



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES - U.D.C.A
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES
FACULTAD DE CIENCIAS

TRABAJO DE GRADO

FABRICACIÓN DE AGLOMERADOS BIODEGRADABLES UTILIZANDO VAINA DE
FRÍJOL (*Phaseolus vulgaris*) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)

Fermín Alberto Camacho Castillo

Amanda Salgado Turmequé

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES - U.D.C.A
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES
PROGRAMA DE QUÍMICA
PROYECTO TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2020



FABRICACIÓN DE AGLOMERADOS BIODEGRADABLES UTILIZANDO VAINA DE FRÍJOL (*Phaseolus vulgaris*) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)

Fermín Alberto Camacho Castillo

Amanda Salgado Turmequé

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

Director Trabajo de Grado: María Inés de Castro
Ingeniera Química

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES - U.D.C.A
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES
PROGRAMA DE QUÍMICA
PROYECTO TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2019

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	4
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	4
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.2. VARIABLES.....	6
1.2.1. Variables independientes.....	7
1.2.2. Variables dependientes.....	7
1.2.3. Condiciones controladas.....	6
1.3. HIPÓTESIS.....	8
1.4. OBJETIVOS.....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.6. APORTES.....	9
1.7. LÍMITES.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2. FRÍJOL.....	10
2.2.CELULOSA.....	11
2.2.1.Composición química.....	12
2.2.2.Composición física.....	12
2.2.3.Usos.....	13
2.3.ADHESIVOS.....	13
2.3.1.Adhesivos naturales.....	14
2.3.2.Adhesivos sintéticos.....	14
2.4.TABLEROS AGLOMERADOS.....	15
2.5.BIODEGRADABILIDAD.....	18
3. METODOLOGÍA.....	19

3.1. RECINTO EXPERIMENTAL	19
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	19
3.3. MATERIAS PRIMAS	19
3.4. PROCEDIMIENTO	19
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	22
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	22
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	23
5. CONCLUSIONES	27
6. RECOMENDACIONES	28
7. ANEXOS	29
7.1. FOTOS PLACAS TAMAÑO DE CÁSCARA 0.5 cm, 1.0 cm Y 1.5 cm	29
7.2. FOTOS `PLACAS DESPUES DE TRES DIAS	30
7.3. FOTOS ELABORACIÓN AGLOMERANTE	30
7.4. FOTOS PLACAS FINALES	30
7.5. FOTOS PRUEBAS MÓDULO DE ROTURA Y ELASTICIDAD	31
8. BIBLIOGRAFÍAS	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de los almidones	14
Tabla 2: Tolerancias dimensionales de los tableros de partículas aglomeradas.	16
Tabla 3: Valores mínimos de un módulo de rotura, módulo de elasticidad, enlace interno y sostenimiento del tornillo para tableros de partículas aglomeradas.	17
Tabla 4: Resultados obtenidos en las pruebas realizadas	22

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Desarrollo de una plántula de frijol, una dicotiledónea	10
Ilustración 2: Fruto de la planta de frijol	10
Ilustración 3: Estructura molecular de la celulosa	12
Ilustración 4: Estructura almidón de yuca	14

Ilustración 5: Estructura resina urea formaldehído, melanina formaldehído y fenol formaldehído.	15
Ilustración 6: Diagrama de flujo procedimiento.....	21

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Mezcla cáscara 90% - aglutinante 10%	24
Gráfica 2: Mezcla cáscara 85% - aglutinante 15%	24
Gráfica 3: Mezcla cáscara 80% - aglutinante 20%	24
Gráfica 4: Mezcla cáscara 90% - aglutinante 10%	25
Gráfica 5: Mezcla cáscara 85% - aglutinante 15%	25
Gráfica 6: Mezcla cáscara 80% - aglutinante 20%	25

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) pertenece al Reino: *Plantae*; Subreino: *Traqueobionta* (plantas vasculares); Superdivisión: *Spermatophyta*. División: *Magnoliophyta*. Clase: *Magnoliopsida*. Subclase: *Rosidae*; Orden: *Fabales*. (Martínez Modragón, 2014). Crece en climas fríos y cálidos. Se encuentran plantas trepadoras y enanas. Se cultiva en suelos no muy salinos, con índice medio de lluvias, en lugares donde el calor del sol llegue al tallo de la planta. (Arias Restrepo, Regifo Martínez, & Jaramillo Carmona, 2007).

El frijol es un producto de alto consumo en Colombia, y uno de los principales alimentos en la canasta familiar por su aporte energético y su contenido de proteínas y carbohidratos. Se estima que en Colombia se cosecha un total de 121000 toneladas al año aproximadamente (FENALCE, 2016), siendo Antioquia y Huila los dos departamentos más productores de la leguminosa. (FENALCE, 2016).

Las vainas o cascaras del frijol son arrojadas como desperdicio y poco reutilizadas, causando un gran impacto ambiental. Por tal motivo, es creciente el interés de encontrar alternativas de uso para este y otros residuos de productos vegetales derivados de la agroindustria. Las vainas de las leguminosas, como el frijol contienen una apreciable cantidad de celulosa y lignina, que puede ser aprovechada. (Arias Restrepo, Regifo Martínez, & Jaramillo Carmona, 2007).

Se considera aglomerado a la unión de varias partículas de madera con una resina o cola, capaz de mantener fijos los fragmentos de uno o más materiales, para formar un conjunto compacto. (Domínguez Ortiz & Londoño Zuluaga , 2014). Los aglomerados obtenidos a partir de desechos de productos vegetales se pueden utilizar en diversas aplicaciones como paredes, techos, pisos, repisas, etc.

La investigación consistirá en utilizar la vaina del frijol y transformarla en materia prima para la elaboración de aglomerados biodegradables tipo madera, utilizables como tutores en cultivos hidropónicos, con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental y la tala de árboles.

1.2. VARIABLES

Las variables que se consideraron en la investigación fueron:

1.2.1. Variables independientes

- Modificación del tamaño de la cascara.

El tamaño de la cáscara determina la mayor o menor superficie de contacto con el aglutinante. Se fraccionaron manualmente después de secarlas. Se ensayaron valores de 0,5 cm, 1,0 cm y 1,5 cm.

- Variación de la proporción almidón-agua en el aglomerante:

Si se agrega poco almidón no se obtendrá una buena adherencia. Si se agrega demasiado no se disolverá y se formaran grumos. Se ensayaron:

60% almidón y 40% agua

70% almidón y 30% agua

80% almidón y 20% agua

- Cambio en la proporción cáscara-aglomerante.

Se ensayaron:

60% cascara y 40% aglomerante

70% cascara y 30% aglomerante

80% cascara y 20% aglomerante

Pre experimentalmente se observó que los porcentajes dados inicialmente para la mezcla cáscara aglomerante no tuvieron buena adherencia y rigidez por tal motivo se cambiaron y se ensayaron:

90% cascara y 10% aglomerante

85% cascara y 15% aglomerante

80% cascara y 20% aglomerante

La proporción de cáscara aglomerante determina la adherencia de las partículas mucha cáscara y poco aglomerante producirá poca adherencia y un exceso de aglutinante no producirá una buena rigidez en un aglomerado.

1.2.2. Variables dependientes

Todos los ensayos se realizaron bajo la norma NTC 2261: Método para evaluar las propiedades de materiales con base en fibras de madera, que es la norma colombiana que regula aglomerados de origen vegetal.

Previo a la realización del ensayo se procedió a determinar la densidad de cada uno de los aglomerados para poder clasificarlos (Ver presentación de resultados), y se clasifico como LG (Baja densidad).

- Análisis del módulo de rotura y módulo de elasticidad.

Las dimensiones de la probeta fueron: 7,5 cm x 1,5 cm con un espesor de 1,5 cm, y para el análisis deben ser sometidas a compresión mecánica y flexión en tres puntos de la probeta, utilizando una maquina universal para ensayos, a una velocidad de 5 mm/s.

Según la norma el módulo de ruptura debe ser mínimo de 8 N/mm² y el módulo de elasticidad debe ser mínimo de 800 N/mm².

- Absorción de agua

En esta prueba el material se sumergió en agua y se registró el peso de la probeta a las 2 y 24 horas de inmersión, con el fin de analizar la resistencia a la absorción de agua del material.

A las 2 horas el incremento del peso debe ser inferior al 6 % y a las 24 horas debe ser inferior al 12%

1.2.3. Condiciones controladas

Tiempo secado cascara de frijol: El tiempo de secado de la cascara de frijol fue de 5 días bajo techo a 25°C (ambiente).

La mezcla de cascara y aglutinante se realizó manualmente.

Presión de compactación de la probeta: La presión se aplicó mediante una prensa hidráulica con platos calentadores a 100 Kgf / cm² por 10 min a una temperatura de 160 °C.

1.3. HIPÓTESIS

Si se modifica el tamaño de cáscara de frijol, 0,5; 1 o 1,5 cm, la proporción de almidón agua en el aglutinante 60-40,70-30 o 80-20% respectivamente y la proporción de cascara-aglomerante 60-40, 70-30 o 80-20% respectivamente se espera obtener un aglomerado con módulo de rotura de 8 N/mm² mínimo, un módulo de elasticidad de 800 N/mm² mínimo y absorción de agua medida mediante incremento de peso a las 2 horas de 6 % máximo a las 24 h de 12% máximo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Fabricar un aglomerado biodegradable utilizando vaina de frijol seca (*Phaseolus vulgaris*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) como aglutinante.

1.4.2. Objetivos específicos

- Ensayar diferentes tamaños de cáscara seca.
- Variar la proporción almidón – H₂O en el aglutinante.
- Modificar proporción cáscara y aglutinante en el aglomerado y realizar pruebas para determinar módulo de rotura, elasticidad y absorción de agua según la norma NTC 2261.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Debido al impacto ambiental generado por la tala de árboles y por los adhesivos sintéticos utilizados para la fabricación de aglomerados tipo maderas, se han buscado alternativas de compuestos más amigables con el medio ambiente, obteniéndolos a partir de productos vegetales.

Las cascavas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), son un subproducto poco utilizado y no tiene ningún tipo de aprovechamiento. Debido al gran consumo de frijol por parte de la población colombiana, se genera gran cantidad de dicho desperdicio que produce contaminación ambiental a causa de su descomposición. Dado que La celulosa es uno de los principales componentes de las fibras naturales, representada en las vainas del frijol, se puede aprovechar con fines agro industriales, fabricando aglomerados biodegradables.

Si se busca un aprovechamiento sustentable de los residuos, no solamente se solucionará un problema de contaminación ambiental, sino se dará un valor agregado al cultivo de frijol, permitiendo un uso de la cáscara, Por ejemplo, para la fabricación de tutores en los mismos.

1.6. APORTES

Debido a la gran producción de frijol en Colombia y a su alto consumo por parte de la población, por su contenido de proteínas y minerales esenciales, y siendo una de las principales actividades económicas de los campesinos, los principales beneficiados de este proyecto serán los cultivadores de frijol, quienes podrán dar uso a un desecho.

De la misma manera, se beneficiará el medio ambiente, porque se minimizará una fuente de contaminación que genera lixiviados debido a su descomposición.

Finalmente se beneficiará la agroindustria y los consumidores porque al obtener mayores ingresos de producción se podrán disminuir los precios de este producto.

1.7. LÍMITES

Para esta investigación se utilizó únicamente la vaina del frijol bola roja (*Phaseolus vulgaris*), Cultivado en la población de Cajamarca (Tolima, Colombia).

La investigación se realizó a nivel laboratorio.

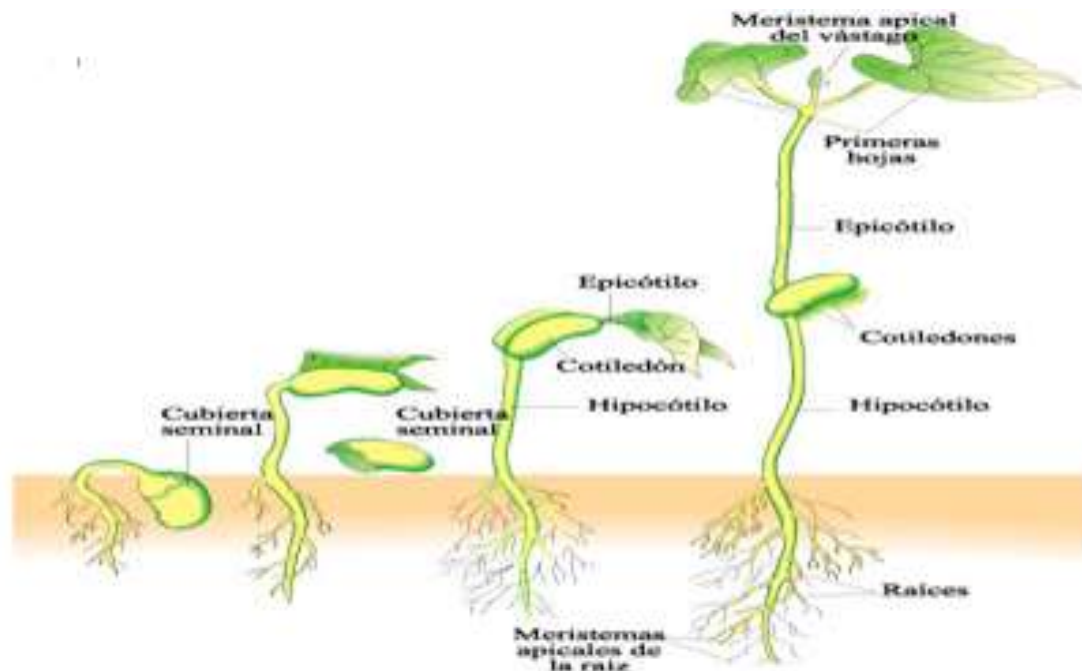
2. MARCO TEÓRICO

2.1. FRÍJOL

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) pertenece al Reino: *Plantae*; Subreino: *Traqueobionta*; Superdivisión: *Spermatophyta*; División: *Magnoliophyta*; Clase: *Magnoliopsida*; Subclase: *Rosidae*; Orden: *Fabales*. (Martínez Modragón, 2014). Es un producto de alto consumo en Colombia, y uno de los principales alimentos en la canasta, por su aporte energético y su contenido de proteínas, carbohidratos y minerales esenciales. Se cultiva entre 800 y 2900 metros sobre el nivel del mar con temperaturas entre 27 °C y 10 °C. Tiene variedades trepadoras y enanas. Se cultiva en suelos no muy salinos, con índice medio de lluvias, en lugares donde el calor del sol llegue al tallo de la planta. El 65% del frijol producido en Colombia es de tipo voluble y el 35% es arbustivo. Las variedades encontradas en el país son Froilán, Cargamanto blanco, Cargamanto rojo, Calima y Bola roja. (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

La planta del frijol está compuesta por el sistema radicular, el tallo, las hojas, las flores y el fruto (Ilustración 1), el fruto (Ilustración 2) es una vaina con dos valvas las cuales provienen del ovario, dependiendo de la variedad de frijol sus vainas son de diferentes tamaños, rayas y colores. Puesto que el fruto es una vaina se clasifica como leguminosa (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

Ilustración 1: Desarrollo de una plántula de frijol, una dicotiledónea.



Fuente: <https://biologiahelena.webcindario.com/libro/s6.htm>

Ilustración 2: Fruto de la planta de frijol



Fuente: AgroClimas 2018

Se estima que en Colombia la cosecha de frijol es de un total de 121000 toneladas al año aproximadamente (FENALCE, 2016). El primer lugar en producción de frijol lo ocupa Antioquia y el segundo departamento es Huila con 40000 toneladas al año aproximadamente (FENALCE, 2016).

2.2. CELULOSA

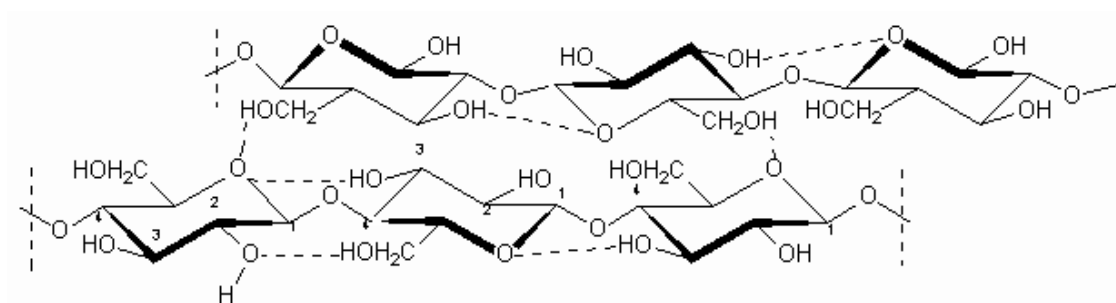
La celulosa (Ilustración 3), con fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$, es uno de los materiales más abundantes de la tierra que se caracteriza por su disponibilidad y por ser una fuente de energía renovable. Es una cadena lineal constituida por carbohidratos polisacáridos, está formada por la unión de moléculas de β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico, esto hace que sea insoluble en agua. Esta unida por varios puentes de hidrogeno formando fibrillas (Macarrón R. 1992).

Según su origen y composición, las fibras celulósicas se clasifican como fibras de madera que son conocidas como fibras lignocelulósicas, tienen un mayor contenido de lignina y fibras no madereras que pueden ser clasificadas dependiendo de la parte de la planta, fibras bastas (cáñamo, yute, kenaf, lino, ramio y otros), fibras foliares (sisal, henequén, piña, hoja de palma aceitera, fibras de plátano y otros), fibras del tallo (arroz, trigo y la cebada, Cañas, como el bambú, la hierba, como el esparto y el elefante), y fibras de semilla (algodón, fibra de coco y otros) (Ardanuy, Claramunt, & Toledo, 2015).

Las fibras vegetales tienen un conjunto de ventajas, como una amplia disponibilidad a un bajo costo, son biodegradables, capacidad para ser recicladas y es un producto no peligroso. Propiedades físicas y mecánicas (baja densidad y rigidez, dureza y resistencia). Las fibras vegetales se pueden encontrar en una gran variedad de morfologías, diámetros, longitud, y rugosidad de la superficie y su forma, principalmente hebras, pulpa o grapa. Además, su superficie puede ser modificada fácilmente con el fin de tener un carácter más hidrófilo o hidrófobo. (Ardanuy, Claramunt, & Toledo, 2015).

Las fibras vegetales se componen de celulosa, con cantidades de lignina y hemicelulosas y otros componentes como agua, proteínas, péptidos y compuestos inorgánicos. Todas las plantas vasculares que se pueden encontrar en la naturaleza, se pueden utilizar como fuentes de fibras celulósicas. Sin embargo, el uso de una planta particular como fuente de fibra para una aplicación dada, depende de su disponibilidad y costo de extracción. (Ardanuy, Claramunt, & Toledo, 2015)

Ilustración 3: Estructura molecular de la celulosa



Fuente: (McMurry, 2008)

2.2.1. Composición química

La celulosa es la unión de varios miles de unidades de D-glucosa unidos a enlaces 1-4- β -glicosídicos iguales a los de la celobiosas (McMurry, 2008). Las plantas por medio de la fotosíntesis sintetizan los carbohidratos en un proceso en el cual la luz solar provee la energía para convertir el CO₂ y el H₂O en glucosa más oxígeno, luego muchas moléculas de glucosa se unen en la planta para almacenarse como celulosa y almidón (McMurry, 2008).

2.2.2. Composición física

Dentro de las propiedades físicas que encontramos en la celulosa, podemos destacar el índice o grado de polimerización, la cristalinidad y la porosidad. (McMurry, 2008).

El grado de polimerización explica cuántas unidades de glucosa constituyen la cadena lineal de celulosa. (McMurry, 2008)

La cristalinidad de la celulosa se divide en subunidades que a su vez se unen con enlaces de hidrogeno intermolecular para formar microfibrillas, estas se agrupan en unidades básicas que conforman la pared celular. Se conocen diferentes estructuras cristalinas de la celulosa dependiendo del tratamiento que se ha hecho para aislarla. (Schabowicz, Józwiak-Niedźwiedzka, Ranachowski, Kudela Jr, & Dvorak, 2018).

2.2.3 Usos

El principal uso de la celulosa se dirige a la fabricación de papel y cartones, para fibras textiles y los derivados de acetato de celulosa y nitrato de celulosa. La celulosa puede ser blanca de fibra larga o de fibra corta. La blanca de fibra larga se usa principalmente para agregar resistencia a los papeles y cartulinas, y la celulosa blanca de fibra corta se usa para dar suavidad y como relleno. Dependiendo de la proporción en las mezclas se obtienen papeles para diferentes usos. (Sarmiento, 2012)

2.3. ADHESIVOS

Los adhesivos son materiales compuestos por polímeros, capaces de unir dos o más sustratos, mediante adhesión y cohesión. Los adhesivos son materiales compuestos por polímeros orgánicos que se encuentran en un estado líquido cuando se aplican y se transforman en un estado sólido tras su posterior curado o endurecimiento. (Domínguez Ortiz & Londoño Zuluaga , 2014).

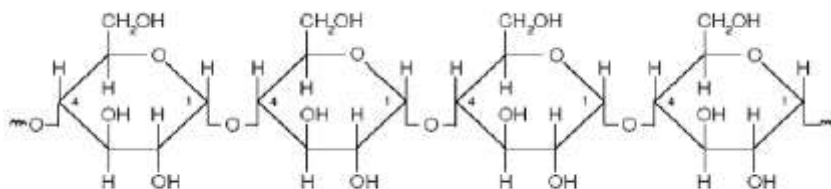
2.3.1 Adhesivos naturales

Los adhesivos naturales son aquellos que se extraen de la naturaleza, vegetales o animales, algunos de estos adhesivos son, el almidón, las colas de caseína, el caucho natural, la dextrina y el colágeno. Los adhesivos naturales fueron los primeros pegamentos que se descubrieron y se utilizaron en la historia y evolución de los adhesivos. (Domínguez Ortiz & Londoño Zuluaga , 2014). Los egipcios utilizaban los adhesivos de almidón, caseína y azúcar para unir las hojas de papiro.

Una de las mayores fuentes para la elaboración de adhesivos naturales son las proteínas de origen vegetal, disponibles a partir de cultivos tales como la yuca, la papa, la soya y el trigo. Los adhesivos naturales presentan varias ventajas ambientales, pero deben ser mejorados para igualar las características de los aglutinantes tradicionales. (Domínguez Ortiz & Londoño Zuluaga , 2014).

El almidón de yuca (Ilustración 4), está constituido por unidades de glucosa, se compone de dos polisacáridos, amilosa y amilopectina, estas macromoléculas se caracterizadas por su grado de ramificación o polimerización. Pueden encontrarse como agrio y dulce. El almidón agrio sufre un proceso de fermentación que le confiere propiedades para los alimentos; el almidón dulce no es sometido a un proceso de fermentación, y es el que se usa generalmente en la industria. Es un polímero natural cuyos gránulos son estructuras macromoleculares ordenadas en capas y cuyas características en cuanto a composición, cantidad y forma varían de acuerdo con el tipo de fuente de la que provenga. (Meneses , Corrales, & Valencia, 2007).

Ilustración 4: Estructura almidón de yuca



Fuente: (Meneses , Corrales, & Valencia, 2007).

Tabla 1: Composición química de los almidones.

% Componentes	Yuca
Humedad	9,5
Proteína cruda	0,062
Grasa cruda	0,20
Fibra cruda	1,02
Cenizas	0,30
ELN	98,5

Fuente: (Granados C, Guzman C, Acevedo C, Diaz M. , & Herrera A , 2012).

El almidón de yuca gelatiniza a una temperatura entre 62 y 73 °C y es utilizado en la industria como adhesivo, encolante, excipiente, espolvorante, absorbente, aditivo de sedimentación, aglutinante, dispersante, diluyente y conservante. (Trujillo Rivera, 2014).

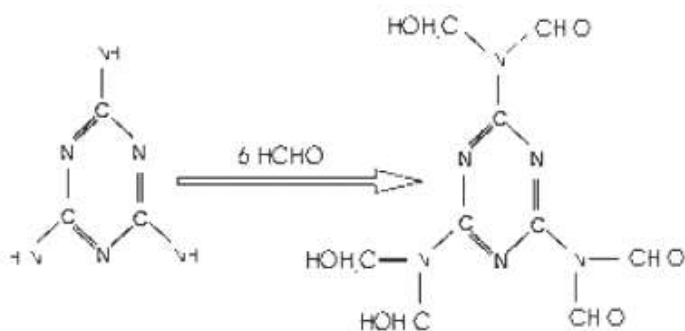
Los almidones químicamente pueden ser modificados debido a los grupos hidroxilo presentes en el polímero del almidón, (Peñaranda Contreras , Perilla Perilla, & Algecira Encizo, 2008). El hidróxido de sodio (NaOH), es utilizado como catalizador debido a que produce una sustitución nucleofílica de los grupos hidroxilos, el problema conlleva a que se disminuye la selectividad de la reacción. En general el hidróxido de sodio es utilizado para modificar la estructura del almidón. (Peñaranda Contreras , Perilla Perilla, & Algecira Encizo, 2008).

2.3.1. Adhesivos sintéticos

Los adhesivos sintéticos son utilizados en la industria dedicada a la elaboración y desarrollo de derivados del petróleo, se clasifican en resinas termoplásticas (son moldeadas por calor y presión y pueden ser re ablandadas y nuevamente prensadas), resinas termoestables (se moldean por calor y presión, pero no pueden ser re ablandadas y prensadas, son resinas infusibles), y resinas elastoméricas según la naturaleza del polímero. (Domínguez, M.; Londoño, C. 2014).

La industria ha utilizado tradicionalmente resinas a base de formaldehído, como urea-formaldehído (UF), melanina-formaldehído (MF) y fenol-formaldehído (PF) (Domínguez, M.; Londoño, C. 2014). Se usan principalmente por las propiedades fisicoquímicas que presentan, ya que al entrar en contacto con materiales a base de madera brindan a estos una disminución en la afinidad por el agua, incrementando de esta manera las propiedades físico-mecánicas de los mismos (Domínguez, M.; Londoño, C. 2014).

Ilustración 5: Estructura resina urea formaldehido, melanina formaldehido y fenol formaldehido.



Fuente: (Flores Martínez & Canchucaja Rojas , 2006).

2.4. TABLEROS AGLOMERADOS

Los tableros aglomerados son materiales elaborados a partir de partículas o fibras vegetales homogeneizadas, que son aglomeradas con diferentes resinas y prensadas, para brindar diferentes propiedades, dependiendo del tipo de aplicación al que vaya a ser sometidos. (Domínguez Ortiz & Londoño Zuluaga , 2014). Una de las características más importantes de los tableros aglomerados es su resistencia a la humedad, los arañazos, golpes o suciedad, lo cual es debido a una capa de recubrimiento que confiere la resistencia requerida (Domínguez Ortiz & Londoño Zuluaga , 2014).

Existen dos tipos de tableros aglomerados; tableros de fibras vegetales y tableros de partículas de madera.

Según la norma NTC 2261 los tableros aglomerados se pueden clasificar de acuerdo a:

La densidad

- Tableros de baja densidad: menor a 500 kg/m³
- Tableros de media densidad: entres 500 kg/m³ y 800 Kg/m³
- Tableros de alta densidad: mayor a 800 kg/m³

Las propiedades físico-mecánicas

- Tablero de grado alto, HG.
- Tablero de grado medio especial, MGS.
- Tablero de grado medio uno, MG1.
- Tablero de grado bajo, LG.

La distribución de las partículas.

- Tableros de una sola capa: Las partículas del tablero tienen la misma distribución.
- Tableros de capas múltiples: Las partículas varían a través del espesor del tablero formando una estructura simétrica a través del mismo.
- Tablero de distribución continua de partículas: tableros en el que la variación del tamaño y la forma de las partículas es continua y simetría a través del espesor del mismo.

La norma NTC 2261 tiene unos requisitos los cuales son:

- Los tableros deben estar exentos de deslaminación.
- La superficie de sus dos caras debe ser homogéneas.
- No se debe presentar manchas, costras de pegantes o grietas
- Los aglomerados deben presentar un contenido de humedad entre 5% y 11% al momento del empaque.
- Debe cumplir las tolerancias dimensionadas (Tabla 2):

Tabla 2: Tolerancias dimensionales de los tableros de partículas aglomeradas.

Espesor nominal en mm	Tolerancias del espesor mm	Tolerancias del largo mm		Tolerancias del ancho mm
		Mayor de 2 550	Menor de 2 550	
4 - 20	± 0,2	± 5	± 2	± 2
Mayor de 20	± 0,3			

Fuente: (NTC 2261, 2003)

La variación máxima de los valores del espesor en un mismo tablero no debe ser mayor de 0,25 m

- Debe cumplir con el módulo de rotura, módulo de elasticidad, enlace interno, sostenimiento del tornillo de acuerdo con el espesor y densidad del tablero (Tabla 3)

Tabla 3: Valores mínimos de un módulo de rotura, módulo de elasticidad, enlace interno y sostenimiento del tornillo para tableros de partículas aglomeradas.

GRADO	MODULO DE ROTURA (N/mm ²)	MODULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)	ENLACE INTERNO (N/mm ²)	SOSTENIMIENTO DE TORNILLO (N)	
HG	21,0	2400	0,90	Cara 1800	Canto 1325
MGS	14,5	2000	0,40	900	650
MG1	11,0	1500	0,30	800	600
LG	8,0	800	0,15	550	NA*
* NA significa no aplica					

Fuente: (NTC 2261, 2003)

- Para calibres menores de 15 mm no es aplicable la prueba de sostenimiento de tornillo.

Según la NTC 2261, el módulo de elasticidad se expresa en N/mm² y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$MOE = \frac{P_1 * L^3}{4 * a * e^3 * y_1}$$

Donde:

- MOE= Modulo de elasticidad, en N/mm²
- L= Distancia entre apoyos, en mm
- y₁= Deflexión en el límite proporcional, en mm
- P₁=Carga en el límite proporcional, en N
- a= ancho de la probeta, en mm
- e= Espesor nominal de la probeta, en mm

Según la NTC 2261, el módulo de rotura se expresa en N/mm² y se calcula mediante la siguiente formula:

$$MOR = \frac{3 * P * L}{2 * a * e^2}$$

Donde:

- MOR= Modulo de rotura, en N/mm²
- a= Ancho de la probeta, en mm
- e= Espesor nominal de la probeta, en mm
- P=Carga aplicada, en N
- L= Distancia de apoyos, en mm

Para el tratamiento óptimo de las pruebas de módulo de rotura y de elasticidad bajo la NTC 2261, las diferentes formulaciones fueron ajustadas bajo los parámetros de tableros LG, grado bajo (densidad menor a 500kg/m³).

2.5. BIODEGRADABILIDAD

La norma ASTM D 5488-944 define la biodegradabilidad como “la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos”. En general, un polímero es biodegradable si su degradación resulta de la acción natural de microorganismos como bacterias, hongos y algas, y por esta acción cambia y pierde sus propiedades y químicamente las moléculas se convierten en formas más simples y estables para ser oxidadas (Meneses , Corrales, & Valencia, 2007).

Los factores requeridos para que pueda darse un proceso de biodegradación son la presencia de microorganismos, aire, humedad y minerales necesarios (Meneses , Corrales, & Valencia, 2007).

3. METODOLOGÍA

3.1. RECINTO EXPERIMENTAL

Las pruebas se realizaron en los laboratorios de la Corporación Tecnológica de Bogotá CTB, y una empresa ubicada en Envigado Colombia, Dedicada a la fabricación de aglomerados no biodegradables.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

- Balanza analítica (Mettler Toledo con un rango de 54 a los 520 g)
- Maquina universal de ensayos
- Prensa hidráulica con calentamiento
- Agitador magnético.
- Plancha con calentamiento.
- Batidora manual.
- Horno eléctrico con rango de temperatura de 60 – 400 °C
- Beaker de 1000 mL.
- Termómetro de 100 °C
- Micropipeta Pasteur.
- Pipeta de 5 mL.
- Vasija metálica.
- Tamiz de 6 micras.
- Tamiz de 12 micras.

3.3. MATERIAS PRIMAS

Para la realización de este proyecto se utilizaron como materias primas:

- Agua destilada.
- Almidón de yuca grado industria I.
- Aceite de pino 0.5% grado industrial
- NaOH 1.0%. peso en volumen grado industrial
- Ácido bórico 1% grado industrial
- Cáscaras de frijol bola roja seca

3.4. PROCEDIMIENTO

a. Inicialmente se recolectaron las cascarras de frijol en la finca Panamá, en el municipio de Cajamarca departamento del Tolima; se dejaron secar por 5 días bajo techo a una

temperatura de 25°C (ambiente), se cortaron manualmente y se tamizaron a 0.5, 1.0 y 1.5 cm.

b. La cantidad de almidón se adicionó poco a poco a la cantidad de agua a 60°C, con agitación constante hasta obtener una mezcla homogénea.

A cada una de esas mezclas se agregó aceite de pino 0.5% y ácido bórico 1% como anti bactericida y anti hongos, NaOH al 1% peso en volumen para activar el almidón debido a que es usado en la sustitución nucleofílica de los grupos hidroxilo del almidón, en general se utiliza para aumentar el pH y cambiar la estructura química de este. También es usado como catalizador y mejorar sus capacidades aglutinantes.

c. Finalmente se realizó, de acuerdo a las proporciones establecidas la mezcla de cascara de frijol y aglutinante, y se agitó hasta obtener una mezcla homogénea, una vez obtenida dicha mezcla se colocó en un molde de madera.

d. Los moldes con el aglomerado secaron en un horno convencional eléctrico a una temperatura de 300 °C por una hora. Se prensaron en una prensa hidráulica con platos calentadores a 100 Kg f / cm² por 10 min a una temperatura de 160 °C.

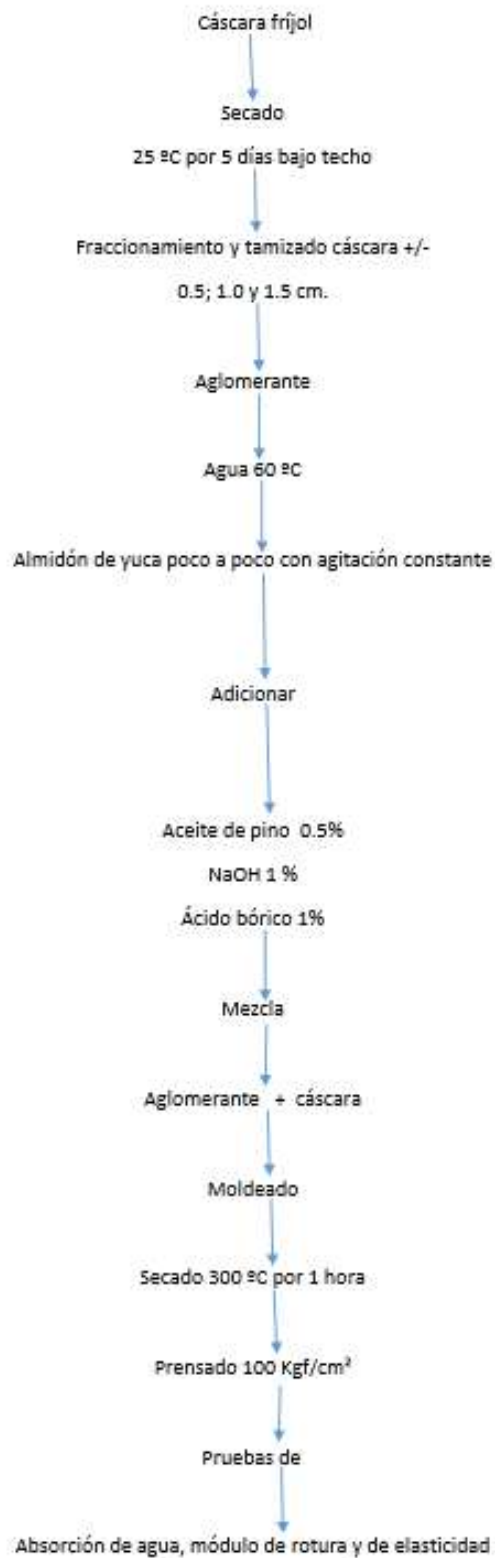
e. Por último, se desmoldaron las muestras y se procedió a realizar los ensayos de

-Absorción de agua a 2 y 24 horas.

-Módulo de rotura.

-Módulo de elasticidad.

Ilustración 6: Diagrama de flujo procedimiento



4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Tabla 4: Resultados obtenidos en las pruebas realizadas

Formulación	Tamaño de Partícula (cm)	% Almidón -Agua	% vaina de frijol -aglomerante	Densidad Kg/m ³	Modulo Rotura (N/mm ²)	Módulo de elasticidad (N/mm ²)	% Absorción agua por 2 horas	% Absorción agua por 24 horas
1	0.5	60-40	90-10	489.5	6.7	602.5	18	19
	1.0			482.3	5.2	523.5	20	22
	1.5			481.6	4.2	500.2	21	23
2	0.5	70-30	85-15	489.6	7.4	724.1	15	17
	1.0			482.8	6.8	665.5	17	20
	1.5			481.0	5.7	565.6	18	21
3	0.5	80-20	80-20	489.1	8.8	810.2	10	12
	1.0			482.6	7.3	745.7	15	17
	1.5			481.1	6.2	654.2	16	19
4	0.5	60-40	85-15	489.8	7.2	715.2	16	17
	1.0			482.5	6.2	632.5	18	20
	1.5			481.9	5.3	524.5	19	21
5	0.5	60-40	80-20	489.7	7.9	794.2	15	16
	1.0			482.5	6.6	623.5	17	19
	1.5			481.9	5.2	527.5	18	20
6	0.5	70-30	90-10	489.8	6.8	607.7	17	17
	1.0			482.9	5.4	543.9	19	20
	1.5			481.5	4.5	501.9	20	21
7	0.5	70-30	80-20	489.1	8.1	801.5	12	14
	1.0			482.5	7.2	698.5	14	17
	1.5			481.5	6.1	581.5	15	18
8	0.5	80-20	90-10	489.8	6.9	610.5	14	15
	1.0			482.5	5.9	578.9	16	18
	1.5			481.8	4.8	503.7	17	21
9	0.5	80-20	85-15	489.7	7.6	786.5	15	17
	1.0			482.5	7.0	684.6	17	20
	1.5			481.9	5.8	593.5	18	21

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

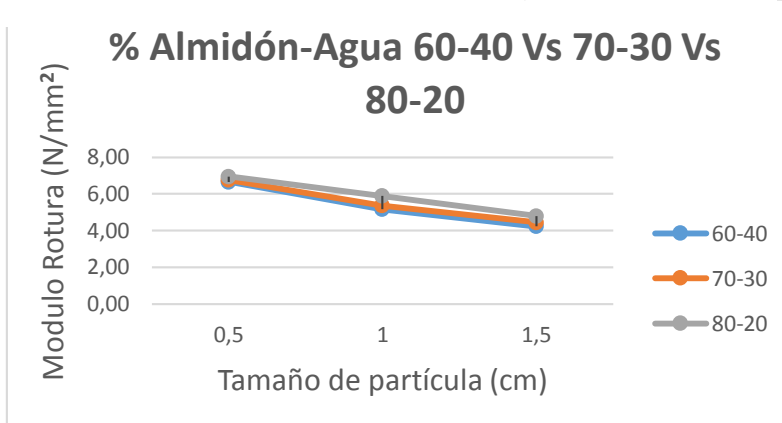
1. Con respecto a las densidades obtenidas y registradas en la tabla anterior, se puede observar que el promedio está dentro de las especificaciones de la norma, lo que confirma la clasificación del aglomerado como de baja densidad LG.

2. Con respecto al módulo de rotura las únicas muestras que obtuvieron un valor superior a 8 N/mm^2 fueron las correspondientes al tamaño de partícula 0.5 cm, % almidón agua 80-20 y % cascara aglomerante 80-20; y tamaño de partícula 0.5 cm, % almidón agua 70-30 y % cascara aglomerante 80-20, lo que parecería indicar que para el módulo de rotura el tamaño ideal de cascara es 0.5 cm y el % cascara aglutinante es 80-20. En general se observa que en la medida que aumenta el tamaño de partícula de la cascara disminuye el tamaño de rotura, probablemente porque no se logra una mezcla totalmente homogénea y esto hace que haya menor cohesión de las partículas.

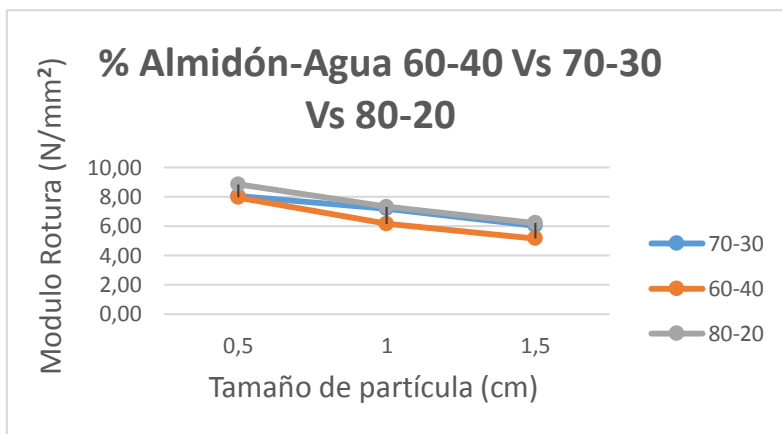
3. En lo que respecta al módulo de elasticidad, solo se obtuvieron valores superiores sobre 800 N/mm^2 exactamente en las mismas muestras lo que nuevamente indica que el tamaño de partícula ideal es de 0.5 cm y el % de cascara aglomerante es de 80-20. Aparente mente no hay diferencias significativas en los porcentajes almidón agua 60-40 y 70-30 lo que indicaría que el intervalo sería entre 60 y 70 % de almidón en el aglutinante, según los resultados observados en la tabla 4 formulaciones 5 y 7 donde se obtuvo un módulo de rotura 7.9 N/mm^2 y 8.1 N/mm^2 y en módulo de elasticidad fue de 794.2 N/mm^2 y 801.5 N/mm^2 respectivamente.

4. Ninguna de las muestras cumplió el parámetro de adsorción de agua ni a dos ni a veinticuatro horas, ya que se obtuvieron valores muy superiores a los de la norma. Eso indicaría que los aglomerados no son resistentes a la absorción de agua y sería necesario utilizarlos únicamente en climas secos, con baja precipitación de aguas lluvias o en recintos cerrados.

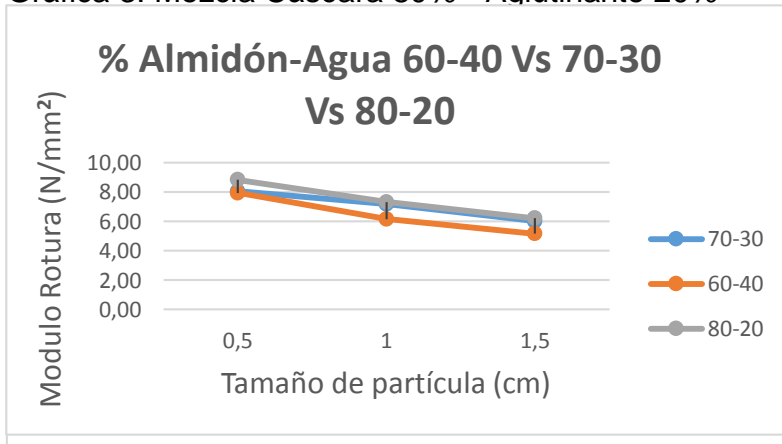
Gráfica 1: Mezcla Cáscara 90% - Aglutinante 10%



Gráfica 2: Mezcla Cáscara 85% - Aglutinante 15%

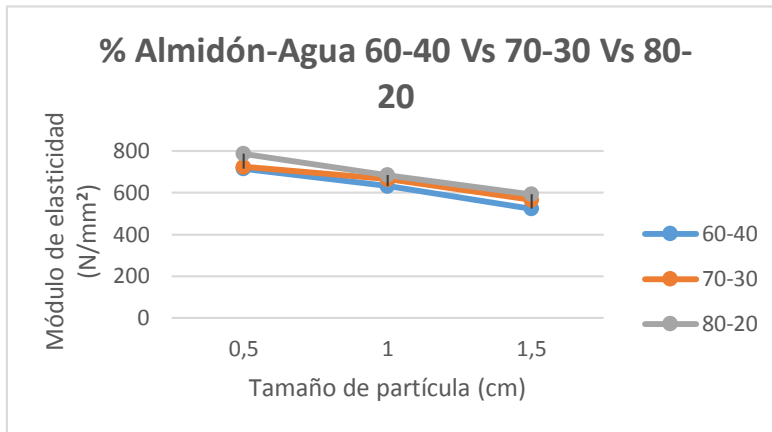


Gráfica 3: Mezcla Cáscara 80% - Aglutinante 20%

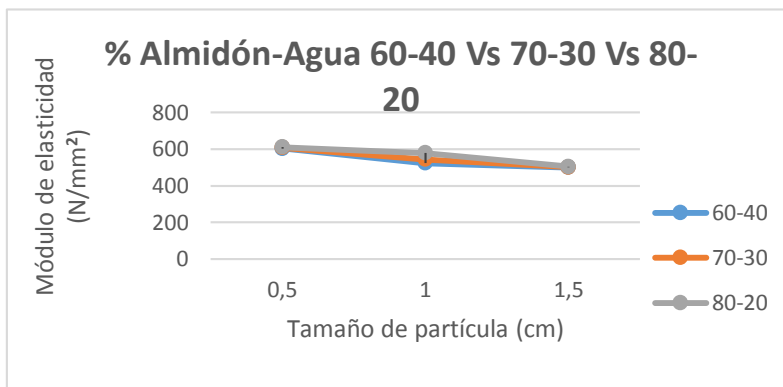


Se observa en las gráficas 1, 2 y 3 que a medida que aumenta el tamaño de cascara, se disminuye el módulo de rotura lo que implica que hay menor cohesión de las partículas y la mezcla no es homogénea.

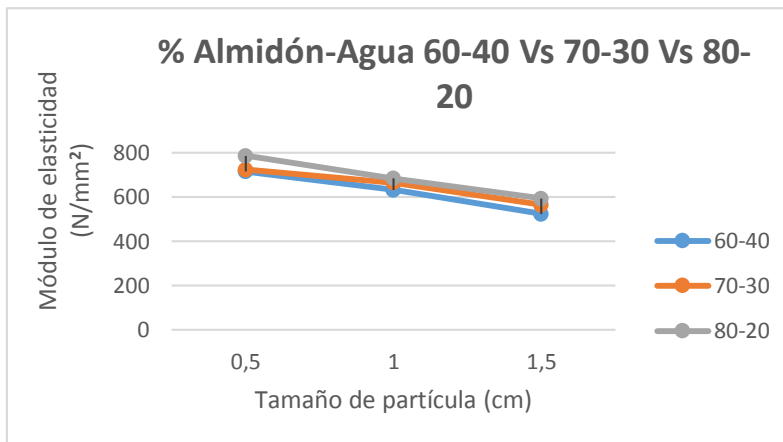
Gráfica 4: Mezcla Cáscara 90% - Aglutinante 10%



Gráfica 5: Mezcla Cáscara 85% - Aglutinante 15%



Gráfica 6: Mezcla Cáscara 80% - Aglutinante 20%



En las gráficas 4, 5 y 6 se analiza que a medida que aumenta el tamaño de la cascara disminuye el módulo de elasticidad, esto se observa en los resultados obtenidos en 0.5

cm donde se acercan a los valores mínimos dados en la NTC 2261 que deben ser de 800 N/mm^2

5. CONCLUSIONES

Una vez terminada la investigación se puede concluir.

- Se logró obtener un aglomerado utilizando cascara seca de frijol bola roja y una mezcla de almidón agua como aglutinante, logrando cumplir los parámetros de módulo de ruptura y elasticidad establecidos en la norma NTC 2261, Pero sin lograr superar los requisitos de absorción de agua a las 2 horas de máximo 6% y 24 horas máximo de 12%, puesto que los resultados obtenidos están por encima de estos porcentajes.
- Se logró evidenciar que a medida que se aumenta el tamaño de cascara se disminuye el módulo de elasticidad y rotura, estableciéndose que el tamaño de cáscara es de 0.5 cm.
- Con respecto al porcentaje de almidón agua en el aglutinante se encontró que la mejor proporción es 60-40 y 80-20, obteniéndose los mejores resultados en 80-20.
- En cuanto al porcentaje cascara aglutinante los mejores resultados se obtuvieron con un porcentaje 80-20.
- El mejor resultado se obtuvo con un tamaño de cascara 0.5 cm porcentaje almidón agua 80-20 y porcentaje cascara aglutinante 80-20, Muestra en la que el módulo de rotura 8.8 N/mm^2 y el módulo de elasticidad fue de $810,2 \text{ N/mm}^2$.

6. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se sugiere ensayar tamaños de partícula inferiores a 0.5 cm, tratando de lograr una mejor homogeneidad de la mezcla en el aglomerado.

Adicionalmente se sugiere adicionar a la mezcla una sustancia biodegradable resistente al agua, tipo resina vegetal como el caucho, para lograr una mejor absorción de agua.

7. ANEXOS

7.1. FOTOS PLACAS TAMAÑO DE CÁSCARA 0.5 cm, 1.0 cm Y 1.5 cm.



7.2. FOTOS PLACAS DESPUES DE TRES DIAS.



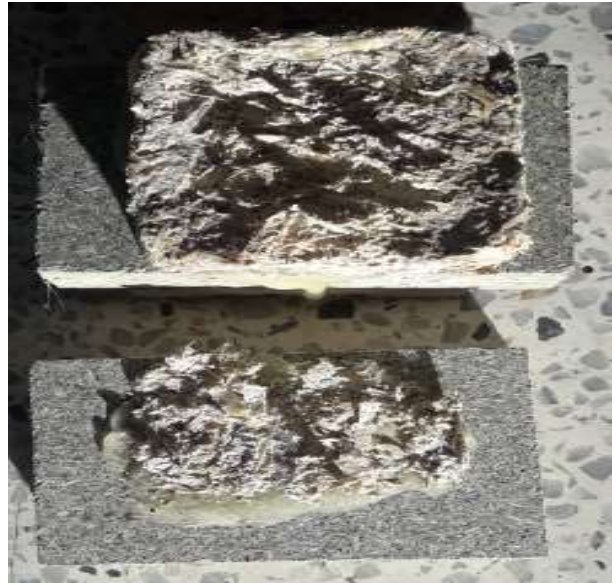
7.3. FOTOS ELABORACIÓN AGLOMERANTE



7.4. FOTOS PLACAS FINALES



7.5. FOTOS PRUEBAS DE MÓDULO DE ROTURA Y DE ELASTICIDAD



8. BIBLIOGRAFÍAS

NTC 1486. (2008). Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación.

Álvarez, C., Capanema, E., Rojas, O., & Gañán, P. (2009). Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano.

ANSI, A. (s.f.). American National Standard Particleboard. Composite Panel Association. E.E.U.U.

Ardanuy, M., Claramunt, J., & Toledo, F. (2015). Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Revista Construction and Building Materials*.

Arias Restrepo, H. J., Regifo Martínez, T., & Jaramillo Carmona, M. (2007). Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble.

Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para la producción y análisis de almidón de yuca. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*.

Armando Ulloa, J., Rosas Ulloa, P., Ramírez Ramírez, J., & Ulloa Rangel, B. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos.

Arriandiaga Abaroa, M. V. (s.f.). Adhesivos Sintéticos: Riesgo Higiénico de Resinas y otros Componentes.

ASTM. (2006). International Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Material. (141-171), D 1037-99.

Bakatovich, A., Davydenko, N., & Gaspar, F. (2018). Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste.

Bakatovich, B., Davydenko, F., & Gaspar, F. (2018). Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste. *Revista Energy & Buildings*.

Bedoya Hincapie, C. M., & Pineda Gomez, P. (2009). Optimización de propiedades mecánicas y térmicas de un aglomerado sintético por el método Taguchi. *Ingeniería y Ciencia*(ISSN 1794-9165).

- Bolio López, G., Valadez González, A., Veleza, L., & Andreeva, A. (2011). Whskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banan; obtención y caracterización.
- Cea Muños, H. R. (2003). Caracterización de astillas de aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia. *Tesis de grado . Carrera Ingeniería en Maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile.* Valdivia, Chile.
- Danilo, E. N. (2013). El cultivo del frijol.
- Deaquiz Oyola, Y. A., & Moreno Medina, B. L. (2015). Produccion y Biosintesis de Fibras Vegetales.
- Domínguez Ortíz , M., & Londoño Zuluaga , C. (2014). Elaboración de tableros aglomerados empleando diferentes formulaciones adhesivas a partir de proteína de soya.
- Espinosa Alonso , L. (2006). Diversidad Genética y Caracterización Nutricional y Nutracéutica del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.
- Estupiñan Estupiñan, V. (2014). Evaluacion de la vaina de frijol como adsorbente en un sistema que opera en modo semibatch para la remocion de cadmio presente en soluciones acuosas.
- Fernández de C, F., Gepts, P., & López , M. (1986). Etapas del desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) .
- Flores, J., Pastor, J., Martinez Gabarron, A., Gimeno Blanes, F., & Frutos, M. (2011). Pressure Impact on Common Reed Particleboards Manufacturing Procedure.
- Gaitán, A., Fonthal, G., & Ariza-Calderón, H. (2016). Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de *Pennisetum purpureum schum*, *Philodendron longirrhizum* y *Musa acuminata*.
- Gatani, M. (2008). Nuevos materiales, nuevas prácticas. Una mirada sobre la gestión de tecnología, la sustentibilidad ambiental y el desarrollo local. *Segundas jornadas para el desarrollo local.* Córdoba, Argentina.
- Gatani, M., Fiorelli, J., Medina, J. C., Martínez, R., Ruiz, A., & Donascimento, M. F. (2010). Propiedades físico-mecánicas de paneles de partículas a base de cascara de maní en matriz polimérica. *En II Simposio Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción.* Valencia.

- Gomes Moreira, M. (2003). Sistemas adhesivos autograbadores en esmalte: ventajas e inconvenientes.
- Gómez Álvarez, R., Lázaro Jerónimo, G., & León Nájera, J. (2007). Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y banáno (*Rhabanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco.
- González Velandia, K., Daza Rey, D., Caballero Amado, P., & Martínez González, C. (2016). Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel.
- Gottret, M. V., Escobar, Z., & Pérez, S. (2002). El sector yuquero en Colombia: desarrollo y competitividad .
- Granados C, C., Guzman C, L., Acevedo C, D., Diaz M. , M., & Herrera A , A. (2012). Propiedades funcionales del almidón de Sagú (*Maranta arundinacea*).
- Hernández J., M. (2003). Asoectos prácticos de la adhesión a dentina. Valencia.
- Hernández Medina, M., Torruco uco, J., Chel Guerrero , L., & Betancur Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, Mexico.
- Jiménez Montoya, J., Gordillo Díaz, B., & Vega Atuesta, M. (2010). Modificación estructural de la lignina extraída a partir de carbones de bajo rango para la obtención de madera sintética.
- khorami, M., & Ganjian, E. (2011). Comparing flexural behaviour of fibre-cement composites reinforced bagasse: wheat and eucalyptus.
- Lerman, D., Zueck, P., Viilchis, E., & Sobrino , M. (20013). Adhesivos.
- Londoño, C., Domínguez , M., Cardona, A., & Álvarez, C. (2013). Evaluación de Propiedades Físico-Mecánicas de Tableros Aglomerados Usando Diferentes Formulaciones Adhesivas de Proteína de Soya.
- Macarrón Larumbe, r. (1992). Purificación y caracterización de endoglucanasa III de *Trichodenna reesei* QM9414.
- Martínez, J., Gómez, C., Restrepo, D., & Gañán, P. (2009). Evaluación del curado de resinas fenólicas tipo novolaca modificadas con lignina por espectroscopía infraroja por transformada de Fourier .

- Martínez, J., Velázquez Jiménez, J., Ramírez, W., & Gñán Rojo, P. (2007).
Formulación de resinas fenólicas con lignina procedente del pulpeo alcalino del bagazo de caña.
- Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*(ISSN 1794-1237).
- Mera, M. (2011). Estudio de factibilidad de la exportación a Colombia de tableros Ecuatorianos elaborados en MDF y aglomerado para muebles modulares de oficina y hogar. *Disertación de grado previa la obtención del título de licenciada multilingüe en negocios y relaciones internacionales. Universidad Católica del Ecuador. Quito.*
- Montesinos Ferrandis, E., Vicente Palomino, S., Fuster López, L., Yusá Marco, D., Doménech Carbó, M., & Mecklenburg, M. (2008). Aproximación al estudio de adhesivos para la consolidación y refuerzo de tejidos históricos: materiales y métodos.
- Moya, M., Durán, M., & Sibaja, M. (1990). Obtención de derivados celulósicos a partir de desechos de café.
- NTC 2261. (2003). Madera, tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales.
- Poblete, H., Loncomilla, E., & Inzunza, L. (2000). Densidad del tablero de partículas y estabilidad dimensional.
- Rangel, L., Moreno, P., Trejo, S., & Valero, S. (2017). Propiedades de tableros aglomerados de partículas fabricados con madera de *Eucalyptus Urophylla*. *Revista Maderas Ciencia y Tecnología*(ISSN 0717-3644).
- Ríos M., D., Viteri R., S., & Delgado H., H. (2014). Evaluación agronómica de líneas avanzadas de frijol voluble *Phaseolus vulgaris* L. en Paipa Boyaca .
- Sánchez, E., Ruiz, J., Romero, L., Preciado Rangel, P., Flores Córdova, M., & Márquez Quiroz, C. (2018). ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero?
- Sánchez, M., Morales, L., & Caicedo, J. (2017). Physical and mechanical properties of agglomerated panels made from bamboo fiber and vegetable resin.

- Schabowicz, K., Józwiak-Niedźwiedzka, D., Ranachowski, Z., Kudela Jr, S., & Dvorak, T. (2018). Microstructural characterization of cellulose fibres in reinforced cement boards.
- Schabowicz, K., Jozwiak, D., Ranachowski, Z., Kudela , S., & Dvorak, T. (2018). Microstructural charecterization of cellulose febres in reinforced cement board. *Revista Science Direct*.
- Soto Mayor Castellanos, J. R. (2003). Caracterización mecánica de madera reconstituida modulo de elasticidad de tableros de partículas de madera. (ISSN 0717-3644).
- Tapia Bastidas, C. V. (2007). Elaboración de tableros de particula fina a partir de residuos lignocelulosicos y resinas termo estables. *Tesis de grado ingeniería mecánica*. Guayaquil, Ecuador.
- Valencia Valencia, K. (2018). Caracterización y análisis de la cáscara de frijol cargamanto (*Phaseolus vulgaris* L) y evaluación de nuevas alternativas de valorización a partir de su porcentaje de celulosa.
- Valencia, K. (2018). Caracterización y análisis de la cáscara de frijol cargamanto (*Phaseolus Vulgaris* L) y evaluación de nuevas alternativas de valoración a partir de su porcentaje de celulosa.
- Vargas Avila, Y., & Villamil Lozano, O. (2012). Caracyterización fisicoquímica y nutricional de la harina de fríjol caupí (*Vigna Unguiculata*L.) cultivado en el departamento del Tolima .
- Velásquez, J. (2007). Utilización de lignina de licor negro para la sustitución de resinas en aglomerados de madera. *Universidad Pontificia Bolivariana (UPB)*. Medellin, Colombia.