



DESARROLLO DE UN MATERIAL A BASE DE CASCARILLA DE ARROZ Y RESINA POLIÉSTER PARA SUSTITUIR ESTIBAS DE MADERA

Sandra Juliet Salamanca Sánchez¹

Universidad Autónoma de Colombia, Colombia
Juliesalamancas@gmail.com

Nayive Nieves Pimiento²

Universidad Autónoma de Colombia, Colombia
Nayive.nievesp@fuac.edu.co

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Sandra Juliet Salamanca Sánchez y Nayive Nieves Pimiento (2018): "Desarrollo de un material a base de cascarilla de arroz y resina poliéster para sustituir estibas de madera", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (septiembre 2018). En línea

[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/09/material-arroz-poliester.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/09/material-arroz-poliester.html)

RESUMEN

El estudio de materiales compuestos ha generado una nueva tendencia a la sustitución de materiales que ocasionan un daño al medio ambiente y al ecosistema del planeta; por esta razón la presente investigación permite determinar el comportamiento mecánico de un material compuesto fabricado a partir de cascarilla de arroz y resina poliéster, para lo cual se realizaron ensayos mecánicos a flexión y compresión bajo las normas internacionales de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM). Para flexión se usó la norma D790 y para compresión la norma D695-02A. Con la finalidad de precisar una mayor viabilidad al uso de la conformación del material compuesto a base de fibra (cascarilla de arroz) y una matriz poliéster. Se realizó un análisis morfológico por medio de la técnica superficial de microscopia de barrido de electrones (SEM). Esta investigación se lleva a cabo con el objetivo de sustituir la materia prima destinada a uno de los sectores que más demanda presenta para las industrias colombianas, el cual corresponde a la fabricación de estibas y la cual implica una tala indiscriminada de aproximadamente 3.600.000 árboles al año. Teniendo en cuenta lo anterior se fabricaron 12 probetas bajo la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4680 "Estiba intercambiable de madera, utilizable por una faz, en la cadena de valor". Los resultados obtenidos de los ensayos a flexión indican que la matriz de resina con refuerzo de la cascarilla presenta buena resistencia a las cargas puntuales y distribuidas, los máximos resultados obtenidos para cargas puntuales en el material compuesto fueron 57 MPa y para carga distribuidas fueron de 79.8 MPa. La observación obtenida del microscopio de barrido electrónico (SEM) presentó una buena distribución y adhesión entre la fibra y la resina, favoreciendo el uso de este material como sustituto de la madera en el mercado de estibas.

¹ Estudiante Diseño Industrial, Joven Investigador Semillero DISAM, Centro de estudios interdisciplinarios para el desarrollo CEIDE, Universidad Autónoma de Colombia

² MSc. Ciencias Ambientales, Ing. Mecánica, Docente Investigador, Centro de estudios interdisciplinarios para el desarrollo CEIDE, Universidad Autónoma de Colombia, Departamento Ingeniería, Diseño Industrial.

Palabras clave: Cascarilla de arroz-resina poliéster-materiales compuestos-estibas

ABSTRACT

The study of composite materials has generated a new tendency to replace materials that cause damage to the environment and the ecosystem of the planet; for this reason the present investigation allows to determine the mechanical behavior of a composite material made from rice husk and polyester resin, for which mechanical bending and compression tests were carried out under the international standards of the American Association of Material Testing (ASTM). For flexion the D790 standard was used and for compression the D695-02A standard. In order to specify a greater viability to the use of the conformation of the composite material based on fiber (rice husk) and a polyester matrix. A morphological analysis was performed by means of the superficial technique of electron scanning microscopy (SEM). This research is carried out with the objective of replacing the raw material destined to one of the sectors that demand the most for the Colombian industries, which corresponds to the manufacture of pallets and which implies an indiscriminate felling of approximately 3,600,000 trees year. Taking into account the above, 12 test pieces were manufactured under the Colombian Technical Standard (NTC) 4680 "Interchangeable stowage of wood, usable on one side, in the value chain". The results obtained from the bending tests indicate that the resin matrix with reinforcement of the shell presents good resistance to the punctual and distributed loads, the maximum results obtained for point loads in the composite material were 57 MPa and for distributed loads were 79.8 MPa. The observation obtained from the scanning electron microscope (SEM) showed a good distribution and adhesion between fiber and resin, favoring the use of this material as a substitute for wood in the pallet market.

Key words: Rice husk- polyester resin-composite materials-pallets

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la producción, distribución y consumo de madera se ha incrementado por la demanda que genera la comercialización de productos hechos a partir de este material. Las cifras arrojadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) indican que durante el 2016 (cifra más actual) 178.597 hectáreas de bosque fueron taladas en Colombia. Este hecho genera un impacto negativo directo en el cambio climático y en el ecosistema. La pérdida del hábitat de muchas especies de plantas y animales no sobrevive a la deforestación actual.

Ante esta situación se han llevado a cabo investigaciones sobre la utilización de materiales alternativos que sustituyan el uso masivo de la madera. Actualmente la utilización de fibras naturales para la fabricación de materiales compuestos, ha generado nuevas posibilidades para un cambio en la cadena productiva.

En función de lo mencionado anteriormente se realizó una investigación sobre que fibra generaba mayor cantidad de desecho en Colombia; sin embargo en la actualidad no existe un registro estadístico de las toneladas de fibra que son desechadas por la agroindustria. No obstante se halló información sobre uno de los productos agrícolas que presenta mayor rendimiento de producción y en consecuencia mayor desecho, el cual corresponde a la cascarilla de arroz.

La encuesta nacional de arroz mecanizado (ENAM) indica que en el primer semestre del 2018 hubo un crecimiento de producción de arroz de 1.020.738 toneladas comparadas con el año 2017 de 989.959 toneladas, en un área cosechada de 180.446 hectáreas. La variación anual del área cosechada fue del 3.1%. Esta información nos permite realizar un promedio del desecho en toneladas de cascarilla de arroz en Colombia.

En consecuencia se busca emplear el uso de la cascarilla de arroz y aprovechar sus características físico-químicas. Esta fibra está constituida por celulosa y sílice (Valverde G. Agustín 2007). Sus propiedades físico-químicas la definen como un sustrato orgánico, liviano, de buen drenaje y buena

aireación (L. E. Alférez Rivas, 2013). Ha sido considerada para varios usos: como refuerzo de cementos, materiales cerámicos, sustrato hidropónico y principalmente es utilizado como combustible.

Teniendo en cuenta lo anterior, se busca mitigar el problema ambiental que se genera a partir de este residuo; la investigación propone la obtención de un material compuesto conformado por una matriz de resina poliéster ortoftáltica preacelerada y de refuerzo en cascarilla de arroz. Se tiene como finalidad realizar la caracterización del material compuesto a partir de los ensayos mecánicos a flexión con cargas puntuales y distribuidas con un análisis morfológico por medio de un microscopio de barrido electrónico SEM, con el objetivo de realizar una intervención y sustitución en el sector de fabricación de estibas de madera para la industria en Colombia; ya que este es uno de los sectores que más demanda presenta a nivel nacional.

Para este estudio se fabricaron 12 probetas bajo la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4680 “Estiba intercambiable de madera, utilizable por una faz, en la cadena de valor”; en la cual se definen las características que debe tener la estiba, los requisitos que debe cumplir, los ensayos a los que debe ser sometida para verificar su funcionalidad, eficiencia y el nivel de calidad para que tanto fabricante y usuario puedan hacer uso óptimo del producto.

2. MATERIALES

Para el desarrollo de la investigación se usaron los siguientes materiales: Resina poliéster, cascarilla de arroz y agente desmoldante. A continuación se realiza una descripción generalizada de cada uno.

2.1 Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto natural proveniente de la producción arrocera. Para la realización de esta investigación la cascarilla fue obtenida de un cultivo arrocero en el departamento del Tolima.

Con el propósito de determinar una medida estándar de la cascarilla se seleccionaron 10 partículas y se midieron el ancho y el largo de cada. El promedio resultante es 9,75 mm de largo y 2,73 de ancho.

2.2 Resina Poliéster

La matriz termoestable utilizada para este estudio es la resina poliéster ortoftáltica preacelerada con una composición líquida referente 856. El catalizador utilizado fue peróxido metil-etil-cetona (MERK) al 2%. La resina se obtiene en ANDERCOL S.A. en Colombia.

2.3 Aceite desmoldador

Se utilizó la cera carnauba 100% natural y pura como agente desmoldeador.

3. METODOLOGÍA

3.1 Fabricación de los moldes para las probetas

Se fabricaron 12 moldes de las probetas (Tacos, Ver Figura 1), elaborados en madera laminada para evitar que se presentaran porosidades o estrías. Las dimensiones determinadas se obtuvieron de una relación 1:5 con la escala real encontrada en la norma NTC 4680: Largo 1200 mm, ancho 145 mm, espesor de 79 mm, con capacidad dinámica de 1000 kg y capacidad en estática de 2500 kg. En la Figura 2 se muestra las dimensiones de la sección transversal que fueron fabricadas para las probetas.

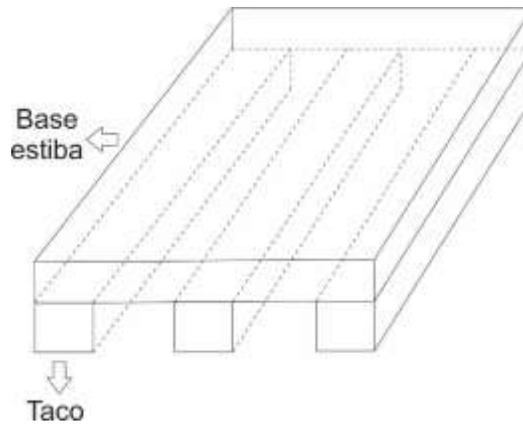


Figura 1: Esquema completo de estiba
Fuente: Autor



Figura 2: Esquema taco escala 1:5
Fuente: Autor

3.2 Preparación de las mezcla

3.2.1 Preparación de la cascarilla de arroz

Seleccionados los materiales, se realiza la molienda de la cascarilla en un molino manual donde se tritura la cantidad necesaria para las probetas. A la cascarilla no se le realizo ningún tratamiento químico para no modificar su estructura molecular.

Se selecciona el material triturado; se elige el TAMIZ N°35 (0,500 mm) y posteriormente el TAMIZ N°20 (0,85 mm) con aro y malla en acero inoxidable. Se divide el material molido en dos: para malla 35 y Malla 20; adicional se selecciona la cascarilla sin triturar en su estado natural, con el objetivo de obtener un mayor rango de resultados en las pruebas y determinar qué tipo de cascarilla tiene mayor homogeneidad con la resina poliéster obteniendo información precisa sobre la morfología del material, que será determinada por medio de un microscopio de barrido SEM y resistencia a pruebas físicas. La figura 3 presenta los diferentes tamaños de partícula de cascarilla utilizadas para las pruebas.



Cascarilla molida para malla N°35:0,500 mm



Cascarilla molida para malla N°20:0,041 mm



Cascarilla sin moler

Figura 3: Cascarilla molida malla 35, malla 20 y sin triturar respectivamente.
Fuente: Autor

3.2.2 Preparación de la mezcla: Resina - Cascarilla de arroz

Para la fabricación de las probetas se tuvo en cuenta la composición porcentual de la cascarilla de arroz y la matriz poliéster para un resultado homogéneo. La tabla No. 1 presenta los porcentajes y el tamaño de partícula presentes en cada probeta.

TAMAÑO DE PARTÍCULA	50% CASCARILLA (C) 50% RESINA (R)	30% CASCARILLA (C) 70% RESINA (R)
0,500	C = 25 gr. R= 100 gr.	C = 13,8 gr. R= 175 gr.
0,850	C = 25 gr. R= 100 gr.	C = 13,8 gr. R= 175 gr.
Tamaño Natural	C = 25 gr. R= 100 gr.	C = 13,8 gr. R= 175 gr.

Tabla 1: Composición de porcentajes y gramos para fabricación de las probetas.

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a realizar la mezcla de la cascarilla de arroz y la resina poliéster. Para realización del componente, la cascarilla es vertida en un contenedor seguido de la resina y se realiza una mezcla, buscando una composición homogénea. Posteriormente se adiciona el catalizador. La composición se mezcla continuamente y pasados 5 minutos es vertido sobre el molde, el cual fue previamente recubierto con cera desmoldante. Se distribuye la mezcla de manera uniforme, para lo cual el molde es agitado suavemente. La mezcla toma una consistencia gelatinosa a partir de los 20 minutos de la preparación. El curado del taco se realiza a temperatura ambiente; se deja un tiempo de secado de 72 horas para ser retiradas del molde. Se estima un tiempo de 8 días para la realización de los ensayos mecánicos. La conformación del material se aprecia en la Figura 6.



1. Cascarilla sin moler: 50% 50%



2. Cascarilla sin moler: 30% 70%



3. Malla 20: 50% 50%



4. Malla 20: 30% 70%



5. Malla 35: 50% 50%



6. Malla 35: 30% 70%

*Figura 4: Conformación de material compuesto: Cascarrilla de arroz más resina poliéster
Fuente: El Autor*

La figura 4.1 presenta la mezcla entre la cascarilla de arroz sin triturar y la resina poliéster en un 50% cada una, la cual presento menor viscosidad y menor consistencia gelatinosa en comparación con las otras probetas.

La figura 4.6 presenta la mezcla entre la cascarilla en un 30% y la resina en un 70%, la cual presenta mayor vacío y succión en comparación con las otras probetas.

3.3 Ensayos Mecánicos

Los ensayos mecánicos a flexión y compresión fueron realizados en la máquina universal de ensayos SHIMADZU en los laboratorios de la Universidad Distrital Francisco José de caldas en la ciudad de Bogotá.

3.3.1 Ensayo a flexión en carga puntual

Para realizar el ensayo a flexión las probetas fueron colocadas con puntos de apoyo de 200mm de longitud a una velocidad de 2mm/min. Las pruebas se realizaron bajo la norma ASTM D 790 para flexión. La Figura 5 presenta la probeta al ser ensayada en carga puntual.



*Figura 5: Carga puntual: Momento previo al descargue de la fuerza
Fuente: El Autor*

3.3.2 Ensayo a compresión a carga distribuida

Para realizar el ensayo a compresión con carga distribuida las probetas fueron colocadas sobre el plato inferior de la máquina (Ver Fig. 6) y la carga fue aplicada sobre el área de contacto entre la probeta y el disco superior del equipo. La velocidad de ensayo fue de 2mm/min. Las pruebas se realizaron bajo la norma ASTM D 695 – 02A para compresión. La Figura 6 presenta la probeta al ser ensayada en carga distribuida. (Fig. 6.1 Momento previo a la aplicación de la fuerza y Fig 6.2 Momento de fractura de la probeta).



Figura 6: Carga distribuida
Fuente: El Autor

3.4 Microscopia de Barrido (SEM)

Se realizaron observaciones a 6 probetas, las cuales inicialmente fueron sometidas a pruebas mecánicas de flexión y compresión en la maquina universal de ensayos; estas observaciones se realizaron sobre la fractura de las probetas.

Las pruebas fueron realizadas en el microscopio de barrido de electrones JEOL modelo 6490-LV de la Universidad de los Andes de Colombia, el cual permite obtener información morfológica de cualquier muestra en nanómetros. Las muestras fueron sometidas inicialmente a la Técnica de evaporación con carbono, para que fueran conductoras de corriente eléctrica. Para este método se utilizó el metalizador Desk IV.

4. RESULTADOS

4.1 Comportamiento mecánico a flexión con carga puntual

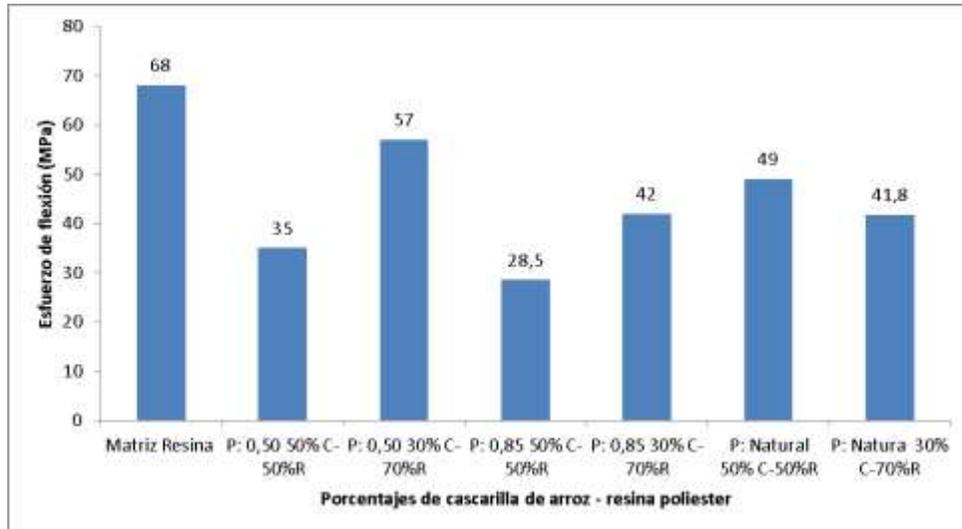


Gráfico 1: Diagrama Esfuerzo de Flexión con carga puntual Vs Porcentaje de Material.

En el Gráfico 1; se evidencia el comportamiento mecánico en ensayos de flexión para cargas puntuales de las probetas con diferente formulación en carga de material de refuerzo; la mezcla de 30/70 con tamaños de partícula 0.500mm, presenta la resistencia más alta de 57 MPa, mientras la mezcla de 50/50 con un tamaño de partícula de 0.850mm presenta menor resistencia de 28,5 MPa; ninguna de las dos mezclas superaron la matriz de resina de poliéster (68MPa).

El valor teórico de la matriz de resina poliéster se encuentra en un rango de 60 a 80 MPa, las formulaciones evaluadas no superaron este valor, los valores presentes para este estudio se deben a la adhesión de la fibra en la matriz, la unión interfacial puede ser débil, al realizar la mezcla entre el material de refuerzo y la resina, se observó que no existía homogeneidad para el material compuesto, los grumos por parte del material de refuerzo presentes en las mezclas originaron insuficiencia en la dispersión de la matriz; provocando una falla en rangos menores al valor teórico.

4.2 Comportamiento mecánico a compresión en carga distribuida

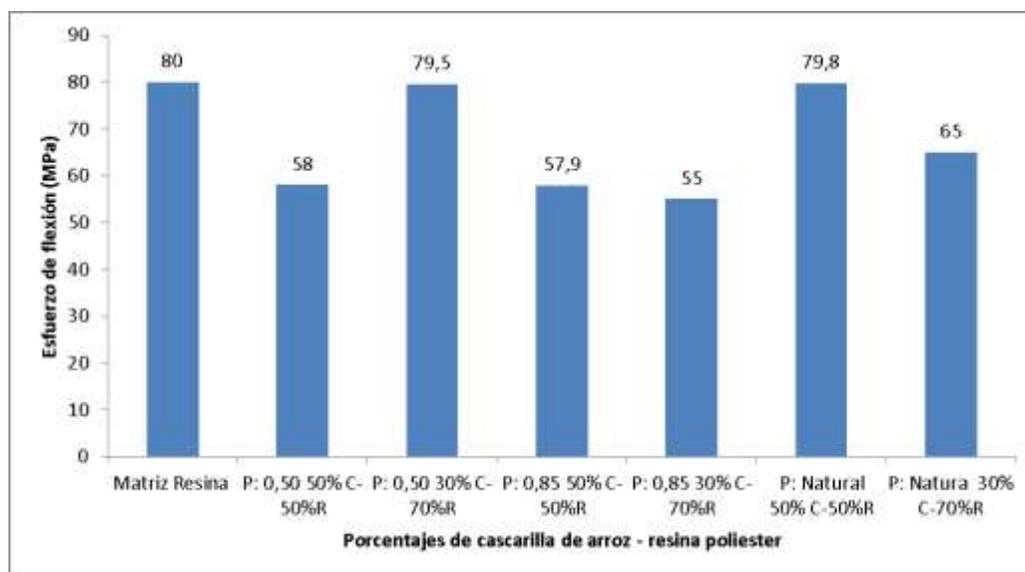


Gráfico 2: Diagrama Esfuerzo de Flexión con carga Distribuida Vs Porcentaje de Material.

En el Gráfico 2; se evidencia el comportamiento mecánico en ensayos de flexión para cargas distribuidas en las probetas con diferente formulación en carga de material de refuerzo; la mezcla de 30/70 con tamaños de partícula 0.500mm, presento una resistencia de 79.5 MPa, mientras la mezcla de 50/50 con tamaños de partículas sin triturar, presentaron esfuerzos por 79.8 MPa, la presencia de este valor en la resistencia del material, puede ser causado por el tamaño de partícula dentro de la matriz.

Aunque la matriz de resina poliéster presento un crecimiento exponencial en la aplicación de carga distribuida (80MPa), los materiales compuestos analizados no superaron estos valores, los materiales compuestos elaborados pueden no presentar la suficiente adhesión entre la fibra y la matriz, ocasionando dispersión dentro del material hasta ocasionar la falla.

4.3 Análisis de la morfología entre cascarilla de arroz y resina poliéster

A continuación se hace una descripción detallada del análisis generado por el barrido microscópico que se le realizo a cada una de las muestras, donde se podrá observar que probeta presenta mejores condiciones teniendo en cuenta su composición.

4.3.1 Malla 35: 30% cascarilla 70 % resina poliéster

En la Figura 7 se observan microcavidades que se generaron al momento de fabricar la probeta. Estas porosidades pueden ser producto de la realización manual de la mezcla; esto se debe a que los materiales fueron mezclados durante 5 minutos y es posible que fuera necesario más tiempo; otra variable que pudo afectar la mezcla es la temperatura de secado para realizar este procedimiento. La Figura 8 presenta una apariencia de buena adhesión en la sección de análisis entre la resina y la fibra natural.

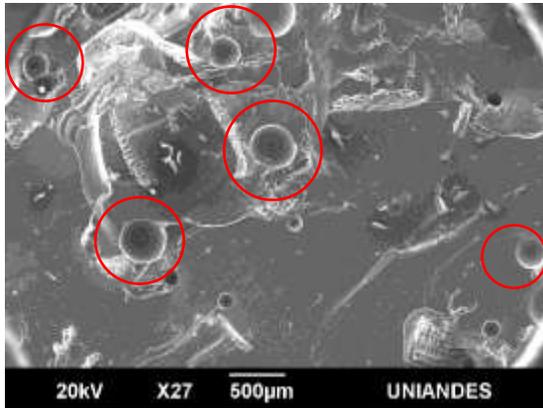


Figura 7: Microscopia SEM: Porosidad en la muestra en aumento x27
 Fuente: El Autor

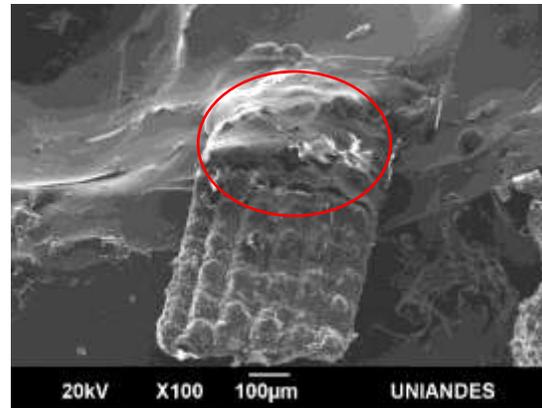


Figura 8: Microscopia SEM: Adhesión entre la Resina y la cascarilla en aumento x100
 Fuente: El Autor

En la Figura 9 y 10 se puede evidenciar la buena morfología que existe entre la resina poliéster y cascarilla de arroz. La resina genero un revestimiento homogéneo a toda la cascarilla, por lo cual no se presente separación entre ninguno de los compuestos.

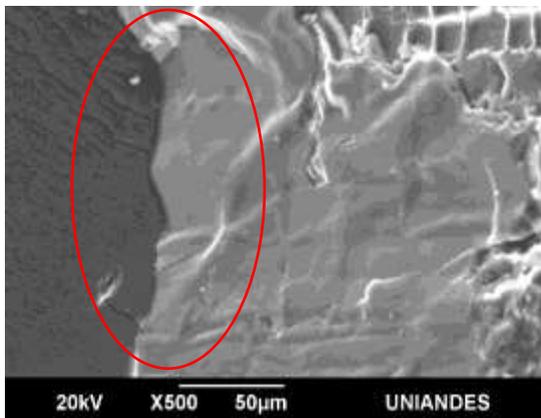


Figura 9: Microscopia SEM: Adhesión entre la resina y la cascarilla en aumento x500
 Fuente: El Autor

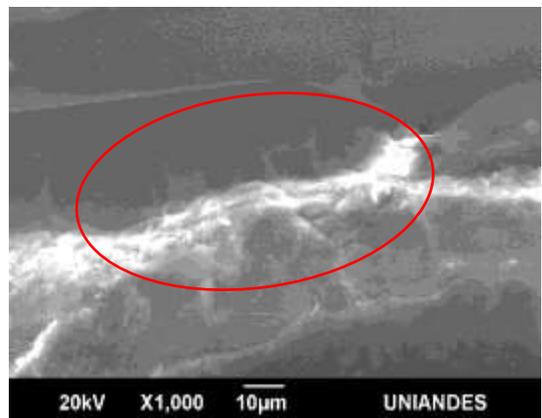


Figura 10: Microscopia SEM: Adhesión entre la resina y la cascarilla en aumento x1000
 Fuente: El Autor

4.3.2 Malla 35: 50% cascarilla 50 % resina poliéster

En la Figura 11 se evidencia mayor porosidad en comparación con la muestra 35: 30-70, sin embargo las microcavidades presentan un tamaño inferior, esto puede ser debido a que hay menor cantidad de resina y mayor cantidad de cascarilla. En la figura 12 se observa una fractura entre resina poliéster y cascarilla de arroz; este rompimiento se presenta por el esfuerzo al cual fue sometida la probeta en la maquina universal de ensayos.

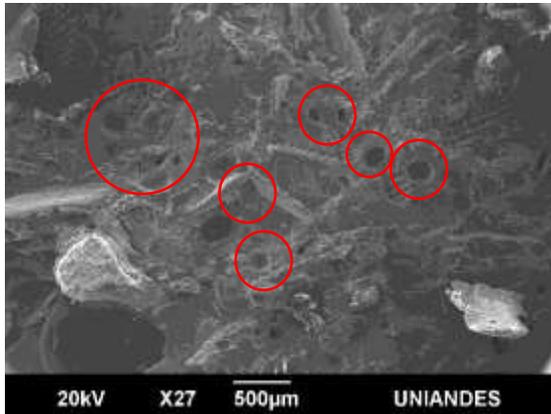


Figura 11: Microscopia SEM: porosidad en la muestra en aumento x27
Fuente: El Autor

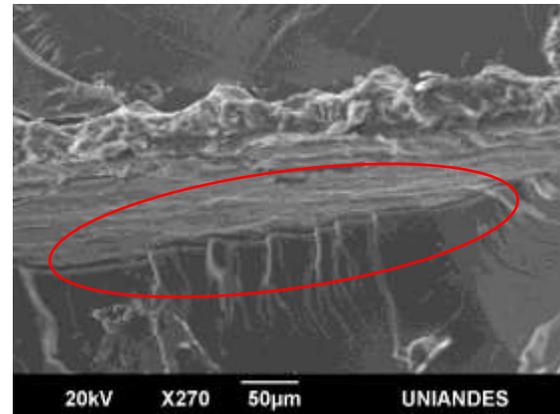


Figura 12: Microscopia SEM: Adhesión entre la resina y cascarilla en aumento x270
Fuente: El Autor

A pesar de las pruebas a las cuales fueron sometidas las probetas es posible observar en la Figura 13 la unión compacta que se presenta en ambos materiales; existe muy buena adhesión entre la fibra y la matriz. En la figura 14 se observa en un mayor aumento el desprendimiento entre resina poliéster y cascarilla de arroz debido a las pruebas mecánicas realizadas.

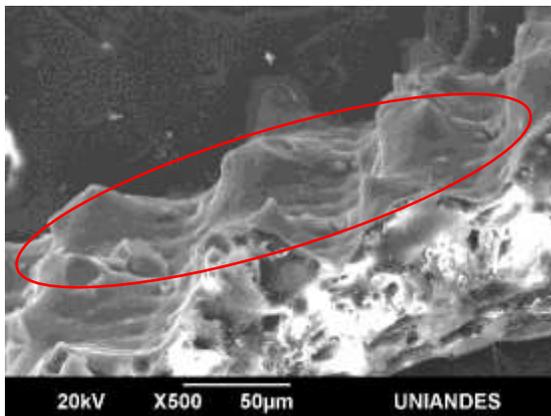


Figura 13: Microscopia SEM: Adhesión entre y resina y cascarilla en aumento x500
Fuente: El Autor

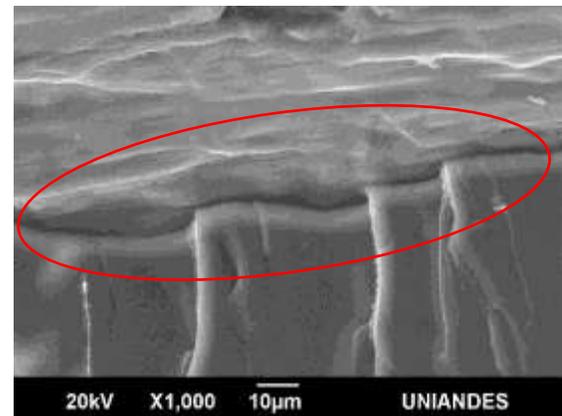


Figura 14: Microscopia SEM: Adhesión resina cascarilla en aumento x1000
Fuente: El Autor

4.3.3 Malla 20: 30% cascarilla 70 % resina poliéster

En la Figura 15 se observa nuevamente la porosidad generada por el aire atrapado durante la realización de la mezcla; estas se presentan en mayor escala de aumento en comparación con las Matrices anteriores. En la Figura 16 se observa una fractura entre la fibra y la resina debido al esfuerzo de compresión de carga distribuida al cual fue sometida la probeta. Esta separación entre la mezcla es nanométrica.

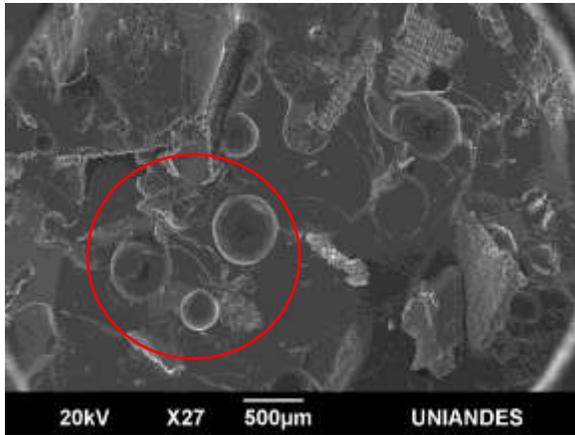


Figura 15: Microscopia SEM: Porosidad en la cascarilla en aumento x27
Fuente: El Autor

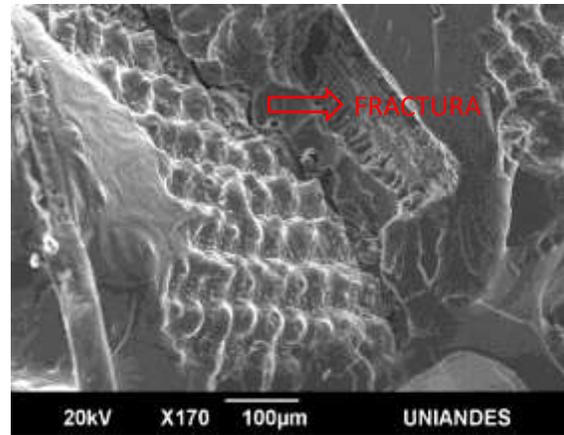


Figura 16: Microscopia SEM: Fractura resina y cascarilla en aumento x170
Fuente: El Autor

En la Figura 17 se puede evidenciar la composición física de la cascarilla de arroz y una separación con la resina; esta división se le puede atribuir tanto a las pruebas a las cuales fue sometida la probeta como al momento de su fabricación. En la Figura 18 Se observan microgrietas que corresponden al esfuerzo aplicado en las pruebas.

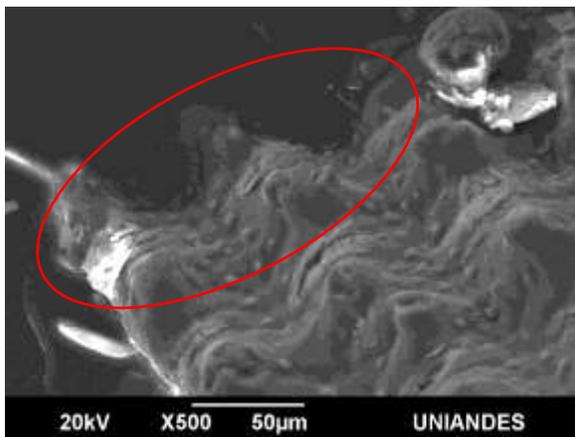


Figura 17: Microscopia SEM: Separación entre resina y la cascarilla en aumento x500
Fuente: El Autor

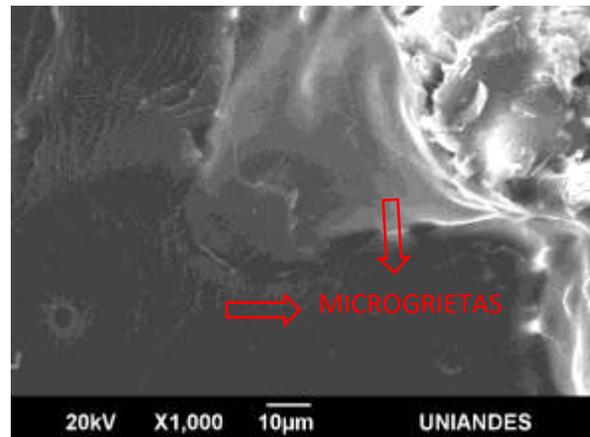


Figura 18: Microscopia SEM: Microgrietas en la resina y la cascarilla en aumento x1000
Fuente: El Autor

4.3.4 Malla 20: 50% cascarilla 50 % resina poliéster

En la Figura 19 se observa nuevamente una gran cantidad de microcavidades; también se distinguen las huellas de la cascarilla que fueron desprendidas en el momento de realizar los ensayos. En la Figura 20 se evidencia buena adhesión entre los compuestos y una pequeña separación en nanómetros ocasionada por las pruebas a compresión.

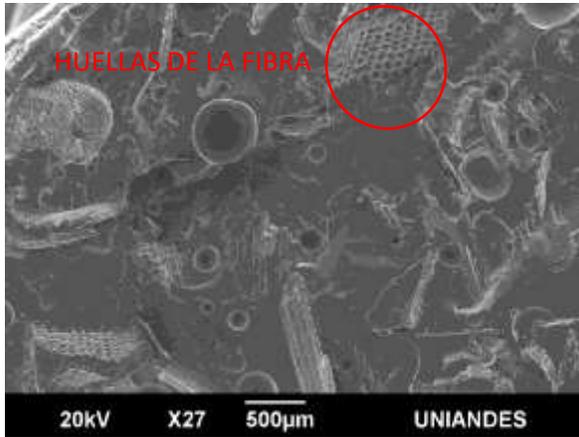


Figura 19: Microscopia SEM: Porosidad en la muestra en aumento x27
Fuente: El Autor

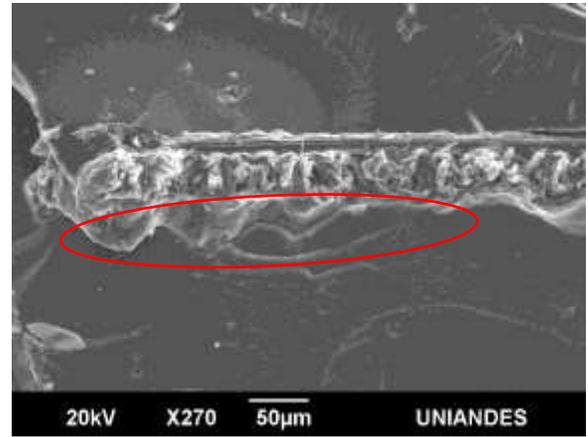


Figura 20: Microscopia SEM: Adhesión mezcla resina y cascarilla en aumento x270
Fuente: El Autor

En las Figuras 21 y 22 se pueden evidenciar que las fibras y la resina no presentan una distribución espacial homogénea, sin embargo la compactación entre ambos compuestos es aceptable. En la Figura 22 la curva horizontal que se observa hace referencia a la sombra que hace la resina sobre la cascarilla. La imagen presenta esta característica debido al barrido de electrones sobre la muestra.

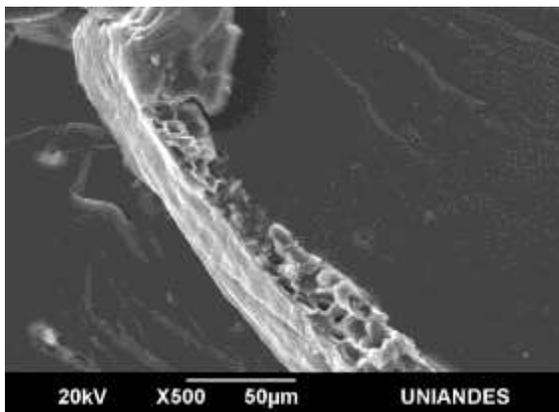


Figura 21: Microscopia SEM: Adhesión entre y la resina y cascarilla en aumento x500
Fuente: El Autor

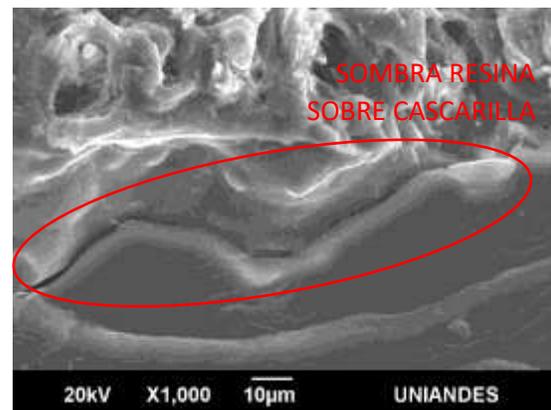


Figura 22: Microscopia SEM: Adhesión resina y cascarilla en aumento x1000
Fuente: El Autor

4.3.5 Sin Malla (cascarilla sin moler): 30% cascarilla 70 % resina poliéster

La Figura 23 presenta nuevamente porosidad y adhesión a menor escala entre la cascarilla y la resina. En la Figura 24 se evidencian microcavidades de mayor tamaño que las muestras anteriores y partes de cascarilla sin tratamiento en estado natural, es decir sin triturar.

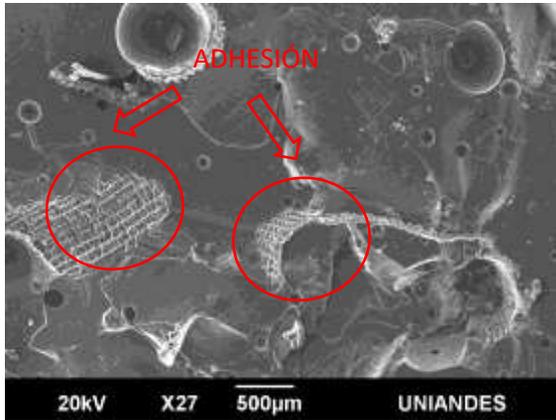


Figura 23: Microscopia SEM: Adhesión entre la resina y la cascarilla en aumento x27
Fuente: El Autor

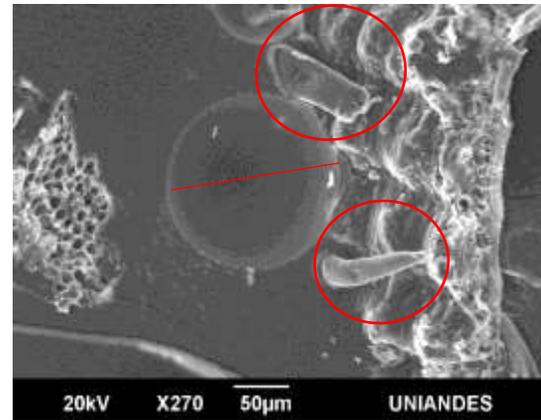


Figura 24: Microscopia SEM: cascarilla en estado natural en aumento x270
Fuente: El Autor

En las Figuras 25 y 26 es posible observar buena adhesión entre los materiales; no presenta una separación significativa. Esta separación nanométrica entre los compuestos es debido a las pruebas físicas, como se ha mencionado anteriormente.

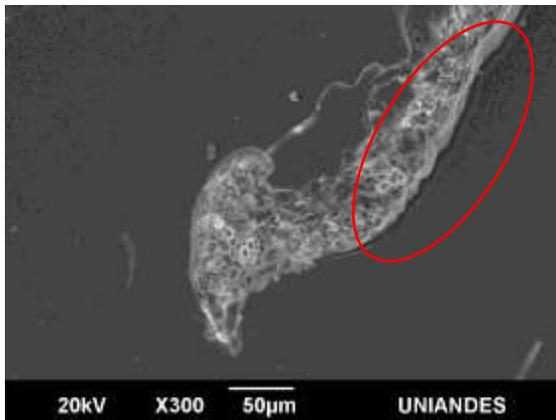


Figura 25: Microscopia SEM: Adhesión resina cascarilla en aumento x300
Fuente: El Autor

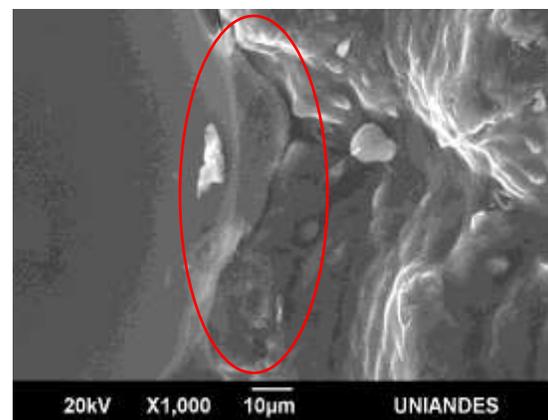
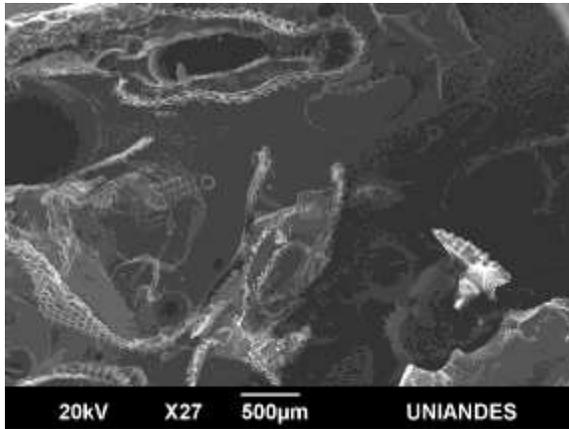


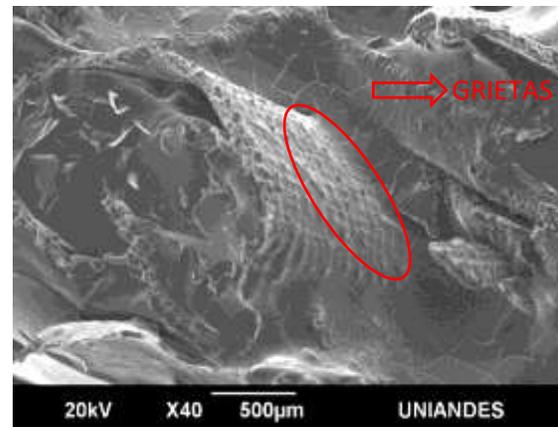
Figura 26: Microscopia SEM: Adhesión resina y cascarilla en aumento x1000
Fuente: El Autor

4.3.6 Sin Malla (cascarilla sin moler): 50% cascarilla 50 % resina poliéster

De todas las micrografías la Figura 27 presenta una disminución notable de porosidad, casi imperceptible, posiblemente debido al tamaño de la cascarilla, la cual no tuvo ningún tratamiento; también es posible que por su tamaño ocupara un mayor espacio en la mezcla con la resina dejando poca extensión para la formación de burbujas. Se observa una perfecta homogeneidad entre la resina y la fibra en la Figura 28, prácticamente observable como un solo elemento. También se distinguen grietas ocasionadas por el esfuerzo a las pruebas a compresión.

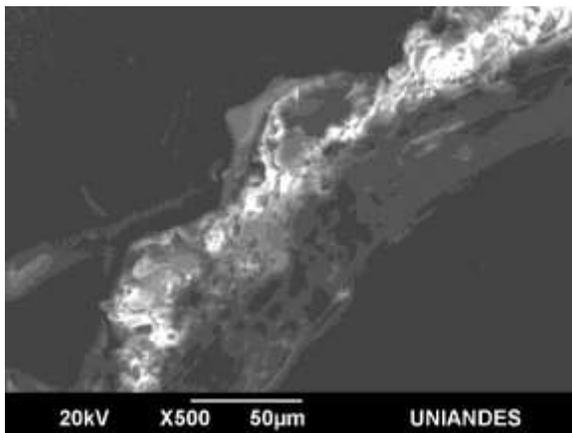


*Figura 27: Microscopia SEM: Adhesión entre la resina y la cascarilla en aumento x27
Fuente: El Autor*

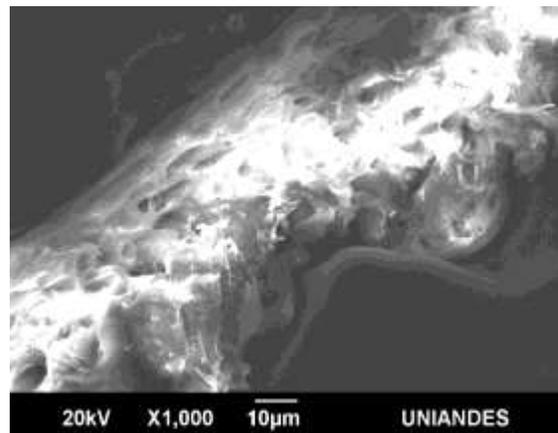


*Figura 28: Microscopia SEM: Adhesión entre la resina y la cascarilla en aumento x40
Fuente: El Autor*

La microscopia de las Figuras 29 y 30 evidencia la adhesión de la fibra y la cascarilla y una separación nanométrica, donde la resina no alcanza la cascarilla.



*Figura 29: Microscopia SEM: Adhesión entre la resina y cascarilla en aumento x500
Fuente: El Autor*



*Figura 30: Microscopia SEM: Adhesión resina y cascarilla en aumento x1000
Fuente: El Autor*

5. DISCUSIÓN

En Colombia un gran porcentaje de la madera que se utiliza está destinada para la construcción de estibas. La utilización tradicional de este producto fabricado en madera implica la tala de aproximadamente 3.600.000 árboles al año (BIOESTIBAS S.A.S, 2017). Es por esta razón que es necesario analizar que otros materiales que pueden ser usados como sustitutos de la madera, para el uso de este producto.

El uso de la cascarilla de arroz en el mercado de estibas representa beneficios a partir de la reducción de costos, impacto ambiental positivo y la implementación de un nuevo producto a partir de un material compuesto que genere un diseño sostenible. En cuanto a costos, la reducción se verá reflejada en materia prima y producción; además generara un crecimiento a nivel tecnológico en el país. La implementación de la cascarilla en el sector industrial promoverá el uso de materiales que no alteren el ciclo de vida de selvas y bosques. Su uso también representa un aprovechamiento de las toneladas de deshecho que se producen al año.

El desarrollo de este material será evaluado para nuevos usos, con procesos limpios y de fácil fabricación, comercialización y distribución de manera que no afecten al medio ambiente y presente una ventaja competitiva frente a otros materiales.

Teniendo en cuenta la investigación realizada durante el proyecto, es posible afirmar que el material analizado cumple con los requisitos establecidos según la NTC 4680. La tabla 2 presenta el análisis comparativo entre el material compuesto desarrollado durante la investigación y el material usado tradicionalmente para fabricación de estibas”

Material para estibas	Esfuerzo Último (MPa)
Madera	55
Material compuesto con 30% C – 70%R Tamaño Partícula 0.50 mm	57
Material compuesto con 50% C – 50%R Tamaño Partícula Natural	79.8

Tabla 2: Análisis comparativo entre mezcla cascarilla de arroz-Resina Poliéster y Madera.

6. CONCLUSIONES

- Los resultados arrojados en la prueba de ensayo a flexión en carga puntual indican que la probeta con tamaño de partícula 0,500 mm trabajado en malla 35, con un porcentaje de 30 % cascarilla de arroz y 70% resina poliéster presento mayor resistencia a la flexión (57MPa), debido a su composición en porcentajes, sin superar la resistencia de la matriz de poliéster (68MPa). Las pruebas realizadas con cargas distribuidas presentaron que el material compuesto de 50% de cascarilla y 50% de resina, con tamaño de partícula sin triturar presento un a resistencia de (79.8MPa); las partículas en tamaño original colocaron mayor resistencia a la falla.
- Todas las probetas presentaron un alto grado de homogeneidad, sin embargo la observación obtenida por medio del microscopio de barrido electrónico (SEM) indica que las probetas como mayor compactación son: la mezcla 30% cascarilla - 70 % resina como se pudo observar en la Figura 8 en un aumento de x100 y la mezcla 50% de cascarilla sin triturar - 50% de resina como se evidencio en la Figura 28 en aumento x40. La morfología compacta de ambas probetas puede estar determinada por la composición porcentual de cada una.
- Las microcavidades que se observaron en las probetas durante el análisis obtenido en el microscopio de barrido (SEM), indican una variación cualitativa y de tamaño en cada una, debido a la mezcla manual realizada, al porcentaje de cascarilla y al tamaño de partícula de cada una.
- Teniendo en cuenta los resultados arrojados por los ensayos realizados a flexión y compresión, el material cumplió con los requerimientos establecidos bajo la norma NTC 4680, lo cual indica que puede ser usado en otros productos como sustituto de la madera para estibas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alexander Gil (2012) Resina de Poliéster: Guía de Manejo. Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaLaboratorios/infraestructura/laboratorios/Documents/Guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>

Alfárez Rivas L.E. (2013a) Alternativas de reutilización de la cascarilla de arroz: producción de aglomerados con aglutinantes a base de agua con reactivación térmica.

Alfárez Rivas L.E (2013b) Selección de un proceso para la producción de tableros aglomerados a base de cascarilla de arroz. Tesis de grado, Universidad Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.

ANDERCOL S.A. CRISTALAN 856: Ficha Técnica (2009) Disponible en: <http://www.andercol.com.co/inicio-construccion-e-infraestructura/materiales-para-construccion/cristalan-856>

Bioestibas (2017) Protección forestal. Disponible en: <http://bioestibas.com/>

DANE: INFORMACIÓN ESTRATEGICA. Encuesta nacional de arroz mecanizado (ENAM). 2018. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-de-arroz-mecanizado>

IDEAM. Ecosistemas, Monitoreo de bosques y recursos forestales. 2016. Disponible en: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA: NTC 4680 (2013) Disponible en: Instalaciones Biblioteca Icontec Bogotá, Colombia.

Prada A. y Cortés C.E. (2010) “La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral”. *Orinoquia* 14 sup (1):155-170