

**OBTENCIÓN DE AGLOMERADOS DE CORCHO EMPLEANDO GELATINA
COMO AGLUTINANTE**

AUTOR:

CHRISTIAN FERNANDO AGUDELO MUÑETON

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN – ANTIOQUIA**

2018

EJE DE FORMACIÓN EN INVESTIGACIÓN

MONOGRAFÍA:

**OBTENCIÓN DE AGLOMERADOS DE CORCHO EMPLEANDO GELATINA
COMO AGLUTINANTE**

AUTOR:

CHRISTIAN FERNANDO AGUDELO MUÑETON

ASESORES:

PhD. ALEJANDRO A. ZULETA GIL

D.I. Mg. DAVID A. TORREBLANCA DÍAZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DISEÑO INDUSTRIAL

MEDELLÍN – ANTIOQUIA

2018

Agradecimientos

A los docentes de la línea de investigación en Morfología Experimental del programa de Diseño Industrial, en especial a Alejandro Alberto Zuleta Gil y David Torreblanca Díaz, por su excelente instrucción y acompañamiento.

A los técnicos y personal de los laboratorios de la UPB.

Tabla de contenido

Introducción.....	8
1. Planteamiento del problema	9
1.1. Tema general del proyecto.....	9
1.2. Características generales del proyecto de investigación.....	9
1.3. Problema de investigación identificado	9
1.4. Pregunta o hipótesis de investigación	10
1.5. Elementos del problema de investigación.....	10
1.6. Limitaciones de la investigación: alcances y riesgos.....	10
2. Justificación	12
3. Marco de referencia	13
3.1. Antecedentes	13
3.1.1. El corcho	13
3.1.2. Propiedades físicas, mecánicas y medioambientales del corcho.....	14
3.1.3. Usos y aplicaciones del corcho en la industria.....	15
3.1.4. Materiales compuestos y aglomerados base corcho.....	16
3.1.5. Aglutinantes usados para la producción de aglomerados de corcho.....	17
3.2. Estado del arte.....	18
3.3. Conceptualización de los elementos del problema	20
3.3.1. La gelatina	20
3.3.2. Material aglomerado	21
3.3.3. Granulometría.....	21
3.3.4. Aglutinantes: sintéticos y naturales.....	21
3.3.5. Producción sustentable	21
4. Objetivos.....	22
4.1. Objetivo general.....	22
4.2. Objetivos específicos.	22

5. Metodología.....	23
5.1. Definición de la formulación química del aglutinante de gelatina.	23
5.2. Fabricación de probetas de corcho granulado aglomerado con gelatina.	24
5.3. Medición de la densidad y ensayo de compresión.....	26
6. Resultados y discusión	28
6.1. Definición de la formulación química del aglutinante natural.	28
6.2 Fabricación de probetas de corcho granulado aglomerado con gelatina.	30
7. Estudios adicionales realizados durante el desarrollo de esta investigación	34
8. Conclusiones.....	38
9. Referencias	39
10. Anexos.....	41

Listado de figuras

<i>Figura 1.</i> Morfología molecular del corcho compuesta por celdas prismáticas. (Fernandes et al., 2010)	14
<i>Figura 2.</i> Comparativa de la densidad vs coeficiente de pérdida mecánica del corcho con materiales naturales, polímeros y elastómeros.	14
<i>Figura 3.</i> Comparativa de la calidez táctil vs aislamiento acústico del corcho con otros materiales naturales, polímeros y compuestos.	15
<i>Figura 4.</i> (a) Fabricación de diferentes tapones de corcho para vinos y licores. (b) Ejemplos de diferentes productos y aplicaciones del corcho (Amorim Cork, 2017)	16
<i>Figura 5.</i> (a) muestras hechas por moldeo por inyección: 1. PHBV y PHBV/Corcho; 2. PLA y PLA/Corcho; 3. PCL y PCL/Corcho; 4. SPCL y SPCL/Corcho. (b) Pellets de SPCL/Corcho. (c) Tapones para botellas de vino de Poliestireno (PS) y de biocompuestos de corcho. (Fernandes et al., 2015).....	20
<i>Figura 6.</i> (a) Probeta para prueba de adherencia. (b) Montaje de la probeta en la Máquina Universal Instron.	24
<i>Figura 7.</i> Proceso de reducción de tamaño de partícula del corcho. (a) Triturado del corcho en molino de martillos. (b) Tamizado de los gránulos con diferentes tamaños de malla.	24
<i>Figura 8.</i> Granulados de corcho obtenidos por tamizado. (a) malla 4, (b) malla 6, (c) malla 8, (d) malla 10, (e) sobrante después del mallado con tamaños de partícula despreciables.....	25
<i>Figura 9.</i> Imágenes del proceso de obtención de las probetas para el ensayo de compresión. (a) Moldes de tubería cuadrada de acero y bases de madera para formaletas. (b) Contenedores para mezcla de gránulos de corcho con el aglutinante de gelatina. (c) Compactación del material aglomerado con prensa hidráulica.	26
<i>Figura 10.</i> Disposición de las probetas en la maquina universal Instron para ensayo de compresión.	27
<i>Figura 11.</i> Primeras muestras del material natural de gelatina con diferentes concentraciones de Glicerina.....	28
<i>Figura 12.</i> Probetas obtenidas de la aglomeración de corcho granulado con aglutinante de gelatina, con diferente tamaño de partícula.	31
<i>Figura 13.</i> Diagrama compresión-deformación comparativo de las probetas del aglomerado de corcho con diferentes tamaños de partícula.	32

<i>Figura 14.</i> Probetas del aglomerado de corcho y gelatina después del ensayo de compresión.	33
<i>Figura 15.</i> Muestras con agentes minerales para prueba de permeabilidad: (a) sin mineral, (b) montmorillonita, (c) carbonato de calcio, (d) talco industrial.	34
<i>Figura 16.</i> (a) Disposición de las muestras sobre papel absorbente. (b) Vertimiento del agua con ayuda de una jeringa.....	35
<i>Figura 17.</i> Muestras del aglutinante de gelatina después de la prueba de permeabilidad. (a) El papel absorbente no presenta señales de filtración de humedad. (b) Deformación sufrida por las muestras después de una hora.....	37

Listado de tablas

Tabla 1. Composición del aglutinante de gelatina con respecto a 1 litro de agua.....	23
Tabla 2. Tamaños de partícula seleccionados para la fabricación de probetas.	25
Tabla 3. Resultados del ensayo de tracción de las formulaciones del aglutinante de gelatina.	29
Tabla 4. Medición de la densidad aparente de cada probeta.	31
Tabla 5. Resultados del ensayo de compresión a probetas aglomeradas de corcho.....	32
Tabla 6. Resultados de la prueba de permeabilidad del aglutinante con agentes minerales.....	35
Tabla 7. Porcentaje aproximado de deformación	36

Introducción

El presente proyecto de investigación aborda la implementación de materias primas naturales para la fabricación de un material aglomerado amigable con el medio ambiente, en concordancia con las necesidades actuales de producción sostenible y las problemáticas de contaminación que genera la industria, buscando ofrecer materiales que puedan ser pensados de manera responsable en todo su ciclo de vida. La investigación se centró en la obtención de aglomerados de corcho granulado utilizando la gelatina de origen animal como material aglutinante, con la intención de proponer un reemplazante natural, sustentable y de bajo costo a los aglutinantes sintéticos y contaminantes que se usan en la producción de este tipo de materiales. El proyecto se llevó a cabo por medio de experimentaciones y ensayos físicos y mecánicos para determinar la formulación del aglutinante de gelatina a usar en la fabricación del material aglomerado, la incidencia de diferentes tamaños de partícula en el comportamiento mecánico del material y su relación con propiedades físicas como la densidad presentada por cada uno. Los resultados se obtuvieron por medio de pruebas de adherencia, fabricación de muestras del material en moldes, ensayos de compresión, análisis de propiedades físicas y comparaciones con el fin de determinar las principales propiedades y características del material y la potencialidad de su implementación en aplicaciones del diseño industrial.

1. Planteamiento del problema

1.1. Tema general del proyecto

Desarrollo de un material sostenible a partir de corcho, usando gelatina como aglutinante.

1.2. Características generales del proyecto de investigación

Este proyecto está enmarcado en una investigación de tipo experimental, en el cual se estudia la posibilidad de utilizar la gelatina de origen animal como material aglutinante natural para producir aglomerados de corcho granulado. Se analizaron propiedades físicas y mecánicas de la gelatina, tanto de manera individual como de los aglomerados de corcho granulado obtenidos, variando las cantidades de los componentes usados para la obtención de la matriz base gelatina y el tamaño de partícula del corcho con el fin de estudiar el efecto de estas variaciones sobre las propiedades anteriormente mencionadas.

1.3. Problema de investigación identificado

La protección medioambiental, la producción sostenible y el ciclo de vida de los productos son tópicos de gran interés e importancia en la industria actual, y cada vez es demandada una mayor conciencia y control en el impacto de la producción industrial y la explotación de materias primas. En la actualidad se busca trabajar con materiales que desde su extracción hasta su disposición final permitan una producción sostenible, renovable y cuyos desechos puedan ser reciclados y reutilizados alargando su vida útil.

El corcho es uno de los materiales naturales que mejor relación entre sus propiedades físicas, mecánicas y ambientales presenta. De este material se destacan su baja densidad ($0.21 - 0.25\text{g/cm}^3$), su elasticidad, su alto coeficiente de fricción, sus capacidades aislantes térmicas y acústicas, entre otras. Además, el hecho de que sea un material natural, orgánico, renovable, biodegradable y cien por ciento reciclable, lo convierte en una materia prima favorable para su implementación en una cadena de producción sostenible. A pesar de ello, su uso en estado natural está prácticamente limitado a la fabricación de tapones para el vino y otros licores, el resto de la producción de corcho es granulado y utilizado para generar aglomerados que se aglutinan con aditivos, resinas y pegamentos sintéticos, en su inmensa mayoría, de epoxis, fenoles, ésteres y uretanos,

los cuales no son amigables con el medio ambiente, lo que hace que su implementación en la producción de aglomerados de corcho contrarreste las propiedades ambientales de la materia prima. La posibilidad de utilizar aglutinantes naturales ha sido escasamente estudiada y los métodos que existen resultan complejos y costosos, solo accesibles para industrias limitadas.

Otra de las materias primas naturales es la gelatina, la cual ha sido frecuentemente usada en diversos ámbitos como culinarios y farmacéuticos. Sin embargo, esta materia prima ha sido poco explorada y estudiada como posibilidad de ser un material aglutinante para la industria. El objeto de ésta investigación es identificar la posibilidad que tiene la gelatina de ser usada como material aglutinante natural para producir aglomerados de corcho granulado, como una combinación estratégica de materias primas naturales que puedan generar un material ambientalmente amigable y de producción sostenible.

1.4. Pregunta o hipótesis de investigación

La gelatina puede emplearse como aglutinante natural para generar aglomerados de corcho que puedan usarse en aplicaciones de diseño industrial.

1.5. Elementos del problema de investigación

Entre los elementos del problema más importantes que presenta esta investigación se encuentra el corcho y la gelatina como materiales naturales, sus propiedades físicas, mecánicas y medioambientales, los materiales aglomerados y los aglutinantes usados, la producción sustentable y el ciclo de vida de los productos.

1.6. Limitaciones de la investigación: alcances y riesgos.

En este proyecto se determinó usar únicamente materiales naturales, el corcho y la gelatina, cuya implementación disminuyera lo más posible los impactos negativos en el medio ambiente, que desde su extracción hasta su disposición final generara un ciclo de vida sostenible.

Las propiedades a analizar en el material aglomerado serían físicas como la densidad y la permeabilidad y mecánicas como resistencia a la tracción y resistencia a la compresión, que son factores que usualmente se espera que posean en niveles aceptables los aglomerados de corcho.

Las variables que se trabajaron en la gelatina estuvieron relacionadas con la cantidad utilizada de sus componentes en la mezcla para la conformación de aglutinante. En cuanto al aglomerado de corcho con la gelatina se analizó el efecto del tamaño de partícula en relación con sus propiedades mecánicas.

Como alcance esta investigación se propone determinar si el material aglomerado resultante presenta propiedades, en términos de comportamiento mecánico y adherencia entre el aglutinante y el corcho, adecuadas para mantener la unión entre los componentes del material propuesto que permitan aproximarse a las características que presentan los aglomerados de corcho convencionales, pudiendo utilizarse en alguna aplicación del diseño industrial, claro está, con la posibilidad de estudiar y analizar a futuro el mejoramiento de las propiedades que presenta.

2. Justificación

El empleo de materiales en la industria cuyos componentes provengan de materias primas renovables y con ciclos de vida sostenibles se ha convertido ahora en una responsabilidad casi ineludible, ya que no se dispone de recursos naturales ilimitados y se precisa con urgencia buscar alternativas que suplan las exigencias del consumo masivo sin perjudicar aún más el ecosistema. Los materiales que usa la industria requieren de características de extracción, transformación y disposición final que se integren a las nuevas políticas de producción y consumo sostenible, por ello, el uso de materiales naturales como el corcho, que es renovable, reciclable y biodegradable combinado con otras materias primas que también sean naturales y amigables con el medio ambiente, como la gelatina, y que logren evitar el uso de aditivos y procesos contaminantes deberían ser bienvenidos y bastante valorados en las cadenas de producción de las industrias comprometidas con la preservación ambiental; allí radica la importancia y validez de esta investigación en el campo del diseño industrial, cuya una de sus principales funciones es utilizar y transformar materiales en productos industriales. El estudio de la potencialidad de utilizar la gelatina natural como aglutinante es relevante ya que podría significar en un futuro el reemplazo de aglutinantes sintéticos en la producción de cualquier tipo de aglomerados; sin embargo, este proyecto pretende ir más allá implementado dos materias primas naturales cuya resultante sería un potencial material aglomerado con propiedades físicas y mecánicas acordes a este tipo de materiales, pero principalmente con propiedades medio ambientales amigables, sostenibles y acordes a lo que exige la producción industrial responsable de hoy.

La aglomeración de granulados de corcho con gelatina es un proceso sencillo y de bajo costo y que no requiere de mayores procesos industriales, inclusive se puede hacer de forma manual y experimental, brinda muchas posibilidades de experimentar con la forma y podría tener gran cantidad de aplicaciones en el diseño de productos. Aunque Colombia no es país productor de corcho, sí se utilizan en gran cantidad tapones de corcho para vinos y licores, los cuales se convierten en desechos debido a que no existe una política o programa serio de reciclaje de los mismos en el país; por ello, el reciclar dichos tapones y utilizarlos para obtener los granulados con los cuales hacer el aglomerado con gelatina, puede ser una manera de extender la vida útil de este producto y darle un nuevo uso al material. En este proyecto de investigación, por ejemplo, se

utilizan tapones de vino reciclados para obtener los granulados y fabricar las muestras de aglomerados con gelatina.

3. Marco de referencia

3.1. Antecedentes

3.1.1. El corcho

El corcho es un material que ha estado presente durante mucho tiempo en el repertorio de materias primas que el hombre ha utilizado para la producción de bienes y para usos muy diversos debido a sus características particulares. Se denomina Corcho a la corteza que presenta el árbol alcornoque (*quercus suber L.*), una especie que crece en áreas forestales, llamadas alcornocales, que se encuentran en países del Mediterráneo Occidental como son Portugal, España, Italia, Francia, Marruecos, Túnez y Argelia (Amorim Cork, 2017). El alcornocal es uno de los ecosistemas naturales más valiosos del Mediterráneo, ya que es capaz de detener el avance del desierto, sirve de protección contra la erosión, es productor de oxígeno y un gran retenedor de dióxido de carbono causante del efecto invernadero (ASECOR, 2017b). Se calcula que existen alrededor de 2,3 millones de hectáreas de alcornocal en el mundo; Portugal posee el 32% de dicha distribución y tiene una participación del 55% en la producción del corcho mundial, que lo convierte en el mayor productor de dicha materia prima en el mundo (Amorim Cork, 2017).

La extracción del corcho del alcornocal, es decir su corteza, se denomina la saca, es un proceso controlado que no requiere la tala del árbol ni lo perjudica de ninguna manera, ayuda a que éstos se regeneren y su explotación industrial contribuye al mantenimiento de los bosques; se estima que solo en Portugal hay una cantidad de corcho explotable suficiente como para satisfacer la demanda del mercado durante los próximos 100 años (Amorim Cork, 2017). El proceso de descorche o saca para cada árbol es cíclico, se realiza cada 9 años, y de media, cada alcornoque es sometido a 16 sacas durante su vida, que es de aproximadamente entre 150 y 200 años (ASECOR, 2017b).

La estructura celular de este material consta de celdas con formas prismáticas pseudopentagonales y pseudohexagonales (ver *Figura 1*) que se encuentran llenas con

una mezcla de gases similares al aire, lo que le permite ser un material muy ligero (Fernandes, Correlo, Chagas, Mano, & Reis, 2010). Hay aproximadamente 40 millones de celdas en cada centímetro cúbico de corcho; el principal componente de sus celdas es la suberina (30-50%) que está formado por ácidos grasos hidróxidos y epóxidos unidos por enlaces éster, el resto de sus componentes son la lignina, celulosa y polisacáridos, taninos y ceroides (Pereira, 1988).

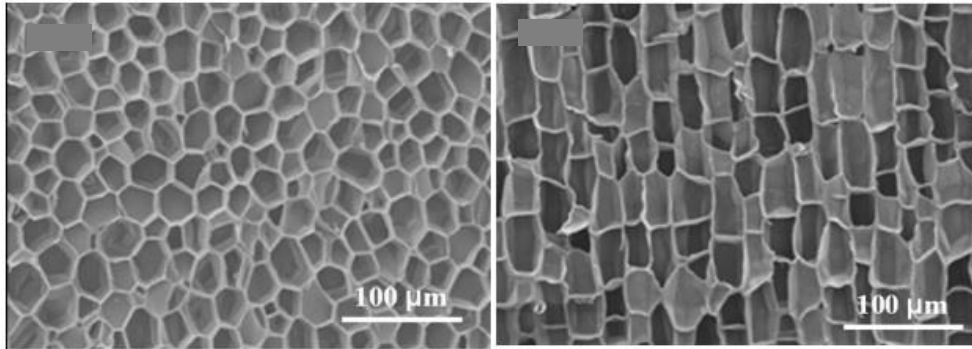


Figura 1. Morfología molecular del corcho compuesta por celdas prismáticas. Fuente: (Fernandes et al., 2010)

3.1.2. Propiedades físicas, mecánicas y medioambientales del corcho.

Las características de la estructura molecular y composición química mencionadas anteriormente hacen del corcho un material con unas propiedades mecánicas y físicas particulares. Como se puede observar en la Figura 2, donde se compara la densidad versus coeficiente de pérdida mecánica o *damping* del corcho con otros materiales naturales, polímeros y elastómeros, se evidencia que su baja densidad es un factor diferenciador con respecto a otros materiales.

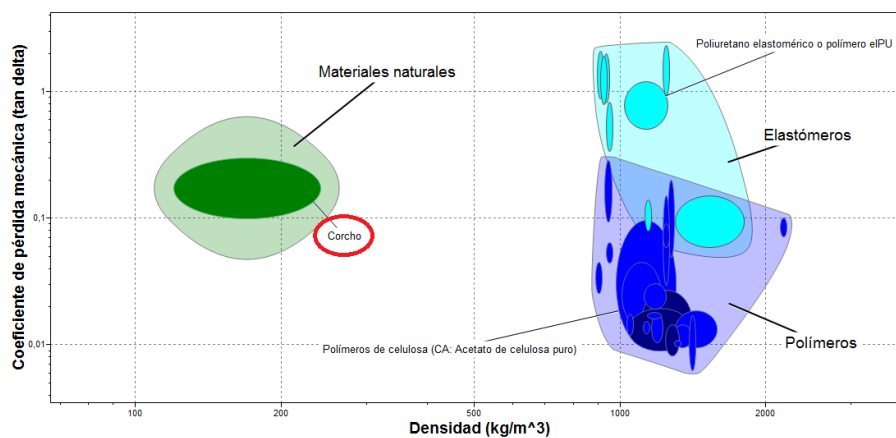


Figura 2. Comparativa de la densidad vs coeficiente de pérdida mecánica del corcho con materiales naturales, polímeros y elastómeros. Fuente: CES Edupack, Granta Design.

Su estructura le permite además ser un material elástico y comprensible con una gran flexibilidad y resiliencia, tener excelentes propiedades de aislamiento acústico y térmico a la vez que genera una sensación de calidez al tacto al mantener una temperatura muy cercana a la del cuerpo humano (ver *Figura 3*), alta resistencia al desgaste por impactos o fricción con otras superficies duras, lenta combustión y un elevado coeficiente de fricción. La suberina como su componente principal hace del corcho un material impermeable a los líquidos y gases, hermético, antiestático, anti alergénico al no absorber polvo y prácticamente imputrescible (APCOR, 2017).

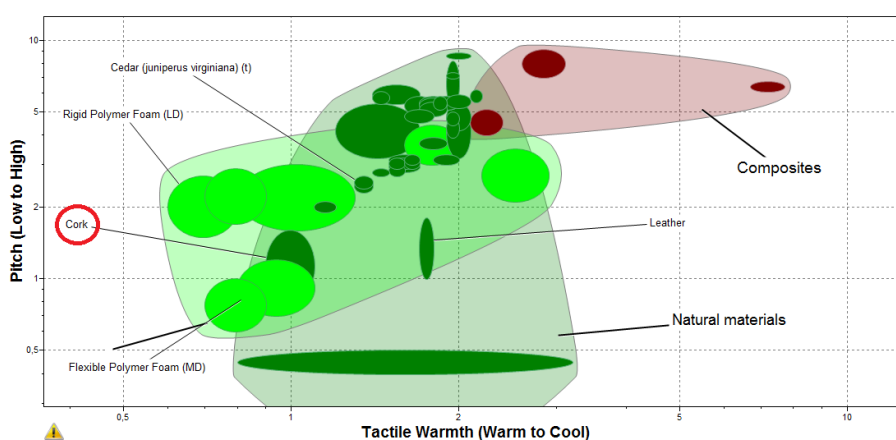


Figura 3. Comparativa de la calidez táctil vs aislamiento acústico del corcho con otros materiales naturales, polímeros y compuestos. Fuente: CES Edupack, Granta Design.

El corcho es un material altamente valorado por sus características medio ambiente, ya que es natural, biodegradable, renovable y reciclable, y su explotación permite una producción sostenible durante todo su ciclo de vida (ASECOR, 2017b).

3.1.3. Usos y aplicaciones del corcho en la industria.

Se estima que aproximadamente el 70% de la producción mundial de corcho se destina a la fabricación de tapones para el vino (ver *Figura 4 a.*), representando la actividad con mayor valor añadido para la industria del corcho (ASECOR, 2017b); sin embargo, por la posibilidad de granular y aglomerar el corcho, y de generar diversos materiales compuestos con él, también es utilizado ampliamente para la fabricación de variedad de productos, como los descritos por la Agrupación Sanvicenteña de Empresarios del Corcho (ASECOR, 2017a) en su web informativa: láminas de corcho natural o aglomerado para aislamiento acústico y térmico (para construcción,

aplicaciones aeroespaciales, etc.), paneles decorativos para revestimientos de suelos, paredes y techos, juntas para automoción, suelas y plantillas para calzado, artículos de pesca y componentes de artículos deportivos, componentes especiales para instrumentos musicales, muebles y objetos de decoración, productos y útiles de escritorio, moda y complementos (como ropa, bolsos, cinturones, relojes, gorras, paraguas, carteras, etc.), embalajes, etiquetas, molduras, componentes especiales para productos ortopédicos, entre muchas otras aplicaciones en el sector de la construcción, del diseño, de la moda, de la decoración, la industria automotriz y el sector aeronáutico y naval. (Ver *Figura 4 b.*)



Figura 4. (a) Fabricación de diferentes tapones de corcho para vinos y licores. (b) Ejemplos de diferentes productos y aplicaciones del corcho. Fuente: (Amorim Cork, 2017)

3.1.4. Materiales compuestos y aglomerados base corcho

La posibilidad de granular el corcho ha permitido desarrollar una gran diversidad de materiales aglomerados y compuestos. Las principales presentaciones industriales que se obtienen del corcho aglomerado son los cilindros, bloques, láminas, rollos, paneles, paneles tipo sándwich, entre algunos otros (Amorim Cork Composites, 2017), los cuales se destinan a ser implementados en diferentes sectores.

Entre los materiales aglomerados del corcho se puede distinguir básicamente tres tipos (Pereira, 2007), el primero es el aglomerado de corcho puro expandido, también llamado “*black cork*” o aglomerado negro (debido al color que toma después de procesado), el cual se produce usando granulados de corcho virgen que se disponen en moldes de compresión y bajo la acción de vapor de agua que hierve a 350-370°C, los

gránulos se expanden y destilan su resina llamada suberina, la cual actúa como material aglutinante y se forma el bloque sólido o la forma dispuesta por el molde; este proceso evita utilizar cualquier tipo de aglutinantes o aditivos sintéticos; su principal y más usual aplicación es en el sector de la construcción, para generar revestimientos donde se requiera un excelente aislamiento acústico, térmico o de vibraciones (Chiebao, 2011).

El segundo tipo de aglomerado se denominada aglomerado blanco o “*White agglomerate*”, en el cual los granulados de éste se obtienen directamente de los residuos de la producción de tapones. Estos granulados se aglomeran mediante el uso de presión, temperatura y una resina o aditivo como aglutinante (de los cuales hablaremos más adelante); este tipo de aglomerado es el más común y el más utilizado en aplicaciones y productos en muchos sectores de la industria (Chiebao, 2011) como los ejemplificados anteriormente. El tercer tipo de aglomerados se denomina aglomerados compuestos, en los cuales se integran a los granulados de corcho otro tipo de materiales con el fin de mejorar sus propiedades físicas y/o mecánicas, generando diferentes tipos de materiales compuestos. El tipo de material con el cual se integra el corcho para producir el material compuesto depende del uso que se le pretenda dar y las características particulares que se necesiten lograr (Pereira, 2007). El aglomerado compuesto más común es el denominado “*Rubber Cork*” que se compone de corcho cuidadosamente seleccionado que es comprimido y mezclado con caucho; este compuesto combina la resiliencia del caucho con las propiedades mecánicas del corcho y es utilizado en el sector de la tecnología, la ingeniería y la construcción por su alta precisión y resistencia entre otras cualidades (Chiebao, 2011). Entre otros aglomerados compuestos con corcho, que cada vez toman más protagonismo en la industria, están los que integran otros materiales como plásticos, caseína, asfaltos, cementos, yesos, entre otros, que se desarrollan para aplicaciones muy específicas (Chiebao, 2011).

3.1.5. Aglutinantes usados para la producción de aglomerados de corcho.

Para la fabricación de aglomerados, excluyendo los aglomerados de corcho puro expandido o “*black cork*”, se requiere el uso de aditivos, adhesivos o aglutinantes, ya sean sintéticos o naturales. Los aglutinantes más comúnmente usados incluyen polímeros termoestables como las resinas de urea-formaldehído, melaninas o adhesivos fenólicos, o polímeros termoplásticos como los poliuretanos (Pereira, 2007). “Desde hace unos años ha habido preocupación por el uso de compuestos con resinas fenólicas por la liberación de volátiles tóxicos en ambientes interiores como emisiones de fenol y

furfural en compuestos de corcho” (Pereira, 2007). El aglutinante que se usa típicamente para producir tapones de corcho aglomerado es el diisocianato de tolueno (TDI) y el diisocianato de difenilmetano (MDI), los cuales son adhesivos que se usan en la síntesis de poliuretano, estos han sido aprobados por la Food and Drug Administration (FDA) para estar en contacto con alimentos y bebidas (Moreira, Costa, & Neto da Silva, 2015); a pesar de ello, ambos están clasificados como “muy tóxicos” por la Comunidad Europea debido al peligro que existe con su contacto, inhalación o ingesta ya que pueden causar irritación, reacciones alérgicas y problemas respiratorios serios (IPCS, 2005). Para la fabricación de diferentes materiales compuestos a base de corcho para la industria se continúan usando típicamente resinas como poliéster, viniléster, epóxicas y fenólicas, aunque últimamente, grandes empresas dedicadas al estudio y manufactura de productos con corcho han buscado implementar otra clase de polímeros como el polietileno (PE), el cloruro de polivinilo (PVC) y el ácido poliláctico (PLA) (Amorim Cork Composites, 2017).

3.2. Estado del arte

La implementación de adhesivos o aglutinantes de origen natural para la generación de aglomerados de corcho es un tema que se ha explorado poco; aparte del aglomerado de corcho expandido que no utiliza aglutinantes, no existen muchos estudios que hablen acerca de reemplazar los adhesivos sintéticos que se usan actualmente por otras opciones naturales y amigables con el medio ambiente. Entre los autores que han hecho estudios y análisis sobre este tema se ha encontrado:

Paiva et al. (2016), investigaron la potencialidad de dos polisacáridos para ser usados como un posible material aglutinante natural para el corcho en reemplazo de los adhesivos sintéticos usados actualmente. Los materiales usados fueron la goma xantana (XG), un polisacárido extracelular producido por la bacteria *Xanthomonas Campestris* y el chitosan (CS) que es un elemento obtenido de la quitina. Para las pruebas, el xantano fue sometido a un proceso de oxidación para mejorar su resistencia al agua. Los adhesivos fueron disueltos en agua y se generaron muestras con diferentes concentraciones de masa, dichas muestras se sometieron a pruebas de solubilidad en agua y de resistencia a la tracción, se utilizó como punto de comparación y referencia los valores de resistencia a la tracción del adhesivo de uretano prepolímero (PUR) que

es el que típicamente se utiliza como aglutinante en compuestos de corcho granulado. El estudio mostró que el corcho aglomerado con xantano no es resistente al agua, sin embargo, al someterlo primero al proceso de oxidación, sí presenta buenos valores de resistencia al agua aún mayores que el chitosan y los adhesivos de poliuretano; al combinar el xantano con el chitosan se observó que el desempeño del material no es muy diferente al de los adhesivos comunes. Ambos polisacáridos tienen potencial para ser usados como aglutinante para los aglomerados de corcho, especialmente en términos de resistencia al agua.

Por otro lado, Santos et al. (2016), desarrollaron una nueva formulación de un adhesivo de dos componentes a base de agua, utilizando el polvo de corcho por medio de un proceso de licuefacción para obtener un pegamento para superficies lignocelulósicas, principalmente corcho y madera, con el fin de crear un nuevo ecoadhesivo sustentable y medioambientalmente amigable. Utilizaron un residuo de la industria del corcho, llamado polvo de corcho o “*cork dust*”, el cual se suele utilizar para generar algunos aglomerados pero principalmente como combustible para hornos de fuego en la industria del corcho y de la cerámica; lo sometieron a un proceso llamado licuefacción el cual consiste en la extracción acuosa de un material por medio de una mezcla de solventes a una temperatura y tiempo determinado, después procedieron a la formulación del adhesivo de dos componentes usando como endurecedor un compuesto de curado alifático; utilizaron este adhesivo resultante para unir dos tapones de corcho y realizar pruebas de resistencia a la tracción con dichas muestras. Los resultados mostraron que las formulaciones que contienen la extracción acuosa del licuado de corcho puede ser usado para unir dos superficies lignocelulósicas. La licuefacción del polvo de corcho puede ser una solución para reciclar estos residuos y disminuir la huella de carbono generada por la industria que utiliza recursos fósiles para producir sus adhesivos. La adición de polvo de corcho a la formulación del adhesivo incrementa su resistencia a la cizalladura.

Por su parte, Fernandez, Correlo, Mano y Reis (2015), prepararon biocompuestos de corcho mediante la combinación de diferentes poliésteres alifáticos biodegradables como material aglutinante con corcho granulado, con el fin de analizar las propiedades físico-mecánicas y térmicas que presentaban por medio de pruebas de laboratorio; los biopolímeros que usaron en la preparación de los compuestos incluyen el ácido poliláctico (PLA), el polihidroxibutirato-co-hidroxivalerato (PHBA), el

policaprolactona (PCL) y el Almidón policaprolactona (SPCL), los cuales son obtenidos por la fermentación de biomasa o de plantas genéticamente modificadas, por la síntesis de monómeros obtenidos de la biomasa o los que son totalmente sintetizados por los procesos petroquímicos como el PCL. Las muestras (ver *Figura 5*) fueron fabricadas por extrusión y moldeo por inyección y se estudió en cada una de ellas su densidad, su morfología, sus propiedades mecánicas como el módulo de Young y sus propiedades térmicas. El estudio mostró que el corcho contribuye a producir materiales ligeros usando matrices de PLA y PHBA y promueve un incremento de la rigidez del PCL al igual que aumenta el grado de cristalinidad de los biocompuestos; la observación de la morfología de la fractura muestra una buena unión de la matriz con el corcho por la ausencia de huecos o cavidades entre éste y los poliésteres. Los hallazgos sugieren que los biocompuestos de corcho-polímero son una alternativa viable para desarrollar materiales compuestos más sostenibles.

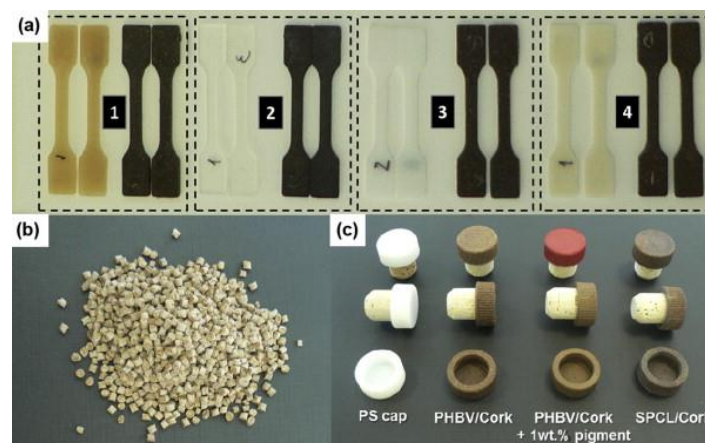


Figura 5. (a) muestras hechas por moldeo por inyección: 1. PHBV y PHBV/Corcho; 2. PLA y PLA/Corcho; 3. PCL y PCL/Corcho; 4. SPCL y SPCL/Corcho. (b) Pellets de SPCL/Corcho. (c) Tapones para botellas de vino de Poliestireno (PS) y de biocompuestos de corcho. Fuente: (Fernandes et al., 2015)

3.3. Conceptualización de los elementos del problema

Se presenta a continuación la definición de los conceptos más relevantes que involucra la problemática planteada en este proyecto:

3.3.1. La gelatina

Es un coloide gel (mezcla semisólida a temperatura ambiente) que es obtenida a partir del colágeno que proviene del tejido conectivo de animales hervido en agua. Es una proteína compleja, es decir, un polímero compuesto de aminoácidos. Su componente de proteína es un 98-99%, sales minerales en un 1-2% y agua. Es incolora, translúcida,

quebradiza e insípida. La materia prima se obtiene de la piel, los huesos, tendones, órganos y vísceras de ganado vacuno, porcino y avícola. Sus principales aplicaciones se encuentran en la industria alimentaria, la industria farmacéutica y la industria cosmética. (Gelatine Manufacturers of Europe, 2018)

3.3.2. Material aglomerado

Es aquel material elaborado a partir de partículas o fibras homogeneizadas y prensadas, las cuales se aglomeran o unen con diferentes adhesivos o resinas según el tipo de material a aglomerar y la aplicación al que vaya a ser sometido. (Ebnesajjad, 2010)

3.3.3. Granulometría

Se deriva de la palabra gránulo, que significa “pequeño grano”. Son los métodos de medición y clasificación del tamaño de un grano o partícula que implica un procedimiento manual o mecánico por medio del cual se separan las partículas de un agregado a través de mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de los gránulos en cada una de ellas. (Centroamericana, 2014)

3.3.4. Aglutinantes: sintéticos y naturales

Un aglutinante o adhesivo es un material o sustancia que se utiliza para unir la superficie de materiales sólidos permanentemente; alguna de estas sustancias requieren de factores como presión o temperatura o ambas para producir la adhesión entre partículas. Los materiales aglutinantes pueden ser clasificados de varias maneras, entre ellas por su composición química o su funcionalidad, sin embargo se suelen diferenciar en dos grandes tipos: los aglutinantes naturales, los cuales incluyen adhesivos de origen animal y vegetal como proteínas y caseínas y los aglutinantes sintéticos, los cuales son adhesivos derivados de polímeros como resinas termoplásticas, resinas termoestables y resinas elastoméricas. (Ebnesajjad, 2010)

3.3.5. Producción sustentable

Hace referencia a la producción de servicios y productos que minimiza el uso de los recursos naturales no renovables y de materiales tóxicos, al igual que las emisiones de los residuos y los contaminantes durante el ciclo de vida del servicio o del producto, con la intención de evitar poner en peligro las necesidades de las generaciones futuras. (Ministerio de medio ambiente de Noruega, 1994)

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Obtener aglomerados de corcho con diferente granulometría empleando la gelatina como material aglutinante

4.2. Objetivos específicos.

1. Definir la formulación química del aglutinante natural de gelatina.
2. Fabricar muestras de aglomerados base corcho con diferente granulometría.
3. Caracterizar mecánicamente las muestras de aglomerado de corcho obtenidas.
4. Determinar el efecto del tamaño de partícula del corcho sobre las propiedades mecánicas del aglomerado obtenido.

5. Metodología

5.1. Definición de la formulación química del aglutinante de gelatina.

Para esto se partió de un material natural empleado en trabajos previos (Baena, 2018) para la elaboración de un contenedor polimérico biodegradable. Con el fin de evaluar su comportamiento de secado y sus características visuales y táctiles, se fabricaron muestras variando la cantidad de plastificante (glicerina) durante su preparación. Se realizaron tres variaciones en la cantidad de plastificante. La composición de las muestras se especifica en la *Tabla 1*. Luego de esto se realizó un registro fotográfico de las muestras con el fin de observar diferencias visuales entre ellas.

Tabla 1

Composición del aglutinante de gelatina con respecto a 1 litro de agua.

Componente	Composición
Gelatina en polvo	240 g/L
Glicerina (plastificante)	29.6, 60 y 120 g/L
Extracto de ajo	5.6 g/L

Posteriormente, para observar el comportamiento del aglutinante empleado en contacto con el corcho en términos de adherencia, se realizó una prueba que consiste en unir dos fragmentos de corcho, empleando las tres formulaciones de aglutinante definidas previamente, para luego, una vez secas, someterlas a un esfuerzo de tracción en una máquina universal de ensayos Instron, la cual permite graficar las curvas del esfuerzo soportado por las probetas para poder comparar. Se fabricaron tres probetas por cada formulación, por lo cual en total se ensayaron nueve probetas. En la *Figura 6* se muestra las probetas fabricadas y su disposición en la máquina de ensayos.



(a) (b)

Figura 6. (a) Probeta para prueba de adherencia. (b) Montaje de la probeta en la Máquina Universal Instron.

Lo anterior se realizó con el fin de elegir la formulación del aglutinante de gelatina que mejor adherencia presentara con el corcho, conservando su flexibilidad y estabilidad estructural.

5.2. Fabricación de probetas de corcho granulado aglomerado con gelatina.

La siguiente fase, después de determinar la formulación química del aglutinante de gelatina a emplear, fue obtener partículas de corcho natural con tres granulometrías diferentes con el fin de evaluar su efecto en la resistencia mecánica del material aglutinado. Para esto se utilizaron tapones de corcho reciclados, los cuales fueron triturados empleando un molino de martillos para obtener los gránulos y posteriormente se tamizaron con mallas según la norma ASTM E11 para clasificarlos por tamaño de partícula. Lo anterior se puede evidenciar en la *Figura 7*.



(a) (b)

Figura 7. Proceso de reducción de tamaño de partícula del corcho. (a) Triturado del corcho en molino de martillos. (b) Tamizado de los gránulos con diferentes tamaños de malla.

El proceso de molienda permitió obtener granulados en diferentes tamaños de partícula según el tiempo que se dejara en rotación los martillos del molino. Se emplearon entre 30 y 40 tapones de corcho reciclado para la trituración y con esto se obtuvo el material para poder realizar posteriormente las probetas aglomeradas. El proceso de tamizado se realizó con mallas #4, #6, #8 y #10 según el estándar ASTM E11, de esto se obtuvieron cinco tamaños de partícula como se muestra en la *Figura 8*.

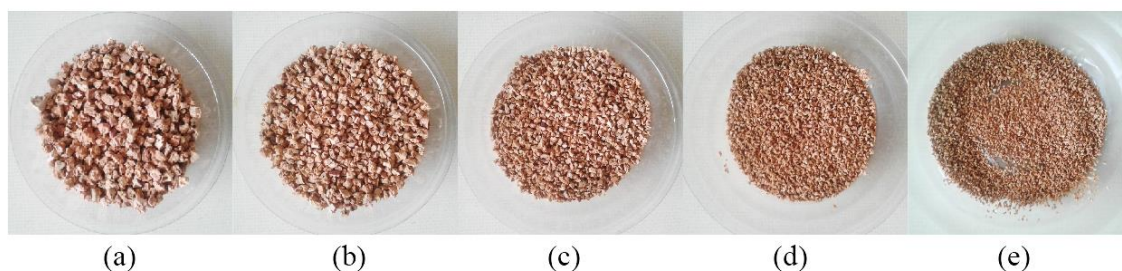


Figura 8. Granulados de corcho obtenidos por tamizado. (a) malla 4, (b) malla 6, (c) malla 8, (d) malla 10, (e) sobrante después del mallado con tamaños de partícula despreciables.

Para la fabricación de las probetas se escogieron tres tamaños de partícula que tuvieran diferencias más notorias en su dimensión para que la comparación pudiera ser más amplia, las medidas se expresan en la *Tabla 2*.

Tabla 2
Tamaños de partícula seleccionados para la fabricación de probetas.

Número de malla	Tamaño de partícula (mm)
4	7-9 ± 0.1
6	5-6 ± 0.1
8	3-4 ± 0.1

Para la fabricación de las muestras aglomeradas, se revisó la norma ASTM D7031-11, que establece una guía estándar para evaluar las propiedades mecánicas y físicas de compuestos madera-plástico, por medio de la cual se determinó el tamaño y proporción requeridos de las probetas para poder ser sometidas a un ensayo de compresión estandarizado. Se utilizaron secciones de tubería cuadrada de acero como molde para las probetas con el fin de asegurar la proporción de ancho y profundidad, para posteriormente realizar el prensado del material empleando una prensa hidráulica. El molde permitió obtener probetas con dimensiones de 4.5 x 4.5 x 5.5 cm las cuales se ajustan a la norma antes mencionada. Para su elaboración se dispuso alrededor de 30 g

de corcho granulado en un recipiente al cual se le adicionó posteriormente 14 mL de aglutinante de gelatina, luego se mezcló de manera que todas las partículas de corcho quedaran impregnadas por el aglutinante; finalmente se vació el material en el molde y se llevó a una prensa hidráulica para su compactación a temperatura ambiente. Se procedió de igual manera y al mismo tiempo con las demás probetas ya que se realizaron tres muestras con tres tamaños de partícula diferentes. Los materiales y procesos se muestran en la *Figura 9*.

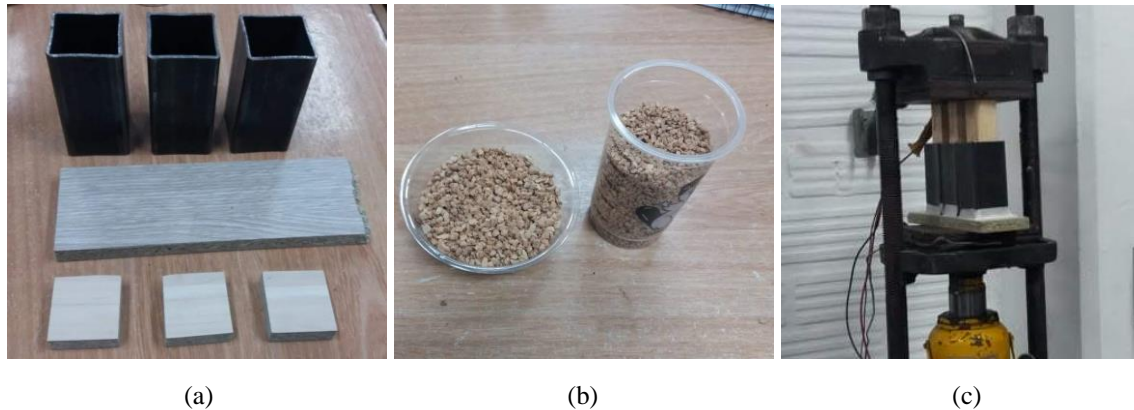


Figura 9. Imágenes del proceso de obtención de las probetas para el ensayo de compresión. (a) Moldes de tubería cuadrada de acero y bases de madera para formaletas. (b) Contenedores para mezcla de gránulos de corcho con el aglutinante de gelatina. (c) Compactación del material aglomerado con prensa hidráulica.

5.3. Medición de la densidad y ensayo de compresión.

Al tener las probetas completamente secas se procedió a realizar la medición de la densidad de cada una de ellas. Por tratarse de un material poroso y que posee aire en su interior, la medición de esta propiedad física se expresa en términos de densidad aparente, la cual es la relación entre el volumen y el peso en seco incluyendo huecos y poros que contenga (Real Academia de ingeniería, 2018), para ello se pesó cada probeta para conocer su masa y este valor se dividió por el volumen de cada una, encontrando así su densidad aparente, expresada en g/cm^3 .

Posteriormente, las muestras fueron evaluadas a compresión bajo la norma ASTM D7031-11, para lo cual se empleó una máquina universal de ensayos Instron 5582. Esta prueba se realizó con el fin de conocer y comparar la incidencia del tamaño de partícula de cada una de las probetas en su comportamiento mecánico frente a un esfuerzo de compresión-deformación. El ensayo se realizó a una velocidad de 10 mm por minuto y con un porcentaje de compactación límite del 80% con respecto a la altura de las

probetas. En la *Figura 10* se observa la disposición de la probeta en la máquina universal.



Figura 10. Disposición de las probetas en la maquina universal Instron para ensayo de compresión.

6. Resultados y discusión

6.1. Definición de la formulación química del aglutinante natural.

El primer acercamiento al material natural de gelatina permitió identificar el tiempo de secado y algunas características visuales y táctiles, estas primeras muestras del material variaban en la cantidad de plastificante añadido a la mezcla. Las muestras tardaron tres días en secar a una temperatura ambiente de 26°C aproximadamente y con un calibre de pared de 1 milímetro, este tiempo de secado se determinó por registros táctiles al material. Como se muestra en la *Figura 11*, la apariencia del material una vez seco es transparente con un leve tono amarillento y por el calibre de pared delgado tiende a curvarse o deformarse en proceso de desmolde.



Figura 11. Primeras muestras del material natural de gelatina con diferentes concentraciones de Glicerina.

Se observó que el material presenta una textura suave y lisa al tacto, y con una flexibilidad limitada pero que permite ser doblada sin que llegue a fracturarse. La diferencia notable entre ellas radica en que la cantidad de plastificante altera su rigidez, evidenciándose que a mayor cantidad de plastificante mayor será la flexibilidad y menor la rigidez, presentando una contextura más blanda y menos frágil.

Las propiedades mecánicas del material con la formulación original de la mezcla ya fueron analizadas en un trabajo previo realizado en la Facultad de Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana (Baena, 2018) y es por ello que esta investigación no planteó un estudio de las propiedades mecánicas de este material.

Prueba de adherencia

La prueba de adherencia realizada, en la cual se unieron dos fragmentos de corcho por medio del material de gelatina, permitió comparar la resistencia a la tracción de cada una de las formulaciones obtenidas en la actividad anterior. Aunque en la prueba se ensayaron tres probetas por formulación solo se consideraron los dos valores más cercanos entre ellos; los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 3*. Se observa que al emplear la formulación 3 hay un aumento de 1.7 y 1.3 veces de la resistencia a la tracción con respecto a las formulaciones 1 y 2, respectivamente. Se observa además que la deformación es muy similar para las muestras obtenidas con las formulaciones 2 y 3. Mientras que en la formulación 1 este valor es aproximadamente 1.6 veces menor con respecto a estas; esto puede deberse a que la formulación 1, al tener menor cantidad de plastificante, puede llegar a ser un poco más rígida, lo cual restringe el movimiento de la muestra durante el ensayo arrojando así un menor valor de deformación.

Tabla 3
Resultados del ensayo de tracción de las formulaciones del aglutinante de gelatina.

	Probeta	Fuerza aplicada (N)	Resistencia tracción (MPa)	Deformación (mm)
Formulación 1	Probeta A	186.05	0,41	2.24
	Probeta B	171.03	0,37	2.19
	Media:	178,54	0,39	2,21
	Desviación	10,62	0,02	0,03
Formulación 2	Probeta A	229.36	0,51	3.35
	Probeta B	224.38	0,49	3.57
	Media:	226,87	0,50	3,46
	Desviación	3,52	0,01	0,15
Formulación 3	Probeta A	311.65	0,69	3.53
	Probeta B	273.13	0,60	3.17
	Media:	292.39	0,64	3,35
	Desviación	27,23	0,06	0,25

La prueba de adherencia permitió concluir que la formulación 3, que es la que contiene mayor cantidad de plastificante presenta una mayor resistencia a la tracción que las otras formulaciones, al soportar cargas mayores antes de ceder; la presencia de una cantidad mayor de glicerina permitió que el material fuera menos rígido, lo que además, posiblemente, permitió una mayor penetración en los poros del corcho, gracias a que esta formulación presentó una mayor fluidez en comparación con las demás

formulaciones, favoreciendo que la unión sea más fuerte y la deformación en la zona plástica sea mayor antes de presentar fractura.

6.2 Fabricación de probetas de corcho granulado aglomerado con gelatina.

La formulación de gelatina utilizada para la fabricación de las muestras fue la seleccionada en las pruebas de tracción descritas anteriormente, es decir, la formulación que contiene mayor cantidad de plastificante en su composición.

Para la compactación del material aglomerado en el molde se utilizó, en primera instancia, la ayuda de un pistón manual que permitiera compactar con la fuerza del brazo todo el material en el molde, posteriormente se llevaron los tres moldes a una prensa hidráulica que compactó el material de una altura inicial de 80 mm a una altura final de 53 mm, es decir un 34%. Las probetas se dejaron prensadas durante 24 horas, tiempo en el cual las muestras ya estaban secas y se procedió al desmolde. La altura final de las muestras estuvo entre los 54 a 57 mm, lo que significa que después de la compactación el material tuvo una recuperación o descompresión, en altura, de aproximadamente un 3%; aunque esto no sucedió en las dimensiones de ancho y profundo es una tolerancia que debe ser tenida en cuenta cuando se realicen moldeos con este material.

El desmolde de las probetas se realizó sin ningún inconveniente, sin embargo en sus paredes laterales las muestras quedaron manchadas de un tono oscuro probablemente por residuos de grasa interna del tubo, a pesar de haberse limpiado anteriormente de manera cuidadosa, no obstante es solo un detalle visual que no compromete sus propiedades. Las muestras obtenidas, que se pueden observar en la *Figura 12*, presentan una gran estabilidad estructural evidenciando una alta adhesión entre partículas, de modo que soportan cargas de tracción y compresión manual sin sufrir daños en su estructura ni desprendimientos. Al tacto se sienten muy livianas con una estructura firme y sólida. El material copió la forma del molde con precisión; sin embargo, como era de esperarse, se evidencia que las muestras con tamaño de partícula más pequeño se acoplan mejor a la forma del molde y sus aristas quedan más definidas que las muestras con tamaño de partícula más grande.



Figura 12. Probetas obtenidas de la aglomeración de corcho granulado con aglutinante de gelatina, con diferente tamaño de partícula.

Medición de la densidad.

Cuando las muestras estuvieron completamente secas se procedió a calcular la densidad aparente de cada probeta con el fin de comparar este valor entre ellas mismas, en relación a la incidencia del tamaño de partícula, y con el valor de densidad del corcho natural, que está entre 0,21-0,25 g/cm³. Los valores de la medición de densidad de las probetas se muestran en la *Tabla 4*.

Tabla 4
Medición de la densidad aparente de cada probeta.

	Tamaño de grano (mm)	Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)
Probeta 1	7-9 ±0.1	28 ±1	111,37	0,251
Probeta 2	5-6 ±0.1	30 ±1	111,37	0,269
Probeta 3	3-4 ±0.1	35 ±1	111,37	0,314

Los valores obtenidos nos muestran que las densidades aparentes de las probetas 1 y 2 son similares entre ellas, sin embargo la probeta con el tamaño de partícula más pequeño, la probeta 3, es el que presenta una densidad mayor. Según los resultados podríamos decir entonces que, conservando el mismo volumen y porcentaje de compactación, a mayor tamaño de partícula que tenga el material menor será su valor de densidad, en otras palabras, existe una relación inversamente proporcional entre el tamaño de partícula y el valor de densidad. Esto se debe a que, para llenar el mismo volumen con la misma presión de compactación del material, será necesario agregar más o menos cantidad de corcho granulado dependiendo del tamaño de partícula, si es más pequeño necesitará más cantidad y viceversa; lo que incide directamente en la masa

presentada y por ende en su valor de densidad aparente. Los resultados obtenidos también permiten evidenciar que los valores de densidad aparente que presenta el aglomerado de corcho con aglutinante de gelatina son muy cercanos a la densidad del corcho natural, mostrando entonces que el uso del aglutinante de gelatina para aglomerar granulados de corcho no genera un peso extra considerable al material y se comporta de manera similar, por lo menos en términos de masa y densidad, a la suberina.

Ensayo de compresión.

La prueba realizada permitió comparar el comportamiento del material con tres tamaños de partícula diferentes ante un esfuerzo de compresión, analizando principalmente el límite elástico, porcentaje de deformación del material y la carga soportada. En la *Figura 13* se observa el gráfico comparativo entre las probetas y en la *Tabla 5* los resultados obtenidos.

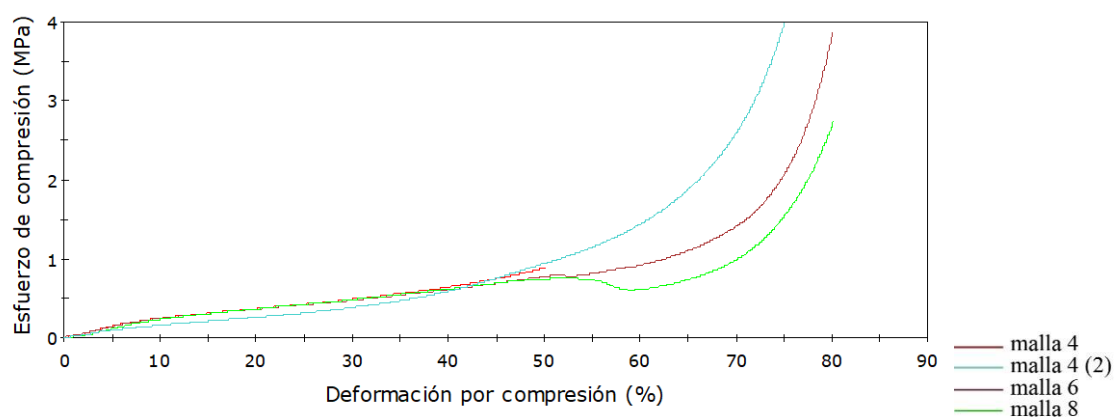


Figura 13. Diagrama compresión-deformación comparativo de las probetas del aglomerado de corcho con diferentes tamaños de partícula.

Tabla 5
Resultados del ensayo de compresión a probetas aglomeradas de corcho.

Probeta	Carga al 50% de compresión (N)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia específica (MPa.m ³ /kg)
Malla 4	1975.62	0.93	3,71
Malla 6	1566.60	0.77	2,86
Malla 8	1506.62	0.74	2,35

Durante el ensayo de compresión, tal como se evidencia en la gráfica, se pudo observar que todas las probetas presentan su límite elástico o falla del material entre los porcentajes de deformación de 50% y 60%, lo cual nos indica que el material puede deformarse hasta la mitad o un poco más de su altura inicial soportando esfuerzos de aproximadamente 0,7 – 0,9 MPa antes de presentar daños irreversibles en su estructura. Los resultados nos muestran que al 50% de compactación, que fue el límite elástico aproximado al que llegaron todas las muestras, el material con tamaño de partícula más grande soporta un esfuerzo máximo de 0.94 MPa en su zona plástica, seguido por el material con tamaño de grano mediano con 0.77 MPa y por último el material con tamaño de grano más pequeño con 0.74 MPa. Con base a las gráficas, se observa que el tamaño de grano no influye de manera significativa en el comportamiento mecánico en la zona elástica. Sin embargo; si se evalúan sus valores de resistencia en relación con la densidad de cada muestra (resistencia específica: σ/ρ) se puede observar que la resistencia específica del material aumenta al aumentar su tamaño de partícula.

Las probetas después del ensayo de compresión se muestran en la *Figura 14*, en la cual se puede apreciar la falla del material que tendió a abrirse o fisurarse de manera vertical en solo algunos puntos de la probeta, conservando su estructura sin mayores desmoronamientos y recuperando en casi un 90% su altura inicial.



Figura 14. Probetas del aglomerado de corcho y gelatina después del ensayo de compresión.

7. Estudios adicionales realizados durante el desarrollo de esta investigación

Considerando que las posibles aplicaciones del material se desarrollen en ambientes húmedos o involucren el contacto con algún líquido, se evaluó la posibilidad de reducir la permeabilidad al agua que presentase, para lo cual se evaluaron tres agentes minerales que presentan cualidades de absorción de humedad: montmorillonita, carbonato cálcico y talco industrial, los cuales fueron incluidos en la formulación que arrojó los mejores resultados de adherencia con el corcho. Considerando esto, se fabricaron muestras añadiendo uno de los tres materiales minerales en polvo en una proporción del 3% de la mezcla, en total se fabricaron cuatro muestras, una por cada componente mineral más otra sin la adición de estos para poder comparar (ver *Figura 15*). Las muestras se realizaron por medio del vaciado en moldes de plástico, con dimensión de 90 mm de diámetro y manteniendo un calibre de pared de 0.5 mm.

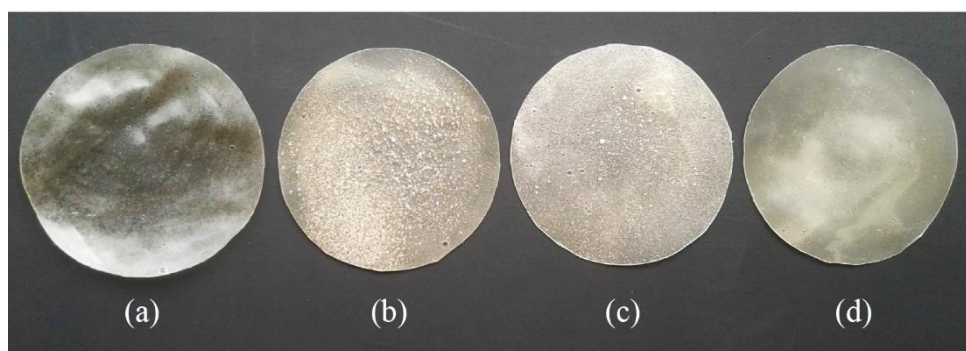


Figura 15. Muestras con agentes minerales para prueba de permeabilidad: (a) sin mineral, (b) montmorillonita, (c) carbonato de calcio, (d) talco industrial.

Una vez secas, se probó la incidencia de la adición de estos agentes minerales en la permeabilidad al agua del material por medio de un experimento empírico que consistió en verter una cantidad de agua (4 mL) a una misma temperatura (16 °C) sobre cada una de las muestras, las cuales estaban dispuestas sobre un papel absorbente que permitiera revelar cuando la humedad atravesara el material; lo anterior se puede observar en la *Figura 16*. Se monitoreo la prueba por medio del tiempo, el peso inicial y el peso final de las muestras, el tacto y un registro fotográfico. El experimento tuvo fines comparativos entre los efectos de los diferentes agentes minerales en la permeabilidad y entre la diferencia que presentaba su adición o no adición a la formulación.

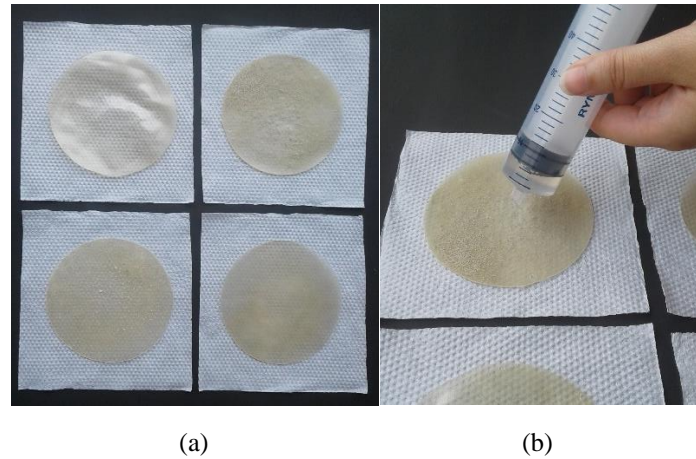


Figura 16. (a) Disposición de las muestras sobre papel absorbente. (b) Vertimiento del agua con ayuda de una jeringa.

Para determinar el comportamiento del material aglutinante ante la humedad, con la presencia o no de los agentes minerales en la mezcla, se tuvieron en cuenta variables de medición para la prueba en función del tiempo, es decir, los cambios que presentara las muestras en diferentes momentos a partir del vertimiento del agua sobre estas. Las variables a medir fueron el peso inicial con respecto al peso final, el tiempo que tardó el agua en atravesar el material y humedecer el papel absorbente y la deformación de la pared de la muestra con respecto a las otras. En la *Tabla 6* se muestra la variación en el peso de cada muestra con respecto al tiempo transcurrido, lo que refleja la velocidad con que cada material absorbe el agua. En la *Tabla 7* se muestra un porcentaje aproximado de deformación de la pared de cada probeta con respecto al tiempo.

Tabla 6
Resultados de la prueba de permeabilidad del aglutinante con agentes minerales.

	Sin mineral	Montmorillonita	Carbonato cálcico	Talco
Tiempo	Peso en gramos			
Inicial	3	3	3	3
5 min.	3	3	3	3
10 min.	4	4	3	3
15 min.	4	4	3	3
20 min.	4	4	4	3
1 hora.	4	4	4	3
Final	4	4	4	3

Tabla 7
 Porcentaje aproximado de deformación

	Sin mineral	montmorillonita	Carbonato cálcico	Talco
Tiempo	Deformación			
5 min.	7%	9%	3%	3%
10 min.	15%	13%	8%	8%
15 min.	20%	17%	12%	10%
20 min.	25%	23%	17%	14%
1 hora	35%	38%	25%	20%
Final	35%	38%	25%	20%

Las variables se midieron y analizaron en intervalos de tiempo de 5 minutos, en los cuales se retiró el agua de la muestra y se hizo el registro del peso, el registro fotográfico y el táctil, en el cual se podía apreciar la deformación y flexibilidad de la pared por la absorción de humedad. La prueba tuvo una duración de una hora, en la cual las muestras absorbieron humedad pero en ningún momento permitieron la filtración del agua a través de sí de modo que humedecieran el papel absorbente. Los resultados nos muestran que el material, con o sin adición de minerales, impide el paso o a la filtración de la humedad a través de sí por tratarse de un material no poroso, sin embargo se evidencia la absorción de humedad de modo que la muestra sufre deformación y pérdida de rigidez, como se puede apreciar en la *Figura 17*. Los valores obtenidos evidencian que la formulación con talco es la que menos deformación genera en el material, reduciéndose en casi 43% con respecto a la deformación sufrida por la formulación sin adiciones; lo cual también se ve reflejado en el peso que no varía de manera significativa, en comparación con la formulación sin adiciones que aumenta su peso en alrededor de 1 gramo, un 33%, en un lapso de 10 a 15 minutos. El carbonato cálcico se comporta de manera similar aunque al final el peso varía aumentando alrededor de 1 gramo y la deformación es un poco mayor. La adición de montmorillonita genera una mayor deformación en el material debido posiblemente a que las partículas del mineral se expanden en mayor proporción al absorber el agua, lo cual también incide en el peso final.



(a)

(b)

Figura 17. Muestras del aglutinante de gelatina después de la prueba de permeabilidad. (a) El papel absorbente no presenta señales de filtración de humedad. (b) Deformación sufrida por las muestras después de una hora.

8. Conclusiones

La adición de 120 g/L de glicerina en la formulación del aglutinante de gelatina es la composición que tuvo un mejor comportamiento elástico, lo cual se vio reflejado en valores de resistencia a la tracción más altos por ser más susceptible a la deformación. A mayor cantidad de plastificante su comportamiento es más flexible y elástico mientras que a menor cantidad se comporta más rígido y por ende más quebradizo o frágil. Por lo anterior se considera la formulación 3 como la composición más adecuada para utilizarse en la fabricación de aglomerados de corcho

Los aglomerados de corcho con el aglutinante de gelatina planteado presentan una gran estabilidad estructural y una fuerte unión entre partículas sin sacrificar su elasticidad, ya que alcanzan valores de resistencia específica de hasta 3,71 MPa.m³/kg, los cuales se asemejan a los presentados por materiales como la silicona, la goma EVA y el caucho de estireno butadieno. El aglomerado obtenido no presenta desmoronamientos ni desprendimientos de material ante esfuerzos de tracción o compresión manual, su contextura conserva las características de los aglomerados de corcho comunes y sus valores de densidad son muy similares a los del corcho natural.

El material aglomerado obtenido tiene la capacidad de deformarse hasta un 50% aproximadamente ante esfuerzos de compresión sin sufrir daños o fallas en su estructura, además de la capacidad de recuperarse alrededor de un 90% después de una deformación, lo que evidencia que el material tiene las características de flexibilidad, elasticidad y resiliencia adecuadas y acordes a este tipo de materiales.

El tamaño de partícula del corcho utilizado en el material aglomerado no influye de manera directa o significativa en su resistencia a la compresión en la zona elástica, sin embargo su resistencia específica, que se relaciona con la densidad presentada, aumenta al aumentar el tamaño del grano utilizado.

La gelatina puede emplearse como material aglutinante natural para generar aglomerados de corcho ya que responde con las características necesarias para su implementación en aplicaciones de diseño industrial. Sin embargo, se hace necesario mejorar la resistencia a la humedad del aglutinante ya que podría potenciar su uso en aplicaciones o ambientes que estén expuestos a la humedad.

9. Referencias

- Amorim Cork. (2017). Corcho natural. Santa María de Lamas, Portugal: Corticeira Amorim. Recuperado a partir de www.amorimcork.com
- Amorim Cork Composites. (2017). Cork solutions & manufacturing processes. Santa María da Feira, Portugal: Corticeira Amorim. Recuperado a partir de www.amorimcorkcomposites.com
- APCOR. (2017). Cork: What is it?. Santa María de Lamas, Portugal: Asociación Portuguesa del Corcho. Recuperado a partir de www.apcor.pt
- ASECOR. (2017a). Corcho, un producto natural: aplicaciones. San Vicente de Alcántara, España: Agrupación Sanvicenteña de Empresarios del Corcho. Recuperado a partir de <http://www.asecor.com/productos.php?lang=es&sec=10>
- ASECOR. (2017b). El corcho: ecológico, sostenible y reciclable. San Vicente de Alcántara, España: Agrupación Sanvicenteña de Empresarios del Corcho. Recuperado a partir de www.asecor.com
- Baena, C. C. (2018). Alimentos que (se) transforman. *Universitas Científica*, 21(1), 8–11.
- Centroamericana, U. (2014). Análisis del tamaño de partículas por tamizado. San Salvador: Departamento de mecánica estructural. Recuperado a partir de <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf>
- Chiebao, F. (2011). Technical Manual Cork Construction & Decoration Materials. Santa María de Lamas, Portugal: Asociación Portuguesa del Corcho. Recuperado a partir de <http://www.apcor.pt/en/media-center/publications>
- dos Santos, R. G., Carvalho, R., Silva, E. R., Bordado, J. C., Cardoso, A. C., do Rosário Costa, M., & Mateus, M. M. (2016). Natural polymeric water-based adhesive from cork liquefaction. *Industrial Crops and Products*, 84(Supplement C), 314–319. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.020>
- Ebnesajjad, S. (2010). *Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing*. William Andrew.
- Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Chagas, J. A. M., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2010). Cork based composites using polyolefin's as matrix: Morphology and mechanical performance. *Composites Science and Technology*, 70(16), 2310–2318.
- Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2015). Cork–polymer biocomposites: Mechanical, structural and thermal properties. *Materials & Design*, 82(Supplement C), 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.05.040>
- Gelatine Manufacturers of Europe. (2018). Gelatina. Recuperado a partir de <https://www.gelatine.org/es/gelatina/fabricacion.html>
- IPCS, I. programme on C. S. (2005). Diisocianato de Tolueno. España: Instituto

Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo. Recuperado a partir de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/301a400/nspn0339.pdf>

- Ministerio de medio ambiente de Noruega. (1994). Report of the Symposium on Sustainable Consumption. *Oslo Declaration on Sustainable Consumption*. Recuperado a partir de <https://www.unpei.org/sites/default/files/PDF/resourceefficiency/KM-resourceUNEPMainstreamingSCP&RE-SP.pdf>
- Moreira, L., Costa, V. A. F., & Neto da Silva, F. (2015). Effect of moisture content on curing kinetics of agglomerate cork. *Materials & Design*, 82(Supplement C), 312–316. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.01.001>
- Paiva, D., Gonçalves, C., Vale, I., Bastos, M. M. S. M., & Magalhães, F. D. (2016). Oxidized Xanthan Gum and Chitosan as Natural Adhesives for Cork. *Polymers (20734360)*, 8(7), 1–13.
- Pereira, H. (1988). Chemical composition and variability of cork from *Quercus suber* L. *Wood Science and Technology*, 22(3), 211–218.
- Pereira, H. (2007). Chapter 13 - Cork agglomerates and composites BT - Cork (pp. 289–303). Amsterdam: Elsevier Science B.V. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-044452967-1/50015-7>
- Real Academia de ingeniería. (2018). Densidad aparente. España: Diccionario Español de Ingeniería. Recuperado a partir de <http://diccionario.raing.es/es/lema/volumen-aparente>

10. Anexos

Anexo 1

Imágenes del material aglomerado de corcho y gelatina



Imágenes del ensayo de compresión a las probetas de corcho y gelatina obtenidas.



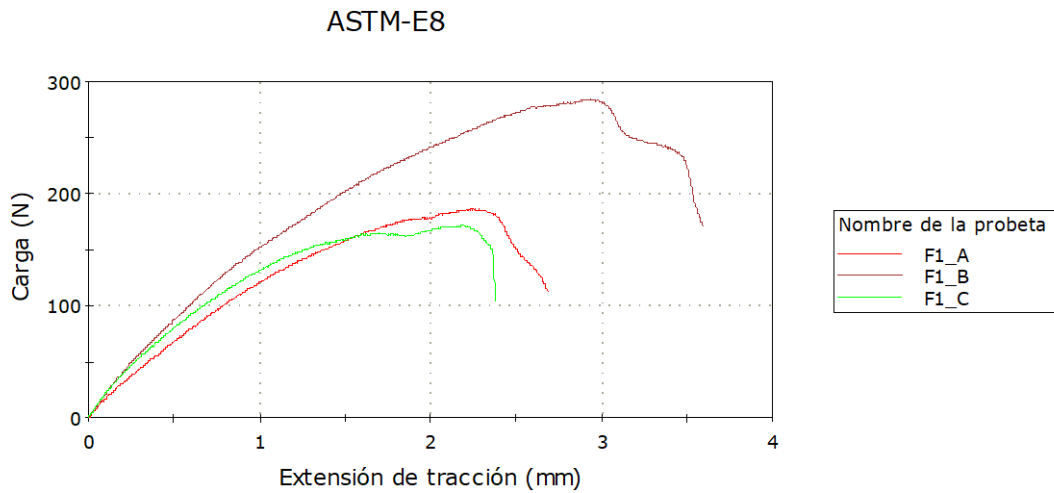
Primera aproximación a la fabricación de muestras del material aglomerado de forma manual.



Anexo 2

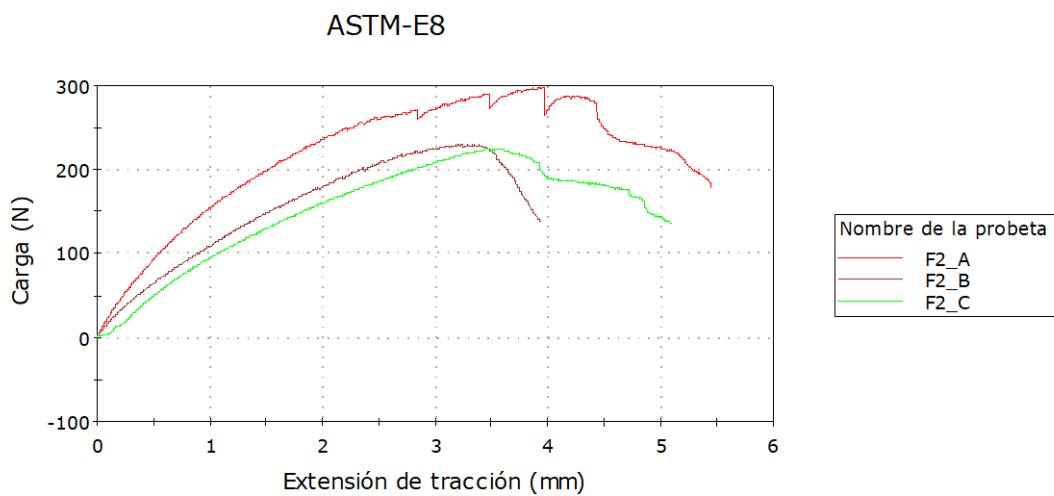
Gráficas de los ensayos de tracción aplicadas al aglutinante de gelatina y sus formulaciones en las pruebas de adherencia.

Formulación 1



	Etiqueta de la probeta	Carga al Tensile Strength (N)	Extensión al Tensile Strength (mm)
1	F1_A	186.05	2.24
2	F1_B	283.51	5.62
3	F1_C	171.03	2.19
Media		213.53	3.35
Desviación estándar		61.07057	1.96531

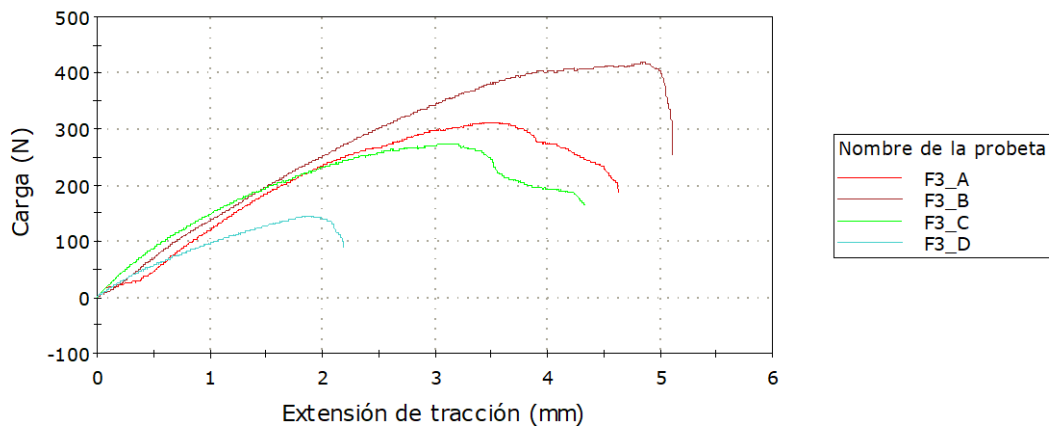
Formulación 2



	Etiqueta de la probeta	CargaalTensile Strength (N)	Extensi3nalTensile Strength (mm)
1	F2_A	297.19	3.93
2	F2_B	229.36	3.35
3	F2_C	224.38	3.57
Media		250.31	3.61
Desviaci3n est3andar		40.67595	0.29268

Formulaci3n 3

ASTM-E8



	Etiqueta de la probeta	CargaalTensile Strength (N)	Extensi3nalTensile Strength (mm)
1	F3_A	311.65	3.53
2	F3_B	418.52	4.85
3	F3_C	273.13	3.17
4	F3_D	143.84	1.92
Media		286.78	3.37
Desviaci3n est3andar		113.41983	1.20827

Anexo 3

Art3culo

OBTENCIÓN DE AGLOMERADOS DE CORCHO EMPLEANDO GELATINA COMO AGLUTINANTE

Christian Fernando Agudelo Muñeton

Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia

christian.agudelo@upb.edu.co

Resumen

El presente proyecto de investigación aborda la obtención de aglomerados de corcho granulado utilizando la gelatina de origen animal como material aglutinante, con la intención de proponer un reemplazante natural a los aglutinantes sintéticos y contaminantes que se usan actualmente [1-3]. El proceso se llevó a cabo por medio de experimentaciones y ensayos físicos y mecánicos para determinar la formulación del aglutinante de gelatina a usar, la incidencia de diferentes tamaños de partícula en el comportamiento mecánico del material y su relación con propiedades físicas como la densidad presentada por cada uno. Se encontró que las muestras del material aglomerado presentan una gran estabilidad estructural y una fuerte unión entre partículas, con características de flexibilidad, elasticidad y resiliencia acordes a este tipo de materiales, con valores de densidad muy similares a los del corcho natural. El tamaño de partícula del corcho en el material aglomerado no influye de manera directa o significativa en su resistencia a la compresión en la zona elástica, sin embargo su resistencia específica, que se relaciona con la densidad presentada, aumenta al aumentar el tamaño del grano utilizado.

Palabras Clave: *aglomerados de corcho; gelatina; aglutinantes naturales; producción sustentable.*

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad se busca trabajar con materiales que desde su extracción hasta su disposición final permitan una producción sostenible, con una mayor conciencia y control en el impacto de la producción industrial y la explotación de materias primas.

El corcho es uno de los materiales naturales que mejor relación entre sus propiedades físicas, mecánicas y ambientales presenta. De este material se destacan su baja densidad ($0.21 - 0.25\text{g/cm}^3$), su elasticidad, su alto coeficiente de fricción, sus capacidades aislantes térmicas y acústicas, entre otras [4-5]. Además es un material orgánico, renovable, biodegradable y reciclable [6]. Otra de las materias primas naturales es la gelatina, la cual ha sido frecuentemente usada en diversos ámbitos como culinarios y farmacéuticos [7]. Sin embargo, ha sido poco explorada y estudiada como posibilidad de ser un material aglutinante para la industria.

El objeto de ésta investigación es identificar la posibilidad que tiene la gelatina de ser usada como material aglutinante natural para producir aglomerados de corcho granulado, como una combinación estratégica de materias primas naturales que puedan generar un material ambientalmente amigable y de producción sostenible.

2 METODOLOGÍA

En primer lugar se definió la formulación química del aglutinante natural de gelatina. Para esto se partió de un material natural empleado en trabajos previos para la elaboración de un contenedor polimérico biodegradable [8]. Con el fin de evaluar su comportamiento de secado y sus características visuales y táctiles, se fabricaron muestras variando la cantidad de plastificante durante su preparación. Se realizaron tres variaciones en la cantidad de plastificante. La composición de las muestras se especifica en la *Tabla 1*.

Tabla 1
Composición del aglutinante de gelatina con respecto a 1 litro de agua.

Componente	Composición
Gelatina en polvo	240 g/L
Glicerina (plastificante)	29.6, 60 y 120 g/L
Extracto de ajo	5.6 g/L

Posteriormente se realizó un ensayo de tracción para observar el comportamiento del aglutinante en contacto con el corcho en términos de adherencia, esto con el fin de elegir la formulación del aglutinante de gelatina que mejor adherencia presentara con el corcho, conservando su flexibilidad y estabilidad estructural.

La siguiente fase fue obtener partículas de corcho natural con tres granulometrías diferentes con el fin de evaluar su efecto en la resistencia mecánica del material aglutinado. Para esto se utilizaron tapones de corcho reciclados, los cuales fueron triturados empleando un molino de martillos para obtener los gránulos y posteriormente se tamizaron con mallas según la norma ASTM E11 para clasificarlos por tamaño de partícula. Para la fabricación de las probetas se escogieron tres tamaños de partícula, las medidas se expresan en la *Tabla 2*.

Tabla 2
Tamaños de partícula seleccionados para la fabricación de probetas.

Número de malla	Tamaño de partícula (mm)
4	7-9 \pm 0.1
6	5-6 \pm 0.1
8	3-4 \pm 0.1

Al tener las probetas completamente secas se procedió a realizar la medición de la densidad aparente de cada una de ellas, expresada en g/cm^3 . Finalmente, las muestras fueron evaluadas a compresión bajo la norma ASTM D7031-11, para lo cual se empleó una máquina universal de ensayos Instron 5582. Esta prueba se realizó con el fin de conocer y comparar la incidencia del tamaño de partícula de cada una de las probetas en su comportamiento mecánico frente a un esfuerzo de compresión-deformación. El ensayo se realizó a una velocidad de 10 mm por minuto y con un porcentaje de compactación límite del 80% con respecto a la altura de las probetas.

3 RESULTADOS

3.1 Definición de la formulación química del aglutinante natural

El primer acercamiento al material natural de gelatina permitió identificar el tiempo de secado y algunas características visuales y táctiles, estas primeras muestras del material variaban en la cantidad de plastificante añadido a la mezcla. Las muestras tardaron tres días en secar a una temperatura ambiente de 26°C aproximadamente y con un calibre de pared de 1 milímetro, este tiempo de secado se determinó por registros táctiles al material. Como se muestra en la *Figura 1* la apariencia del material una vez seco es transparente con un leve tono amarillento y por el calibre de pared delgado tiende a curvarse o deformarse en proceso de desmolde.



Figura 1. Primeras muestras del material natural de gelatina con diferentes concentraciones de Glicerina.

Se observó que el material presenta una textura suave y lisa al tacto, y con una flexibilidad limitada pero que permite ser doblada sin que llegue a fracturarse. La diferencia notable entre ellas radica en que la cantidad de plastificante altera su rigidez, evidenciándose que a mayor cantidad de plastificante mayor será la flexibilidad y menor la rigidez, presentando una contextura más blanda y menos frágil.

Prueba de adherencia

La prueba de adherencia realizada, en la cual se unieron dos fragmentos de corcho por medio del material de gelatina, como se muestra en *Figura 2* permitió comparar la resistencia a la tracción de cada una de las formulaciones obtenidas en la actividad anterior.

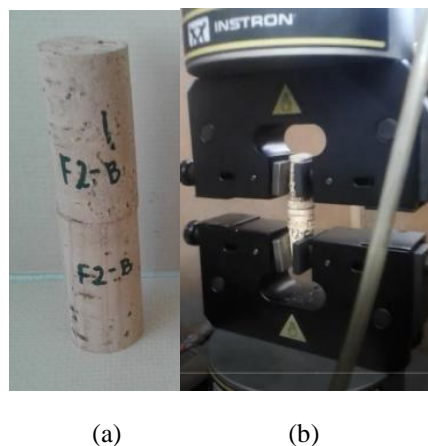


Figura 2. (a) Probeta para prueba de adherencia. (b) Montaje de la probeta en la Máquina Universal Instron.

Aunque en la prueba se ensayaron tres probetas por formulación solo se consideraron los dos valores más cercanos entre ellos; los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 3*. Se observa que al emplear la formulación 3 hay un aumento de 1.7 y 1.3 veces de la resistencia a la tracción con respecto a las formulaciones 1 y 2, respectivamente. Se observa además que la deformación es muy similar para las muestras obtenidas con las formulaciones 2 y 3. Mientras que en la formulación 1 este valor es aproximadamente 1.6 veces menor con respecto a estas; esto puede deberse a que la formulación 1, al tener menor cantidad de plastificante, puede llegar a ser un poco más rígida, lo cual restringe el movimiento de la muestra durante el ensayo arrojando así un menor valor de deformación.

Tabla 3

Resultados del ensayo de tracción de las formulaciones del aglutinante de gelatina.

	Probeta	Fuerza aplicada (N)	Resistencia tracción (MPa)	Deformación (mm)
Formulación 1	Probeta A	186.05	0,41	2.24
	Probeta B	171.03	0,37	2.19
	Media:	178,54	0,39	2,21
	Desviación	10,62	0,02	0,03
Formulación 2	Probeta A	229.36	0,51	3.35
	Probeta B	224.38	0,49	3.57
	Media:	226,87	0,50	3,46
	Desviación	3,52	0,01	0,15
Formulación 3	Probeta A	311.65	0,69	3.53
	Probeta B	273.13	0,60	3.17
	Media:	292.39	0,64	3,35
	Desviación	27,23	0,06	0,25

La prueba de adherencia permitió concluir que la formulación 3, que es la contiene mayor cantidad de plastificante presenta una mayor resistencia a la tracción que las otras formulaciones, al soportar cargas mayores antes de ceder; la presencia de una cantidad mayor de glicerina permitió que el material fuera menos rígido, lo que además, posiblemente, permitió una mayor penetración en los poros del corcho, gracias a que esta formulación presentó una mayor fluidez en comparación con las demás formulaciones, favoreciendo que la unión sea más fuerte y la deformación en la zona plástica sea mayor antes de presentar fractura.

3.2 Fabricación de probetas de corcho granulado aglomerado con gelatina.

La formulación de gelatina utilizada para la fabricación de las muestras fue la seleccionada en las pruebas de tracción descritas anteriormente, es decir, la formulación que contiene mayor cantidad de plastificante en su composición.

Para la compactación se llevaron los tres moldes a una prensa hidráulica que compactó el material de una altura inicial de 80 mm a una altura final de 53 mm, es decir un 34%. Las probetas se dejaron prensadas durante 24 horas, tiempo en el cual las muestras ya estaban secas y se procedió al desmolde. La altura final de las muestras estuvo entre los 54 a 57 mm, lo que significa que después de la compactación el material tuvo una recuperación o descompresión, en

altura, de aproximadamente un 3%; aunque esto no sucedió en las dimensiones de ancho y profundo es una tolerancia que debe ser tomada en cuenta cuando se realicen moldeos con este material.

El desmolde de las probetas se realizó sin ningún inconveniente, sin embargo en sus paredes laterales las muestras quedaron manchadas de un tono oscuro probablemente por residuos de grasa interna del tubo. Las muestras obtenidas, que se pueden observar en la *Figura 3*, presentan una gran estabilidad estructural evidenciando una alta adhesión entre partículas, de modo que soportan cargas de tracción y compresión manual sin sufrir daños en su estructura ni desprendimientos. Al tacto se sienten muy livianas con una estructura firme y sólida. El material copió la forma del molde con precisión; sin embargo, como era de esperarse, se evidencia que las muestras con tamaño de partícula mas pequeño se acoplan mejor a la forma del molde y sus aristas quedan más definidas que las muestras con tamaño de partícula más grande.



Figura 3. Probetas obtenidas de la aglomeración de corcho granulado con aglutinante de gelatina, con diferente tamaño de partícula.

Medición de la densidad.

Cuando las muestras estuvieron completamente secas se procedió a calcular la densidad aparente [9] de cada probeta con el fin de comparar este valor entre ellas, en relación a la incidencia del tamaño de partícula, y con el valor de densidad del corcho natural, que está entre 0,21-0,25 g/cm³. Los valores de la medición de densidad de las probetas se muestran en la *Tabla 4*.

Tabla 4

Medición de la densidad aparente de cada probeta.

	Tamaño de grano (mm)	Masa (g)	Volumen (cm³)	Densidad aparente (g/cm³)
Probeta 1	7-9 ±0.1	28 ±1	111,37	0,251
Probeta 2	5-6 ±0.1	30 ±1	111,37	0,269
Probeta 3	3-4 ±0.1	35 ±1	111,37	0,314

Los valores obtenidos nos muestran que las densidades aparentes de cada probeta son similares entre ellas, sin embargo la probeta con el tamaño de partícula más pequeño es el que presenta una

densidad mayor. Según los resultados podríamos decir entonces que, conservando el mismo volumen y porcentaje de compactación, a mayor tamaño de partícula que tenga el material menor será su valor de densidad, en otras palabras, existe una relación inversamente proporcional entre el tamaño de partícula y el valor de densidad. Los resultados obtenidos también permiten evidenciar que los valores de densidad aparente que presenta el aglomerado de corcho con aglutinante de gelatina son muy cercanos a la densidad del corcho natural, mostrando entonces que el uso del aglutinante de gelatina para aglomerar granulados de corcho no genera un peso extra considerable al material y se comporta de manera similar, por lo menos en términos de masa y densidad, a la suberina.

Ensayo de compresión.

La prueba realizada permitió comparar el comportamiento del material con tres tamaños de partícula diferentes ante un esfuerzo de compresión, analizando principalmente el límite elástico, porcentaje de deformación del material y la carga soportada. En la *Figura 4* se observa la deformación de una probeta durante el ensayo de compresión y en la *Tabla 5* los resultados obtenidos.



Figura 4. Comportamiento de la probeta ante esfuerzo de compresión.

Tabla 5

Resultados del ensayo de compresión a probetas aglomeradas de corcho.

Probeta	Carga al 50% de compresión (N)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia específica (MPa.m³/kg)
Malla 4	1975.62	0.93	3,71
Malla 6	1566.60	0.77	2,86
Malla 8	1506.62	0.74	2,35

Durante el ensayo de compresión, tal como se evidencia en la gráfica, se pudo observar que todas las probetas presentan su límite elástico o falla del material entre los porcentajes de deformación de 50% y 60%, lo cual nos indica que el material puede deformarse hasta la mitad o un poco más de su altura inicial soportando esfuerzos de aproximadamente 0,7 – 0,9 MPa antes de presentar daños irreversibles en su estructura. Los resultados nos muestran que al 50% de compactación, que fue el límite elástico aproximado al que llegaron todas las muestras, el material con tamaño de partícula más grande soporta un esfuerzo máximo de 0.94 MPa en su zona plástica, seguido por el material con tamaño de grano mediano con 0.77 MPa y por último el material con tamaño de grano más pequeño con 0.74 MPa. Con base a las gráficas, se observa que el tamaño de grano no influye de manera significativa en el comportamiento mecánico en la zona elástica. Sin embargo; si se evalúan sus valores de resistencia en relación con la densidad de cada muestra (resistencia específica: σ/ρ) se puede observar que la resistencia específica del material aumenta al aumentar su tamaño de partícula.

Las probetas después del ensayo de compresión se muestran en la *Figura 5*, en la cual se puede apreciar la falla del material que tendió a abrirse o fisurarse de manera vertical en solo algunos puntos de la probeta, conservando su estructura sin mayores desmoronamientos y recuperando en casi un 90% su altura inicial.



Figura 5. Probetas del aglomerado de corcho y gelatina después del ensayo de compresión.

4 CONCLUSIONES

a) La adición de 120 g/L de glicerina en la formulación del aglutinante de gelatina es la composición que tuvo un mejor comportamiento elástico, lo cual se vio reflejado en valores de resistencia a la tracción más altos por ser más susceptible a la deformación. A mayor cantidad de plastificante su comportamiento es más flexible y elástico mientras que a menor cantidad se comporta más rígido y por ende más quebradizo o frágil. Por lo anterior se considera la formulación 3 como la composición más adecuada para utilizarse en la fabricación de aglomerados de corcho

b) Los aglomerados de corcho con el aglutinante de gelatina planteado presentan una gran estabilidad estructural y una fuerte unión entre partículas sin sacrificar su elasticidad, no presenta desmoronamientos ni desprendimientos de material ante esfuerzos de tracción o compresión

manual, su textura conserva las características de los aglomerados de corcho comunes y sus valores de densidad son muy similares a los del corcho natural.

c) El material aglomerado obtenido tiene la capacidad de deformarse hasta un 50% aproximadamente ante esfuerzos de compresión sin sufrir daños o fallas en su estructura, además de la capacidad de recuperarse alrededor de un 90% después de una deformación, lo que evidencia que el material tiene las características de flexibilidad, elasticidad y resiliencia adecuadas y acordes a este tipo de materiales.

d) El tamaño de partícula del corcho utilizado en el material aglomerado no influye de manera directa o significativa en su resistencia a la compresión en la zona elástica, sin embargo su resistencia específica, que se relaciona con la densidad presentada, aumenta al aumentar el tamaño del grano utilizado.

e) La gelatina sí puede emplearse como material aglutinante natural para generar aglomerados de corcho ya que responde con las características necesarias para su implementación en aplicaciones de diseño industrial. Mejorar la resistencia a la humedad del aglutinante es un tema que amerita una nueva investigación ya que podría potenciar su uso en aplicaciones o ambientes que estén expuestos a la humedad.

5 REFERENCIAS

- [1] Pereira, H. (2007). Chapter 13 - Cork agglomerates and composites BT - Cork (pp. 289–303). Amsterdam: Elsevier Science B.V. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-044452967-1/50015-7](https://doi.org/10.1016/B978-044452967-1/50015-7)
- [2] Moreira, L., Costa, V. A. F., & Neto da Silva, F. (2015). Effect of moisture content on curing kinetics of agglomerate cork. *Materials & Design*, 82(Supplement C), 312–316. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.01.001](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.01.001)
- [3] IPCS, I. programme on C. S. (2005). Diisocianato de Tolueno. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo. Recuperado a partir de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/301a400/nspn0339.pdf>
- [4] APCOR. (2017). Cork: What is it?. Santa María de Lamas, Portugal: Asociación Portuguesa del Corcho. Recuperado a partir de www.apcor.pt
- [5] Amorim Cork. (2017). Corcho natural. Santa María de Lamas, Portugal: Corticeira Amorim. Recuperado a partir de www.amorimcork.com
- [6] ASECOR. (2017). El corcho: ecológico, sostenible y reciclable. San Vicente de Alcántara, España: Agrupación Sanvicenteña de Empresarios del Corcho. Recuperado a partir de www.asecor.com
- [7] Gelatine Manufacturers of Europe. (2018). Gelatina. Recuperado a partir de <https://www.gelatine.org/es/gelatina/fabricacion.html>
- [8] Baena, C. C. (2018). Alimentos que (se) transforman. *Universitas Científica*, 21(1), 8–11.
- [9] Real Academia de ingeniería. (2018). Densidad aparente. España: Diccionario Español de Ingeniería. Recuperado a partir de <http://diccionario.raing.es/es/lema/volumen-aparente>.