

## **CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

### **Estudio de las Características Mecánicas de un Aglomerado a Base de Partículas de Cascarilla de Arroz**

Angelica Nataly Triana Roncancio

Facultad de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Minuto de Dios

#### **Nota del Autor**

Angelica Nataly Triana Roncancio, Facultad de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Cuenta con la dirección y revisión metodológica del Ingeniero Nobel Eliecer Castellanos, de la facultad de ingeniería industrial de la Universidad Minuto de Dios.

Cualquier mensaje en relación con este trabajo pueden comunicarse a la facultad de ingeniería de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá, Colombia o al correo

**CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

**Nota de aceptación**

**Observaciones**

---

---

---

---

---

---

---

**Jurado N.º 1**

---

**Jurado N.º 2**

---

**Firma del director**

## **CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

### **Dedicatoria**

A Dios, por haberme permitido llegar a esta etapa de mi formación profesional. A mis padres (Miryam Roncancio y Pedro Triana) y hermanos (Lorena y Stiven Triana), por brindarme todo su amor y apoyo incondicional, al resto de mi familia que me ha brindado su colaboración y motivación durante el desarrollo de este proyecto.

## **CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

### **Agradecimientos**

A mi director, el Ing. Nobel Eliecer Castellanos Bejarano, por su tiempo, paciencia y orientación con mi proyecto, ya que con su experiencia y aportes ha sido posible culminar esta investigación.

A la Corporación Universitaria Minuto de Dios, por brindarme la oportunidad de estudiar en la institución, y a el cuerpo de docentes por sus aportes y enseñanzas durante los ciclos de estudios de la carrera profesional.

A mi prima Milena, familia y amigos por su invaluable apoyo y motivación en la finalización de este proyecto.

**CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO****Tabla de contenido**

Resumen .....	10
Abstract .....	11
Introducción .....	12
Capítulo I.....	16
Planteamiento del problema.....	16
Justificación.....	18
Objetivos .....	20
Objetivo general .....	20
Objetivos específicos.....	20
Capítulo II .....	21
Antecedentes .....	21
Antecedente Internacional.....	21
Antecedente Nacional .....	22
Antecedente Local o Regional .....	23
Capítulo III .....	24
Marco Teórico.....	24
Producción de arroz en Colombia .....	24

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

características mecánicas.....	26
ASTM International - Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales.....	26
Flexión Estática.....	26
Diagrama de carga y deformación.....	27
Tracción paralela a la superficie.....	27
Tracción perpendicular a la superficie (adhesión interna).....	27
Compresión paralela a la superficie.....	28
Resistencia lateral del clavo.....	28
Dureza.....	28
Absorción de agua.....	28
Marco conceptual.....	29
Biomasa secundaria.....	29
Residuo agrícola.....	29
Cascarilla de arroz.....	29
Agglomerado.....	30
Tipos de aglomerados.....	31
Tableros de partículas.....	31
Tableros de Fibra.....	31
Tableros Contrachapados.....	32
Partícula.....	32
Clasificación de los tableros de partículas.....	33
Propiedades físicas.....	33
Propiedades mecánicas.....	33
Aglutinante.....	34

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

Biodegradable.....	35
Ecológico.....	35
Materiales ecológicos.....	36
Materiales sostenibles.....	36
Desarrollo Sostenible .....	36
Capítulo III.....	36
Marco legal.....	36
Capítulo IV.....	38
Metodología .....	38
Materiales e instrumentos.....	40
Elementos.....	40
Desarrollo del material .....	41
Proceso de fabricación.....	41
Fase I: triturado .....	41
Fase II: Pesar y mezcla de materia prima .....	42
Fase III: Molde .....	42
Fase IV: secado y desmoldado.....	43
Ensayos preliminares.....	43
Ensayo 1° .....	43
Ensayo 2° .....	43
Ensayo 3° .....	44
Ensayo 4° .....	45
Caracterización mecánica de las probetas .....	46

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

Ensayo de compresión.....	46
Probetas Finales .....	47
Ensayo de compresión paralela.....	48
Ensayo de tracción.....	49
Ensayo de flexión.....	50
Ensayo de absorción e hinchamiento de agua .....	50
Ensayos mecánicos del aglomerado comercial .....	51
Compresión paralela .....	52
Tracción .....	53
Flexión .....	53
Absorción e hinchamiento de agua .....	53
Capítulo V.....	54
Resultados .....	54
Características físicas .....	54
Ensayo de Compresión.....	54
Resultados de los ensayos con la probeta final .....	58
Compresión paralela .....	58
Tracción .....	59
Flexión .....	60
Absorción e hinchamiento de agua .....	60
Comparación de las propiedades mecánicas con un aglomerado comercial.....	61
Ensayo de compresión paralela.....	61
Ensayo de tracción.....	62
Ensayo de flexión.....	63
Ensayo de absorción e hinchamiento de agua .....	64
Costos de materiales.....	65

**CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

Alternativa de material .....	66
Conclusiones .....	67
Recomendaciones .....	68
Referencias .....	70

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Resumen

Esta Investigación se basa en la caracterización mecánica de un aglomerado ecológico fabricado a partir de la biomasa agrícola, específicamente la cascarilla de arroz, subproducto de la producción de arroz en el municipio de Ibagué- Tolima, con el propósito de aumentar el uso de este desecho y así mismo, disminuir la contaminación ambiental causada por su alta producción. El objetivo principal de este estudio es realizar un análisis de las características mecánicas tales como compresión, tracción, flexión y absorción e hinchamiento acorde a los ensayos de la Norma Sociedad Americana de Pruebas y Materiales ASTM D 1037-12 y a la norma técnica colombiana (ICONTEC) NTC-2261. Evaluando la viabilidad de este aglomerado como material de ingeniería que cumpla con los estándares de calidad en comparación con los aglomerados tradicionales disponibles en el mercado. esta investigación se realizará mediante un enfoque metodológico mixto que combina tanto elementos cuantitativos - cualitativos como experimentales para el desarrollo integral del proyecto. A través de pruebas preliminares se identificó la probeta con las mejores características para el desarrollo y análisis de la muestra sometida a los ensayos mecánicos. A partir de los resultados obtenidos de los ensayos y la comparación con el aglomerado comercial se concluyó las alternativas ecológicas de uso del material.

**Palabras clave:** cascarilla de arroz, características físico-mecánicas, aglomerado, ecológico

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Abstract

This research is based on the mechanical characterization of an ecological agglomerate made from agricultural biomass, specifically rice husks, a by-product of rice production in the municipality of Ibagué-Tolima, with the purpose of increasing the use of this waste and, at the same time, reducing the environmental pollution caused by its high production. The main objective of this study is to perform an analysis of the mechanical characteristics such as compression, traction, flexion, absorption and swelling according to the tests of the American Society for Testing and Materials ASTM D 1037-12 and the Colombian technical standard (ICONTEC) NTC-2261. Evaluating the viability of this agglomerate as an engineering material that meets the quality standards compared to traditional agglomerates available in the market. This research will be carried out through a mixed methodological approach that combines both quantitative-qualitative and experimental elements for the integral development of the project. Through preliminary tests, the specimen with the best characteristics for the development and analysis of the sample subjected to the mechanical tests was identified. From the results obtained from the tests and the comparison with the commercial agglomerate, the ecological alternatives for the use of the material were concluded.

**Key words:** rice husk, physical-mechanical characteristics, agglomerate, ecological

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Introducción

En la actualidad , la contaminación agrícola se ha convertido en una sombra constante que representa una amenaza sobre la sostenibilidad de nuestro planeta, según el organismo internacional de energía atómica “las actividades agrícolas representan aproximadamente el 30 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales liberan óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), que contribuyen al cambio climático y al calentamiento global y, por tanto, tienen un enorme impacto en la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola”. la producción de cereales ha ido en aumento, generando mayores residuos. El pronóstico más reciente de la FAO sobre la producción mundial de cereales en 2023 se ha incrementado en 3,8 millones de toneladas desde el pronóstico anterior y ahora se sitúa en 2 819 millones de toneladas, lo que representa un aumento interanual del 0,9 % (26,5 millones de toneladas). (FAO,2023)

Según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el arroz es un alimento básico para más de la mitad de la población mundial y el segundo cultivo de cereales después del maíz, con una producción de 685 millones de toneladas en 2008 (FAOSTAT) Sin embargo, “las elevadas cifras de producción de arroz acarrea consigo consecuencias nefastas para el medio ambiente y para quienes viven alrededor: la quema de la paja produce gases de efecto invernadero y serias afecciones respiratorias”.(ferre,2010)

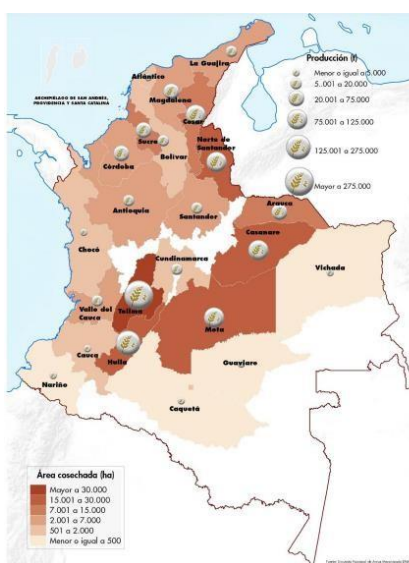
La cascarilla de arroz es el exterior o la corteza que recubre el grano, es un desecho o subproducto agrícola ampliamente conocido en muchas regiones del mundo. (Datchossa, AT, Doko, VK, Kabay, N, 2023). En el mundo se producen anualmente alrededor de 120 millones de toneladas de cáscara de arroz (CA). Esto determina que la CA sea una de las biomásas disponibles

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

con mayor posibilidad de uso. (Cabrera, 2014). En Colombia, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), para el primer semestre del 2023 la producción nacional de arroz mecanizado fue 1.114.860 toneladas de arroz paddy verde. Esto representó un aumento de 22,2% con respecto al volumen estimado de la producción en el primer semestre de 2022, cuando se obtuvo 912.267 toneladas de arroz paddy verde (DANE, 2023). Durante el proceso de descarrillado. Los molinos de arroz producen aproximadamente un 20% de cáscara de arroz por cada tonelada de arroz con cáscara (Datchossa, AT, Doko, VK, Kabay, N, 2023).

### Figura 1

*Mapa del área cosechada y la producción de arroz mecanizado*



Fuente: (DANE,2023)

La cascarilla de arroz presenta un aspecto reticulado, de consistencia quebradiza, abrasiva, y su color varía del pardo rojizo a púrpura oscuro. Por su forma cóncava, consistencia frágil y liviana es de baja densidad, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios. El peso específico es de 125 kg/m, es decir, 1 tonelada ocupa un espacio de 8 m<sup>3</sup> a granel (Varón, 2005).

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

Este material presenta una gran variedad de compuestos químicos: la composición orgánica de la cáscara de arroz es similar a la de la mayoría de las fibras orgánicas, conteniendo celulosa, hemicelulosa, lignina, compuestos nitrogenados, lípidos y ácidos orgánicos, por otra parte, se encuentran los componentes inorgánicos que generalmente se determinan en la ceniza de cáscara de arroz. La cual difiere de las cenizas de otras fibras orgánicas, ya que tiene un elevado contenido en sílice, las principales impurezas que contiene son: calcio, potasio, magnesio y manganeso. (Serrano, Borrachero, Monzo, & Paya, 2012) Debido a su alto contenido de sílice (20%) es un material muy poco biodegradable y se acumula en el ambiente llevando a condiciones extremas. (Prada & Cortes, 2010)

Este producto se ha utilizado principalmente como cama o asiento de las aves en la industria avícola, para homogeneizar la estructura de la tierra en viveros, como asiento o cama de equinos y como mezcla para dar volumen al alimento bovino. (Varón, 2005). Sin embargo, se ha demostrado que por su composición química la cascarilla de arroz no representa ningún complemento nutritivo para los animales. El resto del volumen es recolectado y quemado al aire libre, generando una ceniza con alto contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), muy contaminante para el suelo y el manto freático (Cabrera, 2014). Cuando la cascarilla de arroz es quemada al aire libre, se presenta un impacto nocivo para el medio ambiente y la salud humana, pues este proceso altera tanto las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, así mismo impacta la atmósfera con sus gases y partículas en suspensión presentes en el aire, produciendo enfermedades respiratorias a las personas que aspiran este gas, ocasiona problemas pulmonares respiratorios. (Lozano, 2020) Por tal motivo el Ministerio de Salud, reglamentó una norma para la prohibición de quemas a cielo abierto a través del Decreto 948 de 1995 en su Artículo 138. (Ministerio ambiente, 2008)

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

La producción masiva del CA representa una amenaza medioambiental por la acumulación en el ecosistema y por el manejo inadecuado de este residuo. Debido a esto, su uso se ha diversificado, para ello, se analizaron diversos autores con contextos de estudio que comparten características para la producción de materiales de construcción, técnicas de compostaje, descontaminación de agua residual, aglomerados. entre otros

Dentro del área de la construcción se encuentran varias alternativas para la implementación de la CA, Según (Datchossa, AT, Doko, VK, Kabay, N, 2023) la cascarilla sirve en la producción de hormigón o mortero. La ceniza de la cascarilla contiene una cantidad sustancial de sílice, por lo que se considera un material puzolánico en la fabricación de matriz cementosa. Otra alternativa que presenta interés es en la fabricación de un ladrillo, según (Zambrano, 2018) el proceso de elaboración del ladrillo no requiere de maquinarias o equipos de tecnología avanzada, pues se procesa de manera artesanal y obtiene buenas características mecánicas.

Según (Llanos, 2016) La cascarilla de arroz es una alternativa en procesos de descontaminación. El desarrollo industrial trae consigo graves consecuencias para el ambiente y la salud, debido a la generación de desechos tóxicos como resultado de sus procesos; estos desechos incluyen metales pesados que se vierten indiscriminadamente en los afluentes. Una alternativa de descontaminación incluye la utilización de residuos como la cascarilla de arroz que, gracias a características fisicoquímicas, promete ser un buen absorbente de metales pesados

Según (Orrabalis R, 2020) los aglomerados basados en cascarillas de arroz pueden ser aptos para la construcción en seco, poseen propiedades similares a los aglomerados comerciales, menores costos relativos y pueden presentar buena resistencia a la humedad.

## **CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

En Latinoamérica se han reportado diferentes estudios sobre el uso de las cascarillas de arroz para fabricar tableros aglomerados con propiedades físicas y mecánicas aptas para la construcción. En Colombia se encontró el Sistema de absorción acústico para muros a partir cascarilla de arroz, para disminuir la reflexión de sonido dentro de los espacios (Espejo 2019) y el desarrollo de un material utilizado como aislamiento térmico a partir de la aglomeración de cascarillas de arroz (Gutiérrez, Cadena, & Bula, 2013). En Brasil se reportó un trabajo basado en las propiedades de los tableros de partículas de madera y cascarilla de arroz en diferentes proporciones (Melo, 2009) y la caracterización física de paneles aglomerados basados en (Orrabalis,2020): Aglomerado de cascarilla de arroz con adhesivo comercial poli urético. En Argentina, se ha documentado la fabricación de aglomerados de cascarillas de arroz con adhesivos basados en proteína de soja (Leiva, 2007). También se ha realizado un análisis comparativo entre aglomerados basados en cascarillas de arroz y aserrín de eucalipto. (Desirello, 2004)

### **Capítulo I**

#### **Planteamiento del problema**

Actualmente se producen grandes cantidades de residuos agrícolas, los alimentos más producidos en el mundo son la caña de azúcar y el arroz, con 1.800 y 509 millones de toneladas producidos en 2020, respectivamente. En el caso de la caña, se estima que por cada 1.000 kg de azúcar producida se generan entre 30 y 65 toneladas de residuos, y en el caso del arroz, por cada tonelada de grano para consumo final se produce casi otra tonelada de residuos, entre paja y cascarilla. (Romero Sáenz, 2022)

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

A nivel mundial se generan grandes toneladas de residuos agrícolas que son desechados y actúan como foco de contaminación ambiental, en muy pocos lugares se les da un uso productivo y se le atribuye un valor añadido” (Castro Garzón, Contreras, & Rodríguez, 2020)

según (Coronado & Valencia, 2015, p. 15) para Colombia, “la producción agrícola es uno de los pilares económicos para el desarrollo del país”, representando un importante porcentaje territorial. Así lo refleja la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), al decir que “el área total cultivada fue 5.121.508 ha, el grupo de cultivos que mayor participación tuvo fueron los cultivos agroindustriales con una participación de 32,4%, registrando un área de 1.658.598 ha” (DANE, 2016).

Muchos agricultores consideran que la quema agrícola es la forma más eficaz y rentable de limpiar la tierra, fertilizarla y prepararla para una nueva plantación. Sin embargo, la quema y los incendios forestales que se propagan a partir de estas prácticas son la mayor fuente de carbono negro del mundo, una amenaza tanto para la salud humana y ambiental. (ONU, 2020)

El Departamento del Tolima es uno de los sectores arroceros, se encuentra situado en la región Andina, abarca parte del territorio situado en el valle interandino y el costado oriental de la cordillera Central. Comprende un área superficial de 23.562 km<sup>2</sup> que se distribuyen en 47 municipios. Cuenta con gran variedad de cultivos transitorios y permanentes, distribuidos en los municipios de Ibagué, Espinal, Guamo, Saldaña, Lérída y Purificación, entre otros (Bustos, y otros, s.f)

Según los estudios del DANE, el departamento de Tolima presentó una variación del (20,5%) al pasar de 296.452 toneladas de arroz producidas en el primer semestre de 2022 a 357.126 toneladas en el primer semestre de 2023. En la producción de arroz se obtiene el grano y como

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

subproducto la cascarilla. Esta suele ser desechada y pasa a considerarse como un residuo contaminante que actualmente es manejado inadecuadamente, porque es dispuesto en botaderos de basura a cielo abierto, se presenta incineración y quema indiscriminada del mismo residuo afectando así el suelo, el paisaje y el recurso aire. (Sierra, 2009). Esta actividad genera gran cantidad de gases de efecto invernadero y como es poco biodegradable, se convierte en un desecho altamente contaminante. Debido a su gran acumulación es necesario el transporte, lo que incrementa el valor total de la producción del arroz, causando el crecimiento del precio neto de su producto. Por este motivo gran parte de los agricultores optan por desechar este residuo, que no tiene valor alguno para ellos, en fuentes hídricas o en suelos cercanos a estas. (Prada & Cortés, 2010)

### **Justificación**

La agricultura es una actividad muy importante en la economía de muchos países, en la cual se genera gran cantidad de residuos (Moreno, Moral, Garcia, Pascual, & Bernal, 2007). El arroz es uno de los alimentos más comunes y esenciales en el mundo por lo que se generan altas producciones anuales, de la misma manera se producen sus residuos. La cáscara de arroz es el subproducto de la industria arrocera y se encuentra disponible en grandes cantidades. En el mundo se producen anualmente alrededor de 120 millones de toneladas de cáscara de arroz (CA). Esto determina que la CA sea una de las biomásas disponibles con mayor posibilidad de uso. (Cabrera, 2014). Debido al alto contenido de sílice es un material muy poco biodegradable, convirtiéndose en un desecho altamente contaminante por su acumulación e inadecuado manejo del residuo agrícola.

## **CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

Debido a la baja comercialización y acumulación masiva de la cascarilla de arroz después de cada cosecha, los agricultores optan por utilizar prácticas de incineración o de desecho en fuentes hídricas para la limpieza de los suelos. Realizando un inadecuado uso del material. Lo que provoca emanaciones de gases que contaminan el medio ambiente, los suelos y pueden deteriorar la salud de quienes habitan alrededor. La agricultura es esencial para alimentar a la numerosa y creciente población mundial, pero también puede generar contaminación que daña los ecosistemas y la salud humana (Jason Hill, y otros, 2019)

En este contexto, surge la necesidad de convertir los residuos en recursos para abordar la contaminación y promover prácticas agrícolas más sostenibles, siendo la cascarilla de arroz un residuo de gran utilidad en la producción de nuevos materiales ecológicos como potencial alternativa, permitiendo la incorporación en el sistema productivo como una materia prima para el uso y fabricación de productos que sean más amigables con el medio ambiente, sin generar un impacto nocivo y reduciendo la contaminación que se genera por la incineración y mal uso del material. (Lozano, 2022)

A partir lo anterior se desarrollará un material ecológico que contribuya en la preservación del medio ambiente, mediante el proceso de recolección y transformación de la cascarilla de arroz, con el fin de aprovechar el residuo orgánico que se produce en la región del Tolima, como un recurso de materia prima para la fabricación de un aglomerado sostenible, de esta manera se realizará el estudio de las características mecánicas del material como una alternativa amigable con el medio ambiente, para determinar sus alternativas de uso en la construcción en comparación a los aglomerados tradicionales.

## **CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

Generando un impacto positivo en el medio ambiente, reduciendo la biomasa agrícola, mitigando el efecto invernadero, previniendo la contaminación de las fuentes de agua y preservando la salud humana. Se fomenta tanto el manejo adecuado de los residuos como su comercialización en la región. “El interés mundial de mejorar los procesos y productos para que sean más limpios y amigables con el medio ambiente, ha dado paso al aprovechamiento de los diferentes recursos naturales. En especial aquellos que son derivados de la biomasa vegetal”. (Sánchez Riaño, Rivera Barrero, & Murillo Perea, 2010)

### **Objetivos**

#### ***Objetivo general***

Realizar pruebas de las características mecánicas de un aglomerado a base de partículas de cascarilla de arroz que sean similares a los aglomerados comerciales, mejorando el impacto ambiental al ser un producto ecológico.

#### ***Objetivos específicos***

Generar un aglomerado compuesto por cascarilla de arroz.

Realizar descripción de las características físicas y mecánicas del aglomerado.

Comparar el aglomerado realizado con otros en el mercado.

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Capítulo II

#### Antecedentes

##### *Antecedente Internacional*

En argentina las siguientes investigaciones sobre el desarrollo de aglomerados de cascarilla de arroz y sus características mecánicas.

Leiva Pablo (2012). En su tesis “Desarrollo de aglomerados de cáscara de arroz reforzados con fibra de yute” en argentina, tiene como objetivo obtener un aglomerado de media densidad reforzados a partir de residuos y subproductos de la agroindustria. Como adhesivo se utilizó concentrado de proteína de soja, el cual fue sometido a tratamientos químicos para mejorar el grado de adhesión. Los tableros se sometieron a características mecánicas de acuerdo con las Normas ASTM-1037 como: (módulo de rotura, módulo de elasticidad, resistencia interna y absorción e hinchamiento en agua. Los resultados determinaron que el tablero cuenta con características comparables con los aglomerados y adhesivos comerciales. Siendo una nueva alternativa económica y ecológica de tableros, siendo una opción adecuada para aplicaciones en ambiente interior.

Herd, (2019). en su tesis “Efecto de la impregnación con aceites secantes sobre el comportamiento físico-mecánico en tableros de cáscara de arroz y proteína de soja” desarrolla tableros de partículas de alta densidad a partir de (CA) y conocon concentrado de proteína de soja modificado con ácido bórico como adhesivo (BSPC). Los aglomerados se impregnaron con aceite de tung (AT) con el objetivo de mejorar su resistencia a la humedad. Se analizaron los ensayos las propiedades mecánicas como flexión, adhesión interna, contenido de humedad y absorción de agua, tomando como referencia las Normas ASTM D1037 -99, los resultados concluyeron que al

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

añadir el aceite de tung (AT) mejoró significativamente las propiedades mecánicas y redujo marcadamente la absorción de agua, cumplimiento con los requisitos para su aplicación en materiales de ambiente exterior con mojado ocasional.

Orrabalis, Cossio, & Martínez García (2020). En su artículo “Aglomerado de cascarilla de arroz con adhesivo comercial poliuretánico” realizado en Argentina, investigaron cuatro formulaciones con diferentes proporciones de cascarilla de arroz y un adhesivo de bajo costo. Este trabajo incluyó la evaluación de las características del material según las normas ASTM, específicamente en lo que respecta al porcentaje de absorción de humedad, capacidad de hinchamiento, punto de ignición y resistencia a la flexión. Además, estableció una comparación con aglomerados comerciales de mediana densidad. Los resultados determinaron que la formulación más destacada y adecuada para la construcción en seco donde no se demanden altos esfuerzos de resistencia, soportan bien el sistema de aserrado tradicional, no generan defectos de borde al ser moldurados, y tienen resistencia a la humedad y al fuego.

### *Antecedente Nacional*

Gutiérrez, Cadena, & Bula (2013). En su artículo “Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae*” realizado en barranquilla-Colombia, en su fabricación integraron levadura *Saccharomyces Cerevisiae* (SC) como elemento productor de porosidades en el en el material. Además, evaluaron las características mecánicas de resistencia al calor, flexión y según la norma ASTM C 177, conductividad térmica, los resultados de las pruebas del aglomerado a base de cascarilla de arroz es un aislante térmico eficiente y cuenta con estabilidad física.

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

Salamanca Sánchez & Nieves Pimiento (2018). En su investigación “Desarrollo de un material a base de cascarilla de arroz y resina poliéster para sustituir estibas de madera”. Tiene como objetivo sustituir los materiales contaminantes y preservar el ecosistema. Este estudio determinó el comportamiento mecánico de un material compuesto, a partir de cascarilla de arroz y resina poliéster. Realizaron ensayos de flexión y compresión según las normas internacionales de la asociación americana de ensayo de materiales (ASTM). Los resultados obtenidos presentaron buena distribución y adhesión entre la fibra y la resina, favoreciendo el uso del material como sustituto de madera en el mercado de estibas.

Según el informe Alternativas de usos de la cascarilla de arroz la autora Claudia Liliana Lozano Rojas menciona los usos de la cascarilla de arroz, dado principalmente en el mejoramiento de suelos colombianos, sujeto a la problemática de la contaminación ambiental que genera residuos en su disposición final; de igual forma identificar los posibles usos en la industria para su adecuado manejo. Algunos de los más destacados son: abono orgánico, aglomerados, combustión, construcción, conductividad debido a sus características físicas y químicas, el cual se incluye el tipo de investigación, la técnica documentada y analizada en el procedimiento que se genera para llevar a cabo la indagación. (Lozano, 2022)

### *Antecedente Local o Regional*

En el 2019, López Julián estudiante de la universidad de Ibagué realizó una investigación sobre el “Aprovechamiento de la cascarilla de arroz para la cogeneración de energía eléctrica”. Debido al impacto negativo que generan los residuos agroecológicos se buscan alternativas para reducirlos y que sean utilizados de forma rentable, el estudio tiene como objetivo realizar una

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

evaluación de la generación de energía eléctrica a partir de biomasa arroceras en zonas rurales del departamento del Tolima. Con el fin de buscar una solución a los problemas de quemas de residuos agrícolas y solucionar los problemas energéticos provocados en épocas del fenómeno del niño. De acuerdo con el análisis económico proyectan un análisis de retorno aproximadamente en 10 años, según los indicadores financieros no es viable para aquellas empresas que esperan un retorno en 5 años, sin embargo, la implementación a futuro del aprovechamiento de la cascarilla de arroz como generación de energía eléctrica impacta positivamente en el medio ambiente, disminuyendo la acumulación de cascarilla y los gases invernadero.

### Capítulo III

#### Marco Teórico

##### *Producción de arroz en Colombia*

El cultivo de arroz se caracteriza por ser de ciclo corto, lo que es una ventaja para los productores porque la inversión es menor respecto de los cultivos que requieren períodos más largos. (Gómez Galiano, 2021). El área sembrada se presenta a nivel nacional, departamental, por zonas arroceras, según mes de siembra y por sistema de producción del cultivo. Las estimaciones de área cosechada y producción se presentan a nivel nacional y a nivel de los principales departamentos productores de arroz (Meta, Casanare, Tolima, Huila y Resto Departamentos: Antioquia, Arauca, Atlántico, Bolívar, Caquetá, Cauca, Cesar, Chocó, Córdoba, Cundinamarca, La Guajira, Guaviare, Magdalena, Nariño, Norte de Santander, Santander, Sucre, Valle del Cauca y Vichada). (DANE, 2023)

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

A lo largo y ancho de Colombia varias industrias arroceras reconocidas nacional e internacionalmente, demostrando la competitividad que ha ganado nuestro sector productor de arroz en Colombia. Las principales industrias arroceras que se destacan a nivel nacional debido a su venta comercial son Diana Corporación S.A.S. (DICORP) y la Organización Roa Florhuila. (Delgado & Saavedra, 2016)

**Tabla 1**

### *Industrias arroceras de Colombia*

Posición	Industrias Arroceras	Ventas
1	Diana Corporación S.A.S	28,4%
2	Organización Roa Florhuila S.A	26,7%
3	Unión de Arroceros S.A	6,4%
4	Agroindustrial Molino Sonora A.P.S.A.S	5,2%
5	Granos y Cereales de Colombia S.A	3,6%
6	Arrocera la Esmeralda S.A.S	3,4%
7	Arrocera Boluga LTDA	3,0%
8	Arroz Federal S.A.S	2,4%
9	Molinos el Yopal LTDA	1,9%
10	Inversiones Molino Colombia SAS	1,8%
	Otros	17,3%

**Fuente:**(Delgado & Saavedra, 2016)

En el sector arrocero la competencia se mide en diferentes variables, algunas de las industrias se enfocan en competir por la calidad del grano y otras por los volúmenes producidos, de acuerdo con la capacidad y enfoque de cada empresa. Como por ejemplo “En Arroz Federal se trabaja con variedades Premium y determinan la calidad basados en la producción de arroces de grano largo” porque no cuentan con la capacidad para poder llevar los volúmenes y los márgenes que manejan las industrias con mayor capacidad como Diana corporación S.A.S y organización Roa Florhuila S.A, quienes tienen mayor almacenamiento para 100 mil toneladas.

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### *características mecánicas*

Las propiedades mecánicas de los materiales determinan su comportamiento cuando se les sujeta a esfuerzos mecánicos. Estas propiedades incluyen el módulo de elasticidad, ductilidad, dureza y varias medidas de resistencia. Las propiedades mecánicas son importantes en el diseño, porque el funcionamiento y desempeño de los productos dependen de su capacidad para resistir deformaciones bajo los esfuerzos que enfrentan en el servicio. (Grossmann, s.f)

### *ASTM International - Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales*

Es una organización de estándares internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios

De acuerdo con la Norma ASTM D1037 - 12 “Métodos de prueba estándar para evaluar las propiedades para materiales a base de fibra de madera y paneles de partículas” (American Society for Testing and Materials, 2020) se describen los siguientes ensayos:

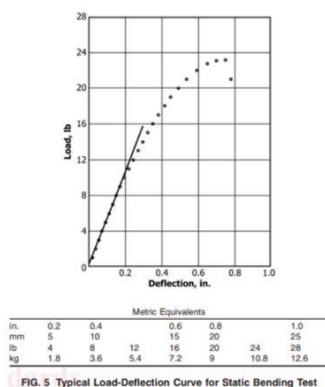
**Flexión Estática.** Este ensayo determina las propiedades de flexión, como el módulo de rotura y el módulo de elasticidad aparente, según la norma cada muestra deberá tener  $(76 \pm 1 \text{ mm})$  de ancho si el espesor es superior a  $(6\text{mm})$  y  $(51 \pm 1\text{mm})$  de ancho si el espesor es menor a  $(6\text{mm})$ , la longitud de cada probeta deberá ser de  $(51 \text{ mm})$  más 24 veces el espesor nominal. Los soportes para la prueba son redondeados los cuales permiten inclinar y rodar en la deformación de la probeta. La carga aplicada en los ensayos será continua y mantendrá una velocidad uniforme a través de un bloque redondeado en medio de la probeta de ensayo. (sección 9).

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Diagrama de carga y deformación.** Los datos obtenidos de la prueba de ensayo, se observa en el diagrama de carga y deformación en el primer fallo y la carga máxima mediante la gráfica.

### Figura 2

*Curva de carga-deflexión para ensayos estáticos de elasticidad*



Fuente: Normas NTC 2261, 2014

**Tracción paralela a la superficie.** El ensayo se realiza para determinar la resistencia a la tracción en el plano del panel. Cada probeta debe ser adecuada según la norma, se cortan según las medidas de la tabla de métricas con una sierra blanda. Durante el procedimiento la probeta se ajusta alineada y uniformemente evitando el deslizamiento.

**Tracción perpendicular a la superficie (adhesión interna).** Este ensayo se realiza para determinar la cohesión del panel en la dirección perpendicular al plano del panel, según la norma la probeta debe ser cuadrada de (50 mm) y debe ser pegada en los bloques de acero o aluminio, los bloques son atados a las cabezas de la máquina de prueba, con los bloques unidos al material. La probeta será tensada mediante separación de las cabezas de la máquina.

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Compresión paralela a la superficie.** El ensayo se realiza para determinar la resistencia a la compresión en el plano del panel, bajo una carga de presión en aumento constante. Debido a la variación en el carácter de los materiales de fibra y partículas a base de madera y la diferencia de espesores hay métodos adecuados para la aplicación de las pruebas.

**Resistencia lateral del clavo.** Los ensayos de sujeción de clavos se realizan para medir la resistencia del panel al movimiento lateral de un clavo a través de un panel. Los valores obtenidos en este ensayo dependen del espesor del material y del clavo.

**Dureza.** En este ensayo se utiliza el método de prueba de Janka-ball para determinar la dureza del panel, según la norma las dimensiones son (76 x 152) mm y el espesor mínimo de las muestras debe ser de 25 (mm). Debido a que la mayoría de los paneles se fabrican en espesores de menos (25 mm), la muestra para la prueba se hará uniendo varias capas de paneles para hacer el espesor requerido. Se deben realizar al menos dos penetraciones en cada una de las dos caras planas de cada muestra y la carga debe ser aplicada continuamente durante toda la prueba a una velocidad uniforme con una “bola”. (11,3 mm) de diámetro. La carga se registra cuando la “bola” ha penetrado hasta la mitad de su diámetro en el panel.

**Absorción de agua.** Es un método utilizado para estimar el grado de absorción de agua de una probeta protegida por un revestimiento. Este ensayo es una modificación de la norma ASTM D 870 y aquí las probetas revestidas se dejan flotando en agua para posteriormente y cada 24 horas hacerles un control de masa.

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Marco conceptual

#### *Biomasa secundaria*

También llamada biomasa residual, es la obtenida como residuo o subproducto de la actividad humana, proviene de los subproductos agrícolas (paja, caña y poda de frutales), forestales (restos de las intervenciones silvícolas, como ramas y árboles sin valor comercial) e industriales (serrín, cáscara de almendra, hueso de oliva, etc.). (Nogés, García, & Rezeau, 2010)

#### *Residuo agrícola*

Se considera como residuo agrícola la fracción no incluida en la cosecha, considerado las partes habitualmente no aprovechables en el sentido comercial, es decir, aquellas que no alcanzan los límites de calidad exigidos, ya sea por motivos intrínsecos o extrínsecos (enfermedades, carencias nutricionales, etc.). así es como entran en la categoría de residuos agrícolas tallos, raíces y frutos no aprovechables, además de determinadas partes aéreas (pajas de leguminosas, cereales y restos de poda) los cuales pueden ser incorporadas al suelo o destinadas al sector ganadero o aprovechadas energéticamente. (Moreno, Moral, García, Pascual, & Bernal, 2007)

#### *Cascarilla de arroz*

La cascarilla de arroz proviene de la espiga y es la cáscara que cubre el grano de arroz, es un subproducto de la industria molinera que resulta ser excesivo y contaminante por lo cual la utilización de este subproducto en la agricultura y en otras actividades resulta ser una solución a la gran producción de este subproducto. Está compuesto por celulosa, sílice, ceniza, extracto no nitrogenado y humedad. Por su capacidad inerte y porosidad es utilizado en la elaboración de

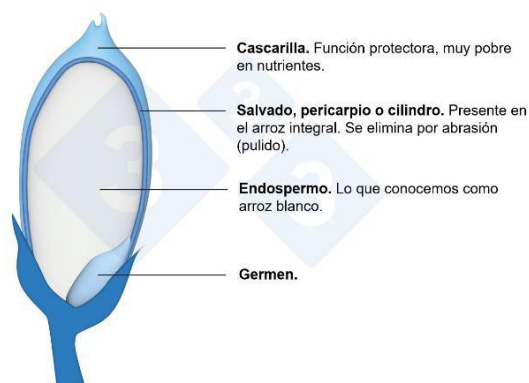
## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

abonos orgánicos, compost, lombricompost entre otros así también como sustrato en la hidroponía, también se utiliza como fuente de energía debido a su volatilidad. (Prada & Cortés, 2010).

Es un tejido celulósico-fibroso (que representa entre el 20 y 22% del peso del grano recién cosechado). Esta cáscara es una capa dura que protege el grano y presenta un alto contenido en lignina y SiO<sub>2</sub> y es muy pobre en nutrientes. (Solà-Oriol, 2022)

### Figura 3

*Componentes de la cascarilla de arroz*



**Fuente:** (Solà-Oriol, 2022)

### *Aglomerado*

Es un término genérico para un panel fabricado principalmente a partir de fibras lignocelulósicas entrelazadas (generalmente madera), consolidadas bajo calor y presión en una prensa caliente, y a qué otros materiales se pueden haber agregado durante la fabricación para mejorar ciertas propiedades. (ASTM,)

Es un material procedente de triturado de astillas, que se mezclan con algún tipo de resina o cola sintética, sometido a prensado plano a alta temperatura y lijado. El tablero aglomerado está

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

formado por dos capas externas de partículas finas, y una capa intermedia de partículas más gruesas. (Mapfre. s.f)

### Figura 4

*Tablero aglomerado comercial*



Fuente: (Álvarez maderas y envases, s.f.)

### *Tipos de aglomerados*

**Tableros de partículas.** Son tableros fabricados con partículas de madera u otros materiales lignocelulósicos, aglomerados mediante aglutinantes, y uno o más agentes como el calor, presión, humedad, etc. (Malqui Merino, 2015)

**Tableros de Fibra.** Son tableros hechos a partir de fibras de madera, se fabrican en base a una amplia gama de materias primas por infiltrado de las fibras para después ser compactados mediante unos rodillos o una prensa de platos. Dentro de estos tableros se encuentran los Duros, MDF y Aislantes. En el proceso de fabricación puede agregarse aglutinantes u otros materiales que mejoren características como resistencia mecánica, resistencia al fuego, ataque de insectos, pudrición y comportamiento hidrófugo. (Malqui Merino, 2015). De acuerdo con su densidad se clasifican en:

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

Tableros de fibra duros: Se utilizan como revestimiento en distintas aplicaciones como puertas, pisos, zócalos, muros divisorios, revestimiento en muro, etc. Tienen una densidad que oscila entre 850 y 1200 kg/m<sup>3</sup>.

Tableros de fibra densidad media (MDF): La madera está reducida a fibras de gran homogeneidad. Por sus características es lo más parecido a madera maciza con las ventajas de ser un tablero.

**Tableros Contrachapados.** Son tableros formados a partir de varias láminas o chapas de madera prensadas entre sí, generalmente quedando la dirección de la fibra de cada capa en forma alternada con la siguiente, para que el tablero logre condiciones mecánicas en ambos sentidos. En comparación con los tableros de fibra y partículas, las condiciones que deben reunir las materias primas para la fabricación de chapa y tableros son mucho más rigurosas, presentando considerables variaciones según uso y calidad del panel. (Malqui Merino, 2015)

### *Partícula*

El componente agregado de un tablero de partículas fabricado por medios mecánicos a partir de madera u otro material lignocelulósico (comparable al agregado en el concreto), incluidas todas las pequeñas subdivisiones de madera, como astillas, rizos, escamas, aserrín, virutas, astillas, hebras, harina de madera y lana de madera. El tamaño de las partículas puede medirse por la malla del tamiz que permite el paso de las partículas y otro tamiz sobre el cual quedan retenidas, o por las dimensiones medidas como para hojuelas y hebras. (ASTM, 2005)

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### *Clasificación de los tableros de partículas*

De acuerdo con la norma ASTM D 1554 se encuentra la clasificación de densidades para los aglomerados

**Tabla 2**

### *Clasificación de tableros particulados*

<b>Tableros</b>	
Densidad Baja	640 kg/m <sup>3</sup>
Densidad Media	640 y 800 kg/m <sup>3</sup>
Densidad Alta	superior a 800 kg/m <sup>3</sup>

La densidad de los tableros de partículas está sobre la base del contenido de humedad y el volumen en el momento de la prueba. (ASTM, 2005)

### *Propiedades físicas*

Características como el color, la elasticidad, la conductividad eléctrica o térmica, el magnetismo y el comportamiento óptico que por lo general no son influidos de manera significativa por las fuerzas que actúan sobre el material. (Askeland .D & Wright W, 2016)

### *Propiedades mecánicas*

Las propiedades mecánicas representan el comportamiento de los materiales sometidos a esfuerzos de empleo. Para controlar el comportamiento de los materiales se realizan las pruebas directamente en la pieza examinada o bien en piezas patrón. Las propiedades mecánicas y las correspondientes pruebas son: - Dureza. - Resistencia. - Resiliencia. - Fatiga. (Business unit)

**Dureza:** Es la resistencia que opone un material a la penetración de un cuerpo exterior. (Business unit)

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Resistencia:** Es la capacidad de un material de soportar los esfuerzos que tienden a deformarlo o a romperlo. Los esfuerzos pueden ser simples o compuestos. Los simples son: - Tracción. - Compresión. - Corte. - Flexión. - Torsión.

**Tracción:** es la acción a la que se somete una pieza cuando se ve sujeta a fuerzas contrarias axiales divergentes

**Compresión:** someter a un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas para que disminuya su volumen

**Flexión:** El esfuerzo puede determinar una deformación permanente o temporal de la pieza examinada.

**Torsión:** la aplicación de un momento de fuerza sobre el eje longitudinal de una pieza prismática. (Business unit)

**Resiliencia:** Es la resistencia que opone un material a los golpes. (Business unit, s.f)

**Fatiga:** Es la disminución de la resistencia o falla de un material debido a un esfuerzo repetitivo que puede estar por encima o debajo de la resistencia a la fluencia. (Askeland. D & Wright W, 2016).

### *Aglutinante*

El aglutinante o resina combina todos los componentes sólidos del revestimiento y actúa como formador de película. Imparte propiedades mecánicas tales como dureza, flexibilidad y adherencia, el aglutinante es claro y brillante. (BYK,2018)

Son sustancias que a través de reacciones químicas o físicas tienen la capacidad de unir fragmentos de uno o más materiales, para constituir un producto o subproducto compacto de

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

utilidad en el campo de la construcción. Destacan porque al combinarse con otros materiales generan sustancias que tienen la cualidad de ser moldeadas, de adherirse fácilmente a otros materiales o unirse entre sí, pero sobre todo porque al endurecerse alcanzan resistencias mecánicas considerables. (Tarelo Barba, s.f)

### *Biodegradable*

La biodegradación es la capacidad de un material de ser biodegradado. Es un proceso natural en que un material por acción biológica cambia y en general pierde sus propiedades originales y a nivel químico las moléculas que lo conforma se convierten en formas más simples y estables, pudiendo ser la forma más oxidada de la molécula original, la forma más reducida a una mezcla de ambas. Cada material orgánico puede ser degradado por medios biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales. (Barrios Cajas & Roca Bruno, 2020)

### *Ecológico*

Este calificativo se le podría dar a aquellos materiales en cuyo proceso de extracción y/o fabricación se minimicen los impactos negativos sobre el medio ambiente, pero además que estén diseñados de forma tal que potencien esta reducción en las restantes etapas del ciclo de vida del edificio: transporte de materiales, construcción, funcionamiento y demolición. (Porrás Salazar & Tenorio Monge, 2010). Es un producto que ha sido elaborado sin daño para el medioambiente, la salud humana, la salud y el bienestar de los animales o la salud de las plantas. (prehispánico, s.f.)

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### *Materiales ecológicos*

También llamados eco-materiales son aquellos materiales que, a lo largo de su ciclo de vida, durante su fabricación, transporte, puesta en obra y una vez colocados, suponen una mejora medio ambiental respecto de un material tradicional. (Sanfulgencio Tomé, 2020)

### *Materiales sostenibles*

Son aquellos materiales duraderos en el tiempo, que apenas necesitan mantenimiento, son reutilizables y reciclables, respetuosos con el medio ambiente, proceden de fuentes renovables, no contaminan, son respetuosos con el medio ambiente y con el entorno y tienen un bajo consumo energético. (Ortega Vilar, 2015)

### *Desarrollo Sostenible*

Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades. (Minambiente,1993)

## Capítulo III

### **Marco legal**

*Ley 23 de 1973.* El ministerio de ambiente de la presente ley previene y controla la contaminación del medio ambiente y busca el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional.

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Ley 99 de 1993.** Esta ley, establece las bases del Sistema Nacional Ambiental (SINA), promueve el uso sostenible de los recursos naturales, incluyendo los residuos agrícolas. Fomenta la aplicación de técnicas y tecnologías limpias en la agricultura.

**Ley 1333 de 2009.** El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Establece sanciones a quienes incumplan las normativas ambientales contenidas en el Código de Recursos Naturales Renovables, Decreto-ley 2811 de 1974, en la Ley 99 de 1993, en la Ley 165 de 1994 y desarrolla medidas preventivas, para impedir o evitar la continuación de la ocurrencia.

**Resolución 6982 de 2011.** Secretaría Distrital de Ambiente. dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire.

**Decreto 1076 2015.** El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el artículo 2 determina la gestión sobre los residuos generados en actividades agropecuarias y agroindustriales, estableciendo normas para la clasificación, manejo y disposición de los residuos. controlando la contaminación atmosférica, la protección de la salud y del ecosistema.

**Ley 2173 de 2021.** La presente busca establecer la creación de Áreas de Vida y creación de bosques en cada uno de los municipios del país, con participación de toda la población en la restauración y conservación ecológica del territorio, a través de la siembra de árboles para la creación de bosques y el aumento de la cobertura vegetal, con el trabajo conjunto de

las empresas y las entidades competentes.

**Decreto 948 de 1995.** Mejorar y preservar la calidad del aire, y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana ocasionados por la

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

emisión de contaminantes químicos y físicos al aire; a fin de mejorar la calidad de vida de la población y procurar su bienestar bajo el principio del desarrollo sostenible. modificando el artículo 30 por el **Decreto 4296 de 2004**. Quemadas abiertas en áreas rurales. Queda prohibida la práctica de quemadas abiertas rurales, salvo las quemadas controladas en actividades agrícolas y mineras

### Capítulo IV

#### Metodología

En el campo de la ingeniería de materiales, la búsqueda de alternativas sostenibles y ecológicas es fundamental en un mundo cada vez más preocupado por el impacto ambiental. En este contexto, esta investigación se enfoca en la caracterización mecánica de un aglomerado ecológico fabricado a partir de biomasa agrícola, específicamente la cascarilla de arroz. El objetivo principal es evaluar la viabilidad de este aglomerado como material de ingeniería en comparación con los aglomerados tradicionales disponibles en el mercado. La importancia de esta investigación radica en la necesidad de hacer un adecuado uso de residuos agrícolas y desarrollar un material respetuoso con el medio ambiente que pueda ser una opción a los materiales convencionales, contribuyendo a la sostenibilidad en la industria de la construcción y otras aplicaciones.

Esta investigación adoptará un enfoque metodológico mixto que combina tanto elementos cuantitativos como experimentales y cualitativos. El enfoque cuantitativo se centrará en el análisis de datos provenientes de los resultados experimentales, mientras que el enfoque cualitativo se utilizará para complementar y recopilar datos e información necesarios para el desarrollo integral del proyecto. “Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos,

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

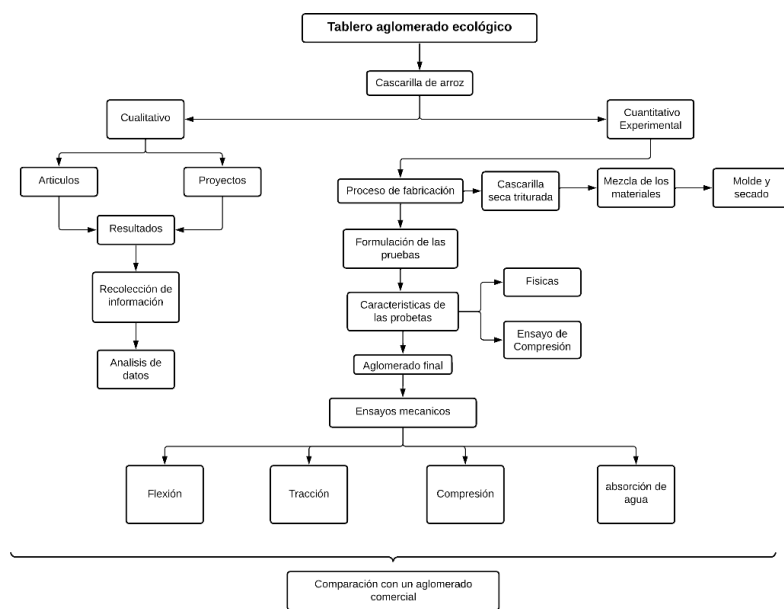
así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (meta inferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio". (Hernández Sam pieri y Mendoza, 2008)

A través de este método, se llevarán a cabo pruebas experimentales de laboratorio como flexión, dureza, humedad para determinar las características mecánicas del material y se realizará una comparación de mediciones con un aglomerado comercial, Además, se realizará la revisión documental para recopilar y analizar la información de documentos, publicaciones y otros materiales existentes relacionados con el uso y las características de los aglomerados a base de cascarilla de arroz.

La metodología propuesta para la elaboración de los tableros aglomerados se indica en el siguiente diagrama:

**Figura 5**

*Diagrama de metodología*



## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### *Materiales e instrumentos*

**Tabla 3**

*Materiales para la fabricación del aglomerado*

Material	Descripción
Cascarilla de arroz	seca y triturada
Aglutinante	Natural
Endurecedor	Natural
Latex	Natural

**Elementos.** Para la realización de las probetas se utilizaron los siguientes equipos y elementos:

**Tabla 4**

*Equipos y elementos*

Equipo	Descripción	Imagen
3 Recipiente metálico para mezcla	Recipiente diseñado para la preparación y el almacenamiento de diversos materiales	
2 Espátula	utensilios portátiles de laboratorio disponibles en distintos tamaños y estilos	
Bascula gramera.	herramienta electrónica o analógica que tiene la capacidad de pesar ingredientes registrando sus valores en diferentes unidades de medida.	
Picadora	Elemento que permite triturar y picar todo tipo de alimentos en distintos tamaños en función del disco de corte que utilizemos.	
Estufa eléctrica	Aparato que funcionan a través de energía eléctrica que tienen como objetivo producir calor para calentar.	
Molde	Recipiente o pieza hueca donde se echa una masa blanda o líquida que, al solidificarse, toma la forma del recipiente.	
Máquina universal	Están diseñadas para probar las propiedades mecánicas de materiales, componentes y productos	

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### *Desarrollo del material*

Se realizaron varios ensayos preliminares con el fin de fijar las variables del proceso de fabricación del aglomerado a base de las partículas de la cascarilla de arroz en el laboratorio con los elementos disponibles.

### **Figura 6**

#### *Laboratorio de práctica*



### *Proceso de fabricación*

#### **Fase I: triturado**

Inicialmente la cascarilla es triturada en la maquina picadora para obtener las partículas de la cascarilla de arroz

### **Figura 7**

#### *Triturado de cascarilla de arroz*



## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Fase II: Pesar y mezcla de materia prima

Mediante de la gramera o bascula se pesa la cantidad de cada ingrediente de la materia prima, según las unidades de medida necesarias para el tamaño desaseado, luego se realiza la mezcla de los ingredientes a una temperatura baja.

### Figura 8

*Peso y mezcla de los ingredientes*

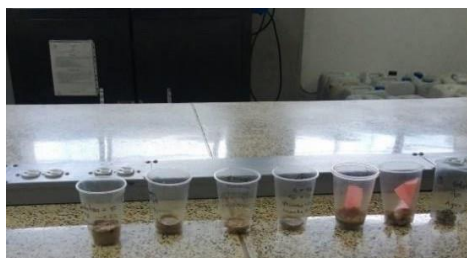


### Fase III: Molde

Cuando la mezcla se encuentra homogénea se vierte en el molde correspondiente y manualmente con una espátula se esparce la mezcla por toda la superficie mientras a la vez se comprime.

### Figura 9

*Molde de probetas preliminares*



## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Figura 10

#### *Molde final*



Nota: Molde fabricado a partir de lámina cerámica de color negro.

#### **Fase IV: secado y desmoldado**

Por último, se deja secar la muestra y se procede a desmoldar cuidadosamente para que la no se deforme, posteriormente se deja secar en el sol y al aire libre, evaporando la humedad y endureciendo la probeta.

#### *Ensayos preliminares*

##### **Ensayo 1°**

Se llevaron a cabo cuatro ensayos de formulación utilizando el método experimental, explorando diversas concentraciones de los materiales, con el objetivo de determinar las condiciones óptimas en términos físicos y mecánicos de las probetas. En la etapa inicial del proceso, se obtuvieron seis muestras, de las cuales una (probeta 3) mostró las mejores propiedades físicas. A partir de esta fórmula inicial, se realizó un segundo ensayo

##### **Ensayo 2°**

"En el segundo ensayo, se utiliza la prueba anterior como referencia y base para la mejora de la probeta; donde se realizaron 8 muestras con las especificaciones de la prueba 3 de la primera toma de resultados. Se realizo variaciones en las cantidades y tipos de partículas de cascarilla con

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

el objetivo de observar el impacto en cada una de las muestras. Lamentablemente, las pruebas revelaron alteraciones y resultados negativos. Se tuvo en cuenta la influencia de los materiales utilizados y las condiciones de humedad en el entorno, ya que, a pesar de formar parte de la composición, no se logró el resultado exitoso deseado. En su lugar, no se secaron desarrollando hongo y generando un mal olor, que no se había experimentado previamente en la muestra principal.

### Figura 11

*Muestras del ensayo 2°*



**Nota:** probetas con resultados negativos.

### Ensayo 3°

Se llevó a cabo un tercer ensayo, teniendo en cuenta la fórmula de la prueba inicial y considerando varios factores relacionados con los materiales y el entorno que podrían haber influido en los problemas encontrados en las muestras durante el segundo ensayo. A partir de estas observaciones, se prepararon cuatro nuevas muestras utilizando la misma fórmula que en el ensayo inicial. Sin embargo, en este tercer ensayo, se modificó la temperatura a la que se sometieron las probetas. Además, se utilizó un proceso de secado combinado, que involucró la exposición. al

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

calor del sol y el uso de métodos artificiales, con el propósito de asegurar que las muestras no se vean afectadas negativamente durante el proceso de secado.

### **Figura 12**

*Probetas del ensayo 3° de óptimos resultados*



**Nota:** 1 probeta inicial y 4 probetas del ensayo 3°, total 5 probetas.

### **Ensayo 4°**

Tras obtener resultados alentadores en el tercer ensayo, decidí llevar a cabo cuatro probetas con variaciones en la cantidad de agua para un análisis más profundo de su comportamiento. Además, se realizaron tres ensayos adicionales en los cuales se introdujo látex a la fórmula. La adición de este nuevo elemento tiene como objetivo potenciar las capacidades físicas y mecánicas del material, en busca de un mejor desempeño y una mayor resistencia.

### **Figura 13**

*Probetas del ensayo 4° con variaciones*



## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### *Figura 14*

*Probetas con látex del ensayo 4°*



Debido a las destacadas propiedades físicas del material, se procedió a realizar ensayos de compresión con el fin de determinar cuál de las probetas presentaba una mayor resistencia mecánica a la compresión. Se evaluará la probeta inicial del primer ensayo y las cuatro pruebas realizadas en el tercer ensayo, las cuales compartían una formulación similar, y las probetas obtenidas del ensayo 4.

### *Caracterización mecánica de las probetas*

El desarrollo experimental se realizó acorde a los ensayos de la Norma Sociedad Americana de Pruebas y Materiales ASTM D 1037-12, y a la norma técnica colombiana (ICONTEC) NTC-2261. Para las pruebas se utilizaron los equipos disponibles en el laboratorio del parque científico de innovación social (PCIS)-UNIMINUTO para la realización de las pruebas mecánicas.

### **Ensayo de compresión**

Para llevar a cabo este ensayo mecánico, se utilizaron las probetas que se habían preparado en los ensayos 3° y 4°. Las pruebas se realizaron utilizando una máquina universal de ensayos con una velocidad de carga constante de 1.0 mm/min. Durante el proceso se tomó registro del espesor, así como de los diámetros iniciales y finales de cada probeta.

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Tabla 5**

*Medidas de las probetas preliminares*

Medidas probetas	
Diametro	41 a 43 (mm)
Espesor	22 a 23 (mm)

**Figura 15**

*Ensayo de compresión*



**Nota:** Maquina universal

### **Probetas Finales**

Una vez determinada la probeta con mayor resistencia a la compresión, se realizaron 4 probetas con la formulación que presento los mejores resultados. Evaluando los siguientes ensayos mecánicos: Compresión paralela, Tracción, Flexión y Ensayo de absorción e hinchamiento de agua.

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Figura 16**

*Probetas finales*



Nota: Probetas de forma rectangular

**Tabla 6**

*Medidas de las probetas*

Medidas	Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
Probetas largas	4	28	3
Probetas cortas	4	12	4

### Ensayo de compresión paralela

Para llevar a cabo este ensayo mecánico, se utilizó una probeta de acuerdo con la medida de las probetas cortas que se muestra en la (Tabla 6). La probeta se colocó entre las 2 bases de la máquina universal de ensayos con una velocidad de carga constante de 0.5 mm/min.

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### *Tabla 7*

#### *Ensayo de compresión paralela*



#### **Ensayo de tracción**

El ensayo de tracción se realizó en la maquina universal con los accesorios de mordazas para acoplar a la maquina y sostener la probeta de forma vertical, ejerciendo un esfuerzo en diferente dirección a una velocidad de carga constante de 0.5 mm/min hasta que se produce la rotura de esta. Para este ensayo se utilizó una probeta de acuerdo con la medida de las probetas largas que se muestra en la (Tabla 6).

### **Figura 17**

#### *Ensayo de tracción*



## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Ensayo de flexión

El ensayo de resistencia a la flexión se llevo a cabo en la maquina universal haciendo uso de los accesorios adecuados para realizar la prueba flexión en tres puntos. La probeta se coloca sobre 2 apoyos a una distancia de 5 cm y se somete a una carga en el centro con un punzón de ensayo redondeado. se utilizó una probeta de acuerdo con la medida de probetas largas que se muestra en la (Tabla 6), a una velocidad de carga constante de 0.5 mm/min.

### Figura 18

*Ensayo de flexión*



### Ensayo de absorción e hinchamiento de agua

Este método de prueba se realizó para determinar el comportamiento del material al ser sumergido en agua, algunos efectos son: cambios de tamaño y masa causados por la absorción de agua (hinchamiento), extracción de componentes solubles en agua o cambios en el rendimiento mecánico. Se utilizó una probeta con las dimensiones de (4 x 4) cm, a una temperatura del agua de 20°C como lo indica la norma ASTM D 1037-12.

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Figura 19

*Ensayo de absorción de agua*



Este ensayo se divide en 2 valoraciones.

La probeta es sumergida durante 2 horas, posteriormente se saca, se mide el tamaño y se analiza el comportamiento durante este tiempo.

Sumergida nuevamente la probeta durante 24 horas y de ser posible se realiza la misma valoración de las características anteriormente mencionadas.

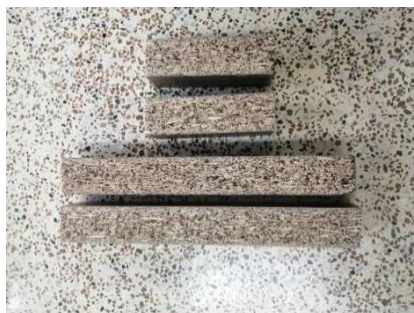
### ***Ensayos mecánicos del aglomerado comercial***

Para los ensayos se utilizó un aglomerado hidrófugo que se caracteriza por su alta resistencia a la humedad. Está fabricado con partículas de madera, unidas entre sí mediante resinas sintéticas especiales, con superficie fina y lijada, adecuado para revestir con papel de melamina, chapa de madera o laminado. (Moral maderas , 2023)

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Figura 20**

*Probetas de aglomerado comercial*



**Tabla 8**

*Medidas de las probetas del aglomerado comercial*

Medidas	Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
Probetas largas	4.5	28	3.5
Probetas cortas	4	12.5	4

Las características para los ensayos mecánicos son similares a los que se realizaron para el material desarrollado a base de cascarilla de arroz. las medidas de las probetas pueden variar por 0.5 mm, y la velocidad de carga aplicada es constante de 0.5 mm/min para ambos materiales.

### Compresión paralela

**Figura 21**

*Ensayo de compresión paralela*



## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Tracción

#### Figura 22

*Ensayo de tracción*



### Flexión

#### Figura 23

*Ensayo de flexión*



### Absorción e hinchamiento de agua

#### Figura 24

*Ensayo de absorción de agua*



## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Capítulo V

#### Resultados

Se analizarán los resultados obtenidos de los ensayos fisico-mecánicos realizados al material aglomerado como evaluación de viabilidad, calidad de material y las variables que se obtuvieron en los ensayos.

#### *Características físicas*

Las probetas presentan una apariencia similar a algunos aglomerados comerciales en el color y textura.

#### Tabla 9

##### *Características físicas del aglomerado desarrollado*

Características	
Color	amarillo claro
textura	partículas pequeñas
Porosidad	baja

#### *Ensayo de Compresión*

Los valores de los ensayos de deformación de cada probeta se muestran en la: (Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11) Estos valores se evaluaron por medio de las gráficas de Deformación vs Fuerza, con el fin de determinar la viabilidad del mejor espécimen de acuerdo con los datos obtenidos. Como se observa en las siguientes tablas y diagramas.

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Tabla 10**

*Análisis estadístico del ensayo 3°*

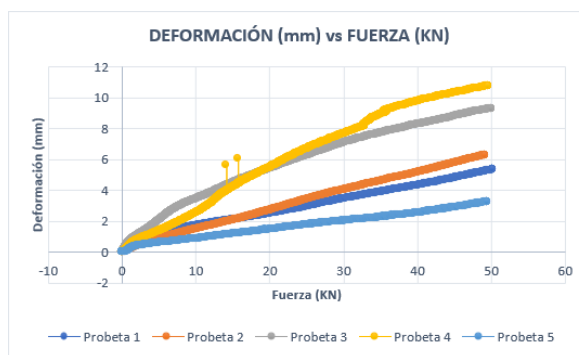
ENSAYO DE COMPRESIÓN				
N°	VELOCIDAD	FUERZA (KN)	DEFORMACIÓN (mm)	TIEMPO (ms)
1 Probeta	1.0 mm/min	50,118	5,332	368,996
2 Probeta		49,176	6,27	398,503
3 Probeta		50,004	9,29	576,866
4 Probeta		49,537	10,76	671,996
5 Probeta		49,523	3,26	232,26

**Nota:** Resultados

Al comparar los datos estadísticos obtenidos del ensayo 3°, se analizó que las probetas 1 y 3 soportaron mayor fuerza que las demás pruebas, sin embargo, las probetas 3 y 4 presentan mayor deformación Vs fuerza. Como se observa en la (Figura 26).

**Figura 25**

*Diagrama de compresión ensayo 2*



**Nota:** Deformación VS Fuerza

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

El comportamiento de la probeta 3 fue estable y con mayor fuerza, en comparación a la probeta 4 que presenta mayor deformación, pero varía su comportamiento de acuerdo va aumentando la fuerza aplicada.

**Tabla 11**

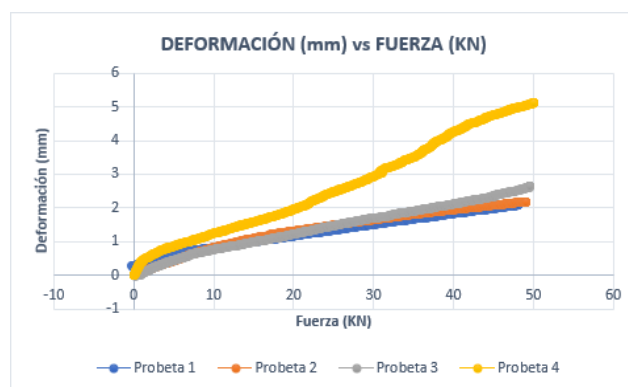
*Análisis estadístico del ensayo 4°*

2 ENSAYO DE COMPRESIÓN				
N°	VELOCIDAD	FUERZA (KN)	DEFORMACIÓN (mm)	TIEMPO (ms)
1 Probeta	1.0 mm/min	48,1	2,08	226,998
2 Pobeta		49,078	2,189	203,991
3 Probeta		49,457	2,63	196,996
4 Probeta		50,095	5,14	540,505

Los valores de las probetas del ensayo 4° son menores en comparación al ensayo 3°. sin embargo, la probeta 4 resalta entre las demás y tiene valores similares a las anteriores como se puede observar en la (Figura 27).

**Figura 26**

*Diagrama de compresión ensayo 4°*



## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Tabla 12**

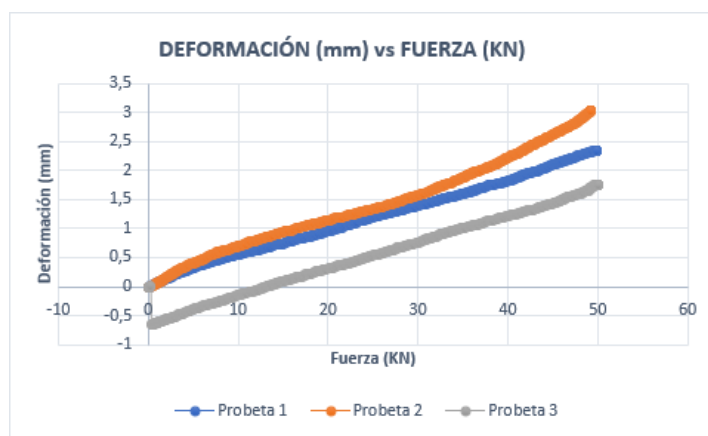
*Análisis estadístico del ensayo 4 con látex*

3 ENSAYO DE COMPRESIÓN				
N°	VELOCIDAD	FUERZA (KN)	DEFORMACIÓN (mm)	TIEMPO (ms)
1 Probeta	1.0 mm/min	49,879	2,35	293,49
2 Probeta		49,211	3,03	295,001
3 Probeta		49,935	1,76	251,997

Los valores obtenidos de las probetas que contienen látex obtenidos son similares a algunas de las probetas anteriormente mencionadas sin embargo son inferiores a las probetas que han resaltado como se muestra en la Tabla 11 y cómo se observa en la (Figura 28).

**Figura 27**

*Diagrama de compresión probetas con látex*

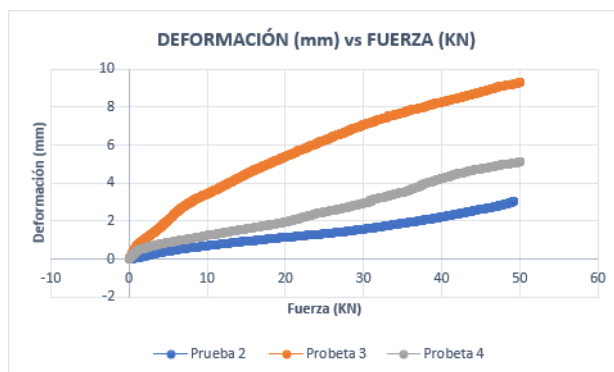


Se seleccionó una probeta de cada ensayo realizado, eliminando las que presentaron una alta variación en los valores de las muestras. Finalmente, con los datos aceptados, se registraron para la comparación del comportamiento de Deformación vs Fuerza como se muestra en la (Figura 15).

## CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Figura 28**

*Diagrama de compresión de las 3 mejores probetas*



En el análisis gráfico se observa que la muestra con mayor estabilidad en el esfuerzo mecánico de compresión es la probeta 2 del ensayo 4°, la cual evidencia una resistencia constante a la deformación hasta que falla sin perder integridad en su estructura.

Esta fase experimental de ensayo prueba y error se desarrolló con el fin de obtener el mejor resultado entre las probetas, que permitiera establecer la formulación final con la mejor apariencia y características, la cual se utilizará para los ensayos mecánicos.

### ***Resultados de los ensayos con la probeta final***

De acuerdo con la probeta 2 que presento el mejor resultado, se usó la formulación para la fabricación de las probetas que serían sometidas a los demás ensayos mecánicos.

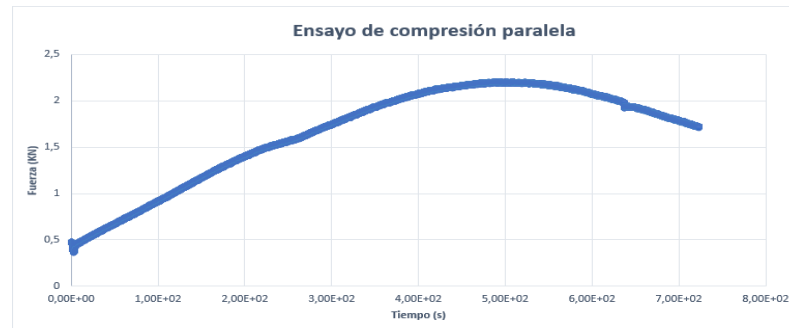
### **Compresión paralela**

El resultado obtenido de la prueba evidencia que la probeta tiene un comportamiento estable con una resistencia máxima soportada de (1,392 Mpa) de acuerdo con la fuerza máxima aplicada de (2,2278 KN) durante el tiempo de (325,273 s) como se muestra en la figura 30, una vez que la probeta llega a la falla mantiene aún cierta integridad en su estructura y apariencia física.

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Figura 29**

*Resultado ensayo de compresión*

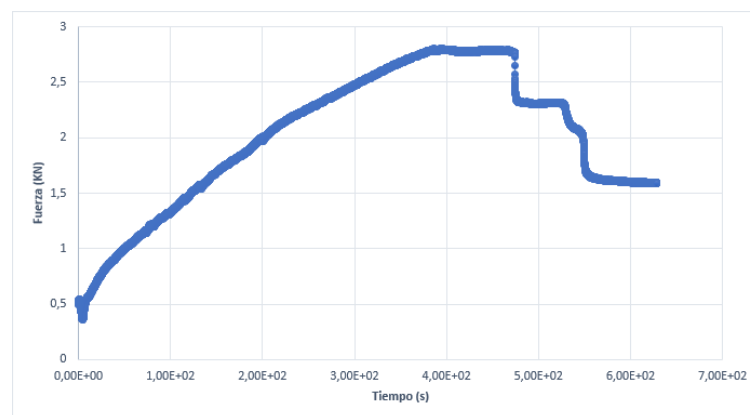


## Tracción

El resultado obtenido de la prueba evidencia que la probeta tiene un comportamiento en aumento con un esfuerzo máximo de (2,8038 KN) durante (439,303 s) como se observa en la figura 31, los resultados están dentro de los límites de aceptación de acuerdo con la norma NTC con un Módulo de elasticidad (225,677 Mpa).

**Figura 30**

*Resultado ensayo de tracción*



## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Flexión

La probeta presento muy baja resistencia a la flexión la cual fue llevada a cabo a una velocidad de 0,5 mm/min, por lo cual no se presenta evidencia de su comportamiento mediante una gráfica. No satisfaciendo el mínimo de los requerimientos.

### Figura 31

*Falla de la probeta en ensayo de flexión*



### Absorción e hinchamiento de agua

Se determinó que la probeta inicialmente no absorbe el agua debió a que la capacidad de absorción es inferior en la cascarilla molida que en la cascarilla entera.

La probeta sumergida en agua durante 2 horas presento una pequeña coloración en el agua y disolución de sus partículas, sin hinchamiento ni aumento de tamaño. Sin embargo, durante las 24 horas presento mayor disolución de partículas, hinchamiento y deformación de su estructura y tamaño. Como se observa en la siguiente figura.

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Figura 32

*Probetas ensayo de absorción de agua*



Determinando que la probeta no absorbe inicialmente el agua, pero si es soluble en el agua al ser sometida al agua siendo de baja resistencia a entornos mojados o húmedos.

### *Comparación de las propiedades mecánicas con un aglomerado comercial*

Se realizará un análisis comparativo entre los resultados obtenidos del aglomerado ecológico vs el aglomerado comercial.

### Figura 33

*Comparación de materiales aglomerados*



### **Ensayo de compresión paralela**

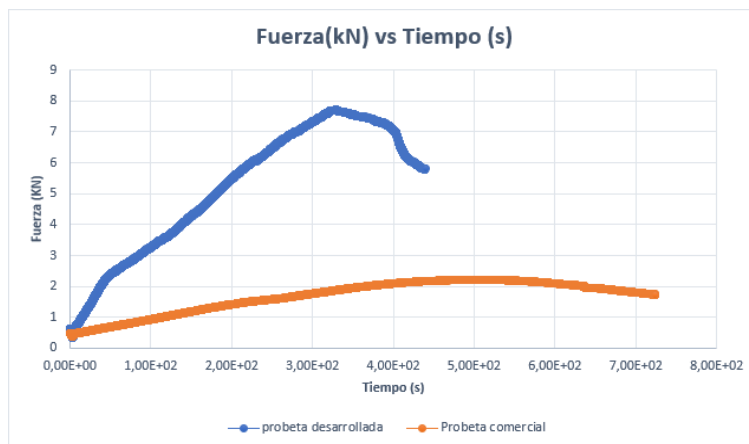
Al analizar el comportamiento que presentaron los materiales, el aglomerado comercial tiene una resistencia constante durante el tiempo en comparación al aglomerado de cascarilla de arroz en cual se observa menor resistencia en el primer punto de fallo como se muestra en la (Figura

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

35). sin embargo, alcanza una resistencia de fuerza más alta antes de llegar a la falla total del material.

### Figura 34

*Comparación ensayo de compresión paralela*



De acuerdo con los datos estadísticos de la Tabla 12 se evidencia la diferencia de valores de los materiales sometidos al ensayo.

### Figura 35

*Datos del ensayo de compresión*

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA				
Material	Velocidad	Fuerza (KN)	Resistencia Max (Mpa)	Tiempo (s)
Desarrollado	0.5 mm/min	2,2278	1.392	325,273
Comercial		7,7166	4,899	510,274

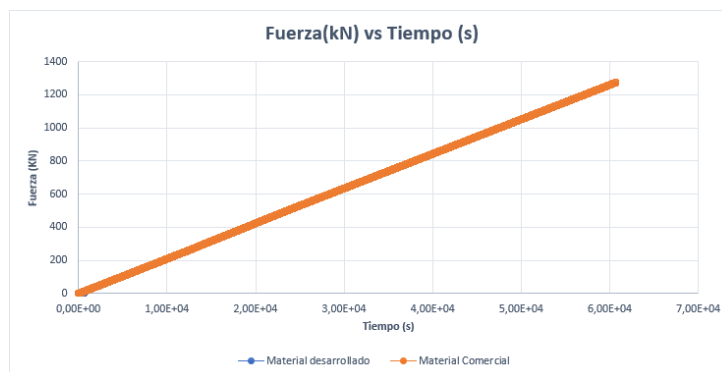
### Ensayo de tracción

En esta prueba como se muestra en la (Figura 36), el aglomerado comercial fue sometido a mayor fuerza durante mayor tiempo, sin permitir observar en la gráfica el comportamiento del otro material que se encuentra en la misma figura.

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Figura 36**

*Datos del ensayo de compresión*



Aunque el comportamiento no se evidencie en la (Figura 36), los datos nos muestran que el material desarrollado con cascarilla de arroz tiene un mayor módulo de elasticidad y una resistencia cercana al aglomerado comercial.

**Tabla 13**

*Datos ensayo de Tracción*

ENSAYO DE TRACCIÓN				
Material	Velocidad	Fuerza (KN)	Resistencia Max (Mpa)	Módulo de elasticidad (E)
Desarrollado	0.5 mm/min	2,8038	2,3370	225,677 Mpa
Comercial		3,8544	2,445	208,047 Mpa

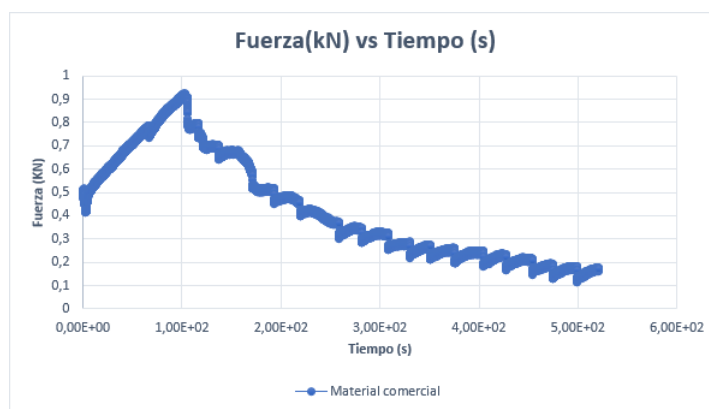
### Ensayo de flexión

En esta prueba solo es posible visualizar en la (Figura 37) el comportamiento del aglomerado comercial ya que la probeta de cascarilla de arroz presento una resistencia muy baja, no siendo posible determinar su punto de falla a una velocidad de 0.5 mm/ min.

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Figura 37**

*Comparación ensayo de Flexión*



**Tabla 14**

*Datos de ensayo de flexión*

ENSAYO DE FLEXIÓN				
Material	Velocidad	Fuerza (KN)	Resistencia Max (Mpa)	Tiempo (s)
Desarrollado	0.5 mm/min	0,0000	0	0
Comercial		0,9264	4,34	520,665

### Ensayo de absorción e hinchamiento de agua

Al comparar las características de los materiales como se muestra en la (Figura 38). El material fabricado a base de cascarilla de arroz es soluble al agua y presenta baja resistencia a la humedad en comparación al aglomerado comercial que es hidrófugo, es decir que tiene mayor resistencia a la humedad y a la absorción de agua. sin embargo, al estar bajo 24 horas presenta menor debilidad en su estructura.

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

**Figura 38**

*Comparación ensayo de absorción de agua*



### Costos de materiales

A continuación, se presenta una tabla de costos asociados a la fabricación de una probeta que pesa de 240 g (gramos). Estos costos han sido desglosados para proporcionar una visualización de los elementos que contribuyen al costo total de elaboración. La información se basa en la cantidad necesaria para el tamaño y peso deseado del aglomerado y puede estar sujeta a ajustes periódicos según las variaciones del mercado.

**Tabla 15**

*Costos de materiales*

<b>Probeta de 240 g</b>		
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Cascarilla de arroz	127,5 g	\$ 200
Aglutinante	107 g	\$ 11.056
Endurecedor	26,25 g	\$ 1.800
<b>Costo total</b>		<b>\$ 13.056</b>

Como se muestra en la Tabla 15 el costo total de los materiales para la fabricación del aglomerado sería de \$ 13.056 pesos. los valores presentados se centran únicamente en los

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

materiales para la elaboración del aglomerado, no incluye gastos adicionales que se pueden generar durante el proceso.

### Alternativa de material

Los avances de las pruebas experimentales han permitido elaborar otra alternativa de material, como un ladrillo ecológico.

### Figura 39

*Molde en forma de ladrillo*



### Figura 40

*Ladrillo ecológico*



## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Conclusiones

El material aglomerado a base de cascarilla de arroz es 100% natural, el cual es amigable con el medio ambiente y convierte un residuo agrícola en un recurso aprovechable permitiendo generar un nuevo material. Es necesario tener en consideración el tamaño de la cascarilla de arroz ya que influye en el secado y en el proceso de compactación para eliminar los espacios vacíos que se puedan generar en el material.

El aglomerado presenta una excelente apariencia física y características manuales. Mediante las pruebas de laboratorio y los ensayos mecánicos se obtuvo resultados aceptables en los ensayos de compresión y tracción teniendo en cuenta la norma NTC 2261 Y ASTM 1035-12. sin embargo, los resultados de los ensayos de humedad y flexión son regulares ya que se obtuvo baja resistencia.

Los ensayos mecánicos comparativos revelan que el aglomerado a base de cascarilla de arroz tiene menor resistencia en las pruebas que un aglomerado comercial hidrófugo el cual está elaborado adhesivos comerciales, lo que genera una diferencia en los valores de estos paneles aglomerados que son totalmente naturales.

Los hallazgos evidencian que, a pesar de ser el látex un material considerado en las pruebas para la elaboración del aglomerado ecológico, su viabilidad se ve comprometida por una reacción de secado frente al calor, impidiendo su integración efectiva con la mezcla. Esta limitación subraya la necesidad de explorar alternativas más compatibles y eficientes para optimizar el proceso de fabricación del aglomerado, destacando la importancia de la investigación continua en busca de soluciones sostenibles y eficaces en la producción de materiales ecológicos.

## **CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

Se puede afirmar que el material desarrollado tiene características físicas y manuales aceptables, por lo tanto, puede ser utilizado en piezas que no requieran de mucho esfuerzo mecánico.

En conclusión, este proyecto representa la fase inicial de investigación, el cual continuara con la línea de indagación y experimentación. El objetivo es mejorar las características del aglomerado ecológico hasta obtener resultados satisfactorios y aplicaciones más amplias.

### **Recomendaciones**

Se recomienda triturar la cascarilla de arroz para la elaboración de los aglomerados o piezas, ya que el tamaño de la partícula influye en la compactación, el secado y el revestimiento de las partículas por el aglutinante. Permitiendo obtener un acabado liso y con menor porosidad.

Se propone implementar un sistema de moldeo que aplique una presión más significativa al molde, con el objetivo de eliminar posibles espacios de aire dentro de la mezcla. Esta medida no solo promoverá una mayor compactación del material, sino que también mejorará la resistencia del producto final. La optimización de la presión durante el proceso de moldeo contribuirá directamente a la calidad y durabilidad del producto, asegurando resultados más consistentes y satisfactorios.

## **CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

Se sugiere fabricar piezas con dimensiones anchas, ya que generalmente presentan características físicas y mecánicas superiores en comparación con aquellas que son alargadas y delgadas. Basándome en mis observaciones y análisis.

Se recomienda explorar nuevas alternativas de materiales naturales que puedan desempeñar el papel de impermeabilizante, asegurando su compatibilidad y eficiencia. Con el fin de mejorar la calidad del aglomerado en pruebas de absorción de agua y humedad.

Considerando las pruebas realizadas y los datos recolectados, se enfatiza la crucial importancia de garantizar la integridad de los materiales empleados en la fabricación. Es fundamental que estos materiales y recursos se encuentren en un estado de absoluta limpieza. Además, es esencial mantener las condiciones ambientales en un entorno seco, libre de humedad, donde el material pueda ser expuesto adecuadamente a la luz solar y al aire para facilitar su correcto proceso de secado. Estas medidas son necesarias para obtener óptimos resultados del material fabricado.

Por último, se sugiere explorar alternativas de materiales complementarios y llevar a cabo un conjunto más amplio de pruebas mecánicas. Esto con el objetivo de cumplir con los estándares establecidos por la norma y así posicionarse competitivamente en el mercado.

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

### Referencias

- Malqui Merino, F. (2015). *Elaboración de tableros aglomerados en base a fibra de coco y cemento puzolanico en la ciudad de tingo maria-huanuco*. Obtenido de <https://www.vscribd.com/es/view-doc/391459792?q=aHR0cHM6Ly9lc5zY3JpYmQuY29tL2RvY3VtZW50LzM5MTQ1OTc5Mi9URVNJUy1DT0NPLWRvY3g=&f=UERG>
- Alvarez maderas y envases. (s.f.). *Tableros aglomerados* . Obtenido de <https://alvarezame.com/tableros/tableros-aglomerados/>
- American Society for Testing and Materials. (2020). Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle.
- ASTM. (2005). Terminología estándar relacionada con Materiales de fibra a base de madera y panel de partículas- D1554. En A. S. Materials.
- Barrios Cajas, G., & Roca Bruno, R. (2020). Materiales Biodegradables. Obtenido de <https://www.vscribd.com/es/view-doc/459757778?q=aHR0cHM6Ly9lc5zY3JpYmQuY29tL2RvY3VtZW50LzQ1OTc1Nzc3OC9NYXRlcmlhbGVzLUJpb2RlZ3JhZGFibGVz&f=UERG>
- BBC News mundo . (2010). *la paja de arroz amenaza el ecosistema*. Obtenido de [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2010/11/101112\\_paja\\_arroz\\_ecosistema\\_af](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2010/11/101112_paja_arroz_ecosistema_af)
- BYK Additives & Instruments. (2018). *Influencia de los aglutinantes, rellenos y aditivos en color y apariencia* . Obtenido de <https://www.byk-instruments.com/es/raw-material-influence>

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

DANE. (2023 de agosto de 2023). *Encuesta nacional de arroz mecanizado (ENAM) primer semestre del 2023*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/ENAM/bol-ENAM-Isem23.pdf>

Delgado , D., & Saavedra, K. (2016). *Industria molinera de arroz*. Obtenido de Análisis cuantitativo de la competencia en el mercado.

fao. (2023). *Situación Alimentaria Mundial*. Obtenido de Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura.: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/#:~:text=El%20pron%C3%B3stico%20m%C3%A1s%20reciente%20de,%2C5%20millones%20de%20toneladas>

Gómez Galiano, A. (07 de enero de 2021). *Red agrícola*. Obtenido de Producción y mercado del arroz en Colombia: <https://redagricola.com/produccion-y-mercado-del-arroz-en-colombia/>

Grossmann, F. (s.f). *Propiedades mecanicas de los materiales*.

Herd, M. (2019). *Efecto de la impregnación con aceites*. Argentina. Obtenido de <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/230/MHerd-TFG-IM-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernandez Sampierioberto, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de Mexico: McGRAW-HILL INTERAMERICANA. Obtenido de [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf)

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

IAEA. (2023). *Organismo internacional de energia atomica*. Obtenido de Reducción de los gases debido al infecto invernadero: <https://www.iaea.org/es>

Jason Hill, J., Goodkind, A., Tessum , C., Thakrar, S., Tilman, D., Polasky, E., . . . marshall, j. (2019). Daños a la salud del maíz relacionados con la calidad del aire. *Nat sustain*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0261-y#Abs1>

Ministerio del medio ambiente. (1993). *LEY 99 DE 1993*. Colombia. Obtenido de FUNDAMENTOS DE LA POLITICA AMBIENTAL COLOMBIANA.

Moral maderas . (2023). *Tablero aglomerado hidrófungo*. Obtenido de <https://maderasmoral.com/productos/tableros/aglomerado/tablero-aglomerado-hidrofugo/>

Moreno, J., Moral, R., Garcia, L., Pascual, J., & Bernal, M. (2007). *De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad- "Residuos agricolas"*. Madrid: Ediciones muldi- prensa. Obtenido de [https://www.google.com.co/books/edition/Residuos\\_agr%C3%ADcolas\\_I\\_1/yL3-CAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=que+es+desecho+agricola&printsec=frontcover](https://www.google.com.co/books/edition/Residuos_agr%C3%ADcolas_I_1/yL3-CAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=que+es+desecho+agricola&printsec=frontcover)

Nogés, F., Garcia, D., & Rezeau, A. (2010). *Energia de la biomasa*. Zaragoza: prensas universitarias de zargosa. Obtenido de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=P58rcPu5O90C&oi=fnd&pg=PA1&dq=que+es+biomasa&ots=GBS1wTtUnu&sig=FHS6JwKnPMHH6pXUn\\_4ZcHrhpCc#v=onepage&q=que%20es%20biomasa&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=P58rcPu5O90C&oi=fnd&pg=PA1&dq=que+es+biomasa&ots=GBS1wTtUnu&sig=FHS6JwKnPMHH6pXUn_4ZcHrhpCc#v=onepage&q=que%20es%20biomasa&f=false)

Ortega Vilar, A. (2015). *Materiales sostenibles para la edificación*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56226/ORTEGA%20->

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

%20MATERIALES%20SOSTENIBLES%20PARA%20LA%20EDIFICACION.%20  
ESTADO%20DE%20LA%20CUESTION.pdf?sequence=1

Porras Salazar, J., & Tenorio Monge, R. (2010). Materiales ecológicos: ni tan fáciles de identificar, no tan fáciles de utilizar. *Ingeniería, revista de costa rica*.

prehispánico, D. (s.f.). *ecológico*. Obtenido de <https://dpej.rae.es/lema/ecol%C3%B3gico-ca#:~:text=Adm.,la%20salud%20de%20las%20plantas>

Romero Saenz, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnología*. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-77992022000200100#:~:text=Sin%20embargo%2C%20para%20ilustrar%20el,toneladas%20producidos%20en%202020%2C%20respectivamente](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992022000200100#:~:text=Sin%20embargo%2C%20para%20ilustrar%20el,toneladas%20producidos%20en%202020%2C%20respectivamente).

Salamanca Sánchez , S., & Nieves Pimiento, N. (2018). Desarrollo de un material a base de cascarilla de arroz y resina poliéster para sustituir estibas de madera. *Revista caribeña de ciencias sociales*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/370654092\\_DESARROLLO\\_DE\\_UN\\_MATERIAL\\_A\\_BASE\\_DE\\_CASCARILLA\\_DE\\_ARROZ\\_Y\\_RESINA\\_POLIESTER\\_PARA\\_SUSTITUIR\\_ESTIBAS\\_DE\\_MADERA](https://www.researchgate.net/publication/370654092_DESARROLLO_DE_UN_MATERIAL_A_BASE_DE_CASCARILLA_DE_ARROZ_Y_RESINA_POLIESTER_PARA_SUSTITUIR_ESTIBAS_DE_MADERA)

Sanfulgencio Tomé, J. (2020). *Arrevol* . Obtenido de ¿Cómo sabemos si un material es ecológico?: <https://www.arrevol.com/blog/como-sabemos-si-un-material-es-ecologico-ecomateriales>

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

Solà-Oriol, D. (16 de junio de 2022). *Ficha técnica: Arroz*. Obtenido de [https://www.3tres3.com/latam/articulos/arroz-como-ingrediente-en-pienso-para-cerdos\\_14129/](https://www.3tres3.com/latam/articulos/arroz-como-ingrediente-en-pienso-para-cerdos_14129/)

Tarelo Barba, H. (s.f). Aglutinantes y conglomerados.

Zambrano Vélez , M., Muñoz Murillo, J., Dueñas Rivadeneira, A., Párraga Álava , R. C., & Loo Mendoza, J. (2018). Evaluación de la cáscara de arroz para fabricación de ladrillos.“Evaluación de la cascarilla de arroz para fabricación de ladrillos. *REVISTADE PRODUCCIÓN, CIENCIAS E INVESTIGACIÓN*,. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/333486413\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_cascara\\_de\\_arroz\\_para\\_fabricacion\\_de\\_ladrillos\\_Evaluation\\_of\\_the\\_rice\\_hull\\_for\\_manufacture\\_of\\_bricks](https://www.researchgate.net/publication/333486413_Evaluacion_de_la_cascara_de_arroz_para_fabricacion_de_ladrillos_Evaluation_of_the_rice_hull_for_manufacture_of_bricks)

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Industrias arroceras de Colombia .....	25
<b>Tabla 2</b> Clasificación de tableros particulados .....	33
<b>Tabla 3</b> Materiales para la fabricación del aglomerado.....	40
<b>Tabla 4</b> Equipos y elementos .....	40
<b>Tabla 5</b> Medidas de las probetas preliminares .....	47
<b>Tabla 6</b> Medidas de las probetas .....	48
<b>Tabla 7</b> Ensayo de compresión paralela .....	49

## CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

<b>Tabla 8</b> Medidas de las probetas del aglomerado comercial.....	52
<b>Tabla 9</b> Características físicas del aglomerado desarrollado.....	54
<b>Tabla 10</b> Análisis estadístico del ensayo 3° .....	55
<b>Tabla 11</b> Análisis estadístico del ensayo 4° .....	56
<b>Tabla 12</b> Análisis estadístico del ensayo 4 con látex.....	57
<b>Tabla 13</b> Datos ensayo de Tracción .....	63
<b>Tabla 14</b> Datos de ensayo de flexión .....	64
<b>Tabla 15</b> Costos de materiales... ..	65

### Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Mapa del área cosechada y la producción de arroz mecanizado .....	13
<b>Figura 2</b> Curva de carga-deflexión para ensayos estáticos de elasticidad.....	27
<b>Figura 3</b> Componentes de la cascarilla de arroz.....	30
<b>Figura 4</b> Tablero aglomerado comercial .....	31
<b>Figura 5</b> Diagrama de metodología.....	39
<b>Figura 6</b> Laboratorio de práctica .....	41

**CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

<b>Figura 7</b> Triturado de cascarilla de arroz .....	41
<b>Figura 8</b> Peso y mezcla de los ingredientes.....	42
<b>Figura 9</b> Molde de probetas preliminares.....	42
<b>Figura 10</b> Molde final.....	43
<b>Figura 11</b> Muestras del ensayo 2° .....	44
<b>Figura 12</b> Probetas del ensayo 3° de óptimos resultados .....	45
<b>Figura 13</b> Probetas del ensayo 4° con variaciones .....	45
<b>Figura 14</b> Probetas con látex del ensayo 4° .....	46
<b>Figura 15</b> Ensayo de compresión .....	47
<b>Figura 16</b> Probetas finales.....	48
<b>Figura 17</b> Ensayo de tracción.....	49
<b>Figura 18</b> Ensayo de flexión .....	50
<b>Figura 19</b> Ensayo de absorción de agua.....	51
<b>Figura 20</b> Probetas de aglomerado comercial .....	52
<b>Figura 21</b> Ensayo de compresión paralela .....	52
<b>Figura 22</b> Ensayo de tracción.....	53
<b>Figura 23</b> Ensayo de flexión .....	53
<b>Figura 24</b> Ensayo de absorción de agua.....	53
<b>Figura 25</b> Diagrama de compresión ensayo 2.....	55

**CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO**

<b>Figura 26</b> Diagrama de compresión ensayo 4° .....	56
<b>Figura 27</b> Diagrama de compresión probetas con látex .....	57
<b>Figura 28</b> Diagrama de compresión de las 3 mejores probetas.....	58
<b>Figura 29</b> Resultado ensayo de compresión.....	59
<b>Figura 30</b> Resultado ensayo de tracción.....	59
<b>Figura 31</b> Falla de la probeta en ensayo de flexión.....	60
<b>Figura 32</b> Probetas ensayo de absorción de agua.....	61
<b>Figura 33</b> Comparación de materiales aglomerados .....	61
<b>Figura 34</b> Comparación ensayo de compresión paralela.....	62
<b>Figura 35</b> Datos del ensayo de compresión.....	62
<b>Figura 36</b> Datos del ensayo de compresión.....	63
<b>Figura 37</b> Comparación ensayo de Flexión.....	64
<b>Figura 38</b> Comparación ensayo de absorción de agua .....	65
<b>Figura 39</b> Ladrillo ecologico.....	66
<b>Figura 40</b> Molde en forma de ladrillo .....	66

## CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO


### Anexos

Certificado de participación y divulgación del proyecto en el congreso internacional de ingeniería industrial de la universidad Areandina.



# CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO ECOLÓGICO

Participación con poster:



CONGRESO INTERNACIONAL  
DE **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

2023

Tecnologías Disruptivas en la Ingeniería Industrial

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE UN AGLOMERADO A BASE DE PARTICULAS DE CASCARILLA DE ARROZ**

Angelica Nataly Triana, Nobel Castellanos  
Corporación Universitaria Minuto de Dios

### INTRODUCCIÓN

Este proyecto se basa un aglomerado ecológico fabricado a partir del aprovechamiento de los residuos del arroz. Este material es altamente sostenible y amigable con el medio ambiente, ya que no requiere la tala de árboles ni genera residuos contaminantes. Además, se tiene como objetivo principal el estudio y/o análisis de las características mecánicas para determinar la resistencia y durabilidad del material.

### PROBLEMA

La agricultura es una actividad que genera grandes cantidades de biomasa agrícola. Este residuo es de baja biodegradabilidad siendo perjudicial para el medio ambiente si no se tiene un manejo adecuado. La quema de cascarilla puede liberar gases de efecto invernadero y otros contaminantes en el aire, mientras que la acumulación del residuo puede contaminar los suelos y las fuentes hídricas.

### OBJETIVOS

**Objetivo General:** Realizar pruebas de las características mecánicas de un aglomerado a base de partículas de cascarilla de arroz.

**Objetivos Específicos:**


- Generar un aglomerado compuesto por cascarilla de arroz.
- Realizar descripción de las características físicas y mecánicas del aglomerado.
- Comparar el aglomerado realizado con otros en el mercado.

### MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

El Marco teórico aborda los principales departamentos, zonas arroceras y las industrias arroceras más destacadas en Colombia. Para el análisis de las características del aglomerado se toma como referencia los ensayos de la norma ASTM-1037 y se recopiló información de antecedentes sobre proyectos que hayan utilizado residuos agrícolas para la fabricación de aglomerados.

Este proyecto tienen un enfoque metodológico mixto que combina tanto elementos cuantitativos como experimentales y cualitativos. El enfoque cuantitativo se centrará en el análisis de datos provenientes de los resultados experimentales, mientras que el enfoque cualitativo se utilizará para complementar y recopilar datos e información necesarios para el desarrollo integral del proyecto

### HALLAZGOS Y DISCUSIÓN



Se realizaron varios ensayos preliminares con el fin de fijar las variables del proceso de fabricación del aglomerado a base de las partículas de la cascarilla de arroz en el laboratorio. De acuerdo a las probetas se les realizara los ensayos según la norma ASTM 1037, para determinar las características mecánicas del aglomerado.

Ensayo mecánico de compresión : En el análisis estadístico, se seleccionaron las probetas que presentaron mejores resultados para la comparación del comportamiento de Deformación vs Fuerza, con el objetivo de determinar la variable adecuada para la fabricación del material.

### CONCLUSIONES

El estudio del materiales y las variables de fabricación es fundamental para lograr productos de alta calidad y eficiencia. En este proyecto hemos visto cómo se han identificado algunas de las variables más relevantes y cómo se han obtenido avances significativos en la fabricación . Sin embargo, aún queda mucho por explorar y descubrir en este campo, por lo que es importante seguir investigando y desarrollando los ensayos mecánicos del material.

Los avances de las pruebas experimentales han permitido elaborar otras alternativas de material, como un ladrillo ecológico.

### REFERENCIAS

- ASTM 1037-12: American Society for Testing and Materials (2020). Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle.
- Castro Garzon, H., Contreras, E., & Rodriguez, J. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos. *Espacios*, 43.
- Daza (2023). El Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-sistema-de-censos-y-cuestionarios-censos-muestreos>
- Delgado, D., & Saavedra, K. (2016). Industria molinera de arroz. Obtenido de Análisis cuantitativo de la competencia.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (20 de Agosto de 2020). El impacto de las quemas agrícolas: un problema de calidad del aire. Obtenido de <https://www.un.org/es/press/news-and-reports/reportes/por-que-partes-de-las-cuencas-agricolas-un-problema-de-calidad-del-aire>

