivel de resina; estudios similares a los de Post (1958) que indica que el contenido de resina tiene sólo un leve efecto en el módulo de rotura. Así también Schuler (1974) no encontró mejoras evidentes en el módulo de rotura cuando el nivel de resina fue aumentado (34). Por otro lado, Maloney (1993) explica que uno de los factores que influyen en que el valor MOR es la geometría de las partículas (40).

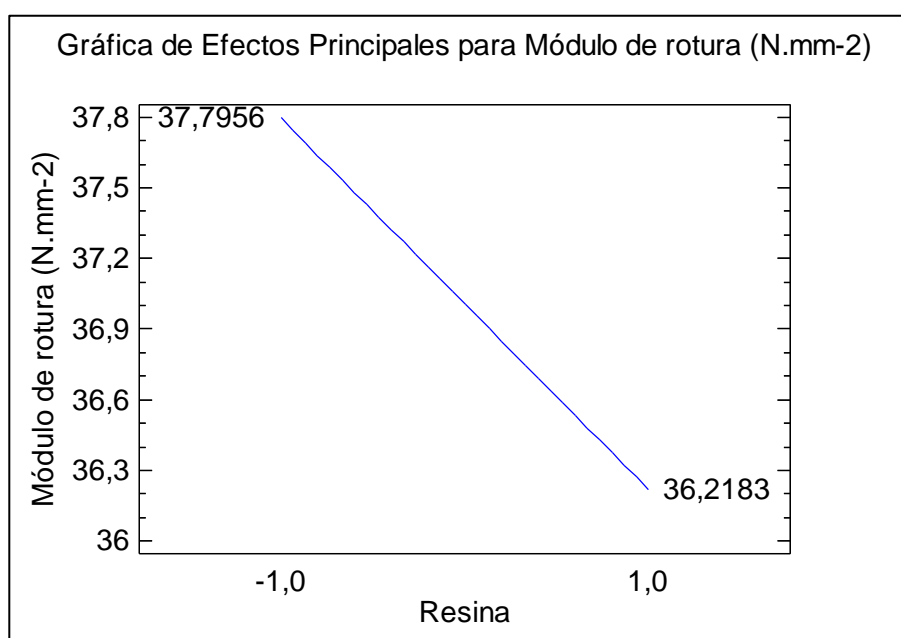


Figura 15. Gráfica del efecto resina para el módulo de rotura
Elaborado por: Autor

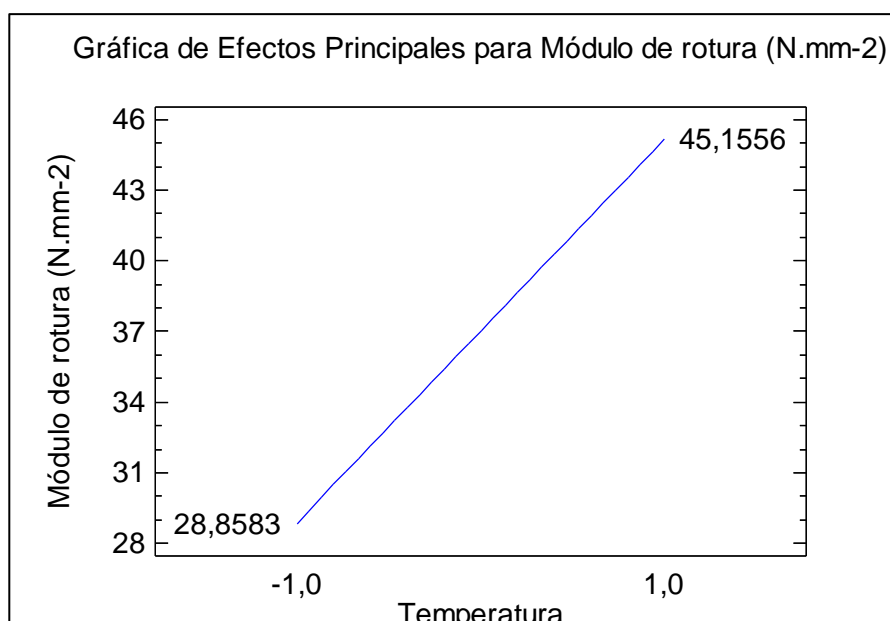


Figura 16. Gráfica del efecto temperatura para el módulo de rotura
Elaborado por: Autor

4.2.7. Prueba de formaldehido

Los resultados de emisión de formaldehido de los tableros del diseño están expuestos en la Tabla 15 donde todos los valores se encuentran por debajo del límite máximo de 30 mg/100 g estipulado en la norma NTC 2261.

Resina	Temperatura	Emisión de Formaldehido mg/100 g
1	-1	1.577
-1	1	1.045
-1	-1	1.865
1	1	6.282
-1	-1	1.015
1	-1	1.458
-1	1	1.651
1	1	4.788

Tabla 15. Emisión de formaldehido de tableros del diseño
Elaborado por: Autor

Los valores P mostrados en la Tabla 16 indican que tanto la temperatura, resina y la interacción de ambas influyen en el nivel de formaldehido.

Fuente	Valor-P
A:Resina	0.0183
B:Temperatura	0.0228
AB	0.0202
R2: 95.4016 %	

Tabla 16. Valores P para emisión de formaldehido
Elaborado por: Autor

En la Figura 17 y 18 se puede apreciar el aumento de los niveles de formaldehido cuando se aumenta el porcentaje de resina y

temperatura, resultados similares reportados por Petinarakis (2006) quien indica que al aumentar la temperatura la emisión de formaldehído aumenta en los tablero; fenómeno que puede ser explicado por la degradación térmica de la resina (Szesztay 1993) (41). En cuanto al contenido de resina se reporta según Christensen (1972) que la emisión de formaldehído aumenta aproximadamente en forma lineal cuando el contenido de resina aumenta.

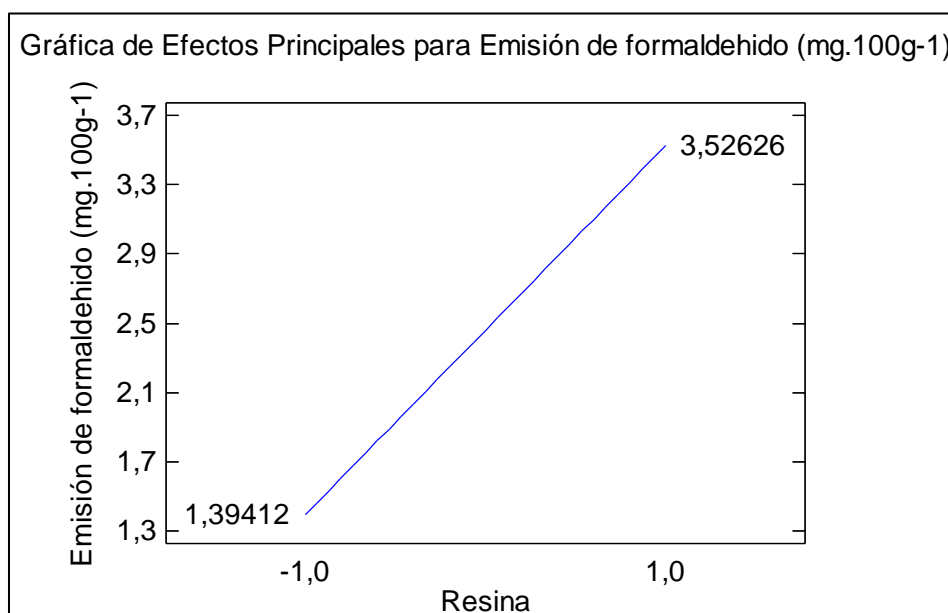


Figura 17. Gráfica del efecto resina para la emisión de formaldehído
Elaborado por: Autor

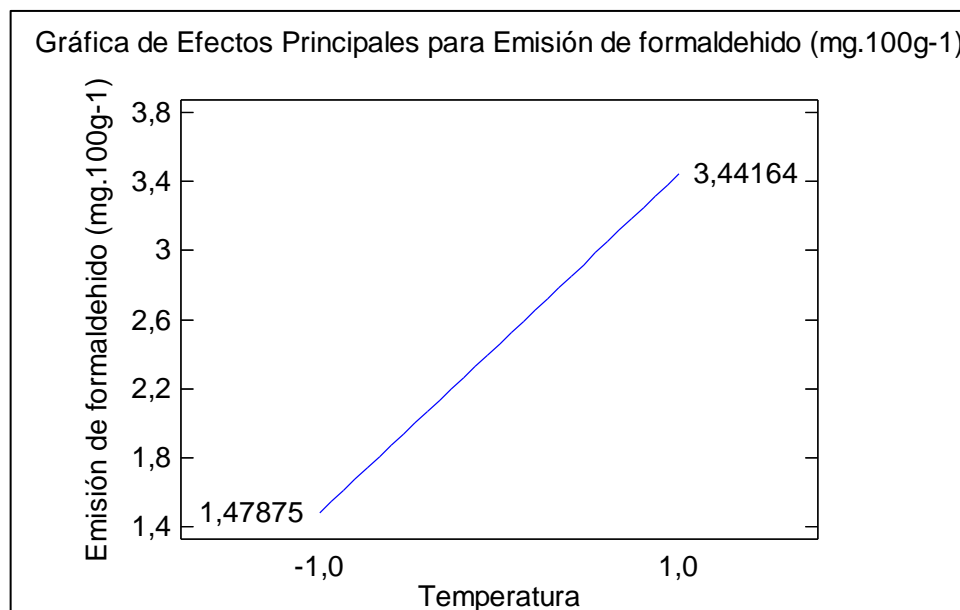


Figura 18. Gráfica del efecto temperatura para la emisión de formaldehído. Elaborado por: Autor

4.3. Optimización de Múltiples Respuestas

Para optimizar las respuestas de las propiedades obtenidas en el diseño, el software estadístico Statgraphics Centurion XV creó la función deseabilidad obtenida a partir de las metas expuestas en la Tabla 17. La función es evaluada en los puntos del diseño, siendo la formulación 6 (Anexo II) la que posee el valor más cercano a 1 con una deseabilidad prevista de 0.540618 y observada 0.58728.

	<i>Deseabilidad</i>		<i>Deseabilidad</i>
<i>Respuesta</i>	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>	<i>Meta</i>
Absorción	5.0	19.0	12.5
Densidad	0.79	1.0	0.85
Formaldehido	1.0	6.0	Minimizar
Hinchazón	4.0	9.0	Minimizar
MOR	2467.0	7740.0	5103.0
MOE	25.0	51.0	38.0

Tabla 17-. Valores de optimización de la función deseabilidad
Elaborado por: Autor

Para encontrar la combinación de factores que alcanza la 'deseabilidad' global óptima se optimiza la deseabilidad mediante el método de superficie de respuesta estimada. De donde se visualiza en la Figura 19 el comportamiento de los factores con respecto al valor óptimo el cual es 0.816684; así pues la temperatura y resina en este punto son las expuestas en la Tabla 18.

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>	
Resina	-1.0	1.0	0.711385	43.15% FF 23.97% FG
Temperatura	-1.0	1.0	0.261366	162.61°C

Tabla 18. Niveles óptimos de acuerdo a la función deseabilidad
Elaborado por: Autor

Con los valores de resina y temperatura obtenidos de la optimización de la deseabilidad, se obtienen nuevas variables de respuestas esperadas expuestas en la Tabla 19, donde contrarrestándolas con las normas de calidad se observa que si cumplen los requisitos de las mismas.

Respuesta	Óptimo	Valor de norma.	Norma
Absorción	12.362	Máximo 25%	COVENIN 847-91
Densidad	0.846	$>0.8 \text{ g.cm}^{-3}$	COVENIN 847-91
Formaldehido	3.6661	30 mg/100 g	NTC 2261
Hinchazón	5.505	Máximo 6%	NTC 2261
MOE	5103.0	Mínimo 2400 N.mm^{-2}	NTC 2261
MOR	38.0	Mínimo 21 N.mm^{-2}	NTC 2261

Tabla 19. Respuesta estimada de acuerdo a valores óptimos
Elaborado por: Autor

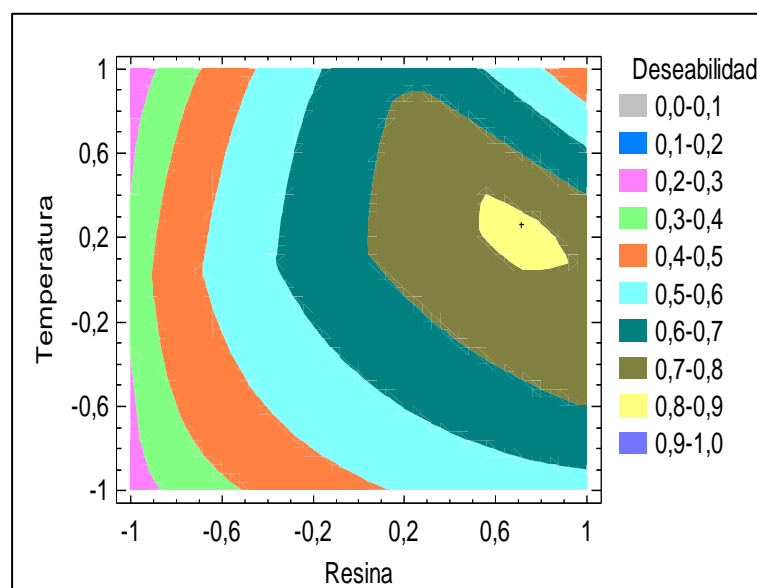


Figura 19. Gráfico de superficie de respuesta estimada
Elaborado por: Autor

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.

El rendimiento del proceso de obtención de fibra fue de 4.19 %, de este se obtiene un 82 % correspondiente a la fibra fina y un 18 % de fibra gruesa.

El rendimiento en la fabricación de tableros a partir de la fibra como materia prima es de 94.3 %.

Las cuatro condiciones de operación determinadas con respecto a porcentaje de resina y temperatura de prensado fueron de: 150° C; 15% FG - 35% FF, 150°C ; 25% FG - 45% FF , 170 °C; 15% FG - 35% FF , 170 °C; 25% FG - 45% FF .

Los tableros realizados a partir del diseño factorial cumplieron con los parámetros de calidad físicos, químicos y mecánicos. Excepto los tableros elaborados con un nivel bajo de resina que no cumplieron con el parámetro hinchazón al agua a las dos horas.

Las variables que optimizan las propiedades físico, mecánicas y químicas fueron temperatura de prensado (162.61°C) y contenido de resina (43.15% FF, 23.97% FG).

5.2. Recomendaciones.

Efectuar un análisis de factibilidad económica de la producción de tableros a partir del pseudotallo del banano.

Transportar el pseudotallo del banano de forma paralela a la fruta cosechada, a fin de no inferir en costos adicionales.

Producir la fibra seca en las bananeras para la reducción de costos de transporte.

Reducir la pérdida de partículas muy finas (6.56 %) en el proceso de molienda, mediante un ciclón de alta eficacia para mejorar el rendimiento del proceso.

Caracterizar el subproducto líquido proveniente de la extracción a través del trapiche, para determinar propiedades y su potencial uso en la agricultura.

Realizar estudios complementarios que usen como materia prima el tallo floral (raquis) del banano para la producción de paneles de aglomerado.

ANEXOS

ANEXO I – CURVA DE CALIBRACION DEL FORMALDEHIDO

Regression Analysis: Concentracion versus Area

The regression equation is
Concentracion = - 3.81 + 0.000124 Area

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-3.808	6.215	-0.61	0.573
Area	0.00012408	0.00001428	8.69	0.001

S = 5.41710 R-Sq = 95.0% R-Sq(adj) = 93.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	2216.0	2216.0	75.51	0.001
Residual Error	4	117.4	29.3		
Total	5	2333.3			

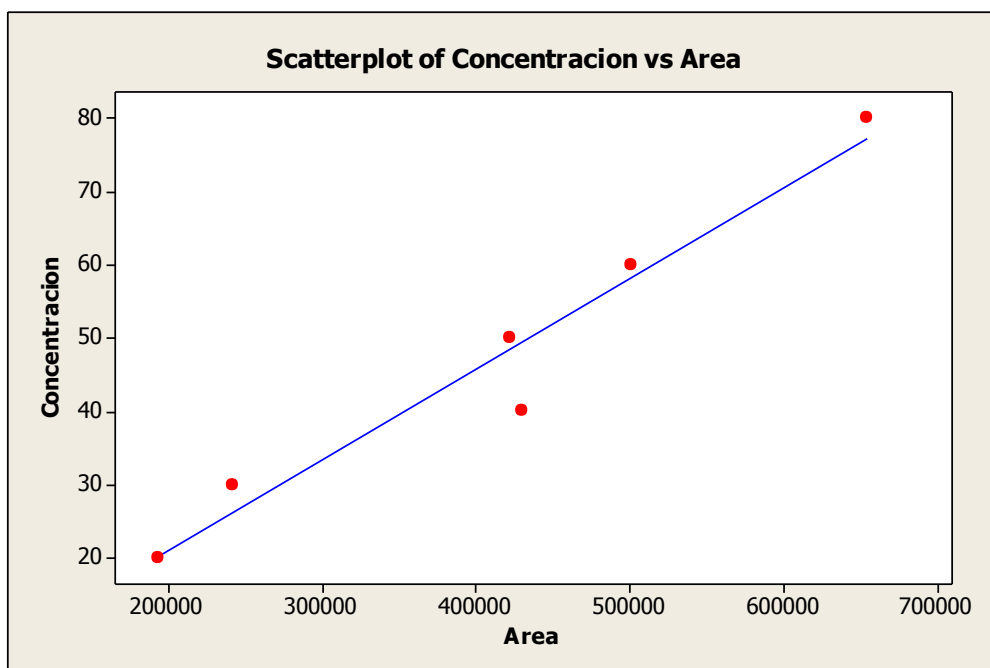


Figura 20. Gráfica de regresión lineal de los estándares de formaldehido.
Elaborado por: Autor

ANEXO II – DESEABILIDAD DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS

Fila	<i>Absorción</i>	<i>Densidad</i>	<i>CH₂O</i>	<i>Hinchazón</i>	<i>MOE</i>	<i>MOR</i>	<i>Deseabilidad</i>	
							<i>Prevista</i>	<i>Observada</i>
1	5.224	0.864	1.576	4.179	4006.57	28.414	0.509	0.390
2	14.541	0.842	6.281	4.615	7740.91	45.237	0.388	0.0
3	10.852	0.985	1.865	8.615	3521.87	25.995	0.288	0.230
4	6.286	0.885	1.045	8.320	3074.77	47.062	0.299	0.327
5	8.375	0.923	1.014	9.311	3820.71	27.105	0.0	0.0
6	8.026	0.845	1.458	5.808	3192.5	33.917	0.540	0.587
7	8.572	0.900	1.651	9.392	2467.57	51.018	0.0	0.0
8	19.105	0.799	4.788	5.179	5295.17	37.303	0.372	0.0

Tabla 20. Análisis de deseabilidad de corridas experimentales del diseño
Elaborado por: Autor

ANEXO III – DETERMINACIÓN DE DENSIDAD, HINCHAZÓN Y ABSORCIÓN AL AGUA

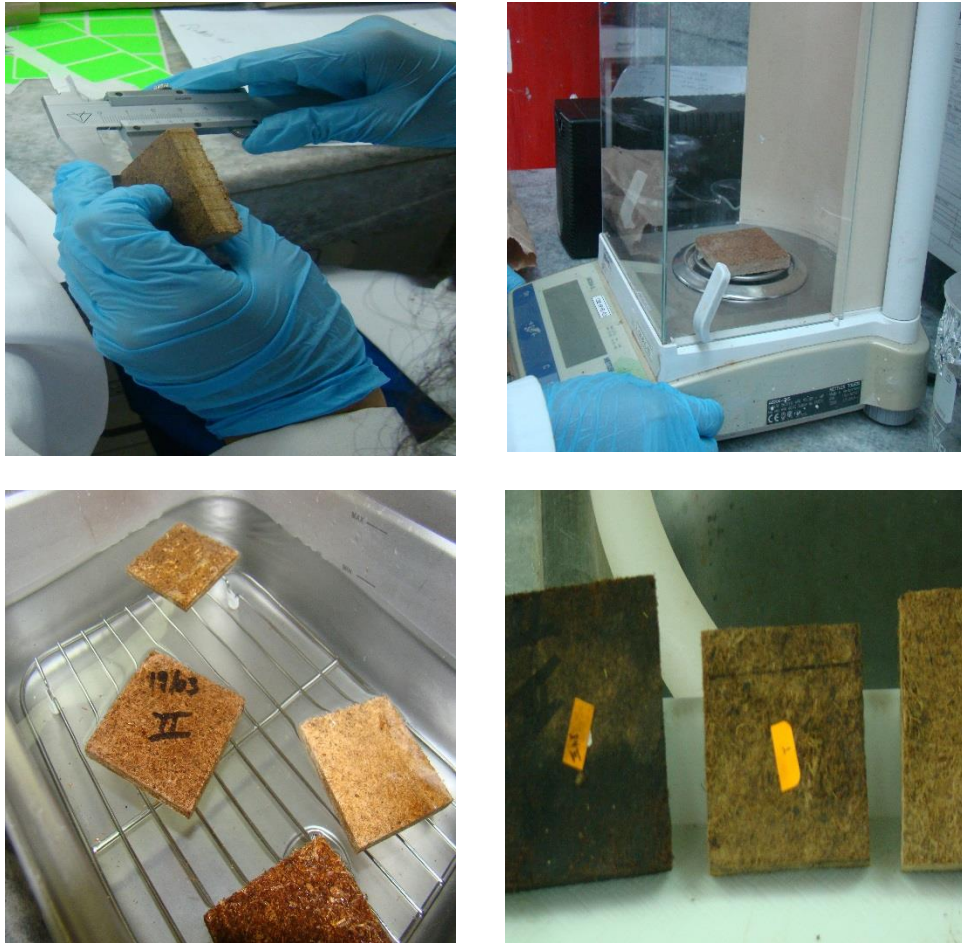


Figura 21. Equipos y metodología en la determinación de densidad, hinchazón y absorción al agua. Elaborado por: Autor

ANEXO IV – DETERMINACIÓN MÓDULO DE ROTURA Y MÓDULO DE ELASTICIDAD



Figura 22. Determinación módulo de rotura y módulo de elasticidad.
Elaborado por: Autor

BIBLIOGRAFÍA

1. INIAP. PROGRAMA NACIONAL DEL BANANO Y PLÁTANO [INTERNET]. BANANO, PLÁTANO Y OTRAS MUSÁCEAS.
2. TOMASELLI I. TENDÊNCIAS DE MUDANÇAS NA INDÚSTRIA DE PAINÉIS. REVISTA DA MADEIRA. (2000);36–40.
3. RAI A, JHA. NATURAL FIBRE COMPOSITES AND ITS POTENTIAL AS BUILDING MATERIALS. EXPRESS TEXT. (2004);25.
4. INEC. ANÁLISIS DEL SISTEMA AGROALIMENTARIO DEL BANANO EN EL ECUADOR. (2009) ; 1–26.
5. J. STALNAKER, E. HARRIS. STRUCTURAL DESIGN IN WOOD. II. (1999). 254-260
6. M. LONA, ELABORACIÓN DE MADERA AGLOMERADA A BASE DE RESIDUOS DE PESCADO ". XXII CONCURSO UNIVERSITARIO FERIA DE LAS CIENCIAS LA TECNOLOGIA Y LA INVESTIGACION. (2009). 4.

7. I. TOMASELLI . MERCADO DE PRODUCTOS MADERABLES. I CONGR INT PROD FOR SOSTEN.(2013);15.
8. MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR. LÍNEA BASE DE DEFORESTACIÓN DEL ECUADOR CONTINENTAL. (2012);7.
9. MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR. ACUERDO N°130. (2011).
10. EL COMERCIO. JAVIER PONCE NUEVO MINISTRO DE AGRICULTURA. (2012).
11. TELEGRAFO E. EL MAGAP ANALIZA FIJAR DOS PRECIOS A LA CAJA DE BANANO DE 42 LIBRAS. (2012).
12. EL FINANCIERO. ACCIONES DE ÁRBOLES DE TECA PUEDEN GENERAR UN RENDIMIENTO ANUAL. (2012).
13. MM. RASHID, AK. DAS, MI. SHAMSI, SK. BISWAS. PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MEDIUM DENSITY FIBER BOARD (MDF) FABRICATED FROM BANANA PLANT (MUSA SAPIENTUM) STEM AND MIDRIB. J INDIAN ACAD WOOD SCI. (2014);11
14. T. MALONEY. MODERN PARTICLEBOARD & DRY-PROCES FIBERBOARD MANUFACTURING. MILLER FREEMAN INC. SAN FRANCISCO. SAN FRANCISCO; (1993).

15. N. STARK , CAI ,C. ZHIYONG. WOOD-BASED COMPOSITE MATERIALS PANEL PRODUCTS , GLUED-LAMINATED TIMBER , STRUCTURAL MATERIALS. WOOD HANDBOOK: WOOD AS AN ENGINEERING MATERIAL. (2010). 11–1,11–28.
16. R. ROWELL. HANDBOOK OF WOOD CHEMISTRY AND WOOD COMPOSITES, SECOND EDITION.(2013).
17. RED INTERINSTITUCIONAL DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS. DESCRIPCION GLOBAL DEL PROCESO DE AGLOMERADO DE MADERAS
18. R. ROWELL. HANDBOOK OF WOOD CHEMISTRY AND WOOD COMPOSITES, SECOND EDITION.(2013) ;368.
19. INFOMADERA. TABLEROS DE FIBRAS DE DENSIDAD MEDIA.
20. PROPERTIES AND USE OF HIGH-DENSITY FIBERBOARD .
21. WF. LEE. HANDBOOK OF COMPOSITE REINFORCEMENTS [INTERNET]. LEE SM, EDITOR. (1993).
22. G. NEML. FACTORS AFFECTING THE PRODUCTION OF E 1 TYPE PARTICLEBOARD. TURKISH J AGRIC FOR.(2002); 26:31–6.
23. AGENCY USEP. AP 42. (2002). 1–29.

24. COTOPAXI. INDUSTRIA FORESTAL Y PATRIMONIO.
25. RESINAS UREA-FORMALDEHÍDO (UF). (2012)
26. J.SALAMONE. POLYMERIC MATERIALS ENCYCLOPEDIA. (1996).
27. PROPERTIES AND USES OF UREA FORMALDEHYDE RESIN.
28. E D DE IC, INVERSIONES. ANÁLISIS DEL SECTOR BANANO.(2013).
29. JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. JIS A 1460:BUILDING BOARDS, DETERMINATION OF FORMALDHYDE EMISSION-DESICATOR METHOD. (2001).
30. A.SOMAN , Y. QIU ,L. CHAN. HPLC–UV METHOD DEVELOPMENT AND VALIDATION FOR THE DETERMINATION OF LOW LEVEL FORMALDEHYDE IN A DRUG SUBSTANCE. J CHROMATOGR SCI. (2008);46:461–5.
31. ECUADOR FORESTAL. LA INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO PRIMARIO.
32. E.WONG, M. ZHANG, Q.WANG , S. KAWAI. FORMATION OF THE DENSITY PROFILE AND ITS EFFECTS ON THE PROPERTIES OF PARTICLEBOARD.(1999) ;33

33. O. UNSAL, Z. CANDAN . MOISTURE CONTENT, VERTICAL DENSITY PROFILE AND JANKA HARDNESS OF THERMALLY COMPRESSED PINE WOOD PANELS AS A FUNCTION OF PRESSURE AND TEMPERATURE. DRY TECHNOL. (2008); 26(ISSUE 9):1165–9.
34. K. MYRON. CRITICAL LITERATURE REVIEW OF RELATIONSHIPS BETWEEN PROCESSING PARAMETERS AND PHYSICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARD. (1977). 1–65.
35. 5225 PRODUCTION TECHNOLOGY OF NEW FIBERBOARD, MDF WATERPROOFING AGENT (TECHNOLOGY)
36. W. SEUNG. PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SAWDUST BOARD MADE OF THINNING LOGS. WOOD SCI TECHNOL. (2003) ;31:17–23.
37. JE. WINANDY , AM. KRZYSIK . THERMAL DEGRADATION OF WOOD FIBERS DURING HOT-PRESSING OF MDF COMPOSITES: PART I. RELATIVE EFFECTS AND BENEFITS OF THERMAL EXPOSURE. WOOD FIBER SCI.(2007) ;39(3):450–61.
38. RD. PALARDY, BA HAATAJA, SM. SHALER,AD. WILLIAMS ,TL. LAUFENBERG. PRESSING OF WOOD COMPOSITE PANELS AT

MODERATE TEMPERATURE AND HIGH MOISTURE CONTENT.
FOR PROD J. (1989);39 NO. 4:27–32.

39. P. MALANIT . THE SUITABILITY OF DENDROCALAMUS ASPER
BACKER FOR ORIENTED STRAND LUMBER. UNIVERSITY OF
HAMBURG; (2009). 1–151.
40. A.ISWANT, I. AZHAR, SUPRIYANTO, A. SUSILOWATI. EFFECT OF
RESIN TYPE, PRESSING TEMPERATURE AND TIME ON
PARTICLEBOARD PROPERTIES MADE FROM SORGHUM
BAGASSE. AGRIC FOR FISH. (2014);3:62–6.
41. JH. PETINARAKIS , KAVVOURAS. TECHNOLOGICAL FACTORS
AFFECTING THE EMISSION OF FORMALDEHYDE FROM
PARTICLEBOARDS. WOOD RES. (2006);51(1):31–40.