

PROPUESTA DE UN MEDIO FILTRANTE BIODEGRADABLE MEDIANTE FIBRAS DE
CELULOSA A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA AZÚCAR.

PAULA GERALDINE FONSECA BALLESTEROS
JUAN FELIPE MONROY MUNÉVAR

Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO

DIRECTOR
JUAN CAMILO CELY GARZÓN
MSC INGENIERO QUÍMICO

CODIRECTORA
DIANA MILENA MORALES FONSECA
MSC MICROBIÓLOGA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director de proyecto. Juan Camilo Cely Garzón

Orlando Castiblanco Urrego

Felipe Correa Mahecha

Bogotá D.C. Febrero 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de universidad y rector del claustro.

Dr. Mario Posada García-peña

Consejero institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-peña

Vicerrectora académica y de investigación

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector administrativo y financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario general.

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana encargada de la facultad de ingenierías.

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Director del programa de ingeniería química.

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Quiero iniciar agradeciéndole a Dios ya que gracias a él hemos tenido bienestar y amor para cumplir las metas según el interés tanto en mi familia como los cercanos a ella. De igual forma, agradecer a mis padres ya que sin su guía y valores no estaría terminando uno de los tantos pasos que aún faltan para crecer constantemente tanto personal como profesionalmente. Al igual, quiero nombrar a mis hermanos, que juntos nos enseñamos para crecer personalmente y saber que nuestras falencias son oportunidades de ser mejores cada día.

Por otro lado, a todos aquellos docentes, al personal de la institución y la institución misma, que hicieron posible este trabajo, con su auditoria y guía constante hemos logrado descubrir además de la vocación investigativa, el proceso y trabajo constante que se requiere para lograr grandes cosas y aunque no se vean grandes son logros personales. Así pues, quisiera citar una frase de Henry Thoreau “El éxito llega para todos aquellos que están ocupados buscándolo”, esto es un inicio para seguir creciendo para mí y mi familia.

Finalmente, no puedo dejar atrás a todos esos compañeros que dedicaron el tiempo a aclarar dudas pertinentes a lo largo de la carrera y además a todos esos momentos de aliento para continuar con los objetivos individuales que terminaron siendo grupales, con el objetivo de más que conseguir un título hacerlo de la mejor manera, pensando en el bienestar comunal, especialmente a mi grupo GeLaDyTa.

Paula Geraldine Fonseca Ballesteros

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de grado a mis padres (abuelitos), papas y hermana, desde el inicio de mis estudios estuvieron apoyándome, buscando potenciar ese talento que desde joven ven en mí del cual aún yo no veo, aunque no se encuentren mis padres ya en este mundo siempre los tengo presente en mi corazón y gracias a ese apoyo que me brindan he podido salir adelante.

Gracias a mis padres que me inculcaron seguir adelante a pesar de cualquier obstáculo que se atravesase, a mis papas por ayudarme en todos los momentos en donde pensé que no podía dar más, dándome ánimo y haciéndome entender que la vida es de desafíos y que si uno se proyecta a cumplir algo lo puede lograr, siempre recordando una frase que mi mami me dijo “mantenerme fuerte, porque todavía hay un montón de batallas por luchar, miles de obstáculos que superar muchas bocas que callar y mucho potencial por demostrar”, y a mi hermana la cual siempre está orgullosa de mí, a pesar de cualquier cosa, haciéndome sentir muy especial y generando en mí mayor confianza para seguir confirmando que se pueden tener buenos resultados si se le pone corazón. Sin el apoyo de mis padres, papas y hermana yo no serío lo que soy actualmente y este último paso que realizo en mi carrera no es para mí si no para ellos que han hecho de mí una persona que busca siempre salir adelante y que siempre está dispuesto a ayudar, sinceramente muchas gracias por seguir dándome fuerzas y espero que esto sea una de las primeras alegrías que les pueda ofrecer permitiéndome devolverles un poco de esa alegría que ustedes me han brindado.

Juan Felipe Monroy Munévar

AGRADECIMIENTOS

“Un maestro es una brújula que activa los imanes de la curiosidad, el conocimiento y la sabiduría en el alumno” - Ever Garrison

Iniciamos agradeciendo principalmente tanto a nuestro director como codirectora del proyecto de grado, Juan Camilo Cely y Diana Morales por su dedicación, paciencia y vocación, llevándonos a mejorar cada día con aspiraciones cada vez mayores, pero no imposibles con dedicación y trabajo en equipo. Además de siempre abrir nuestras mentes a nuevas oportunidades y posibilidades en nuestro proyecto de vida en conjunto tanto personal como profesionalmente. Además, al semillero de investigación liderado por el profesor Felipe Correa, “Procesos químicos, Economía circular” por guiarnos tanto el inicio como en el desarrollo, mejora del proyecto de investigación, generando una tercer auditoria para el buen cumplimiento de los estándares además de las proyecciones nacionales e internacionales en conjunto, representando siempre de la mejor forma a la Universidad América.

De igual forma, a la profesora Ana María Gómez que gracias a su apoyo pudimos conocer más a fondo el porqué de las cosas en la experimentación y que nos permitió realizar la parte experimental en las instalaciones del Tecnoparque; al profe David Sotelo quien nos ofreció de su tiempo para aclarar varias dudas que mejoraron significativamente el trabajo de grado, a Julieth Caballero con quien encontré un lugar muy especial, juntos hemos podido salir adelante trabajando y estudiando y aunque era muy difícil siempre hemos estado apoyándonos a pesar de que no estemos ya tan cerca, me acompañó más de la mitad de la carrera en donde me ofreció ese lugar donde cualquier problema se olvidaba porque no siempre todo en la vida es estudio y trabajo, debido a esto y a muchas cosas más, agradezco haber cruzado mi camino con el de ella.

Finalmente, a la universidad de América por tener tan buen grupo de trabajo que siempre está apoyando a los estudiantes y a todos esos compañeros que me ayudaron en la carrera y me apoyaron para poder afianzar los conocimientos obtenidos, sinceramente muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	17
1. GENERALIDADES	18
1.1 Residuos agroindustriales	18
1.2 Compuestos lignocelulósicos del bagazo de caña de azúcar	18
<i>1.2.1 Celulosa</i>	<i>20</i>
<i>1.2.2 Hemicelulosa</i>	<i>21</i>
<i>1.2.3 Lignina</i>	<i>22</i>
1.3 Fibras vegetales	23
<i>1.3.1 Fibras maderables o duras</i>	<i>24</i>
<i>1.3.2 Fibras no maderables o blandas</i>	<i>24</i>
1.4 Bagazo de caña de azúcar	24
<i>1.4.1 Botánica del bagazo de caña de azúcar</i>	<i>26</i>
<i>1.4.2 Fuentes de generación del bagazo de caña</i>	<i>27</i>
<i>1.4.3 Aplicaciones del bagazo de caña</i>	<i>28</i>
1.5 Sorción presente en la celulosa	29
1.6 Métodos de extracción de celulosa	30
<i>1.6.1 Métodos químicos</i>	<i>31</i>
<i>1.6.2 Métodos mecánicos</i>	<i>33</i>
<i>1.6.3 Métodos mixtos</i>	<i>34</i>
<i>1.6.4 Métodos enzimáticos</i>	<i>34</i>
1.7 Tela no tejida	34
1.8 Humus como disposición final de las fibras de celulosa	35
1.9 Operaciones unitarias en la obtención de fibras	37
<i>1.9.1 Fraccionamiento y clasificación de la materia prima</i>	<i>37</i>
<i>1.9.2 Almacenamiento y secado</i>	<i>37</i>

2. PROCESAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS FIBRAS DE CELULOSA	38
2.1 Determinación de propiedades físicoquímicas	43
<i>2.1.1 Determinación de celulosa</i>	<i>43</i>
<i>2.1.2 Determinación de lignina</i>	<i>52</i>
<i>2.1.3 Densidad aparente de las fibras de celulosa</i>	<i>56</i>
<i>2.1.4 Densidad real de las fibras de celulosa</i>	<i>57</i>
<i>2.1.5 Porosidad de la lámina de fibras de celulosa</i>	<i>59</i>
<i>2.1.6 Humedad de la lámina de fibras de celulosa</i>	<i>61</i>
<i>2.1.7 Determinación de cenizas de las fibras de celulosa</i>	<i>63</i>
3. RUTA DE PROCESO DE MODIFICACIÓN DE LAS FIBRAS DE CELULOSA PARA SU APLICACIÓN COMO MEDIO FILTRANTE	67
3.1 Variables del diseño de experimentos	69
<i>3.1.1 Penetración de agua</i>	<i>71</i>
3.2 Propiedades organolépticas del medio filtrante	75
4. PRUEBAS DE COMPOSTAJE Y RESISTENCIA	76
4.1 Vermicompostaje	77
4.2 Compostaje	85
5. INCORPORACIÓN DEL MEDIO FILTRANTE DE FIBRAS DE CELULOSA EN LA INDUSTRIA DE MASCARILLAS RESPIRATORIAS	91
6. CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	113

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura de la pared celular	23
Figura 2. Variedades de caña de azúcar	25
Figura 3. Diagrama de aplicaciones con respecto al bagazo de caña de azúcar	28
Figura 4. Organigrama de diferentes tipos de extracción de celulosa	30
Figura 5. Caña de azúcar especie “Officinarum”	38
Figura 6. Proceso de extracción de jugo en el trapiche	39
Figura 7. Asociación desmedulado seco y filamentos seleccionados	40
Figura 8. Materia prima retenida por tamiz utilizado	42
Figura 9. Densidad de las fibras de celulosa antes de la cocción y después de la neutralización en hidrolisis alcalina.	45
Figura 10. Ruta de procesos de extracción de celulosa por 3 tipos	46
Figura 11. Representación gráfica del rendimiento de extracción y el porcentaje de extracción de celulosa	48
Figura 12. Esquema de pasos para la determinación de porcentaje de celulosa	49
Figura 13. Montaje para la determinación de celulosa con reflujo	50
Figura 14. Representación gráfica de la hidrolisis alcalina entre el rendimiento y la extracción de celulosa al 5% p/v de NaOH	51
Figura 15. Filtrado de licor negro respecto a las fibras de celulosa	52
Figura 16. Diagrama de proceso para determinación de porcentaje de lignina	54
Figura 17. Muestra al 72% v/v de H ₂ SO ₄	55
Figura 18. Lamina de fibras de celulosa seca y neutralizada	59
Figura 19. Demostración de la calcinación de las fibras y el resultado después de estar en la mufla a 540°C	64
Figura 20. Diagrama de caracterizaciones físicas resumido	65
Figura 21. Medio filtrante con modificaciones	68
Figura 22. Relación en el diseño factorial 2 ²	72
Figura 23. Desviación estándar de las variables con los niveles	73
Figura 24. Medio filtrante con aditivos	74

Figura 26. Dimensionamiento físico de las materas utilizadas para el estudio de compostaje y vermicompostaje	76
Figura 27. Lombrices californianas utilizadas	78
Figura 28. Distribución en las materas del vermicompostaje por capas	79
Figura 29. Ensayo primario del medio filtrante en el vermicompostaje	80
Figura 30. Ensayo secundario del medio filtrante en el vermicompostaje	81
Figura 31. Ensayo terciario del medio filtrante en el vermicompostaje	81
Figura 32. Muestra de referencia en el vermicompostaje	81
Figura 33. Tipos de materiales y su degradación	85
Figura 34. Distribución en las materas del compostaje por capas	87
Figura 35. Ensayo primario del medio filtrante en el compostaje	87
Figura 36. Ensayo secundario del medio filtrante en el compostaje	88
Figura 37. Ensayo terciario del medio filtrante en el compostaje	88
Figura 38. Muestra de referencia en el compostaje	88
Figura 39. Tipos de mascarillas en la industria	92
Figura 40. Normalización del comportamiento de partículas tanto la caída de presión en diferentes mascarillas	94

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición de lignina y celulosa en diferentes compuestos lignocelulósicos	19
Tabla 2. Características de las variedades de la caña de azúcar	26
Tabla 3. Composición química del humus sólido	36
Tabla 4. Tamaño máximo nominal de las fibras según lote	41
Tabla 5. Clasificación de micraje según categoría de tamizado relacionando ASTM con ISO	42
Tabla 6. Designación de los tipos de proceso	47
Tabla 7. Resultado experimentación extracción de celulosa en los diferentes tipos	47
Tabla 8. Resultado de porcentaje de celulosa en hidrolisis alcalina	50
Tabla 9. Resultados del porcentaje de lignina presente en las fibras de celulosa a partir del bagazo de caña	55
Tabla 10. Resultados de la determinación de densidad aparente en las fibras de celulosa	57
Tabla 11. Resultados del estudio respecto a la densidad real	58
Tabla 12. Datos determinados de la porosidad de las fibras de celulosa	60
Tabla 13. Humedad de las fibras de celulosa	62
Tabla 14. Porcentaje de cenizas en las fibras de celulosa	63
Tabla 15. Resumen de caracterización fisicoquímicas	66
Tabla 16. Esquema de diseño de experimentos	69
Tabla 17. Variables independientes	70
Tabla 18. Variables dependientes	71
Tabla 19. Resultados del diseño de experimentos	72
Tabla 20. Medidas generales de las materas con su respectivo plato para compostaje y vermicompostaje	76
Tabla 21. Pesos de las capas en el vermicompostaje	80
Tabla 22. Control semanal del vermicompostaje	82
Tabla 23. Aumento de peso en el grupo de lombrices por ensayo	84
Tabla 24. Pesos de las capas en el compostaje	87
Tabla 25. Control semanal del compostaje	89
Tabla 26. Clasificación de los respiradores según UNE EN 149:2001	94
Tabla 27. Alternativas de telas para la mascarilla propuesta a partir de la permeabilidad al aire de la tela y el porcentaje retenido dependiente al micraje	96

INDICE DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Definición (unidad)
mL	Mililitros
%p/p	Porcentaje peso a peso
%v/v	Porcentaje volumen a volumen
M	Molaridad
G	Gramos
$C_6H_{10}O_5$	Celulosa
Cm	Centímetros
T.10	Tamiz 10
T.20	Tamiz 20
T.30	Tamiz 30
s	Segundos
min	Minutos
h	Horas
μm	Micrómetros
C/N	Relación carbono nitrógeno
USP	Uso farmacéutico
Ton	Tonelada

RESUMEN

Se desarrolla la propuesta de un medio filtrante mediante fibras de celulosa a partir del residuo de la caña azúcar, para ser incorporada en mascarillas de tela y contribuir a la eficiencia de filtrado, siendo para Colombia el cultivo de caña el segundo con mayor extensión [1]. Con base a la contaminación causada por las mascarillas quirúrgicas y la incertidumbre asociada a la filtración de las mascarillas de tela, se utilizan compuestos lignocelulósicos residuales empleados en ámbitos no médicos.

Para la obtención del medio filtrante se inicia por la extracción de celulosa a partir de la hidrólisis alcalina al 5% p/v de las fibras de bagazo de caña generando la pulpa de celulosa, caracterizándola fisicoquímicamente con las normas ASTM D 1106-96 [2] y ASTM D 1102 [3]. Posterior se desarrolla un sistema factorial 2^2 referente a los aditivos, es decir, glicerina al 20% v/v y 50% v/v, harina 7 granos 10% p/p y 70% p/p, respecto al peso del filtro promedio, mejorando la flexibilidad y porosidad cuando se obtiene un arreglo con una concentración de glicerina del 20% v/v con 70% p/p de harina 7 granos reteniendo 41 ml aproximadamente a una velocidad de $0,07 \pm 0,06$ ml/s.

Finalmente, el medio filtrante se lleva a compostaje y vermicompostaje durante 4 semanas con un peso del medio filtrante promedio de $1,54 \pm 0,19$ g, impactando positivamente a la reducción del uso de residuos poliméricos, asociándose en este caso a la tela no tejida de polipropileno [4].

Palabras clave: Bagazo de caña, Fibras de celulosa, Hidrólisis, Medio filtrante

INTRODUCCIÓN

La pandemia causada por el virus SARS-CoV-2 conocida como COVID-19 ha generado un aumento en el consumo de indumentaria enfocada a disminuir el riesgo de contagio y afectaciones respiratorias, siendo las mascarillas el artículo fundamental para combatir la propagación del COVID-19 según la OMS [5], la problemática asociada al incremento exponencial del uso de las mascarillas quirúrgicas se relaciona con el aumento de la demanda en un 100% en empresas como IWR Comercial, caso similar de 3M, siendo compañías importadoras en Colombia y en caso nacional empresas colombianas como Industrias Saver [6], se estima que el 90% de las mascarillas puede terminar su vida útil en calles, vertederos o incluso en el océano, generando un problema ambiental debido al material del cual están fabricadas teniendo más de 400 años para su desintegración [7].

De igual modo, los medios filtrantes generalmente están hechos de polipropileno siendo un material capaz de retener partículas pequeñas y aerosoles [8]. Para las mascarillas más conocidas como lo es la mascarilla quirúrgica y la mascarilla N95 se emplea de polipropileno 3,5 g y 9 g, respectivamente, siendo las mascarillas quirúrgicas de polipropileno su peso total de 3,5 g y N95 de 18,14 g [9]. Además, las mascarillas pueden contener diversos tipos de plástico, siendo aparte del polipropileno, el polietileno, poliuretano, poliestireno, policarbonato, poliacrilonitrilo y poliéster [10], llegando a ser generadores de contaminación plástica al medio ambiente gracias a su descomposición lenta y su disposición final incorrecta, como lo es, la quema, el arrojarla a la calle, tirarla a los inodoros, entre otros. Por lo tanto, sin afectar la economía de los consumidores, se pueden tomar medidas innovadoras con respecto al medio ambiente y el bienestar público, buscando soluciones tales como la reutilización, el reprocesamiento, la desinfección de mascarillas desechables, la producción de mascarillas biodegradables y mascarillas caseras [9].

Por otro lado, la caña de azúcar es el segundo cultivo con mayor extensión en Colombia, ocupando el 15vo lugar a nivel mundial de productores con una participación del 1,3% entre el 2015 y 2019, gracias a su facilidad de siembra y cosecha a lo largo de todo el año donde el 25 % pertenece a ingenios azucareros y el 75 % restante a agricultores de las diferentes zonas del país siendo un total de 241.205 hectáreas [11]. Al igual, atribuyéndose entre el 25 - 40 % al total de la materia

procesada, es decir, el bagazo de caña de azúcar [12], del cual, el 83 % es usado para la cogeneración de energía mediante la quema de la misma en calderas [1], sin embargo este enfoque no es de carácter satisfactorio debido a la emisión de contaminantes, costos económicos y laborales, pérdida de energía y mal olor[13], a razón de sus compuestos lignocelulósicos aprovechables, como lo son, la celulosa en un 41,05 % p/p, hemicelulosa en un 37,4 % p/p y lignina en un 21,55 % p/p [14], donde se estima que por cada tonelada de bagazo de caña se obtiene 170 kg de celulosa [15].

Si bien, las fibras de caña de azúcar se pueden someter a procedimientos mecánicos, químicos, enzimáticos y mixtos para extraer la celulosa formando telas no tejidas en diferentes aplicaciones como la retención de gases [16], o por otro lado como refuerzo en construcciones [17]. Se desarrolla una propuesta de medio filtrante con el fin de disminuir el consumo de plásticos en la industria de mascarillas para el cuidado respiratorio, aprovechando y asociando el procesamiento de la celulosa actual para la fabricación de papel con el fin de generar una lámina no tejida de fibras de celulosa a partir del bagazo de caña de azúcar [18], fomentando una alternativa de cuidado para el personal no médico en lugares públicos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer un medio filtrante biodegradable partiendo de una modificación de las fibras de celulosa obtenidas del bagazo de caña de azúcar enfocado a bioseguridad.

Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de las fibras de celulosa obtenidas del bagazo de caña de azúcar.
- Definir una ruta de proceso de modificación de las fibras para su aplicación como medio filtrante.
- Establecer el potencial de uso del medio filtrante biodegradable partiendo de fibras de celulosa.

1. GENERALIDADES

1.1 Residuos agroindustriales

Los productos agroindustriales son asociados a las actividades que integran la producción agrícola o forestal, estos productos han sido empleados para satisfacer desde necesidades domésticas hasta producciones industriales; los residuos agroindustriales pueden ser entendidos como materiales en estado sólido o líquido generados a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización y, que no son de utilidad para el proceso donde se generaron. Sin embargo, son susceptibles a transformaciones para su aprovechamiento con el fin de obtener otro producto de valor agregado [19].

Una de las problemáticas asociadas a los residuos agroindustriales es la falta de conocimiento y conciencia sobre como desechar estos residuos si no se consideran aprovechables, por lo cual antes de descartarlos se debe conocer su composición con el fin de darle una disposición provechosa, como lo es, el abono, alimento para animales, biomasa, papel, entre otros.

De esta manera estos compuestos han empezado a ser empleados debido a la carencia cada vez mayor de las fibras tradicionales como la madera, causado por la continua y descontrolada explotación de estas. Por lo cual, la cantidad de residuos agroindustriales y el ciclo corto de obtención de algunos residuos, ha permitido a las industrias poder empezar a obtener todos los diversos productos fabricados a partir de las fibras tradicionales como una alternativa amigable con el medio ambiente [20].

1.2 Compuestos lignocelulósicos del bagazo de caña de azúcar

Los subproductos agrícolas son conocidos como biomásas lignocelulósicas, esto debido a su composición fisicoquímica, a su estructura de polímeros celulósicos y hemicelulósicos [21]. Gracias a su renovación constante por medio del proceso de fotosíntesis son una fuente valiosa de materias primas para la obtención de productos de interés químico, agrobiológico y energético mediante su transformación por vías termoquímicas, químicas o biológicas. Los materiales

lignocelulósicos están constituidos en su gran mayoría por polímeros de carbohidratos denominados celulosa y hemicelulosa y en aproximadamente un 25 % por un polímero complejo de unidades de fenilpropano denominado lignina [22].

Los compuestos lignocelulósicos constituyen la pared celular la cual se caracteriza por microfibrillas de celulosa formando capas recubiertas de hemicelulosa y en las cuales se deposita la lignina [23], esta alternativa es la más común, sin embargo la celulosa puede ser unida directamente a la lignina sin la interacción de la hemicelulosa [24]. Además, estos compuestos pueden ser encontrados en residuos agrícolas, forestales y sólidos urbanos, abordando aproximadamente el 50 % de la biomasa en el mundo. Esta biomasa es un recurso que puede ser procesado de diferentes formas para la obtención de una gran variedad de productos, con un carácter renovable basado en su continua obtención [25].

El bagazo de caña de azúcar al igual que los compuestos lignocelulósicos es rico en fibra, aunque debido a su compleja estructura es difícil de hidrolizar, es por esto que, es necesario someterlo a pre tratamientos que conduzcan a la disminución o eliminación de las barreras físicas y químicas, tales como la cristalinidad de la celulosa, los grupos acetilos de la hemicelulosa y los enlaces entre la hemicelulosa y la lignina, logrando reducir el tejido parenquimatoso y permitiendo aumentar el área superficial con el fin de reducir la presencia de sustancias que interfieren o dificultan la hidrólisis [25].

Tabla 1.

Composición de lignina y celulosa en diferentes compuestos lignocelulósicos

Compuesto Lignocelulósico	% Celulosa	% Lignina
Fibras de Coco	43	45
Residuos de Maíz	33	14
Mazorcas de Maíz	70	20
Tallo de Algodón	65	18
Fibras de Lino	60-81	2-3
Fibras de Cáñamo	70-78	3,7-5
Piña	79-83	3-4

Tabla 1. Continuación

Pino	60	30
Cascara de Arroz	55	35
Cascara de Café	50	30
Fibras de Sisal	43-88	4-12
Bagazo De Caña De Azúcar	38,01-44	20-23,09
Paja De Trigo	30	15
Madera	40-60	10-35
Buchón De Agua	32,4	7,81
Cascara De Cacao	25,34	46,61

Nota. Modificado de A. D. P. Lozada, “Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de la cáscara de café para la elaboración de un biosorbente utilizado en la remoción de cadmio como metal pesado.,” 2020. [14],[20],[26]

1.2.1 Celulosa

Es el polisacárido más importante en el bagazo de caña de azúcar, esto por ser el componente principal de la pared celular, puede ser obtenida actualmente de diversas fuentes tales como origen vegetal, organismos de diferentes reinos, vía síntesis enzimática *in vitro* y por medio de síntesis química a partir de derivados de glucosa bencilados [27]. La celulosa es el polímero natural más abundante en las fibras vegetales, adicionalmente presenta un amplio uso como químico orgánico a nivel mundial, su producción natural al igual que los componentes de la materia vegetal es formada a través de la fotosíntesis [28]. Debido al alto porcentaje de celulosa en las plantas su obtención ha empezado a coger fuerza desde la biomasa residual destacándose la cascarilla de arroz, cáscara de café, residuos de la caña de azúcar, residuos de maíz, residuos de banano y residuos de piña [27].

Es un homopolímero lineal y bastante rígido que consta de unidades de D-glucosa las cuales están unidas por enlaces (tipo β 1- 4 glicosídicos), debido a su fórmula molecular $C_6H_{10}O_5$ presenta diferentes grupos terminales en cada uno de los extremos, en un extremo se encuentra el grupo aldehído con actividad reductora y en el otro extremo se encuentra un constituyente alcohol el cual se relaciona con una actividad no reductora. La celulosa aparte de los enlaces glicosídicos

presentes en los residuos de glucosa forma puentes de hidrogeno intramoleculares (entre unidades de glucosa de la misma cadena) e intermoleculares (entre unidades de glucosa de cadenas adyacentes); estos puentes de hidrogeno son los responsables de la alta cohesión molecular y en conjunto a la ausencia de ramificaciones da lugar a la alineación de las cadenas en grupos, formando zonas ordenadas unidas por regiones amorfas. Adicionalmente, generan lados con polaridades muy marcadas, estos puentes también pueden formarse entre los grupos hidroxilo de la celulosa y las moléculas de agua, haciendo la superficie de la celulosa altamente hidrofílica [25],[26],[29].

Al tener zonas tanto amorfas como cristalinas, puede ser su cristalinidad la causa de la alta tenacidad de la fibra y a las áreas amorfas se les atribuye la elasticidad y la capacidad de hinchamiento de la celulosa [30], el peso molecular promedio de la celulosa obtenida del bagazo de caña está entre 150.000 a 300.000 u, la cual es comparable con la de fibras maderables como el álamo, el haya y abedul, entre otras. Su presencia cuantitativa es similar al de todas las maderas en el rango de 41– 44 % [31].

Actualmente la celulosa ha adquirido un renovado interés debido a su potencial biodegradable y su variedad de modificaciones químicas posibles gracias a los grupos OH presentes en la molécula [32], donde las zonas de mayor cristalinidad presentes en la celulosa son las más difíciles de hidrolizar, a comparación de las zonas amorfas las cuales presentan mayor facilidad de acceso y son susceptibles a reacciones químicas [26], es por esto que, puede ser degradada por procesos hidrolíticos y oxidativos, iniciando su degradación por las zonas amorfas [28].

1.2.2 Hemicelulosa

La hemicelulosa es el segundo polímero de gran importancia presente en el bagazo de la caña de azúcar dada su abundancia relativa, es un heteropolisacárido que contiene 15 % de hexosas (D-glucosa, D-manosa y D-galactosa) y 85 % de pentosas (D-xilosa 75% y L-arabinosa 10 %), además de ácido metilglucurónico, galacturónico y glucurónico, tiene una estructura semicristalina al azar con poca fuerza lo que le representa menos estabilidad térmica a comparación de la celulosa, es fácilmente hidrolizada por ácidos fuertes diluidos, bases fuertes, enzimas y también es removida

por agua al alcanzar temperaturas mayores a los 180°C, autocatalizadas por los ácidos orgánicos contenidos en la hemicelulosa especialmente el ácido acético [33]. Las cadenas poliméricas son relativamente cortas de peso molecular promedio viscosimétrico en el rango de 10.000 a 20.000 u [19].

La hemicelulosa se puede describir como una molécula con ramificaciones, abarcando diversos polisacáridos los cuales ofrecen características de solubilidad en solventes, reactividad frente a los ácidos y descomposición de azúcares y furfural, al ser precursor de bajo peso molecular de la celulosa le permite ser más soluble. Además, está asociada a la celulosa por medio de interacciones polisacárido – polisacárido [34]. Su función principal es conectar a la celulosa con la lignina, siendo estos los principales compuestos de la pared celular [9],[14].

1.2.3 Lignina

Finalizando, la lignina es el tercer componente en importancia cuantitativa del bagazo y representa un conjunto de polímeros amorfos reticulados y de alto peso molecular, está constituida por una mezcla de aldehídos aromáticos: p-hidroxibenzoico, vainillina y aldehídos siríngicos. Siendo estos últimos los de mayor proporción, sin embargo, la lignina es el polímero natural más complejo con respecto a su estructura y heterogeneidad lo que involucra una limitante para determinar una estructura definida. Donde, estudios realizados evidencian diferencias importantes entre la lignina del bagazo y de la madera principalmente en su grado de polimerización inferior (3.000 – 5.000 u) y su mayor reactividad [31],[32].

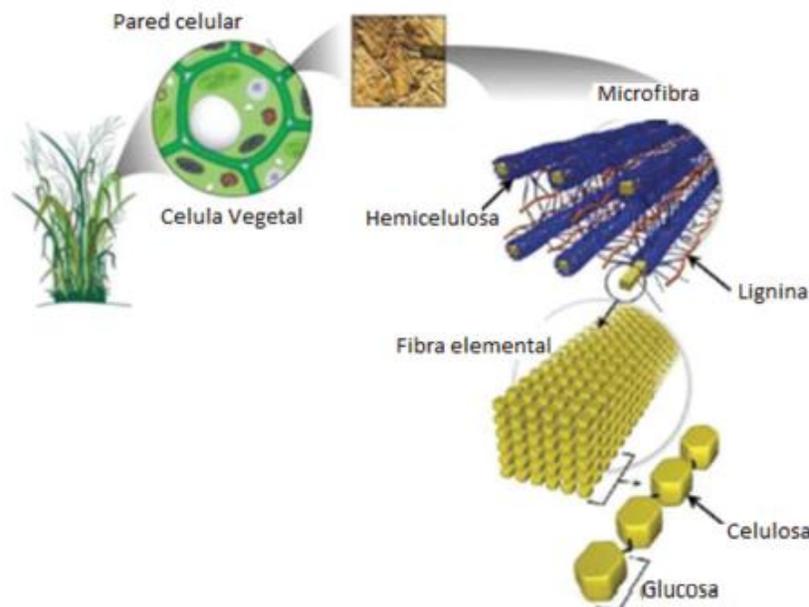
Su principal función es dar un soporte a la planta en la estructura, recubriendo a la celulosa y hemicelulosa creando una barrera que imposibilita un ataque microbiano, adicional es un compuesto hidrófobo lo cual caracteriza frecuentemente los compuestos aromáticos, puede cambiar sus propiedades por medio de reacciones químicas las cuales son introducidas en su estructura de grupos sustituyentes polares [36]. La propiedad más importante de esta macromolécula orgánica es su rigidez, dando fuerza al tejido de la planta, y evitando el colapso de los elementos conductores de agua [30], [37].

1.3 Fibras vegetales

Los seres humanos han logrado avances a lo largo de la historia haciendo uso de las fibras vegetales, estas han permitido generar diversas invenciones para uso doméstico, herramientas de caza, elaboración de textiles, entre otras. Teniendo en cuenta que, las fibras vegetales están en gran medida compuestas de lignina y celulosa, la gran mayoría de residuos agroindustriales pueden ser empleados para la obtención de los productos que provienen de los troncos de los árboles o madera, por su contenido mostrado en la tabla 1, siendo las más abundantes a nivel mundial, la madera, paja (trigo, arroz, avena, lino), tallos (maíz, sorgo, algodón) y bagazo de caña de azúcar [2]. Por otro lado, la importancia de las fibras vegetales abarca la posibilidad de desarrollo económico en un país, esto basado en su cultivo, procesamiento y comercialización que permite ofrecer empleo a nivel mundial [38]. Finalmente, las fibras vegetales pueden ser divididas principalmente en fibras blandas y fibras duras diferenciándose por el grado de lignificación [39].

Figura 1.

Estructura de la pared celular



Nota. Estructura de los compuestos lignocelulósicos presente en la pared, Tomado de: S. J. Suárez-Forero, A. M. Candela-Soto, J. A. Henao-Martínez, and O. L. Bayona-Ayala, “Evaluation of the performance of the pretreatment with the hydrogen peroxide on sugar cane bagasse for removing lignin,” *Iteckne*, vol. 16, no. 1, pp. 21–28, 2019, doi: 10.15332/iteckne. v16i1.2158.

1.3.1 Fibras maderables o duras

Las fibras maderables son las tradicionalmente empleadas en los procesos industriales para la obtención de la celulosa, estas fibras contienen un alto contenido de lignina, son divididas en fibras cortas y fibras largas, las fibras cortas hacen referencia a las obtenidas de las especies clasificadas como maderas duras “eucalipto” y de algunas especies frondosas (abedul, chopo, arce o haya), la longitud de las fibras de estos árboles está entre los 0,75 mm y los 2 mm de largo. Las fibras largas son derivadas de maderas blandas principalmente coníferas (Pinus y Abies), donde la longitud de las fibras de estos árboles esta entre los 3 y 5 mm de largo [24].

1.3.2 Fibras no maderables o blandas

Las fibras vegetales no maderables son una fuente importante de materiales para países en donde la tala indiscriminada ha generado una reducción de la madera [37] debido a su origen renovable, biodegradabilidad de sus derivados y sus posibilidades de reciclaje, son una fuente idónea de materiales poliméricos de interés industrial. Las principales dificultades que presentan la explotación de este tipo de materiales son su recolección y el almacenaje. Desde el punto de vista técnico, las plantas no maderables ofrecen una gran variedad de cualidades en sus fibras, que, explotadas apropiadamente pueden ser utilizadas en el desarrollo de pastas con propiedades innovadoras. Las fibras no maderables se dividen en tres como lo son las plantas anuales: hemp, kenaf, lino, yute, abacá, las hierbas silvestres: pastos, bambú, hierba elefante y los residuos agrícolas: paja de trigo, maíz, paja de arroz, bagazo de caña y sisal, todas estas presentan bajo contenido de lignina a comparación de las fibras maderables, pero con un contenido equivalente de celulosa [2].

1.4 Bagazo de caña de azúcar

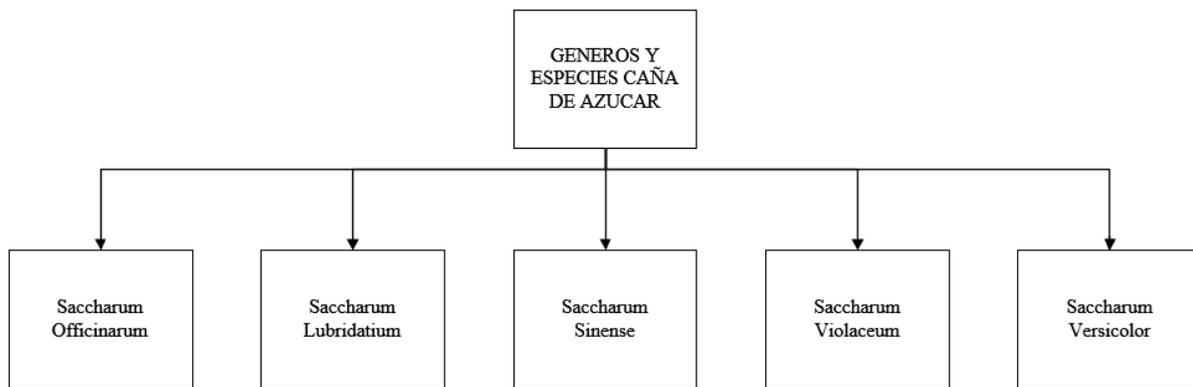
La caña de azúcar es un cultivo abundante, este se logra encontrar en regiones tropicales y subtropicales, en Colombia puede ser cultivado desde el nivel del mar hasta alturas tales como 2000 metros; en estas alturas se pueden obtener condiciones adecuadas tales como temperatura, luminosidad, calidad de suelo y precipitación. Los cultivos son realizados anualmente, sin embargo,

gracias a su alta capacidad de rebrote pueden ser implementadas varias cosechas sucesivamente. En Colombia se realiza la renovación de los cultivos de 4 a 8 años, la luz solar reduce los riesgos asociados y costos presentes en la siembra de los cultivos, se debe tener en cuenta que el periodo vegetativo puede tardar de 13 a 15 meses en los cuales se logra obtener 120 toneladas por cada hectárea cultivadas siendo las principales asociaciones procaña, cenicaña, tecnicaña, asocaña, azucari y ciamsa, en las que se puede obtener un aproximado de 80.000 ton/día en 13 ingenios azucareros [40]. Se compone principalmente de agua y azúcares, sus usos están enfocados en la industria azucarera y panelera, sin embargo, actualmente se ha empezado una diversa aplicación de la caña en la producción de biocombustibles [21].

El bagazo de caña de azúcar es un residuo secundario postcosecha, obtenido en la extracción del jugo de la caña de azúcar también conocida como “*Saccharum officinarum*” siendo este el nombre científico de la especie, se le llama bagazo al tallo remanente de la caña después de la extracción del jugo que ésta contiene, el cual generalmente es realizado en molinos [41].

Figura 2.

Variedades de caña de azúcar



Nota. Cada variedad presenta diferencias con base en su morfología y color, siendo la *S. spontaneum* “caña silvestre” la primitiva forma de la *S. officinarum*, ajustado de: K. Anabel, “Obtención de celulosa a partir de biomasa de bagazo de caña de azúcar para su transformación catalítica en ácido láctico,” 2018.

En los cultivos de caña de azúcar se emplean 3 meses de los 12 requeridos para generar su maduración, esta fase es de vital importancia para la síntesis de azúcar, a medida que avanza la

maduración los monosacáridos como glucosa y fructosa se convierten en sacarosa, este proceso de maduración inicia desde la base por lo cual la parte inferior es la que tendrá mayor cantidad de azúcares [42].

1.4.1 Botánica del bagazo de caña de azúcar

El bagazo en su morfología cuenta con una pared celular característica de las células vegetales, esta pared está compuesta por pared primaria, y pared secundaria la cual se divide en tres, con base al punto de vista químico esta pared celular se compone de celulosa 38-44 %, hemicelulosa 25-38 % lignina 20-23 % y otros componentes reportan del 1-3 % los cuales abarcan resinas, ceras, grasas, ácidos grasos, flavonas, fenoles, etc [20], [14]. Reportando una densidad en base seca de un rango de 50-86 kg/m³ [36].

Su composición sin tratamientos, es decir, en este caso recién salida del trapiche o según los diferentes procesos de obtención hace que su propiedad granulométrica sea muy variada, evidenciado en el polvo fino hasta partículas mayores amorfas, está basado en la fibra o bagazo constituyendo un 15 %, sólidos no solubles 2-3 %, sólidos solubles 2-3 % y agua 51 %. Los compuestos no solubles están constituidos por sustancias inorgánicas tales como piedras y tierra, sin embargo, estos pueden variar según el método y condiciones de procesamiento previo que se le haya dado. Así pues, los sólidos solubles hacen alusión a las ceras y sacarosa que no fue extraída, no obstante, al limpiar el bagazo la composición ya cambia, siendo fibra 50%, parénquima 30%, vasos 15% y epidermis 5%. Por ende, las fibras del bagazo se pueden clasificar como fibras cortas desde un enfoque biométrico, esto comparable con las fibras duras maderables [20], [43].

Tabla 2.

Características de las variedades de la caña de azúcar

Género y Especie	Características
Saccharum officinarum	Conocida como “caña criolla” con una coloración verde, muy sensible a temperaturas extremas y una altura de 3,5 metros, es la que posee un jugo muy abundante, alto contenido de sacarosa y baja cantidad de fibra y cañutos delgados [20], [36], [44].

Tabla 3. Continuación

Saccharum lubridatum	Conocida como “caña cristalina” con una coloración amarilla y blanquecino que recubre el cañuto, es la más alta con un promedio de 6,5 metros, resistente a cambios meteorológicos debido a la robustez y dureza de su cañuto [36],[44].
Saccharum sinense	Conocida como “caña de uva”, es más delgada que la officinarum y es la segunda con más riqueza en sacarosa, es la variedad más antigua y la de mayor contenido de fibra [20],[45].
Saccharum violaceum	Conocida como “caña violeta” debido a su color violeta, resistente a temperaturas bajas, siendo la que posee menor cantidad de jugo y con tendencias a secarse muy rápido [36],[44].
Saccharum versicolor	Conocida como “caña vetada” con una coloración amarillenta con rojo violeta [36].

Nota. La *Saccharum sinense* da origen a la *Saccharum officinarum*, las variedades se pueden agrupar de la siguiente forma. Cañas verdes y amarillas: criolla y cristalina; cañas moradas y rojas: violeta, uva; caña rayada: vetada.

Así mismo, el bagazo de caña presenta su fibra útil desde su almacenamiento, siendo esta uno de los aspectos más importantes ya que se busca que en su conservación no aparezcan bacterias celulolíticas [31]. Al igual, en condiciones de humedad (48 -52%) constituye un rico sustrato para el desarrollo de microorganismos dando lugar varias reacciones simultáneas no deseadas [41], debido a la elevada cantidad de humedad se hace necesario un secado para evitar el crecimiento de los microorganismos y un desmedulado que retire parcial o totalmente el tejido parenquimatoso, este proceso puede ser realizado en seco, húmedo y en suspensión, siendo el más eficiente el húmedo generalmente con las mismas condiciones a las cuales se obtiene después de la extracción de jugo, disminuyendo el consumo de reactivos junto con la reducción de su higroscopicidad y favoreciendo el rendimiento, blanqueamiento y propiedades de resistencia [37].

1.4.2 Fuentes de generación del bagazo de caña

En Colombia debido al clima se puede cosechar en todo el año la caña de azúcar [37], sus diversas variedades son influenciadas por las condiciones de procesamiento agrícola de la caña, tipo de

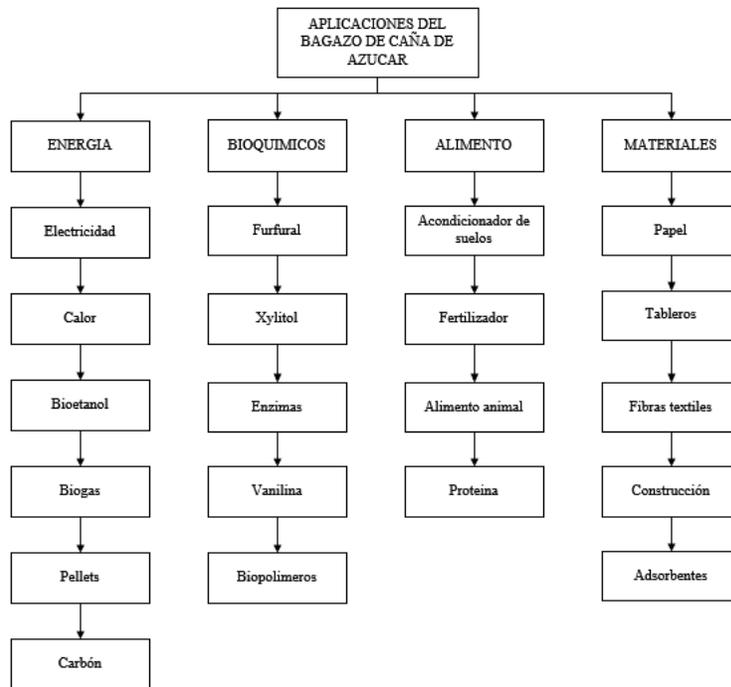
corte, recolección y manejo del bagazo, el cual cambia sus propiedades según los parámetros con los que se almacene y se obtenga, las más comunes para su obtención son la extracción del jugo de la caña de azúcar por molienda y difusión a nivel industrial, estos procesos requieren de una preparación previa de la caña utilizando cuchillas o trituradores [41],[46], a escala banco o laboratorio puede ser empleado un trapiche el cual cumple la misma función de extracción de jugo.

1.4.3 Aplicaciones del bagazo de caña

Tradicionalmente se emplea en los países azucareros como materia prima para la producción de energía en las calderas de los ingenios o centrales azucareras, esto a partir de la cogeneración de vapor mediante la combustión; sin embargo, este uso depende del factor de humedad del bagazo, variando según la eficiencia del método de extracción del jugo azucarado y de la cantidad de agua absorbida del medio ambiente. Este factor de humedad influye en el poder calorífico del bagazo el cual no alcanza la generación de energía necesaria involucrando el uso de combustibles fósiles.

Figura 3.

Diagrama de aplicaciones con respecto al bagazo de caña de azúcar



Nota: Los enfoques en los que se puede emplear el bagazo cada vez van creciendo. Tomado de: Elias Martinez-Hernandez, Myriam Adela Amezcua-Allieri, J. Sadhukhan, and Jorge Aburto Anell, "Sugarcane Bagasse Valorization Strategies for Bioethanol and Energy Production," *Web Sci.*, p. 29, 2013.

El bagazo cuenta con más de 40 aplicaciones como producción de papel, etanol, alimento animal, fabricación de paneles aglomerados de fibras y de partículas, celulosa para derivados farmacéuticos y aditivos de alimentos, entre otras [2],[21]. Las fibras del bagazo se caracterizan por su rigidez, presentando una longitud menor que las usuales en especie maderables, lo cual es una limitante para algunas producciones entre las cuales se encuentran los papeles de alta resistencia [35].

Su abundancia, disponibilidad y bajo costo hacen que este subproducto o residuo de la industria azucarera y/o panelera pueda reemplazar productos sintéticos que contaminan el medio ambiente, una aplicación relacionada del bagazo con este trabajo es su aplicación como biosorbente para hidrocarburos, en el que se logra reducir el uso de materiales sintéticos que son fabricados en su gran mayoría con polipropileno o poliuretano [16]. Los papeles absorbentes generan una similitud en la absorción de líquidos debido a la presencia de celulosa [35], es por esto que el bagazo tiene una gran aplicación en este uso, teniendo características asociadas a ser una materia prima renovable anualmente con un alto contenido de celulosa aprovechable [47].

1.5 Sorción presente en la celulosa

El mecanismo fundamental de la retención de partículas salivales es la sorción ofrecida en gran medida por la celulosa, a causa de sus cadenas que al estar en contacto con fluidos se hidratan y permiten el aumento de su volumen, este comportamiento permite la flexibilidad y ayuda la capacidad de enlaces con otras fibras [24],[48] debido a tratamientos químicos, específicamente para la hidrólisis alcalina se genera el hinchamiento de la biomasa lo que permite la posibilidad de retención de fluidos, este hinchamiento se asemeja al comportamiento de la pared celular generando un equilibrio de su estructura perdiendo o absorbiendo humedad del ambiente [49]. Para el caso de la sorción se considera un proceso de disolución de fluidos en las regiones desordenadas [28], sin embargo las zonas amorfas son las más susceptibles a reacciones químicas [26], no obstante, debido al hinchamiento de la celulosa las zonas amorfas empiezan a ser mayores [28].

La alta capacidad de la celulosa en la retención de fluidos va involucrada en la presencia de grupos hidroxilo, estos grupos permiten la formación de puentes de hidrogeno y en estos grupos es en

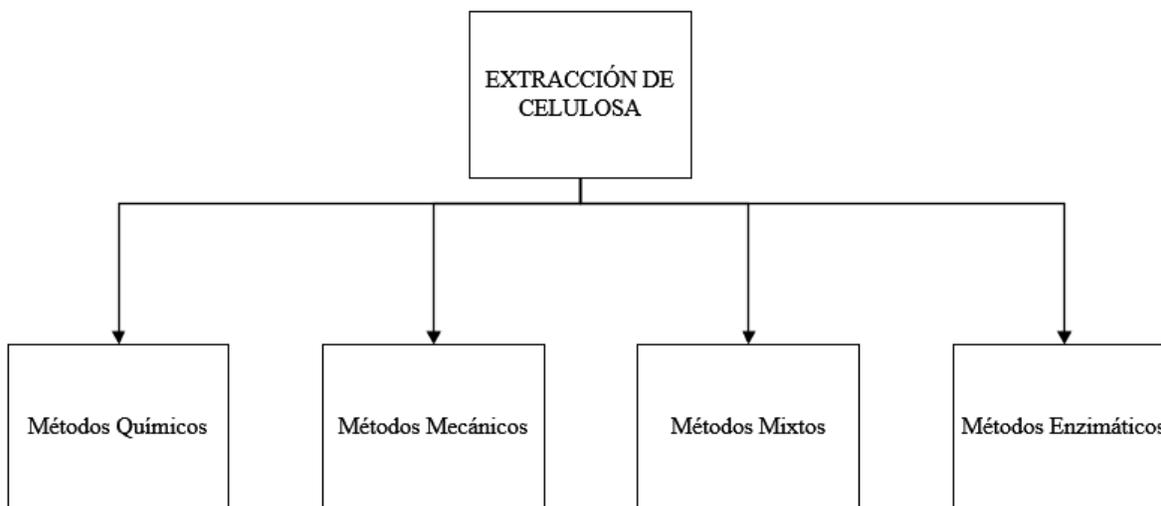
donde se unen las moléculas durante el proceso de sorción, ofreciendo sus propiedades higroscópicas. Al igual, los grupos OH de la celulosa están ocupados en su gran mayoría siendo dos tercios los participantes en la unión de las cadenas, dejando un tercio de los sitios de sorción accesibles. En contraste, la hemicelulosa al ser una estructura ramificada es el compuesto lignocelulósico que aporta más sitios de sorción, pero que debido a sus características es la primera removida al momento de extraer celulosa [50], observándose una ventaja de la higroscopicidad de la celulosa es que al estar rodeado de una atmosfera que contiene vapor de agua o ciertos tipos de líquidos orgánicos, tiende al equilibrio removiendo o absorbiendo el respectivo fluido [28].

1.6 Métodos de extracción de celulosa

Para la obtención de celulosa a partir del bagazo de caña, se debe conocer los diversos tratamientos que puedan garantizar la mayor cantidad de celulosa obtenida, estos métodos pueden también ser encontrados como pretratamientos, sin embargo, se cumple la misma tarea de eliminar casi que por completo la lignina para la empleabilidad de la celulosa en las industrias.

Figura 4.

Organigrama de diferentes tipos de extracción de celulosa



Nota. Métodos más comunes para la extracción de celulosa

El objetivo de la extracción es remover en altos porcentajes o totalmente la hemicelulosa y lignina, debido al amplio espectro de usos en el cual la celulosa es participe, es necesario evaluar cuales

son los métodos de extracción de celulosa a partir de las fibras vegetales, buscando que su extracción garantice un rendimiento elevado de celulosa y permitiendo que los métodos no alteren en gran medida los compuestos lignocelulósicos que acompañan a la celulosa. Con el fin de aprovechar al máximo los residuos agroindustriales y evitando un impacto ambiental adicional por la alteración presentada según el método usado, existiendo 4 métodos principales y debido a las diferencias en su metodología, el rendimiento varío al igual que el uso de la celulosa obtenida por cada método.

1.6.1 Métodos químicos

Tradicionalmente estos métodos son conocidos como procesos de pulpeo en el cual se genera la liberación de fibras que se encuentran entre si rompiendo la organización de estas, siendo el pulpeo alcalino el pionero para el bagazo de caña [20], mejorando el grado de deslignificación y propiedades ópticas [41].

Este método contempla la extracción partiendo de reactivos químicos en disoluciones acidas y básicas, basados en concentraciones bajas para las fibras no maderables, esto a causa de la baja cantidad de lignina. El principal enfoque de este método es romper los enlaces presentes en los compuestos lignocelulósicos buscando aislar a la celulosa manteniendo factores de presión y temperatura en un rango constante [51]. Los métodos químicos más conocidos son el proceso Kraft, proceso a la sosa y proceso al sulfito acido [2]. Una de las similitudes de estos procesos es la presencia de hidrolisis ácida y del pulpeo alcalino o también conocida como hidrolisis básica. Debido a la importancia de la hidrolisis se hace necesario determinar los dos tipos de hidrolisis involucradas en los métodos químicos, recordando que la hidrolisis es entendida como la interacción de las moléculas de agua con otras sustancias para formar una o más sustancias nuevas, llevado a cabo por la división de las moléculas de agua [9], [13].

1.6.1.i Hidrolisis ácida. La hidrolisis acida utiliza ácidos fuertes para poder hidrolizar la hemicelulosa y la lignina, logrando volver estos compuestos solubles en agua con el fin de separarlos de la celulosa [51], en esta etapa es fácilmente hidrolizada la hemicelulosa a causa de sus ramificaciones ofreciendo estructuras amorfas y menor grado de polimerización, en donde sus

enlaces glicosídicos son menos estables [23] y su estructura es semicristalina; aunque esta hidrólisis no favorece en porcentajes elevados la eliminación de la lignina debido a la resistencia de esta [24].

Su mecanismo es basado en la ruptura de los enlaces éter-heterocíclico presentes en los monómeros de azúcar situados en las cadenas formadas por la celulosa y hemicelulosa [36], esta hidrólisis permite la degradación y eliminación total de la hemicelulosa si se alcanzan temperaturas mayores o iguales a 120 °C, generalmente se utilizan ácido nítrico, ácido sulfúrico, y ácido clorhídrico siendo estos dos últimos los más empleados a nivel industrial [26]. Dos de las principales aplicaciones de la hidrólisis ácida, es la obtención de azúcares reductores [51] o fermentables para la producción de etanol [32], [52] y celulosa microcristalina [24], en donde se ataca las zonas amorfas produciendo una disminución en el grado de polimerización [47].

1.6.1.ii Hidrólisis alcalina. La hidrólisis o pulpeo alcalino utiliza como reactivo hidróxido de sodio, hidróxido de calcio o amoníaco generalmente el más usado es el hidróxido de sodio, el cual mejora la digestibilidad de la celulosa [33], causando un aumento de la superficie interna de esta, conocido como un hinchamiento de la biomasa, involucrando una reducción en la cristalinidad y un rompimiento en la estructura de la lignina, siendo la parte antimicrobiana de la pared celular; su efectividad es asociada a la cantidad de lignina, en el cual a menor cantidad su efectividad es mayor [26], [33].

El mecanismo del pulpeo alcalino es basado en la saponificación de los enlaces ésteres intramoleculares los cuales unen los componentes de la materia prima, principalmente las ramificaciones que componen a la hemicelulosa y lignina [26]. La deslignificación se lleva a cabo por solubilización de la lignina y separación de las fibras [2], esto causado por la posibilidad de introducir grupos sustituyentes polares en la lignina [36].

Es necesario saber respecto al licor blanco, el cual, puede ser entendido como una mezcla alcalina compuesta por agua e hidróxido de sodio, es usada al momento de realizar pulpeos químicos [37], es principalmente conocida en el proceso Kraft el cual es ampliamente conocido por su aplicación a la industria de papel, su función principal es el ataque hacia los enlaces entre la celulosa y la lignina [53].

Por otro lado, al momento de realizar una hidrólisis alcalina, la lignina empieza a oxidarse, debido a eso se empieza a obtener un color café oscuro el cual se podría traducir en la mezcla del licor blanco y la lignina, es decir, licor negro [18], este licor principalmente está compuesto por agua, materia orgánica proveniente de la degradación de la holocelulosa, lignina solubilizada extraíble y materiales inorgánicos provenientes de los diversos reactivos usados en la cocción [54]. Si los reactivos empleados en el proceso no se les genera un valor agregado, el costo asociado a la obtención de pulpa sería elevado y la contaminación de los efluentes sería irremediable, debido a eso se desarrolla la regeneración de licor negro (mezcla de reactivos residuales) a licor blanco (disolución de reactivos para pulpeo) ofreciendo un valor adicional a este licor negro siendo aprovechado para reducir costos asociados al proceso. Adicional a esto, el método Klason permite determinar si hay una cantidad significativa de lignina para hacer rentable el proceso [55]. concentrándolo y aprovechándolo en la combustión en las calderas [18], donde requiere sistemas de oxidación, equipos de evaporación, condensación y combustión, y con ello grandes cantidades de energía [37].

1.6.2 Métodos mecánicos

La industrialización ha generado que los procesos cada vez tiendan a ser más automatizados, habitualmente los procesos mecánicos vienen relacionados a equipos enfocados a la mejora continua de los procesos industriales.

Este proceso toma relevancia debido a su metodología, usando energía mecánica y reduciendo el impacto ambiental, principalmente por el consumo de agua enfocado en la separación de los componentes lignocelulósicos que ha comparación con los métodos químicos tiene menor uso. Además, su rendimiento es más elevado, puesto que para la producción de pasta celulósica se puede realizar el procesos de cizallamiento y corte que separan las fibras utilizando la molienda de piedras [20] estos pueden ser llevados a cabo mediante el uso de piedras giratorias en las que se pone en contacto los compuestos lignocelulósicos, adicional a este se puede presentar la mecánica de refinación y los procesos termoquímicos [51], este método es empleado principalmente en fibras maderables tales como álamo y abetos en donde los rendimientos son elevados obteniendo fibras cortas con alta opacidad, suavidad y grosor en las que se beneficia la

capacidad de absorción de agua y brillo, siendo este método usado para la obtención de papel periódico, papel de libros y revistas [12], [14] [56].

1.6.3 Métodos mixtos

Estos procesos involucran la mezcla de dos métodos enfocados en la extracción de la celulosa, comúnmente son mezcla de métodos químicos y mecánicos, aplicados esencialmente a fibras maderables las cuales presentan una corteza que generaría un aumento elevado de reactivos para la degradación. Este método ofrece rendimientos de hasta el 80 % [24], involucrándose en la mejora del rendimiento y la calidad de la pulpa [51].

1.6.4 Métodos enzimáticos

Este método es uno de los más recientes en donde se busca reemplazar los métodos químicos ya que son muy similares basados en la hidrólisis enzimática, la cual por medio de enzimas genera divisiones moleculares; su principal enfoque es el uso de microorganismos como bacterias y hongos los cuales son capaces de degradar y sintetizar materia orgánica [51], el objetivo de estos métodos es degradar la lignina y hemicelulosa, eliminando las barreras que protegen la celulosa [33].

Los más usados son los hongos de la pudrición blanca los cuales tiene la capacidad de degradar la lignina. Por otro lado, las bacterias celulolíticas presentan un proceso más lento debido a la carencia de enzimas con un alto desempeño en la degradación de compuestos lignocelulósicos en donde se debe controlar rigurosamente su crecimiento. Esto basado en el potencial de los métodos microbianos el cual genera la descomposición total de los componentes lignocelulósicos causando la pérdida de celulosa [57].

1.7 Tela no tejida

Entendida como la producción de un textil partiendo de una forma no convencional, las cuales permiten unir las redes de fibras por medio de la fricción inherente entre fibra y fibra, dado por

tratamientos mecánicos, térmicos o químicos. Estos textiles difieren de los tejidos convencionales, los cuales son fabricados a partir de hilos como tejido de punto que se forma directamente a partir de fibras [58]. Puede ser considerada una malla o una estructura formada por fibras o filamentos, las cuales ofrecen propiedades específicas como absorbencia, resistencia, elasticidad, retardación al fuego, esterilidad, repelencia a líquidos, suavidad, filtración, barrera bacteriológica, entre otros [59], se debe tener presente que estas telas no pasan por un telar y su principal elaboración es a partir de polímeros tales como el polipropileno [60], [61].

El uso del polipropileno de forma no tejida se encuentra en la fabricación de mascarillas quirúrgicas en donde la capa intermedia es un tejido “meltblown” de polipropileno, es ampliamente usado en procesos tales como la filtración de aire y agua de alta eficiencia, materiales de absorción de sonido del coche y otros campos [62]. La obtención de este no tejido inicia al fundir el material plástico en una extrusora, luego se obtiene por medio de aproximadamente 40 agujeros por pulgada fibras largas y delgadas que se estiran y enfrían; la tela resultante se recoge en rollos y posteriormente se convierte en productos terminados [63].

1.8 Humus como disposición final de las fibras de celulosa

El humus o más conocido como abono orgánico es una tierra modificada y acondicionada por medio de la implementación de lombrices rojas californianas sobre un material orgánico, estas nunca son capaces de alimentarse de nutrientes sintéticos ya que puede intoxicar tanto a la lombriz como al medio, es decir la tierra. Por otro lado, requiere de técnicas diferentes para su degradación. De igual forma, el humus aporta nutrientes y hormonas enraizantes de forma natural [64].

Este producto de color café oscuro, granulado, homogéneo e inodoro, además mejora la retención de humedad, la aireación y cohesión de las partículas del suelo, protegiendo a la vez las plantas o el vegetal cultivado de hongos y bacterias que perjudiquen su germinación [65].

Tabla 4.*Composición química del humus sólido*

Humedad	30-60 %
pH	6,8-7,2
Nitrógeno	1-2,6 %
Fosforo	2-8 %
Potasio	1-2,5 %
Calcio	2-8 %
Magnesio	1-2,5 %
Materia orgánica	30-70 %
Carbono orgánico	14-30 %
Ácido fulvónicos	14-30 %
Ácidos húmicos	2,8-5,8
Sodio	0,02 %
Cobre	0,05 %
Hierro	0,02 %
Manganeso	0,006 %
Relación C/N	10-11 %

Nota. Composición del humus donde la materia orgánica conforma la mayor proporción, Tomado de: Fertilab, “El humus de lombriz”, Cent. Investig. y Desarro., pp. 2–3, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El-Humus-de-Lombriz.pdf>.

Los alimentos favorables para compostar es estiércol con ciertas proporciones de alimentos en descomposición además de fibras naturales ya que son de fácil digestión y con retenciones altas de agua aumentando la eliminación de ciertos desechos con disposiciones erróneas [66], donde es primordial la relación C/N reteniendo a partir de la humedad, el nitrógeno necesario respecto al carbono, categorizados como elementos verdes y marrones respectivamente. Además, es necesario resaltar la relación entre estas de 25:1, en otras palabras, por 25 unidades de carbono 1 de nitrógeno, donde al aumentar la relación de nitrógeno se afecta el pH, afectando directamente la calidad del abono orgánico, por otro lado, al aumentar el carbono se genera sobrealimentación del mismo, afectando el rendimiento y nuevamente la calidad. Así pues, contribuye con el equilibrio de la tierra a usar y de igual forma mejora la capacidad de producción en siembras y/o lugares públicos, obteniendo las mejores cualidades y en ausencia de contraindicaciones [67].

De esta manera, al ser un abono orgánico contribuyente a la humedad de la tierra, el tener como nutriente las fibras de celulosa, que, al ser higroscópicas, ayudan a retener la humedad necesaria para mejorar las condiciones de la tierra.

1.9 Operaciones unitarias en la obtención de fibras

1.9.1 Fraccionamiento y clasificación de la materia prima

La clasificación de la materia prima es un paso fundamental para la obtención de resultados óptimos y que permite evitar interferencias o ruido causado por materia prima con daños o mutaciones, este puede ser constituido como la separación de la materia prima en fracciones con base a diversos tamaños apropiados de acuerdo con el producto que se requiera obtener, esta clasificación puede ser realizada industrialmente a partir de equipos neumáticos o mecánicos, siendo este último el más usado. Los tamices permiten separar con base al perímetro de partícula generado la separación por medio de vibraciones o sacudidas [31].

1.9.2 Almacenamiento y secado

Una variable adicional que permite mejorar las propiedades del bagazo de caña para su respectivo uso es su adecuada conservación, al momento de generar la extracción del jugo el bagazo sale con una humedad elevada alrededor del 50% y con un contenido de 2% a 3% de azúcares disueltos, siendo el almacenamiento compactado y a granel los métodos más usados a nivel industrial [31], como se ha mencionado anteriormente esta mezcla de humedad con azúcares genera un sustrato que permitirá el desarrollo de microorganismos afectando considerablemente las propiedades físicas y químicas.

Adicional al almacenado el secado es una consideración importante con el fin de disminuir o inhibir el desarrollo de los procesos fermentativos, responsables principales de la afectación de la materia prima [31].

2. PROCESAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS FIBRAS DE CELULOSA

La caña de azúcar es recolectada y transportada desde la provincia de Guatavita, principalmente de Villeta, en donde para el año 2013 se cultivaron 3.529 hectáreas, de las cuales se obtuvo 6.677,5 toneladas de bagazo, se estima que en la última década las producciones de bagazo de caña fueron de 1.5 millones de toneladas anuales presentes en Villeta [68]. El clima de esta zona está clasificado como tropical, en donde hay gran cantidad de lluvia incluso en el mes más seco. La temperatura promedio en Villeta es 20,4 °C, con una altitud de 850 metros sobre el nivel del mar [69], tiene una precipitación baja en enero, con un promedio de 136 mm, siendo mayo el mes con mayor cantidad de precipitación con un promedio de 603 mm [70].

Con base a las diversas variedades de caña de azúcar evidenciada en la figura 2, se hace necesario determinar el género y la especie del bagazo que es obtenido para la ejecución del presente documento, debido a las características enlistadas en la tabla 2 y por medio de análisis cualitativos enfocados en la cantidad de jugo extraído, diámetro y color del cañuto, se logra determinar que es de la especie *officinarum*, la cual presenta la mayor cantidad de sacarosa a comparación de las demás especies.

Figura 5.

Caña de azúcar especie "Officinarum"



Nota. Caña característica por ser la de mayor cantidad de jugo y sacarosa

En primera instancia, el bagazo de caña de azúcar debe ser pasado por un trapiche como mínimo 3 veces seguidas, el cual exprime la caña de azúcar y saca los jugos de esta, llevando a cabo un desmedulado húmedo posterior, enriqueciendo la fracción fibrosa al remover el tejido parenquimatoso [37].

Figura 6.

Proceso de extracción de jugo en el trapiche



Nota. El proveedor genera la extracción máxima del jugo luego de las repetidas pasadas por el trapiche.

Posteriormente, se seca el bagazo de caña de azúcar por un tiempo aproximado de 40-46 h a temperatura ambiente sin lavados previos, a causa de evitar favorecer las condiciones de humedad, donde se evidencia un rico sustrato para el desarrollo de microorganismos, en el cual tienen lugar varias reacciones enzimáticas simultáneas no deseadas [41], generando además tiempos más largos de procesamiento.

Después, se clasifica la materia prima a usar, donde se elige aquellas fibras que no estén coloradas a causa de su botánica, sin humedad y preferiblemente alejadas de la corteza ya que estas suelen tener mayor resistencia y menos flexibilidad según lo observado experimentalmente. De igual forma, esta selección también se asemeja a un desmedulado en seco ya que elimina el polvillo adherido a las fibras [71], permitiendo una mayor homogeneidad relacionada al grosor de las fibras a comparación del bagazo integral [37], evidenciado este polvillo en la figura 7.

Figura 7.

Asociación desmedulado seco y filamentos seleccionados



Nota. Cuando se hace la separación de las fibras a utilizar, este procedimiento genera un polvillo residual (A), el cual se asemeja con la medula seca aumentando la eficiencia del proceso, separado del bagazo integral (B).

Además, previo a la evaluación del método más equilibrado del rendimiento respecto con la extracción de celulosa, se debe considerar el tamaño de partícula, el cual es importante para los procesos de separación química, basado en la generación de altas área de contacto en función del método químico a desarrollar, es decir, aludiendo al menor tamaño de partícula donde se beneficia proporcionalmente el contacto con los reactantes gracias a su estructura física [36].

Asimismo, se somete a una trituración con un pica todo eléctrico Oster 1250 (véase anexo 5) y posteriormente a un tamizado, donde se tienen los porcentajes de clasificación, rendimiento y aprovechamiento de la materia prima a partir de tamaños entre 1,9 mm y 0,850 mm retenidos en la malla ASTM No. 20; debido a que se desea trabajar con fibras cortas de bagazo "hardwood Pulp" (0,7 mm a 1,8 mm) a razón de su disminución de resistencia [18] y su aumento en la flexibilidad para la aplicación del medio filtrante en mascarillas de tela. Además, no se cuenta con un tamiz menor al ASTM No.10 generando de esta manera incertidumbre si se estudia este, debido a su disminución de resistencia [18] y su aumento en la flexibilidad para la aplicación del medio filtrante en mascarillas de tela.

A partir de las normas de tamizado, donde en primera instancia se hace un micraje máximo dependiendo de los kg recolectados y/o sometidos al tamizaje posterior, se muestra esta relación en la tabla a continuación.

Tabla 5.

Tamaño máximo nominal de las fibras según lote

Máximo tamaño nominal (mm)	Tamaño mínimo de la muestra de prueba (kg)
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Nota. Relación de lotes con respecto a su tamaño nominal máximo. Tomado de: U. C. J. S. Cañas, “Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz No 200 (75µm) en agregado mineral por lavado,” 2014. https://es.slideshare.net/ronaldalan/analisis-de-tamao-de-partculas-por-tamizado?from_action=save.

De esta manera, se obtienen pesos menores a 1 kg, es decir, se obtienen tamaños máximos nominales de 9,5 mm. Junto con esto, para mejorar la extracción de celulosa se requiere de tamaños de partícula entre 2 mm a 8 mm para mejores rendimientos [18]. Así pues, se accede a un grupo de tamices como se muestra a continuación.

Tabla 6.

Clasificación de micraje según categoría de tamizado relacionando ASTM con ISO

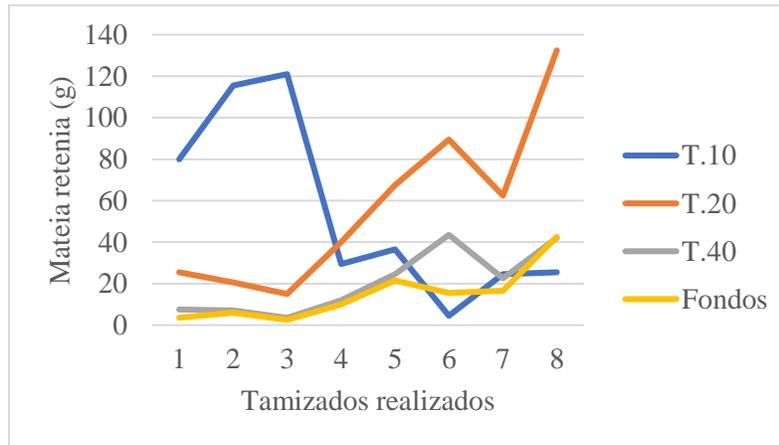
ASTM No.	ISO (mm)
10	2
20	0,850
40	0,425

Nota. Tamices utilizados para la separación de las fibras de bagazo de caña de azúcar. Tomado de Tamices, “Tabla Comparativa Normas Tamices Iso / Astm,” 2015. https://www.tamices.es/wp-content/uploads/2015/07/Tabla_comparativa_normas.pdf.

Respecto a los tamices seleccionados, se eligen por asequibilidad a causa de no contar con tamices de menor número ASTM [72]. Por consiguiente, se selecciona el material recolectado en el tamiz 20, siendo un acumulado de 453 g en todo el proceso, en otras palabras, el 37,41% del material seleccionado total.

Figura 8.

Materia prima retenida por tamiz utilizado



Nota. Cuando se refiere a los tamizados realizados, son la cantidad de lotes seleccionados, triturados y tamizados.

Se observa que, va reduciendo tanto las pérdidas como los rendimientos de retención en tamices secundarios a lo largo del proyecto, mejorando así el proceso de selección, trituración y tamizado.

Principalmente, el tamiz 20 (T.20) aumenta con el tiempo la retención de fibras con el tamaño nominal respectivo y por otro lado reduce la retención del tamiz 10 (T.10), evidenciado en la figura 8. Gracias a la implementación en la selección de las fibras, de una disminución de tamaño debido al cortado de estas en rangos de 5 a 9 cm antes de la trituración generando menos esfuerzos en el equipo.

A causa del uso específico del tamaño de fibras en un rango preestablecido, se desarrolla un plan de recirculación para las fibras con tamaño superiores para su aprovechamiento y uso en el proceso como por otro lado aquellas fibras más finas son almacenadas para el uso tanto en el medio filtrante y nutrición animal o harina de bagazo para acoplarla a procesos previamente mencionados.

2.1 Determinación de propiedades fisicoquímicas

Teniendo en cuenta el ataque selectivo al cual se desea exponer el bagazo de caña, adicional a la disponibilidad de equipos y reactivos se emplea una extracción por métodos químicos, en donde su rendimiento es bajo, siendo este reportado entre 30 % y 60% [2] a causa de la solubilidad de las fibras en el método utilizado y, por otro lado, debido a la constante pérdida de materia prima durante el proceso por medio de la hidrólisis.

De esta manera, se desarrollan las caracterizaciones fisicoquímicas determinantes para generar un medio filtrante aplicado a la retención de partículas salivales, donde se asocia con comportamientos de papeles, cartones, entre otros; a partir de la extracción de celulosa, siendo la porosidad, el porcentaje de celulosa y lignina factores clave para tanto la elección del método a seguir como las modificaciones a realizar una vez las fibras sean adecuadas y neutralizadas ya que estarán en constante contacto en la aplicación establecida, es decir, para mascarillas de tela.

2.1.1 Determinación de celulosa

En esta primera etapa se seleccionan 3 metodologías de extracción, donde se evita la desnaturalización de las fibras de celulosa como la carbonización de esta al exponerse a concentraciones altas, aprovechando los procesos más comunes y beneficiosos, siendo la hidrólisis

ácida con H_2SO_4 e hidrólisis alcalina con NaOH las utilizadas, evidenciando el proceso en la figura 10.

Por otro lado, el objetivo de estos ensayos es determinar la mayor extracción de celulosa teniendo en cuenta que, la hidrólisis ácida genera mejor solubilización de la materia prima y además se genera una activación de las secciones amorfas de las fibras, es decir, la lignina y la hemicelulosa [14],[15]. Estas zonas amorfas se desean disminuir para aumentar el porcentaje de celulosa por medio de la hidrólisis alcalina, teniendo en cuenta que si se remueve elevadas cantidades de lignina, la celulosa puede empezar a degradarse reduciendo el rendimiento y resistencia de la pulpa [73], sin embargo, también tienen beneficios en el medio filtrante como agente antimicrobiano por parte de la lignina [10],[14]. Y en cuanto a la hemicelulosa ayuda a la flexibilidad del medio filtrante, aportando como el tamaño de partícula mejora a las propiedades mecánicas, además de favorecer las zonas amorfas de la celulosa para la retención de agua [48],[74], siendo estas similares a las partículas salivales.

Con base en los datos obtenidos de [9],[12], se evidencia que la cocción de residuos agroindustriales tales como el buchón de agua y cascara de cacao, son similares al bagazo de caña, esto basado en su contenido de celulosa y reducción de lignina, según los procesos realizados para la determinación de celulosa donde en medios tanto alcalinos como ácidos no se evidencia cambios significativos entre una hora a seis horas de cocción. Adicional, se realiza una agitación con el fin de homogenizar el contacto con los licores blancos o disoluciones siendo estas realizadas de forma manual y/o magnética [51].

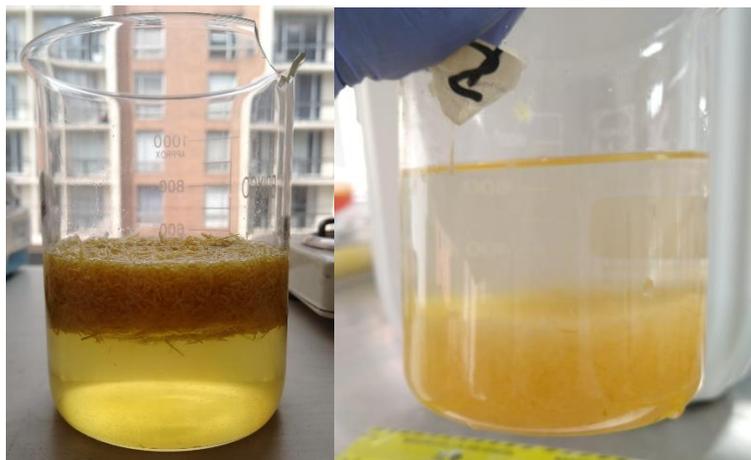
Seguido a esto, según López, y *et al.*, se determina el método de extracción tipo I rescatando la concentración de la hidrólisis ácida, es decir, 0,4 % de H_2SO_4 durante una hora [75], se expone a una agitación y temperaturas de 50°C a 70°C debido a su influencia positiva respecto a la extracción y de igual manera evitando generar productos que degraden la celulosa [52]. Luego, se genera el tipo II, el cual es 1 % de H_2SO_4 basado en el proceso de obtención de azúcares fermentables [76], siendo la principal reacción, la hidrólisis de la hemicelulosa, específicamente del xilano, seguida de una solubilización de la lignina permitiendo una separación de la celulosa [26] haciéndose a las mismas condiciones de temperatura y a la vez teniendo en cuenta que a concentraciones mayores

aumenta la posibilidad de desintegrar las fibras, esto causado por ser una reacción exotérmica la cual puede carbonizar la materia orgánica, degradando la celulosa [29]. Cabe aclarar que, estos dos tipos tienen una continuidad al ser sometidos a una hidrólisis alcalina, la cual es igual al tipo III.

De esta manera, respecto a la hidrólisis alcalina, se lleva a cabo con NaOH siendo uno de los procesos más comunes para la extracción de celulosa [2], debido a que es una base fuerte se sugiere trabajar con concentraciones menores a 5 % p/v para fibras blandas [51], con agitación constante para mayor contacto con el solvente ya que las fibras son de una densidad baja como se puede observar en la figura 9. Al igual, la temperatura se lleva entre 70°C-90°C. Generando así el tipo III y la continuidad de los anteriormente mencionados.

Figura 9.

Densidad de las fibras de celulosa antes de la cocción y después de la neutralización en hidrólisis alcalina.



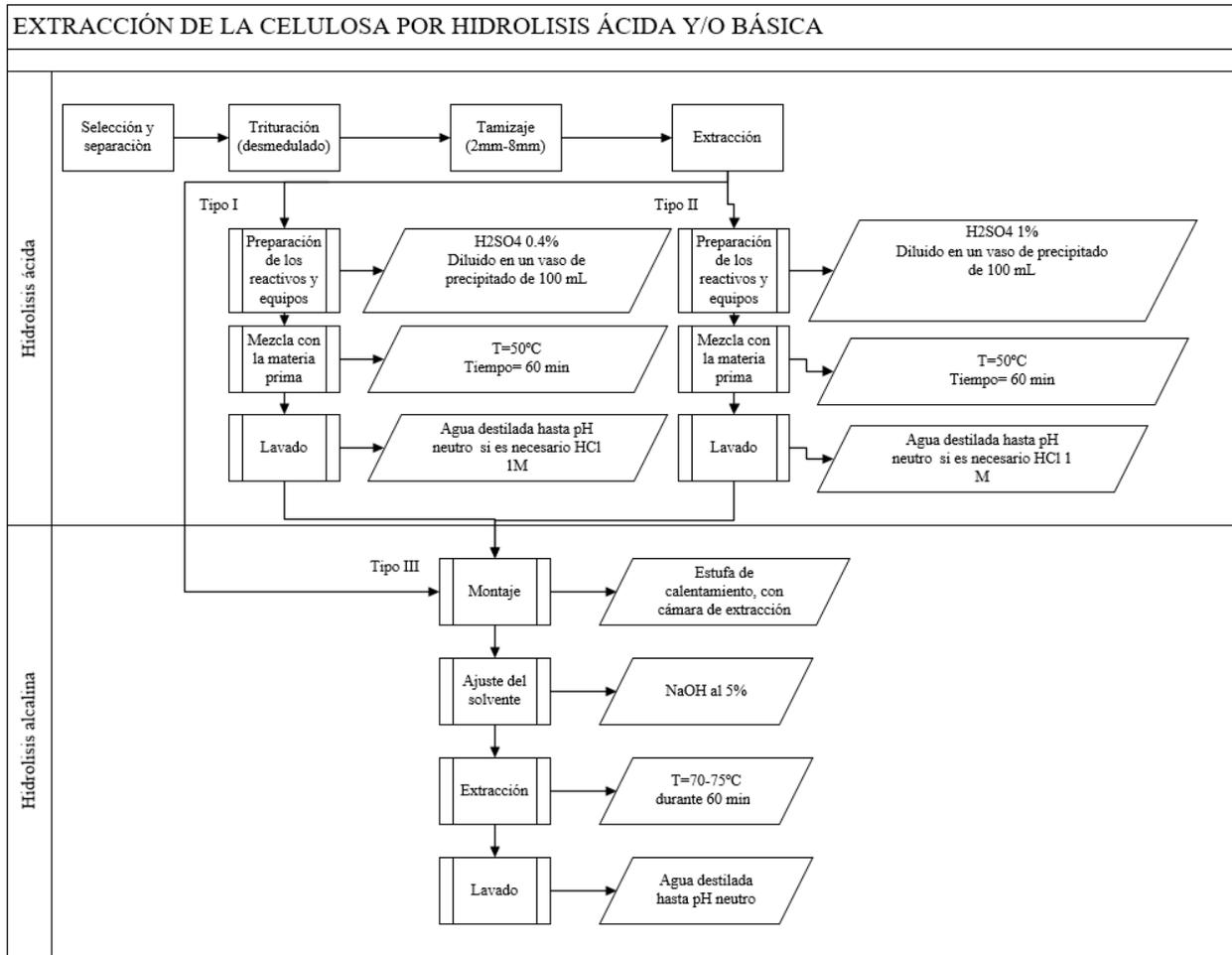
A

B

Nota. Se muestra A. la densidad mayor de las fibras de celulosa con respecto al agua antes de la cocción, B. una vez termina el proceso de cocción y son neutralizadas.

Figura 10.

Ruta de procesos de extracción de celulosa por 3 tipos



Nota. Según las referencias generadas se desarrolla 3 tipos para determinar el más apropiado según % rendimiento y % de extracción de celulosa, verticalmente indicándose la hidrolisis alcalina y ácida.

En la figura 10 se plasma un diagrama donde se desarrollan diferentes procesos específicos, fusionando metodologías como lo son la hidrolisis ácida y alcalina, al igual que someter las fibras a solamente un proceso alcalino, usándose HCl al 1 M para neutralizar las fibras en solución de agua destilada, tiempos y volúmenes iguales. De esta manera, en función de generar este mismo orden de tipo I, tipo II y tipo III se asocian con el proceso aumentando la facilidad de relación y lectura, para determinar la metodología a replicar.

Tabla 7.*Designación de los tipos de proceso*

NÚMERO	PROCESO
I	H ₂ SO ₄ 0,4%+NaOH 5%
II	H ₂ SO ₄ 1%+ NaOH 5%
III	NaOH 5%

Nota. Los números romanos presentados están directamente relacionados con el tipo en el diagrama de rutas de proceso.

Ecuación 1.*Porcentaje de celulosa*

$$\% \text{ de celulosa} = \frac{(P_A) - (P_B)}{P_m} * 100$$

donde la P_A es la masa inicial al momento de finalizar la extracción sometiendo a temperatura de 140 °C a 160°C, P_B la masa B es al ser secado por un lapso de 30 min a 520°C-540°C y P_M la masa de muestra.

Tabla 8.*Resultado experimentación extracción de celulosa en los diferentes tipos*

NÚMERO	pH FINAL	Peso cápsula sola seca	Peso cápsula con 1g de muestra seco	% Celulosa			
				Masa A	Masa B	%	% rendimiento
I	7,80	54,00	55,90	54,60	53,73	87,13	18,90
II	7,90	56,00	57,81	57,16	56,73	42,82	25,29
III	7,76	52,00	53,32	54,17	53,34	83,23	19,46

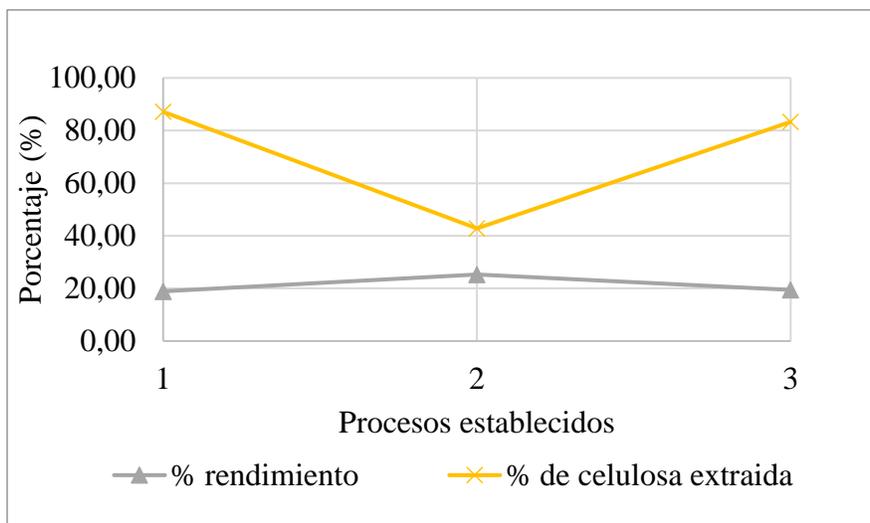
Nota. Demuestra los resultados de las diferentes extracciones de celulosa para determinar el método a replicar a lo largo del proyecto, donde masa A es el peso inicial al momento de finalizar la extracción sometiendo a temperatura de 140 °C a 160°C y la masa B es al ser secado por un lapso de 30 min a 520°C-540°C.

En primera instancia, se decide la metodología a replicar a lo largo de los siguientes pasos dependiendo de los resultados obtenidos en el porcentaje de celulosa inicial, relacionado directamente con el porcentaje de rendimiento en el proceso con respecto a la materia utilizada (13 gramos aproximadamente), rompiendo los enlaces glucosídicos, véase figura 11. Así pues, se

decide replicar el proceso III, es decir, la hidrólisis alcalina con NaOH al 5% p/v , siendo similar al método Kraft el cual es empleado a nivel industrial, ya que ofrece características a la pulpa obtenida, como lo es su coloración más blanca [77]. De igual forma, basado en la cantidad de celulosa obtenida que aunque dado el caso quedan trazas significativas de hemicelulosa, esta aporta maleabilidad al medio filtrante [24], [33]. Por otro lado, aunque tiene un 4 % menos de extracción de celulosa, también la pérdida del 30 % p/p en materia prima comparada con las otras hidrólisis, donde estas obtienen una merma del 50 % p/p se observa la afectación en la producción a gran escala ya que se tiene disminuciones significativas de la materia a razón de su selección, trituración y tamizado previo.

Figura 11.

Representación gráfica del rendimiento de extracción y el porcentaje de extracción de celulosa



Nota. Se demuestra gráficamente la diferencia entre los métodos y la relación tanto de su extracción como el rendimiento para conocer el mejor proceso a replicar.

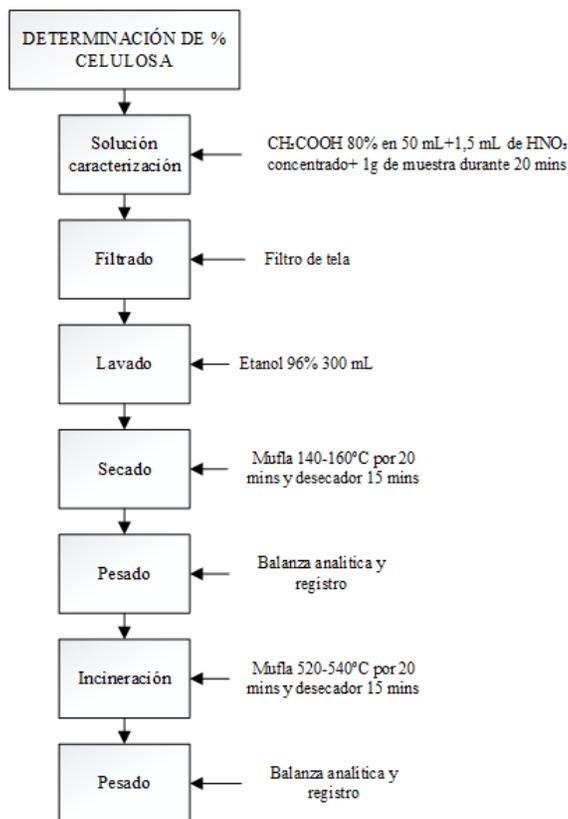
Además, al ser removida una mayor cantidad de la lignina, con base a la posibilidad de generar usos de todos los subproductos obtenidos para procesos de recirculación y aprovechamiento, se emplea la hidrólisis alcalina ya que, al momento de la extracción, el licor o lejía negra disuelta en la solución alcalina puede ser quemada posteriormente y ser usada en la cogeneración de energía en los ingenios azucareros [24].

A partir de los resultados y con base a [25], se hace el proceso de cuantificación de porcentaje de celulosa a reflujo con una temperatura constante de 70-75°C durante 20 minutos donde 1g de muestra es puesto en contacto con una disolución de HNO₃ concentrado y CH₃COOH al 80 % v/v. Seguido, se lava con etanol en un filtro de tela, se deja 20 minutos en la mufla en un rango de temperatura de 140°C-160°C y después de 15 minutos en el desecador se obtiene la masa A y este mismo se incinera durante 30 minutos a 520°C-560°C, pesando nuevamente después de 15 minutos en el desecador, dando la masa B, véase figura 13.

Por otro lado, evitando la volatilización de los compuestos dentro de la cabina de extracción acoplada en la mufla, se desarrolla una precocción, asemejada a una calcinación en una estufa, con las muestras en las cápsulas haciendo uso de la cámara de extracción durante un corto tiempo, mitigando el uso del extractor incorporado en la mufla reduciendo variación de la temperatura.

Figura 12.

Esquema de pasos para la determinación de porcentaje de celulosa



Nota. Diagrama generado para esquematar el proceso de determinación de celulosa para proceso en laboratorio.

Figura 13.

Montaje para la determinación de celulosa con reflujo



Nota. Montaje en las instalaciones del Tecnoparque, usando el chiller a temperatura de 3°C como refrigeración del condensador, manteniendo temperatura constante en cámara de extracción.

Considerando el procedimiento a replicar, los resultados obtenidos para el proceso de extracción con NaOH al 5 % p/v se desarrolla un comparativo nuevamente entre el porcentaje de extracción y el porcentaje de rendimiento, para más allá de determinar su proporción generar menos incertidumbre en el proceso, teniendo en cuenta siempre el pH ya que su función final está en contacto indirecto con el usuario.

Tabla 9.

Resultado de porcentaje de celulosa en hidrolisis alcalina

pH FINAL	Peso cápsula sola seca	Peso cápsula con 1g de muestra seco	Masa A	Masa B	% Celulosa	
					% de celulosa	% rendimiento
7,76	52,00	53,32	54,17	53,34	83,23	19,46
7,99	68,14	69,19	68,94	68,09	80,39	32,0
7,99	53,31	54,15	54,14	53,31	78,95	32,1

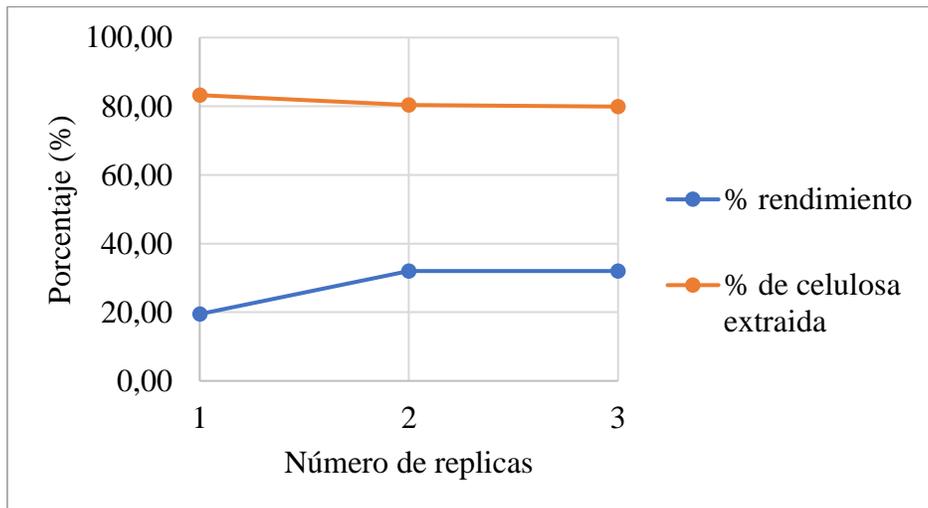
Nota. Resultados en réplica para confiabilidad del proceso elegido con una variación estándar del $\pm 1,80$. Donde masa A es el peso inicial al momento de finalizar la extracción sometiendo a temperatura de 140 °C a 160°C y la masa B es al ser secado por un lapso de 30 min a 520°C-540°C.

Los valores previamente obtenidos son muy cercanos a los obtenidos por Karla Ruiz en donde con una concentración de 10 % p/v su rendimiento se redujo a la mitad siendo su promedio del 16,54 % [36], adicional se confirma una comparación con la paja de la caña de azúcar que también a la misma concentración de 10 % p/v de la solución alcalina, se obtienen rendimientos de 34 % [73] permitiendo confirmar una buena ejecución experimental.

Si bien, se observa un rendimiento menor en el primer resultado, pero no una afectación significativa en la extracción de celulosa es gracias al proceso de lavado para su neutralización ya que requiere de proporciones altas en el consumo de agua y por otro lado filtros, en este caso colador, más finos evitando perdida por arrastre del fluido de las fibras de celulosa, cambiándose en los ensayos posteriores por un filtro de tela.

Figura 14.

Representación gráfica de la hidrólisis alcalina entre el rendimiento y la extracción de celulosa al 5% p/v de NaOH



Nota. Se evidencia que entre las 3 réplicas no hay desviaciones altas y, por otro lado, aunque tiene rendimientos bajos, el porcentaje de celulosa final es beneficioso.

Figura 15.

Filtrado de licor negro respecto a las fibras de celulosa



Nota. Debido al ataque alcalino se empieza a evidenciar una importante variación de color en donde el contacto con la materia prima genera la oxidación de la lignina dando el tono café oscuro característico del licor negro.

Finalmente, el pulpeo alcalino de la celulosa obtenida es más resistente, y menos propensa a perder sus cualidades con respecto al tiempo [24], el uso del hidróxido de sodio beneficia la remoción de las zonas amorfas principalmente la lignina y en una proporción más reducida a la hemicelulosa, este reactivo ofrece un aumento a la porosidad del material, con fibras más suaves y manejables lo cual beneficia directamente a la retención de partículas salivales y producto final [73]. Adicionalmente, se inicia la caracterización con la extracción de celulosa en donde se busca potenciar sus propiedades las cuales son fundamentales para la elaboración del medio filtrante, siendo estas su durabilidad, fácil permeabilidad, alta absorción y escasa irritación [78].

2.1.2 Determinación de lignina

Con respecto a la extracción de celulosa se hace vital reconocer el porcentaje de lignina, el cual hace parte en primera instancia en un 20% a 30% cuando no se han modificado las fibras [79], siendo removida por medio de la hidrólisis alcalina una cantidad significativa con base a este porcentaje por medio de métodos estandarizados como ASTM D 1106-96 para maderas [80] y método de lignina Klason para pulpas, siendo esta última la base principal de la metodología a seguir. Sin embargo, es necesario generar un arreglo matemático con base al tiempo requerido del procedimiento que, aunque se lleva a cabo durante 2 días no se logra obtener la segunda solución a más de 120 minutos, siendo 240 minutos lo estipulado por el método [79].

A partir de esto, el método Klason se fundamenta en la pulpa insoluble en H₂SO₄ al 72% v/v donde los carbohidratos son hidrolizados y solubilizados por el ácido [79]. Teniendo una diferencia de peso con ayuda del método gravimétrico, generando 2 pesos másicos a diferentes temperaturas, llegando a una aproximación a la lignina insoluble [25].

Ecuación 2.

Determinación de lignina Klason

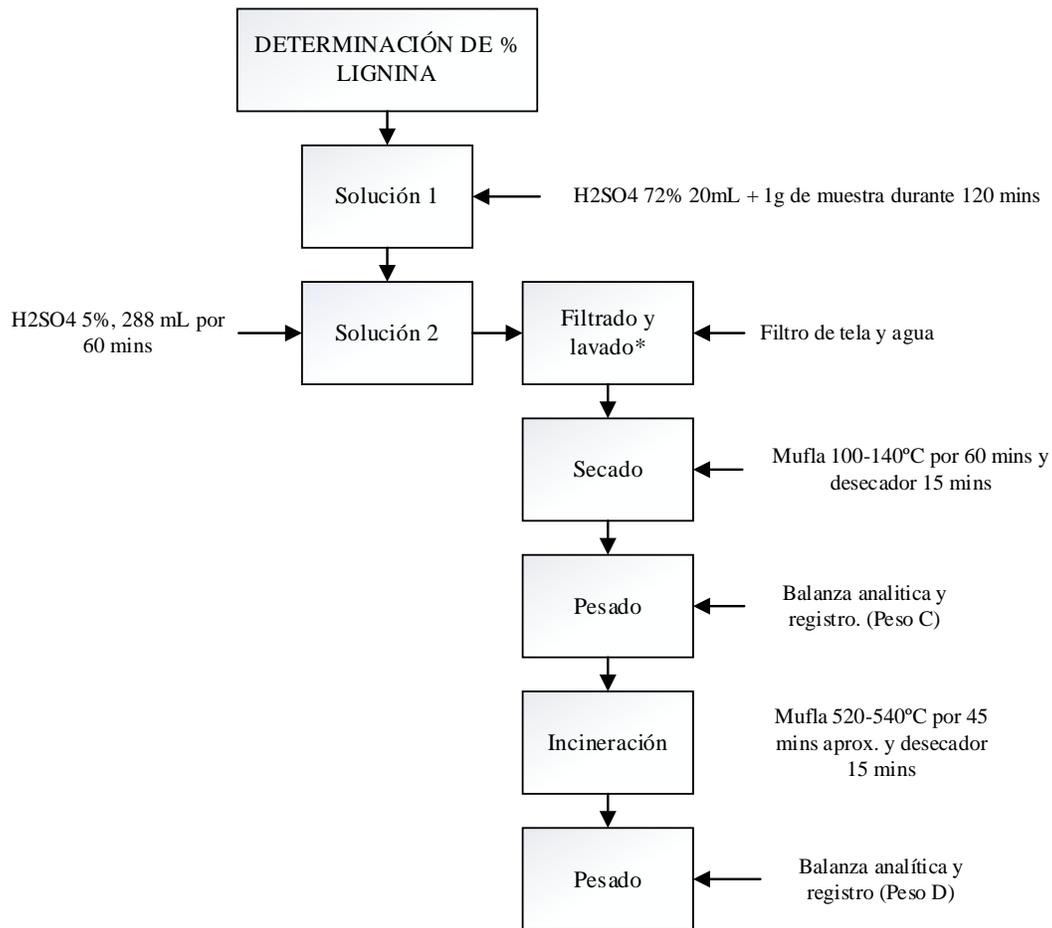
$$\%lignina = \frac{P_C - P_D}{P_M} * 100\%$$

Siendo el P_C la masa C, es decir, la fibra restante secada a 105°C, P_D la masa D cuando son incineradas las fibras a 540°C y P_M la masa de muestra

Aunque el método Klason estandarizado según la ASTM D 1106-96 [80], estima 4 horas a 3% v/v de H₂SO₄ después de la muestra estar expuesta a 72% v/v de H₂SO₄ durante 2 horas para hidrolizar los polisacáridos a oligosacáridos. En este caso, se diluye hasta 5% v/v durante 2 horas con el fin de romper los oligosacáridos en monosacáridos [81], a razón de tiempo de operación y capacidad de los implementos de laboratorio, donde se desarrolla un reflujo evitando las pérdidas de solvente, con agitación magnética constante.

Figura 16.

Diagrama de proceso para determinación de porcentaje de lignina



Nota. Generado de creación propia para esquematizar el proceso de determinación de lignina Klason para proceso en laboratorio.

Acorde con el diagrama de proceso, cabe resaltar la continuidad del contacto de las fibras con el ácido fuerte para la degradación de los compuestos lignocelulósicos no deseados, es decir, celulosa y hemicelulosa, al igual, es primordial tener en cuenta la coloración de las fibras una vez es establecido la masa D, ya que deben tener coloración gris o blanca con el fin de determinar la calcinación de la fibra en su totalidad.

Figura 17.

Muestra al 72% v/v de H₂SO₄



Nota. Montaje de porcentaje de lignina presente en las fibras, al 72 % v/v de H₂SO₄ durante 2h y en cámara de extracción para evitar volátiles al diluir la solución al 5% v/v.

Se debe agregar que, la razón por la cual las fibras se carbonizan al contacto con el H₂SO₄ al 72 % v/v es gracias a la disociación del ácido al donar un protón de agua generando una reacción exotérmica [82] y así desnaturalizando las proteínas y/o compuestos lignocelulósicos con un ataque fuerte a razón de ser un ácido fuerte, el cual, requiere de un control de temperatura por medio del reflujo evitando a la par la pérdida de la mezcla, esto a causa de su dilución posterior de un 5 % v/v.

Tabla 10.

Resultados del porcentaje de lignina presente en las fibras de celulosa a partir del bagazo de caña

Peso bagazo	Peso cápsula con 1g de muestra seco	Masa C	Masa D	%
1,20	55,83	54,04	54,00	3,98
1,01	53,83	53,75	53,73	1,72
1,00	54,40	53,60	53,57	2,26

Nota. Resultados en réplica para confiabilidad del proceso elegido con una variación estándar del $\pm 1,18$. Siendo la masa C, la fibra restante secada a 105°C y la masa D cuando son incineradas las fibras a 540°C.

Se logra evidenciar en la figura 17 la reacción que presenta la pulpa cuando entra en contacto con H_2SO_4 al 72 % v/v carbonizando esta pulpa, ofreciendo el color característico negro [34], como resultado se obtiene una media de 2,65 % de lignina, beneficiando al medio filtrante gracias a su estructura porque retarda la penetración de microorganismo al compuesto lignocelulósico, evitando la absorción de nutrientes presentes en el medio [26], conservando una cantidad asertiva de lignina para evitar los posibles malos olores presentes en el medio filtrante a lo largo del tiempo de uso. Adicionalmente, la eficiencia de unión entre las fibras es favorecida según la cantidad de lignina remanente después del pulpeo [24].

En esta caracterización empieza el enfoque de la posible compostabilidad en un corto tiempo, esto ya que la cantidad de lignina está directamente relacionada con la intensidad de su degradación. Adicional a esto, juega un papel importante la temperatura, disponibilidad de agua y oxígeno, relación C/N y los compuestos lignocelulósicos [83].

2.1.3 Densidad aparente de las fibras de celulosa

Es necesario determinar la relación con respecto a la masa en aire, es decir, las fibras de celulosa respecto a un volumen conocido, en este caso, por medio de una probeta de 50 ml se tiene en cuenta una cantidad específica de masa pesada en una balanza analítica de $0,67 \pm 0,19$ g, sometiendo a una trituración de la lámina nuevamente para ocupar cierto espacio en la probeta ya que es necesaria la determinación de la densidad de las fibras en seco a causa de su disposición final. Por otro lado, obtener una densidad de la lámina de fibras de celulosa sería muy ambiguo generándose mayor incertidumbre en los datos debido primeramente por no tener un equipo específico con el tamaño y medidas necesarias [84].

Es así como, se representa la relación entre el sólido y el espacio poroso donde normalmente aquellos sólidos más finos abordan rangos de 0,3 a 0,5 g/ml [2] dando razón de nuestros rangos más altos debido al tamaño de partícula usado en la lámina de fibras de celulosa, siendo de 0,850 mm a 1,9 mm.

Tabla 11.*Resultados de la determinación de densidad aparente en las fibras de celulosa*

Peso probeta sin masa (g)	Peso probeta con masa	Masa (g)	Volumen (mL)	ρ_a g/mL
76,55	77,50	0,77	16,00	0,05
76,55	77,50	0,82	18,00	0,05
76,55	77,50	0,89	18,00	0,05
76,50	77,00	0,41	12,00	0,03
76,00	77,00	0,51	14,00	0,04
76,00	77,50	0,60	18,00	0,03

Nota. Resultados en réplica para confiabilidad del proceso elegido con una variación estándar del $\pm 0,01$. Además, ρ_a es densidad aparente

A partir de los resultados observados, el tener una densidad aparente de $0,04 \pm 0,01$ g/ml quiere decir que además de no ser un material con un tamaño de partícula fino, es decir con tamices por debajo del tamiz No. 40, genera mayores espacios entre las fibras influyendo tanto en la porosidad como en la compactación [85] obteniendo valores menores y mayores respectivamente. Por consiguiente, es necesario mejorar estas variables con el fin de disminuir la porosidad para mejorar tanto la retención de partículas como su función de medio filtrante, siendo directamente relacionada la densidad aparente.

2.1.4 Densidad real de las fibras de celulosa

Basado en el principio de Arquímedes, se hace el estudio de la densidad real, el cual, se asocia con el volumen que un cuerpo ocupa en un volumen previamente definido [86], como lo es el agua en diferentes medidas de una probeta. A la vez se conoce la masa seca a utilizar con el peso de la probeta antes y después de agregar dicha masa de fibras de celulosa, evidenciado en la tabla 11.

Tabla 12.*Resultados del estudio respecto a la densidad real*

Peso probeta sin masa	Peso probeta con masa	Masa (g)	V1 (mL)	V2 (mL)	ρ_r g/mL
223,50	224,00	0,83	150,00	152,00	0,41
222,50	223,00	0,81	148,00	150,00	0,40
165,00	165,50	0,90	90,00	92,00	0,45
152,50	153,00	0,48	78,00	80,00	0,24
182,50	183,50	0,63	108,00	110,00	0,32

Nota. Resultados en réplica para confiabilidad del proceso elegido con una variación estándar del $\pm 0,18$

De esta manera, se demuestra que la densidad de las fibras de celulosa en seco es menor a la densidad del agua (0,998 g/mL a 20°C), evidenciándose visualmente flotación y por otro lado da razón a la dispersión y/o división de las moléculas, es decir, las partículas individuales en el compuesto [87]; donde se obtiene una densidad real de $0,43 \pm 0,18$ g/mL, clasificándose en una fibra muy liviana asociada con rangos de madera, contrastándose con densidades como la del cedro y el caju en seco [88], [89].

Adicionalmente, la densidad real y la densidad aparente dan resultados lejanos entre ellos, gracias a que el volumen aparente siempre es mayor respecto al volumen real.[86] En cuanto al primero el volumen ocupado por masa es asociado a un volumen hueco y caso contrario en la densidad real se obtiene un cambio de volumen gracias a la masa ocupada con base en el principio de Arquímedes.

Sin embargo, la celulosa se conoce por tener una densidad de $1,5 \pm 0,5$ g/ml evidenciado en el proceso una vez se encuentra como pulpa al finalizar el proceso de hidrolisis alcalina, estando en este caso con humedad donde no se evidencia flotabilidad ya que el agua infla las fibras, haciendo que se destiendan [90], véase figura 9.

2.1.5 Porosidad de la lámina de fibras de celulosa

Al determinar la densidad real y la densidad aparente, siendo estas propiedades intensivas junto con la porosidad, se conoce la rugosidad de un sólido y su capacidad de superficie [16] por medio del cociente entre ellas, es decir, la fracción decimal teniendo un rango de 0 a 1. Asociándose también al volumen de los espacios en un volumen poroso determinado [91] como se muestra en la ecuación 3.

Así mismo, la determinación de los 2 numerales anteriores es a partir del secado de la pulpa de celulosa, donde se genera una lámina como se muestra a continuación.

Figura 18.

Lamina de fibras de celulosa seca y neutralizada



Nota. Se demuestra una lámina con un peso de $4,0 \pm 0,5$ g de fibras de celulosa secadas por 22h aproximadamente a 50°C

Ecuación 3.

Determinación de la porosidad a partir de densidades

$$e = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r}$$

Siendo e la porosidad, ρ_r la densidad relativa (g/mL) y ρ_a la densidad aparente (g/mL).

En consecuencia, se observan las zonas de debilidad, es decir, los poros actuando como concentradores de tensiones en ausencia de una geometría constante planar afectando directamente a la permeabilidad y resistencia mecánica asociada con la flexibilidad de la lámina, entre otros [92], buscando asociaciones con membranas heterogéneas no tejidas ya que son aplicables en microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y separación de gases a partir de celulosa [93].

Tabla 13.

Datos determinados de la porosidad de las fibras de celulosa

ENSAYO	Porosidad
1	0,88
2	0,89
3	0,89
4	0,96
5	0,85
6	0,89

Nota. Resultados en réplica para confiabilidad del proceso elegido con una variación estándar del $\pm 0,033$.

Mediante un despeje matemático se obtiene una media de $0,907 \pm 0,033$ asemejándose con andamios de hidroxiapatita con cantidades superiores a 5 g de polivinil alcohol por medio del método del polímero soluble, es decir, con solución salina [94] pero no significa que tenga las mismas propiedades mecánicas ya que no se conoce el tamaño del poro, la distribución, ni el grado de conectividad, siendo estos determinados por metodologías como SEM, porosimetría de mercurio, entre otros, en otras palabras, no hay condicionamiento de entrada ni de movilidad del agua en el interior del medio filtrante al someterse a pruebas de absorción y/o penetración de agua [92].

Conforme a la absorción de agua en contraste con la conductancia hidráulica se asocia directamente la tortuosidad, es decir la longitud promedio de los poros comparada con el espesor del filtro debido a la ley de Darcy [95], influyendo además de lo anteriormente mencionado en las variables a modificar por medio de aditivos y/o adaptaciones superficiales con el fin de disminuir

el tamaño de poro y aumentar la eficacia a través de la observación y evaluación en el siguiente capítulo.

Del mismo modo, se observa la rugosidad de la superficie en el lado opuesto donde reposa la lámina de fibras de celulosa sobre las bandejas durante el secado de las fibras, puesto que es la zona rugosa a causa de una superficie plana que la moldea en primera instancia, generándose una desviación en la topografía de la superficie con respecto a la superficie ideal [95]. Por consiguiente, para disminuir esta variable se emplea una prensa de masa (pataconera) donde en las 2 superficies se coloca aluminio y aceite mineral para evitar deformar las láminas de fibras de celulosa a causa de la separación de estas por adhesión con la superficie.

Además, se desarrolla una doble capa generada a partir de las fibras iniciales, es decir, los lotes del tamiz No.20 junto con la hidrolisis de las fibras más finas, donde estas se introducen en espacios existentes entre las fibras principales para disminuir la porosidad del material, sin dejar de ser transpirable, arreglando su empaquetamiento y facilitando la alineación de las fibras individuales en capas transversales al esfuerzo principal [96] contribuyendo a la vez en la durabilidad del medio filtrante posterior[92].

2.1.6 Humedad de la lámina de fibras de celulosa

Se lleva a cabo un método gravimétrico de precipitación [97] para la determinación de humedad debido a una diferencia de pesos en seco, calculando la pérdida de peso a causa de la eliminación de agua y/o compuestos volátiles por calentamiento bajo condiciones normalizadas[98] por medio de la mufla a una temperatura constante entre 100°C y 120°C, dicha variación de temperatura son por condiciones del equipo presentes al momento de abrir la mufla para revisión del proceso.

Además, se secan en un lapso de 1 h las cápsulas a usar nuevamente en la mufla para evitar asociar la humedad de esta con la humedad de la muestra, y respecto a la materia prima se encuentra seca previamente en un lapso de 22h a 50°C ya que al terminar el proceso de extracción no sería factible, a causa del exceso de humedad y aunque se tomará desde el pH neutro no es beneficioso debido a su uso final el cual es en base seca, aumentando las propiedades mecánicas para el medio filtrante.

Ecuación 4.

Determinación del porcentaje de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Siendo P_i el peso inicial y P_f el peso final, después de estar en la mufla a 105°C

Es necesario tener en cuenta que los pesos asociados a la ecuación se toman una vez es determinada la humedad de la cápsula después de ser secada, es decir, la ausencia de humedad en la cápsula para no interferir en las medidas del material al pasar 1h a la temperatura previamente mencionada y con 15 minutos en el desecador. Por otro lado, se ve afectado el estudio debido a la distancia entre la mufla y el desecador ya que en este trayecto se genera absorción de humedad del ambiente. También es importante destacar el cuidado de la muestra respecto al incremento de la temperatura superior a 140°C [98].

Tabla 14.

Humedad de las fibras de celulosa

Masa (g) bagazo	MASA 1 (inicial)	MASA 2 (100°C)	Humedad %
1,12	57,83	57,73	8,43
1,02	57,02	56,92	8,98
1,09	54,39	54,29	8,87

Nota. Resultados en réplica para confiabilidad del proceso elegido con una variación estándar del $\pm 0,29$

Considerando los porcentajes de humedad evidenciados anteriormente, se busca la humedad mínima posible con el tiempo de secado constante a causa de la aplicación como medio filtrante, el cual al exponerse a las partículas salivales está en constante variación de esta, en las fibras de celulosa, generando el aumento con respecto al tiempo gracias a la sorción, relacionándose con la apariencia física general del polvo de celulosa, el cual generalmente es del 10 % de humedad [2].

2.1.7 Determinación de cenizas de las fibras de celulosa

Al ser un material posteriormente expuesto a un compostaje, se desarrolla el estudio de cenizas con el fin de conocer la composición de carbono del material gracias a la combustión de las fibras de celulosa en la mufla en un rango de temperatura de 520°C-540°C por un periodo de tiempo de 100 minutos, [25] calcinándose previamente para evitar daños en los equipos y por medio de una diferencia gravimétrica cuantificando la variación, disminuyendo la humedad de las cápsulas para mayor exactitud. A continuación, se evidencian los resultados.

Ecuación 5.

Determinación de cenizas de las fibras de celulosa

$$\text{Cenizas} = \frac{P_{MP} - (P_{540^{\circ}\text{C}} - P_{CP})}{P_{MP}}$$

Donde P_{MP} es la masa de materia prima, P_{CP} es la masa de la cápsula seca y $P_{540^{\circ}\text{C}}$ la masa al transcurrir 100 minutos a 540°C

Tabla 15.

Porcentaje de cenizas en las fibras de celulosa

Masa (g) bagazo	Masa 1 (inicial)	Masa 2 (540°C)	Cenizas (%)
1,0274	54,77	53,77	97,34%
1,8551	54,40	53,37	99,01%
1,0229	54,78	53,75	99,39%

Nota. Resultados en réplica para confiabilidad del proceso elegido con una variación estándar del $\pm 0,01$.

En primera instancia, se recalca que la hemicelulosa comienza los procesos de descomposición térmica cerca de 180 °C y es la responsable en gran medida de la generación de gases. Seguido, la celulosa comienza la degradación en torno a 240 °C y la lignina posteriormente a los 280 °C [24] asegurando la ausencia de estos compuestos en las cenizas y dando razón al poco tiempo requerido a la temperatura establecida.

De igual forma, con base en la ASTM D- 1102 se asocia estos porcentajes al contenido mineral y otros componentes inorgánicos presentes en las fibras [3], como las ceras, trazas de lignina y celulosa, entre otros, siendo principalmente la lignina y la celulosa contribuyentes a la lenta digestión en el estudio del compostaje junto con el vermicompostaje debido a la estructura cristalina con respecto a la celulosa y los enlaces covalentes con la lignina [99]. Sin embargo, al referirnos al contenido mineral es ambigua su determinación específica y cuantificación sin metodologías como la titulación complejo-métrica, siendo en su mayoría metales, pero mencionados como elementos minerales más que grupos de compuestos [98].

Figura 19.

Demostración de la calcinación de las fibras y el resultado después de estar en la mufla a 540°C



A

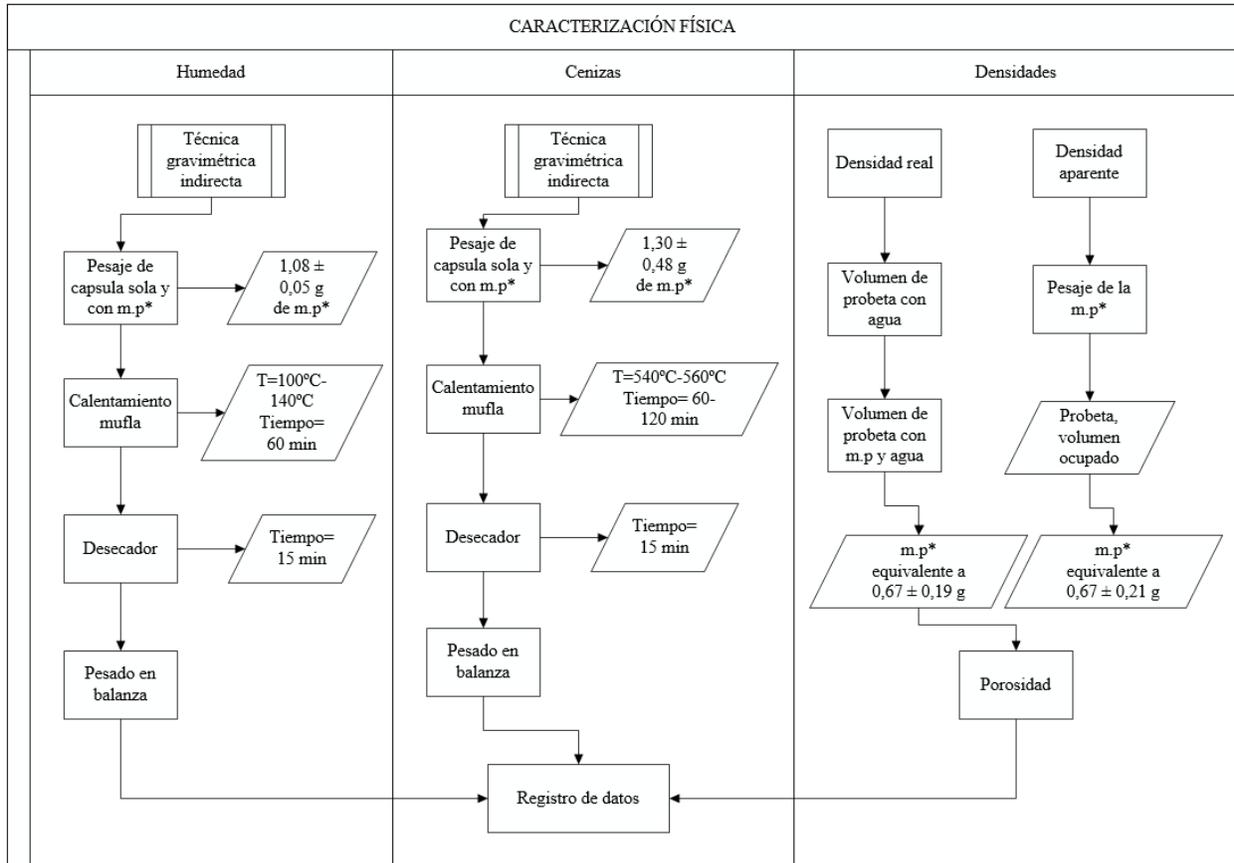
B

Nota. En el numeral A se muestra la precalcinación de las fibras en la cámara de extracción para evitar este fenómeno en la mufla, por otro lado, B muestra la coloración al salir de la mufla a 540°C por 100 minutos.

Un factor adicional que permite direccionar a la pulpa obtenida del bagazo de caña es el poder de adsorción que presenta la ceniza gracias a su alta porosidad y tortuosidad [100], se logra determinar que el bagazo es un residuo agroindustrial con alto contenido de compuestos orgánicos debido a su proximidad al 100%, en donde el remanente que se evidencia en la figura 19, es a causa de minerales y materia inorgánica presente en la muestra [101], sin embargo, las variaciones que son mostradas en la tabla 14 contemplan la posibilidad de evaluar un tratamiento previo como lo sería la remoción de extractivos para evitar las interferencias presentadas [34].

Figura 20.

Diagrama de caracterizaciones físicas resumido



Nota. Diagrama generado de creación propia para esquematizar el proceso de determinación de propiedades físicas en laboratorio, siendo m.p* materia prima.

Eventualmente, se resume en el diagrama de la figura 20 las caracterizaciones físicas de las fibras una vez son expuestas a la hidrolisis alcalina para la extracción de celulosa donde la única propiedad dependiente a otras es la porosidad gracias a su relación con las densidades estudiadas. Al igual, tanto la porosidad como la humedad son factores claves para el mejoramiento del medio filtrante con el fin de permitir una permeabilidad al aire adecuada como tamaño de poro para la generación de una tela no tejida, y respecto a la humedad el evitar el crecimiento microbiano.

Tabla 16.*Resumen de caracterización fisicoquímicas*

Porcentaje de celulosa (%)	Porcentaje de lignina (%)	Densidad aparente (g/ml)	Densidad real (g/ml)	Porosidad	Porcentaje de Humedad (%)	Porcentaje de cenizas (%)
81,17±1,80	2,65±1,18	0,04±0,01	0,43±0,18	0,907±0,033	8,76±0,29	0,99±0,01

Nota. Valores obtenidos a partir de la ruta III por hidrolisis Alcalina

Finalmente, se extrae un 81,17% aproximadamente de celulosa donde el restante está constituido por la lignina y hemicelulosa residual junto con las ceras y compuestos adicionales de las fibras tanto de caña de azúcar como de celulosa contribuyendo positivamente al comportamiento ante microorganismos por parte de la lignina aportando a la vez rigidez al medio filtrante. De igual forma, la hemicelulosa contribuye al ser precursor de bajo peso molecular para tener mayor afinidad a la celulosa para solubilizarse en su disposición final. Así mismo, la porosidad se necesita disminuir lo máximo posible ya que de esta manera no retiene altas cantidades del flujo al que sea expuesto debido tanto a su cantidad de poros como el tamaño de estos observados previamente. Y respecto a las cenizas, la masa carbonizada vegetal generalmente se asocia con la predominación los derivados del potasio, con el contenido mineral restante siendo mínimo y desarrollando alternativas nuevamente para su disposición final.

3. RUTA DE PROCESO DE MODIFICACIÓN DE LAS FIBRAS DE CELULOSA PARA SU APLICACIÓN COMO MEDIO FILTRANTE

Después de generar la caracterización se decide en primera instancia agregar glicerina USP para beneficiar la flexibilidad del medio filtrante gracias a que es formador de polímeros, adicionándose a una doble capa proveniente de la fusión entre el tamiz 20 y tamiz 40 gracias a su disminución en la porosidad, además, la glicerina es un líquido viscoso a temperatura ambiente el cual es capaz de formar enlaces de hidrogeno intra e intermoleculares generando materiales altamente flexibles [102].

Por otro lado, se han incursionado nuevas técnicas para generar textiles biodegradables con el uso de fécula de maíz, glicerina, cascara de frutas, entre otros [103], donde gracias al almidón presente en la fécula de maíz es usado generalmente para espesar líquidos al momento de mezclarse, aportando la textura ideal para generar biopelículas junto con la glicerina dando flexibilidad a la misma dicho anteriormente. Sin embargo, se requiere más que un agente espesante, es decir, un aditivo el cual ayude a la reducción de la porosidad junto con la doble capa implementada previamente, usándose harina 7 granos dando mejor textura cuando está en una proporción 10:1 con respecto al peso másico del medio filtrante en un estudio previo realizado, donde se desarrolla el comparativo cualitativo entre la fécula de maíz y la harina 7 granos, buscando el mejor para la disminución de la porosidad sin generación de burbujas aportando una lámina más homogénea ya que son sólidos finos, resaltando la posibilidad posterior de otras clases de harinas.

En efecto, implementar solidos adicionales con granulometría menor a la resultante del tamizado mejora el medio filtrante doble capa para la sorción de fluidos teniendo en cuenta el no afectar su disposición final con elementos no compostables o de difícil digestión, siendo la harina 7 granos una harina extra fuerte aunque no contenga gluten [104], con un proceso de refinado medio evidenciado en su color amarillento, conteniendo cereales y leguminosas el elegido [105],[106], el cual, además de generar más nutrientes para el compostaje, disminuyen positivamente la porosidad del filtro ocupando los espacios vacíos, evidenciándose en la figura 21

Figura 21.

Medio filtrante con modificaciones



Nota. Mejoras tanto en flexibilidad como en porosidad ya que se reduce. A la izquierda se observa el filtro secado una vez se hizo la doble capa y la adición de los otros compuestos y a la derecha se observa la facilidad al doblar el medio filtrante.

No obstante, el factor principal es la fibra de celulosa, es decir, este debe tener la mayor proporción, aunque se generen relaciones mayores a su masa de $1,54 \pm 0,19$ g respecto a la harina de 7 granos, es necesario que este no pase a ser un reforzamiento estructural sino el esqueleto del medio filtrante. Con base a esto, se desarrolla un estudio del diseño factorial 2^2 estudiando el efecto que se genera en diversos factores sobre una variable, definiéndose como el cambio observado en la variable debido al cambio del nivel de un tal factor [107]. Así pues, se desarrolla una mezcla con concentración de glicerina al 20% v/v y 50% v/v respecto a 10% p/p y 70% p/p de harina 7 granos respecto al peso másico del medio filtrante, mezclado en agua a $80 \pm 0,5$ °C obteniendo como variable de respuesta su capacidad de absorción y la resistencia a la penetración del agua según la ISO 18695:2007 [108] como se evidencia en la tabla a continuación.

Tabla 17.*Esquema de diseño de experimentos*

		CONCENTRACIÓN DE LA GLICERINA en 20 mL	
		20%	50%
CONCENTRACIÓN DE ADITIVO (HARINA 7 GRANOS) g	10%	A ₁₁	B ₁₁
		A ₁₂	B ₁₂
	70%	A ₂₁	B ₂₁
		A ₂₂	B ₂₂

Nota. La variable de respuesta es la cantidad de agua absorbida en todo el filtro con un caudal de $0,07 \pm 0,06$ ml/s

Adicionalmente para tener el mismo espesor todos los filtros se hace uso de una pataconera donde se extrae tanto la saturación de agua como la adhesión entre las fibras sin aglutinantes colocando en cada cara interna de la pataconera proporciones mínimas de aceite mineral con el fin de evitar la adhesión a la estructura de las fibras de celulosa y la generación de una capa fina superficial con el beneficio de no afectar la piel ayudando al cuidado personal y además no afecta la porosidad del medio filtrante o de las superficies en contacto cuando el medio filtrante está húmedo [109].

Cabe aclarar que, se busca disminuir la viscosidad de la glicerina para desarrollar un aditivo superficial más fácil de aplicar al medio filtrante por medio del incremento de la temperatura [110] de la mezcla dada por el agua beneficiando el proceso generando una mezcla homogénea y fácil de distribuir reduciendo la viscosidad de la glucosa [111], siendo este el solvente donde se sumerge el medio filtrante por un corto tiempo con el fin de adquirir nuevamente la humedad gracias a su higroscopicidad, absorbiendo la mezcla de glicerina y harina 7 granos sin desintegrarlo, secándose durante 46 h a temperatura ambiente aproximadamente.

3.1 Variables del diseño de experimentos

Al ser variables participes en el estudio, pero no influyentes directamente en el diseño de experimentos es clave delimitar el proceso, haciendo constantes aquellas variables independientes

en el estudio, teniendo una variación de los datos y de igual forma estableciendo los límites superiores e inferiores, haciendo una recolección de estos en la tabla 17

Tabla 18.

Variables independientes

Variable	Media	Mínimo	Máximo
Caudal principal	0,07 ± 0,05 ml/s	0,027 ml/s	0,188 ml/s
Caudal alto	22,06 ± 12,54 ml/s	15,35 ml/s	36,47 ml/s
Peso del filtro	1,54 ± 0,19 g	1,21 g	1,71 g
Temperatura de la mezcla	80 ± 2,0 °C	78 °C	82 °C
Humedad de la muestra	8,76 ± 0,29	8,43	8,98

Nota. Se identifican aquellas variables independientes que son constantes en el procedimiento y que influyen en el mismo.

Siendo influyentes en el proceso, el caudal con respecto a la velocidad de flujo salival no hiposálico, es decir, aquellos que tienen una velocidad inferior de 0,3 mL/min asociados al aumento de la susceptibilidad a las enfermedades en las vías respiratorias [112]. Al igual respecto al caudal superior y/o alto se estima una asociación con respecto a estornudos, tos, entre otros, donde el individuo genera fuerzas mayores.

Por otro lado, al generarse una caracterización previa se desarrollan y tienen en cuenta variables que, aunque no influyen directamente en el diseño de experimentos, hacen parte del comportamiento posterior siendo las variables dependientes en el medio filtrante en el ensayo a la penetración del agua, siendo los mililitros absorbidos la variable de respuesta, con las limitaciones de la normativa como la altura entre la caída del agua y el medio filtrante, hallado en el anexo 1.

Tabla 19.

Variables dependientes

Variable	Media	Mínimo	Máximo
Porcentaje de celulosa	81,17 ± 1,80 %	79,90%	83,23%
Porcentaje de lignina	2,65 ± 1,18 %	1,72 %	3,98 %
Tiempo de saturación del medio filtrante (s)	504,45±375,94	82,344	984,918

Nota. Se identifican aquellas variables dependientes que son constantes en el procedimiento y que influyen en el mismo indirectamente.

Cabe destacar respecto a la desviación del tiempo su independencia entre tratamientos ya que están en un sistema con interacción y que no depende de un comportamiento patrón, obteniendo resultados dependientes a la absorción de agua y no entre las variables y niveles establecidos, pero siendo importante para la definición del caudal previamente mencionado.

Finalmente, afectan al diseño de experimentos en pasos previos donde en el caso de la celulosa hace más interferencia y menor calidad del medio filtrante en cuanto a la concentración final de sus fibras a partir del bagazo de caña, en el cual tanto la hemicelulosa como lignina al ser zonas amorfas pueden implementar una mayor absorción al agua, pero una reducción en la maleabilidad obteniendo mayor rigidez en el medio filtrante a causa de estos compuestos [30].

3.1.1 Penetración de agua

Al conocer previamente las delimitaciones del proceso, también se generan los resultados del comportamiento del filtro respecto a la absorción de agua, esto a causa del hinchamiento en las fibras [48], llegando a volúmenes de saturación, es decir, hasta llegar a la saturación del filtro donde la tortuosidad y porosidad a partir de la ley de Darcy, por medio de la razón entre la trayectoria seguida por un flujo al atravesar un medio poroso y el espesor de dicho material [113] se asocian más no se conocen y se desarrollan por medio de la normativa previamente mencionada. Así pues, se genera la tabla de resultados evidenciada a continuación.

Tabla 20.

Resultados del diseño de experimentos

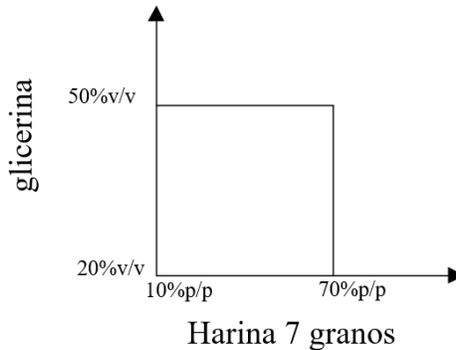
		Concentración de la glicerina en 20 ml de agua a 80°C	
		20% v/v	50% v/v
Concentración de aditivo (harina 7 granos) g	10%p/p	23 mL	14 mL
		20 mL	10 mL
	70%p/p	37 mL	15 mL
		50 mL	10 mL

Nota. Resultados dados a partir del seguimiento de la normativa ISO 18695:2007, junto con las variables y los 2 niveles establecidos por un duplicado.

Recordando que el diseño es factorial, en el cual hay interacción gracias a la diferencia en la variable de respuesta entre los niveles de un factor respecto al otro [107], se asocia este comportamiento con la figura 22, donde se obtiene el arreglo en un diagrama x-y entre las variables en primera instancia, al igual que la generación del estudio de forma aleatoria entre los tratamientos y sus respectivas réplicas.

Figura 22.

Relación en el diseño factorial 2²



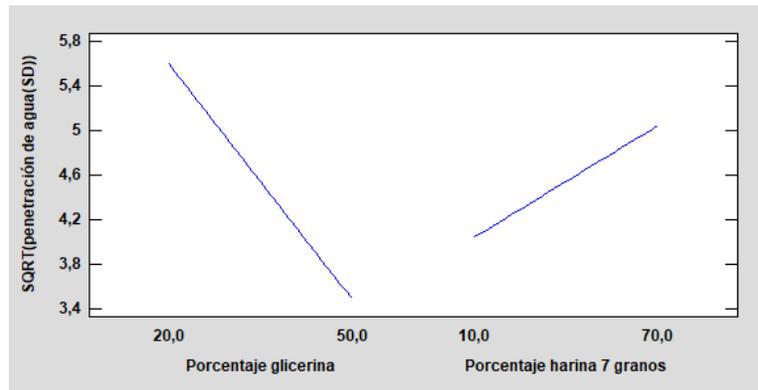
Nota. A partir de la interacción entre los niveles de las variables se esquematiza la relación entre ellas en el sistema factorial usado.

A partir de un ANOVA, donde se tiene un $\alpha=5\%$ se obtiene una probabilidad menor, es decir, que existe diferencia estadísticamente significativa en la absorción del agua por los tratamientos establecidos donde cada tratamiento con duplicado tiene comportamientos independientes pero dependientes a las variables establecidas con sus respectivos niveles, generando una probabilidad del 2% para la harina 7 granos y 0,2 % para la glicerina, véase anexo 2.

Adicionalmente, se comprueban estas afirmaciones anteriores con STATGRAPHICS, donde se ve el proceso detalladamente en el anexo 3. Rescatando la interpretación de los grados de libertad arrojados por el programa para el ANOVA nuevamente, teniendo un efecto estadísticamente significativo al tener un error total de 4, soportando el estudio anterior. De igual forma, al analizar la deseabilidad del proceso, tanto la deseabilidad individual como compuesta. En cuanto a la primera, evalúa la configuración de respuesta optima en el proceso y respecto a la segunda evalúa la manera en que la configuración optimiza un conjunto de respuestas en general [114], siendo el mejor arreglo con 0,83 de deseabilidad en el tratamiento 4, es decir, A₂₂ en la tabla 16 con valores de 20 % v/v de glicerina y 70 % p/p de harina 7 granos respectivamente.

Figura 23.

Desviación estándar de las variables con los niveles



Nota. Estudio de las varianzas y desviaciones para el procedimiento, donde se encuentra la influencia de los aditivos en el medio filtrante.

Todo esto confirma la influencia negativa al aumentar la concentración de glicerina ya que no se genera un comportamiento solidificado sino más viscoso, dañando el medio filtrante para la retención al saturar sus enlaces con la glicerina y por otro lado, aunque las fibras tienen baja

permeabilidad asociada directamente con la desconexión de los poros [91] desarrolla la imposibilidad de un posterior secado y solidificación nuevamente formando una pasta donde las fibras de celulosa ya no son el material principal sino un aditivo a la glicerina llegando a líneas como los biopolímeros o películas biopoliméricas [115]. Caso contrario es, al disminuir su concentración y permanecer la mezcla con agua a temperatura de 80°C mejorando la flexibilidad, pero no afectando su comportamiento.

Se debe decir también sobre la influencia de la harina 7 granos, la cual es positiva al incrementarse en rangos dependientes del peso del medio filtrante ya que es la relación con este. Donde se observa que, al incrementar la cantidad de harina por encima del peso del medio filtrante mejora su porosidad y estructura, pero cambia de igual forma la materia prima principal teniendo características similares al cartón ondulado o gris, siendo asociada a relaciones similares de 10:1 p/p, es decir, 10 g de harina 7 granos por 1 g de medio filtrante [116].

En conclusión, es un buen prototipo para ser un medio filtrante al retener por gramo de lámina de fibras de celulosa, entre 37 mL a 45 mL a una velocidad de $0,07 \pm 0,06$ ml/s, siendo la secreción salival diaria en reposo de 0,25 mL/min a 0,35 mL/min [117], aclarando que la fibra es de bajo peso y obteniendo al generarse las láminas buena área superficial de acuerdo con el área requerida para su aplicación en mascarillas de tela, obsérvese la figura 24

Figura 24.
Medio filtrante con aditivos



Nota. Acondicionado con glicerina al 20% v/v y harina al 70% p/p con respecto al peso del medio filtrante.

3.2 Propiedades organolépticas del medio filtrante

Adicionalmente, una vez finalizadas las modificaciones previas, es importante caracterizar el medio filtrante desde el punto de vista organoléptico. Estas propiedades como lo son el olor, color, brillantez y en este caso flexibilidad ya que en este último no se cuenta con los equipos apropiados, pero es necesario su análisis para su aplicación en mascarillas; se desarrolla por medio de los sentidos como lo son el tacto, la vista y el olfato.

En primera instancia, el medio filtrante final es inoloro y en su estructura es similar al cartón según una apreciación indicada por 15 personas y de igual forma se obtuvo un color amarillo hueso según las observaciones de los involucrados. Por otro lado, es un material opaco donde la brillantez mínima es aportada gracias a la implementación del aceite mineral en las superficies de la pataconera.

Finalmente, respecto a la flexibilidad se genera menos fuerza al adicionar glicerina, es posible que concentraciones menores genere una flexibilidad similar, aunque la misma desintegración al doblarla totalmente ya que no es papel y tiene bajos índices de flexibilidad comparada con esta misma, siendo un medio filtrante con un espesor superior al de las hojas de papel a partir del bagazo de la caña de azúcar [118] debido al uso de fibras largas principalmente.

4. PRUEBAS DE COMPOSTAJE Y RESISTENCIA

Con el fin de evaluar el tiempo del compostaje y la influencia de la lombriz californiana en el vermicompostaje para la adaptación del medio filtrante a partir de bagazo de caña, glicerina y harina 7 granos se desarrolla el estudio replicado para el comportamiento tanto en degradación por medio de microorganismos como por alimentación de lombrices durante 4 semanas. Además, para estandarizar este estudio se tienen volúmenes iguales en las réplicas a partir de materas con platos inferiores para la hidratación de las muestras, evidenciado en la tabla 20.

Tabla 21.

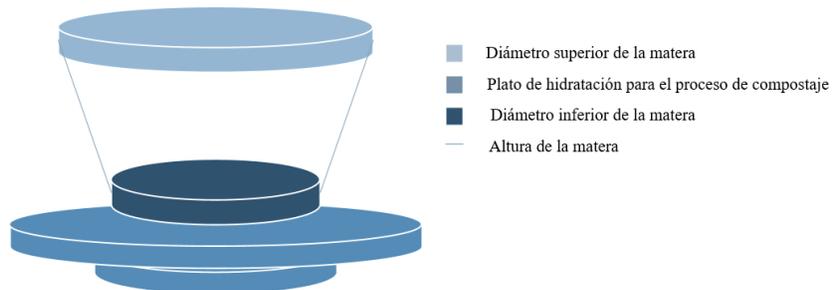
Medidas generales de las materas con su respectivo plato para compostaje y vermicompostaje

Recipiente/matera			Plato de hidratación		
Diámetro superior { \emptyset (cm)}	Diámetro inferior { \emptyset (cm)}	Altura {h(cm)}	Diámetro superior { \emptyset (cm)}	Diámetro inferior { \emptyset (cm)}	Altura {h(cm)}
14	9	12	16	9,5	2,8

Nota. Gracias a que las 8 materas tienen el mismo volumen, proveedor y marca, se tiene certeza que contiene el mismo volumen en todas, solo hay cambio de color para diferenciar el compostaje del vermicompostaje.

Figura 25.

Dimensionamiento físico de las materas utilizadas para el estudio de compostaje y vermicompostaje



Nota. Gráficamente se evidencia las partes de la maza, donde se tapa la parte superior y cuenta con un plato inferior donde se hidrata el proceso.

Conviene subrayar el fundamento esencial del compostaje donde se encuentra un material desechado para convertirse en abono orgánico con la intervención del hombre [119] diferente a el

proceso de biodegradabilidad, en el cual se busca convertir la masa seleccionada en biomasa y nutrientes por medio de la intervención de microorganismos, evidenciada en normas como la ASTM-D 5338 [120]. Además, existen normativas para evaluar el compostaje de ciertos materiales como la EN-13432 [121] aunque para vermicompostaje no existan normativas exactas estas se adaptan a la anteriormente mencionada según la reglamentación colombiana [122].

4.1 Vermicompostaje

A partir de la nueva política nacional para la gestión integral de residuos en el 2016, es decir, CONPES 3874 con énfasis en el primer eje donde se adoptan medidas encaminadas a la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos junto con la disminución de generación de gases de efecto invernadero [123], se desarrolla el vermicompostaje donde se evalúa el aumento de peso de las lombrices en un periodo de 4 semanas, por medio de un análisis cuantitativo básico estructurado a partir de medidas periódicas de pH, temperatura y humedad del Vermicompostaje comparándose con un blanco a partir de cascara de huevo y hojas secas.

De esta manera, se recolecta un vermicompostaje con una maduración de aproximadamente de 6 meses con presencia de lombriz californiana mixta, es decir, lombriz roja "*Eisenia andrei*" y la lombriz antígrada "*Eisenia fétida*" teniendo como función alimentarse de la materia orgánica presente, con una relación de tres veces más que su peso individual [124]. Adicionalmente, para generar un buen vermicompostaje se requieren relaciones de nitrógeno y carbono (C/N) entre 15:1 p/p y 35:1 p/p, es decir que, por cada unidad de nitrógeno, debe generarse entre 15 a 35 unidades de carbono [125].

Figura 26.

Lombrices californianas utilizadas



Nota. Un acumulado de 10 lombrices equivalentes a $2 \pm 0,19$ g por cada ensayo de vermicompostaje.

Algo particular de las lombrices, en este caso californianas, es la ausencia de dientes para digerir los alimentos donde el sistema nervioso es el encargado del aparato digestivo y el aparato neurosensorial es el delegado del sistema excretor [126] teniendo preferencia por alimentos de fácil digestión donde la descomposición de los alimentos favorece a los nutrientes de la tierra durante la reabsorción [127], estando en simultaneo el acondicionamiento de estos para ser asimilado por las lombrices. Otro factor importante es la relación de alimentación donde a partir de su peso ingieren diariamente el 100 % por individuo, del cual el 60 % es excretado como abono orgánico más conocido como humus y el 40 % restante es asimilado por la lombriz llegando a ser biomasa de lombriz.

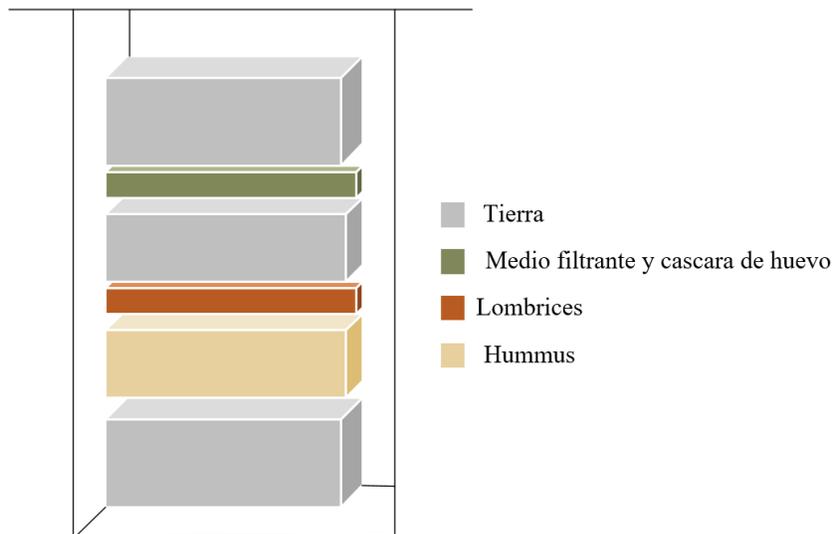
En la figura 27 se muestran lombrices adultas y jóvenes dependientes de su coloración y su longitud, teniendo rangos de 6 a 8 cm con rojos más intensos referentes a lombrices adultas, caso contrario las jóvenes tendrán rangos menores a estos, pero no significa que su alimentación se modifique ni tampoco que no contribuyan a la degradación de materia orgánica, constituyéndose en una proporción de 80% agua y 20% materia seca obteniendo un 65% de proteína [128]. Destacando las coloraciones blancas y/o rosadas determinantes en la glándula encargada de

secretar las sustancias formadoras de capullos donde se alojan generalmente los huevos fecundados [126].

No obstante, la conformación del medio filtrante es de fibras de celulosa, harina 7 granos y glicerina, siendo clasificados como residuos marrones ya que tienen una relación C/N muy alta, es decir, mayor a 40, considerándose fuentes de carbono [124]. Es por esto que, se debe añadir en el vermicompostaje residuos verdes o húmedos para tener tiempos adecuados de digestión aportando el nitrógeno faltante del medio filtrante, siendo la cascara de huevo triturada la adicionada.

Figura 27.

Distribución en las materas del vermicompostaje por capas



Nota. Almacenado en materas con el mismo volumen donde todas son tapadas con bolsas negras evitando la luz y contaminantes indeseados y aberturas pequeñas para el ingreso de aire.

Una necesidad clave es la ausencia de rayos ultravioleta o la exposición de las lombrices con luz debido a su repelencia por estas a razón de causa de muerte, acondicionándose las lombrices en la capa intermedia de todo el vermicompostaje, evitando este tipo de acontecimientos que fomentan variables incontrolables. Buscando al igual, la cercanía con el medio filtrante y la poca luz nuevamente que tenga en contacto con este.

Tabla 22.

Pesos de las capas empleadas por triplicado en el vermicompostaje

Capa 1 Tierra (g)	Capa 2 Humus (g)	Capa 3 Lombrices (g)	Capa 3 Tierra (g)	Capa 4		Capa 5 Tierra (g)
				Medio filtrante (g)	Cáscara de huevo (g)	
100,70±0,45	50,40±0,42	2,67±0,17	31,20±0,45	1,09±0,09	1,01±0,02	81,10±0,74

Nota. Media de los estudios con su respectiva desviación estándar para homogeneizar los datos, siendo en el caso del blanco hojas secas como sustrato en cambio del medio filtrante con un peso de 1,0152 g.

Cabe aclarar que el vermicompostaje es un proceso aerobio y la vermicompostera, es donde se coloca un núcleo básico de lombrices con humus y tierra, agregando la materia orgánica de una manera limpia, segura y eficiente [122], siendo en este caso las materas previamente mencionadas y por otro lado, la materia orgánica es colocada solo una vez para evitar variables en el proceso imprecisas como preferencia de alimento de las lombrices a otros sustratos, siendo de interés principal el tiempo de compostaje del medio filtrante con las condiciones adecuadas. Es por esto que, a continuación, se evidencia cualitativamente la pérdida de masa del medio filtrante por triplicado realizando la comparación con el blanco semanalmente, donde la semana 1 es la semana que se ha colocado cuidadosamente las vermicomposteras.

Figura 28.

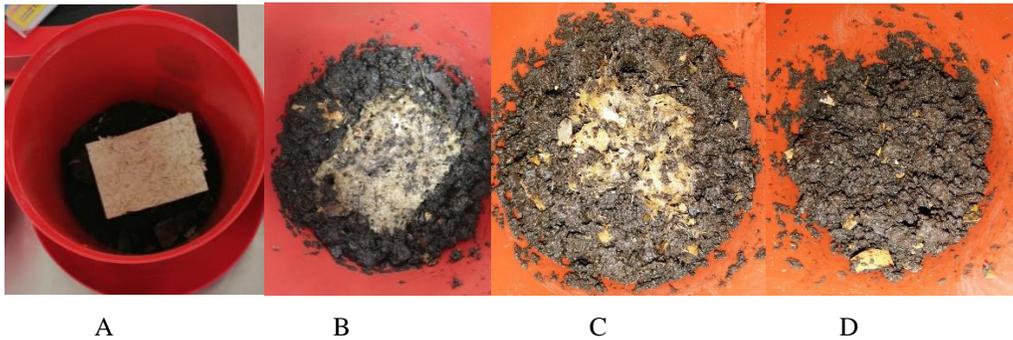
Ensayo primario del medio filtrante en el vermicompostaje



Nota. Registro fotográfico semanal del vermicompostaje donde A es la primera semana iniciada el 04 de octubre, B es al transcurrir 10 días desde la fecha inicial, C se toma la muestra 7 días después de la anterior y D al finalizar los 26 días.

Figura 29.

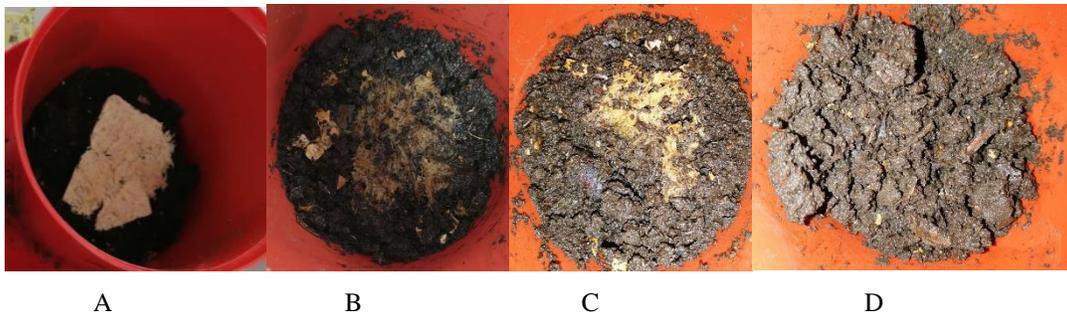
Ensayo secundario del medio filtrante en el vermicompostaje



Nota. Registro fotográfico semanal del vermicompostaje donde A es la primera semana iniciada el 04 de octubre, B es al transcurrir 10 días desde la fecha inicial, C se toma la muestra 7 días después de la anterior y D al finalizar los 26 días.

Figura 30.

Ensayo terciario del medio filtrante en el vermicompostaje



Nota. Registro fotográfico semanal del vermicompostaje donde A es la primera semana iniciada el 04 de octubre, B es al transcurrir 10 días desde la fecha inicial, C se toma la muestra 7 días después de la anterior y D al finalizar los 26 días.

Figura 31.

Muestra de referencia en el vermicompostaje



Nota. Registro fotográfico semanal del vermicompostaje donde A es la primera semana iniciada el 04 de octubre, B es al transcurrir 10 días desde la fecha inicial, C se toma la muestra 7 días después de la anterior y D al finalizar los 26 días.

Se puede observar en cuanto al comparativo cualitativo entre las réplicas respecto al material evaluado, se genera un alimento adecuado para las lombrices que, si bien degradan materia orgánica, por consiguiente, compuestos lignocelulósicos obteniendo una afinidad tanto por la celulosa modificada con harina 7 granos y glicerina. Aumentando su retención de agua en paralelo con la humedad del medio, es decir, de la tierra y del cultivo generando un medio filtrante más esponjoso y aireado [129] teniendo un comportamiento similar el blanco donde la única diferencia es la baja higroscopicidad de las hojas con respecto a las fibras de celulosa laminadas.

Aunque visualmente en las figuras 29, 30 y 31 se descompone a una velocidad mayor, el ensayo primario se asocia con una cantidad mayor de lombrices adultas independientemente su peso ya que se tiene un acumulado total de $2,67 \pm 0,17$ g, teniendo todos los montajes la misma exposición a la luz y la misma temperatura. De esta manera, el colocar el medio filtrante con un peso de $1,09 \pm 0,09$ g en un vermicompostaje a condiciones adecuadas lleva 26 días en ser digerido en su totalidad dependiente del porcentaje de humedad retenido por el medio filtrante ya que si se presentan zonas menos esponjosas son de mayor dificultad de digestión dando razón también a la velocidad entre estos.

Destacando también, que este procedimiento no es a fin de la normativa ASTM D 5338-98 ya que las lombrices no son capaces de digerir compuestos diferentes a los orgánicos debido a sus enzimas las cuales no reconocen estos materiales y podrían llegar a generar contaminación del cultivo o muerte las lombrices en el medio [122].

Tabla 23.

Control semanal del vermicompostaje

Ensayo	Semana	pH	% Humedad	Temperatura (°C)
1	1	9,27	57,30	21
	2	9,11	63,96	17
	3	9,25	61,63	19
	4	9,16	58,72	18
2	1	9,56	59,59	21
	2	9,18	61,86	17,5

Tabla 22. Continuación

Ensayo	Semana	pH	% Humedad	Temperatura (°C)
	3	9,25	57,26	19
	4	9,16	63,26	18
3	1	9,20	59,09	21
	2	9,17	61,95	17
	3	9,29	60,91	18,5
	4	9,24	59,64	18
	1	9,452	56,16	21
Blanco	2	9,159	61,57	17
	3	9,269	63,03	19
	4	9,16	58,16	18

Nota. Se desarrolla un control periódico durante el mes de estudio para llevar el compostaje de la manera más adecuada.

Al requerir de suelos con iones libres de calcio para conservar un pH más alto en la sangre de las lombrices, se evita tener suelos ácidos, siendo un acumulado en general de $9,24 \pm 0,12$ contribuyendo con la alimentación y acondicionamiento requerido de las lombrices, partiendo de la neutralización del filtro siendo un alimento adecuado dentro de los estándares de acondicionamiento para las lombrices [128].

Seguido a esto respecto a la humedad, esta es influyente para el desarrollo de las lombrices tanto como la temperatura las cuales deben ser superiores al 50 % e inferiores a 35°C respectivamente [126] aportando en función de estas 2 variables el crecimiento del vermicompostaje y además la formación de huevos para aumentar la población de lombrices desarrollando con el tiempo mayor degradación y proporción de humus para fertilizar tierras alternas.

Tabla 243.*Aumento de peso en el grupo de lombrices por ensayo*

	Ensayo primario	Ensayo Secundario	Ensayo terciario	Blanco
Peso inicial (g)	2,7874	2,4537	2,8816	2,5838
Peso final (g)	4,2654	4,1255	4,1256	3,9512
Aumento de peso (%)	53,02	68,13	43,17	52,92

Nota. A lo largo de las 4 semanas, se genera un aumento del peso de las 10 lombrices colocadas en cada ensayo.

A partir, de la tabla anterior se demuestra una desviación de 10,30 % en el aumento de peso teniendo como causa principal la maduración de las lombrices y de igual forma su fertilidad debido a la observación de huevos en diferentes secciones de los compostajes destacando el ensayo secundario, donde además de huevos o capullos ya se evidencia lombrices recién nacidas con coloración blanca. Al mismo tiempo se atribuye este aumento de peso principalmente al gramo del medio filtrante digerido por las lombrices donde solo es excretado el 60 % dicho previamente, esto no quiere decir que, sea la única de fuente alimentación, pero si la de mejor afinidad, fusionándose en partículas menores con la tierra dando lugar al humus orgánico.

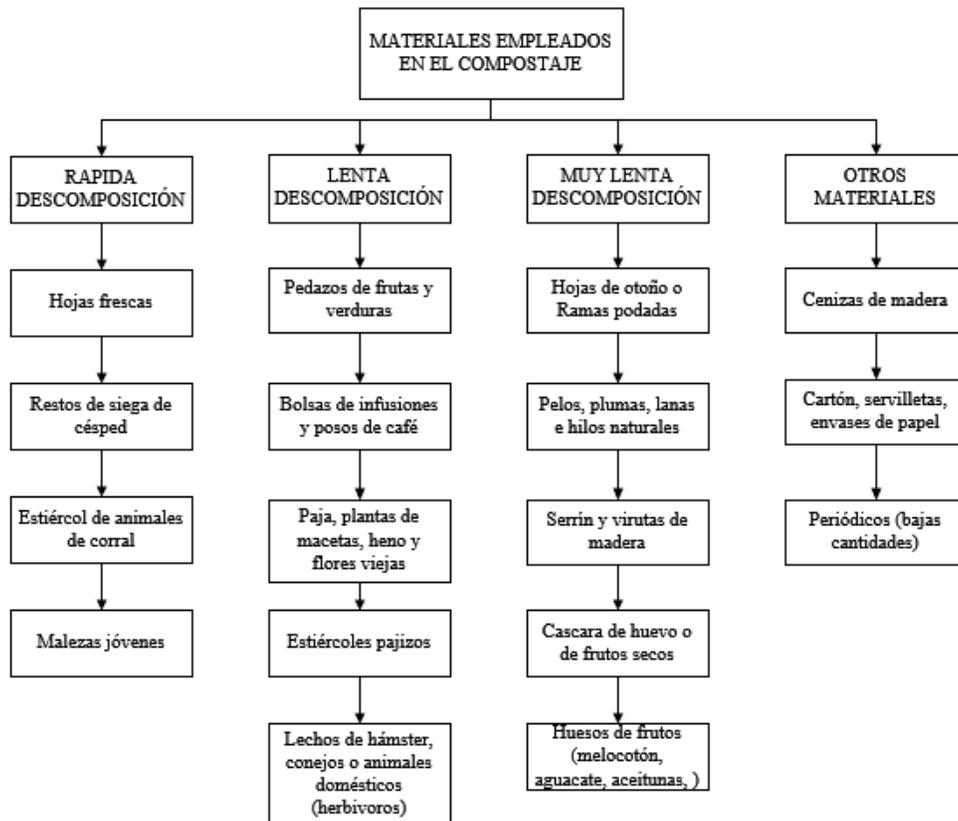
Finalmente, la disposición final de estos medios filtrantes es beneficiosa al ser un alimento rico en fibra y de fácil digestión para las lombrices, siendo estas las principales fuentes de generación de fertilizantes orgánicos por medio de sus enzimas y la secreción del 60 % de esta materia funcionando como canal de acondicionamiento para una mejor germinación de la tierra. Así mismo, se genera una economía circular al aprovechar un residuo orgánico e incorporarlo nuevamente como fertilizante o caso contrario, obteniendo una mejor disposición final contribuyendo a la germinación de la tierra donde este sea arrojado. Mas aún, dando un valor agregado cuidando el planeta y generándose un procesado efectivo [130].

4.2 Compostaje

El compostaje ha sido una alternativa de hace más de 5000 años en donde los campesinos aseguraban la fertilidad de los campos a partir de materiales orgánicos [131], actualmente los residuos agroindustriales pueden ser aplicados para mejorar sustancialmente la calidad del suelo, debido a la maduración de la tierra la cual es una de los factores más relevantes para el buen funcionamiento del compostaje, de esta manera se inicia el precondicionamiento de la tierra el 28 de septiembre, siendo la base del compostaje materiales secos tales como cartón, hojas o ramas las cuales son puestas con tamaños reducidos para poder abarcar toda la base del recipiente. Seguido a esto se modifica el recipiente con el fin de mejorar su aireación por medio de la incorporación de orificios, en los cuales se permite la respiración del compostaje, eliminando los malos olores y evitando la retención de lixiviados.

Figura 32.

Tipos de materiales y su degradación



Nota. Aparte de estos se sugiere evitar carne, pescado, derivados de la leche o con contenidos de levaduras o grasa. Ajustado de: J. Abellan and J. Palacios, “Manual De Compostaje,” *Minist. Medio Ambient. Y Medio Rural Y Mar.*, vol. 2, pp. 11–24, 2015.

El siguiente paso es la selección del activador el cual comúnmente es tierra, se utiliza tierra de plantas con el fin de obtener mayor microbiota. Como se ha menciona estos procesos permiten aprovechar los compuestos orgánicos por lo cual se emplea cascara de naranja, mandarina, yuca, plátano, huevo, entre otros. Es importante garantizar que este sustrato tenga relación a desechos de frutas y/o verduras mejorando la calidad del sustrato y que al momento de agregarlo en el recipiente, se pueda reducir su tamaño para poder ayudar al compostaje [125].

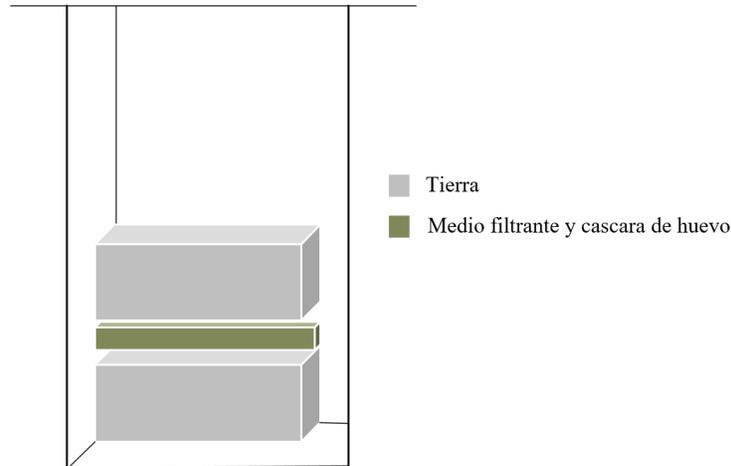
En primera instancia el pretratamiento se desarrolla a partir de la maduración en el recipiente en el cual se distribuye por niveles según los compuestos; en la primera capa se encuentran las hojas secas o el cartón formando la capa de mayor espesor, encima se pone todos los compuestos orgánicos que son a su vez tapados por una capa de material seco, finalmente se pone una capa del activador para evitar los malos olores y se tapa para mitigar el contacto con la luz evitando el aumento de la temperatura con el fin de mantener el ataque microbiano [132].

Después de una semana el compostaje previo empieza a generar una capa sobre la tierra de color blanco similar a moho, el cual ofrece una muy buena señal con base a la descomposición que se está llevando en el sistema previamente acondicionado para tal fin [133], debido a su continua maduración se debe mezclar semanalmente para que se homogenice el compostaje, esto si se ha agregado mayor cantidad de materia orgánica.

El compostaje se fundamenta en la acción de diversos microorganismos aerobios, por lo cual su mecanismo es de forma biooxidativa [132]. Tomando en cuenta lo anterior para los montajes realizados de compostabilidad del medio filtrante se toma la tierra previamente acondicionada y mezclada con tierra fértil reforzando el mecanismo y la distribución para los ensayos de la siguiente forma.

Figura 33.

Distribución en las materas del compostaje por capas



Nota. Almacenado en materas con el mismo volumen donde todas son tapadas con bolsas negras evitando la luz y contaminantes indeseados y aberturas pequeñas para el ingreso de aire.

Tabla 25.

Pesos de las capas en el compostaje

Capa 1 Tierra (g)	Capa 2		Capa 3 Tierra (g)
	Medio filtrante (g)	Cáscara de huevo (g)	
101±1,22	1,08±0,08	1,26±0,18	100,30±0,27

Nota. Media de los estudios con su respectiva desviación estándar para homogeneizar los datos, siendo en el caso del blanco hojas secas como sustrato en cambio del medio filtrante con un peso de 1,014 g.

Figura 34.

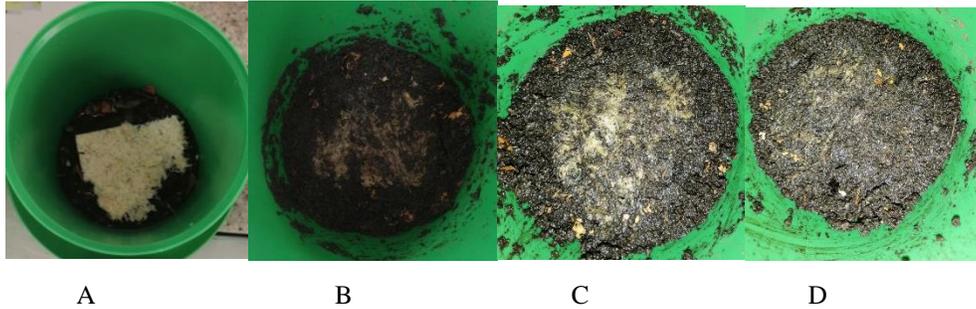
Ensayo primario del medio filtrante en el compostaje



Nota. Registro fotográfico semanal del compostaje donde A es la primera semana iniciada el 04 de octubre, B es al transcurrir 10 días desde la fecha inicial, C se toma la muestra 7 días después de la anterior y D al finalizar los 26 días.

Figura 35.

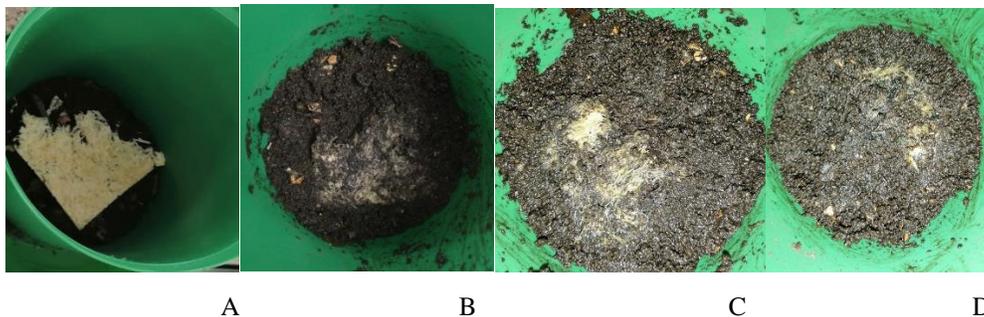
Ensayo secundario del medio filtrante en el compostaje



Nota. Registro fotográfico semanal del compostaje donde A es la primera semana iniciada el 04 de octubre, B es al transcurrir 10 días desde la fecha inicial, C se toma la muestra 7 días después de la anterior y D al finalizar los 26 días.

Figura 36.

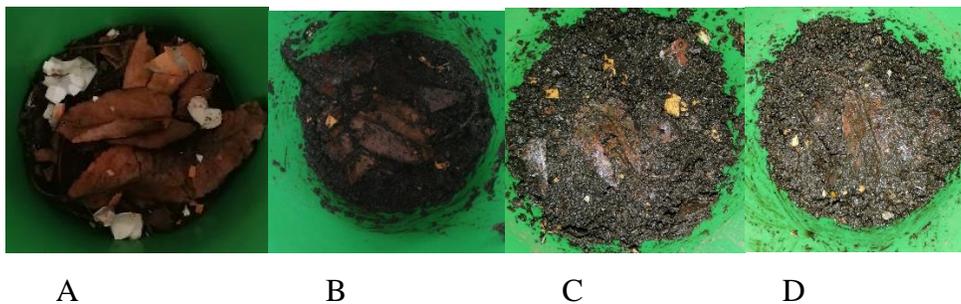
Ensayo terciario del medio filtrante en el compostaje



Nota. Registro fotográfico semanal del compostaje donde A. es la primera semana iniciada el 04 de octubre, B. es al transcurrir 10 días desde la fecha inicial, C. se toma la muestra 7 días después de la anterior y D. el 29 de octubre.

Figura 37.

Muestra de referencia en el compostaje



Nota. Registro fotográfico semanal del compostaje donde A. es la primera semana iniciada el 04 de octubre, B. es al transcurrir 10 días desde la fecha inicial, C. se toma la muestra 7 días después de la anterior y D. el 29 de octubre.

Los parámetros de seguimiento que garantizan el buen funcionamiento del compostaje sin necesidad de generar una perturbación en el montaje realizado, se contemplan la temperatura, humedad, pH, aireación y espacio de aire libre [132], siendo cualitativos los dos últimos respectivamente. Para los otros parámetros se realizan las tablas tanto en vermicompostaje como en compostaje para garantizar el comportamiento del sustrato.

Tabla 26.

Control semanal del compostaje

Ensayo	Semana	pH	% Humedad	Temperatura (°C)
1	1	6,97	28,89	20
	2	8,22	55,68	18
	3	8,71	51,36	19
	4	8,84	69,14	18
2	1	6,97	27,22	20
	2	8,27	55,79	18
	3	8,79	49,66	19,5
	4	8,71	47,16	18
3	1	6,97	27,42	20
	2	8,23	50,35	18
	3	8,68	51,92	18,5
	4	8,54	49,57	18
Blanco	1	6,85	27,22	20
	2	8,29	51,33	18,5
	3	8,66	55,27	19
	4	8,69	50,07	18

Nota. Se desarrolla un control periódico durante el mes de estudio para llevar el compostaje de la manera más adecuada.

Con base a los datos obtenidos en la tabla 25 se logra evidenciar la no similitud de los datos tomados una semana después de iniciar el proceso, es importante aclarar que los datos iniciales denotados con el número 1, fueron al momento de iniciar el proceso de compostabilidad en donde la tierra fértil afectó directamente la humedad, generando a la par variaciones con las otras mediciones.

Finalmente, el pH permitió confirmar valores mayores a 7,5 los cuales favorecen a la degradación del medio filtrante [132], la humedad fue controlada semanalmente para tanto el compostaje y vermicompostaje suministrando 20 mL de agua al plato de las materas, y por otro lado a causa de la humedad, la temperatura se mantiene adecuada, permitiendo la proliferación de microorganismos ambientales [134], mejorando la funcionalidad de los ensayos.

5. INCORPORACIÓN DEL MEDIO FILTRANTE DE FIBRAS DE CELULOSA EN LA INDUSTRIA DE MASCARILLAS RESPIRATORIAS

Una aplicación que permite profundizar en la propuesta en el presente documento es el uso del bagazo de caña como medio filtrante, la principal característica asociada a la retención es la cantidad de celulosa presente en la pulpa obtenida por métodos químicos, adicional al aditivo que debe ser un material absorbente como lo son tierras infusorias, carbón activado y melamina formaldehído; este último le ofrece al medio filtrante una elevada superficie específica, estructura porosa interna, uniforme y una menor pérdida de líquido por absorción del medio filtrante [35].

Los papeles absorbentes generan una similitud en la retención de líquidos debido a la presencia de celulosa [35], es por esto que el bagazo tiene una gran aplicación en este uso, teniendo características asociadas a ser una materia prima renovable anualmente con un alto contenido de celulosa aprovechable [47].

Actualmente debido a la pandemia del coronavirus (SARS-CoV-2), se ha implementado el uso de mascarillas para evitar la transmisión del virus, varias de estas mascarillas son no médicas las cuales son elaboradas a partir de materiales como polipropileno, algodón, poliéster, celulosa, gaza y seda. Sin embargo, la Asociación Francesa de Normalización da a conocer un rendimiento mínimo en la capacidad de filtración y transpirabilidad, causado por no tener un medio filtrante, siendo la eficacia de filtración desde 0,7 % para mascarillas no quirúrgicas tejidas de gaza de algodón a 26 % de materiales de algodón dulce. Además, al generarse espacios entre la cara y la mascarilla tanto de las mascarillas no médicas, mascarillas quirúrgicas y las N95 se evidencia un decrecimiento de su eficiencia de filtración específicamente de las 2 últimas del 15 % y 58 % respectivamente [135].

Figura 38.

Tipos de mascarillas en la industria



Nota. Ejemplo de diferentes tipos de mascarillas: (a) mascarilla N95; (b) mascarilla quirúrgica; y (c) mascarilla de tela, Tomado de: K. Selvaranjan, S. Navaratnam, P. Rajeev, and N. Ravintherakumar, “Environmental challenges induced by extensive use of face masks during COVID-19: A review and potential solutions,” *Environ. Challenges*, vol. 3, no. February, p. 100039, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100039.

Las mascarillas N95 son conocidas por tener una capacidad de filtración del 95%, esto principalmente por sus cuatro capas, siendo una de estas un material filtrante de polipropileno soplado en fusión [9], adicional ofrecen una tecnología de electricidad estática que retiene aerosoles, adicional esta mascarilla ofrece una estructura hermética minimizando las fugas [136], al llegar la pandemia COVID-19 se aumentó la demanda de este equipo de protección personal la cual no pudo ser controlada priorizando su uso para los trabajadores de la salud [8], debido a eso se empezó un sistema para descontaminar las mascarillas que mantuvieran su estructura después del uso [137].

Referente a las mascarillas quirúrgicas son las de mayor uso a nivel mundial, están fabricadas de tela no tejida la cual tiene una mejor permeabilidad al aire y mejor filtración de bacterias siendo esta 3 veces más eficiente que la mascarilla de tela [138], contiene tres capas de las cuales la capa intermedia es no tejida absorbente siendo esta su medio filtrante [9]. Por otro lado, el rendimiento de filtración de mascarillas de tela depende de muchas variables, como el número de hilos, el número de capas, el tipo de tela y la resistencia al agua, sin embargo, estas mascarillas al ser de posible reutilización no poseen un medio filtrante, generando una reducción en la eficiencia de filtración, solo asociando su filtración al tipo de telas [9].

La eficiencia de filtración es notablemente reducida cuando se generan aberturas, variación en la hermeticidad, problemas de ajuste o fugas, debido a esto la CDC “Centros para el Control y

Prevención de Enfermedades” sugiere el uso de una mascarilla de tela sobre una mascarilla quirúrgica [139]. Es necesario resaltar que el medio filtrante es una de las partes más fundamentales para la retención de gotículas respiratorias siendo las partículas líquidas más grandes que son expulsadas por una persona tanto por la boca como por la nariz al momento de toser, estornudar, hablar, cantar o respirar variando su tamaño desde μm a mm [138], [140], es por esto que se han generado nuevas ideas de medios filtrantes que permiten la aplicación de componentes antivirales, estos pueden ser nanopartículas de bases metálicas como CuO , ZnO , TiO y SiO_2 basados en plata y oro; algunos no metales y compuestos orgánicos [8].

Llegado a este punto, se proyecta el uso del medio filtrante de fibras de celulosa en mascarillas de tela siendo la capa del medio entre las 2 capas de tela usualmente usadas, para contribuir con la eficiencia de filtración que, aunque no supera la N95, es la reglamentaria a usar, es decir, tanto mascarillas no medicas como mascarillas quirúrgicas para personal no médico [141], en otras palabras, la sociedad como tal en espacios públicos actualmente a causa de la pandemia SARS COVID-19.

El uso de mascarillas permite la reducción en el riesgo de la propagación de virus respiratorios entre un 70-80% [138], ahora bien, existen 6 categorizaciones principales, siendo agrupada las mascarillas higiénicas con las mascarillas caseras ya que, aunque son reutilizables tienen un límite de uso dependiendo el usuario; además son para personas sintomáticas y su disposición de uso es en espacios públicos donde no son aconsejables cuando hay exposición a aerosoles, sangre o fluidos tóxicos [142]. Así bien, ascendiendo en eficiencia de filtración se encuentra la mascarilla quirúrgica usada en ciertos casos para el personal de salud siempre y cuando tampoco se encuentre expuesto a aerosoles, aunque no sea recomendable para estos. Sin embargo, también se recomienda a la población en general para su uso diario. Por otro lado, las 3 categorías restantes son los respiradores FFP 1, FFP 2 y FFP 3 siendo exclusivamente para el personal médico encargado de recoger muestras de vías respiratorias tanto como aquellos elementos de riesgo biológico, siendo entre mayor su referencia numérica menor el porcentaje de fuga y penetración [4]

Tabla 27.

Clasificación de los respiradores según UNE EN 149:2001

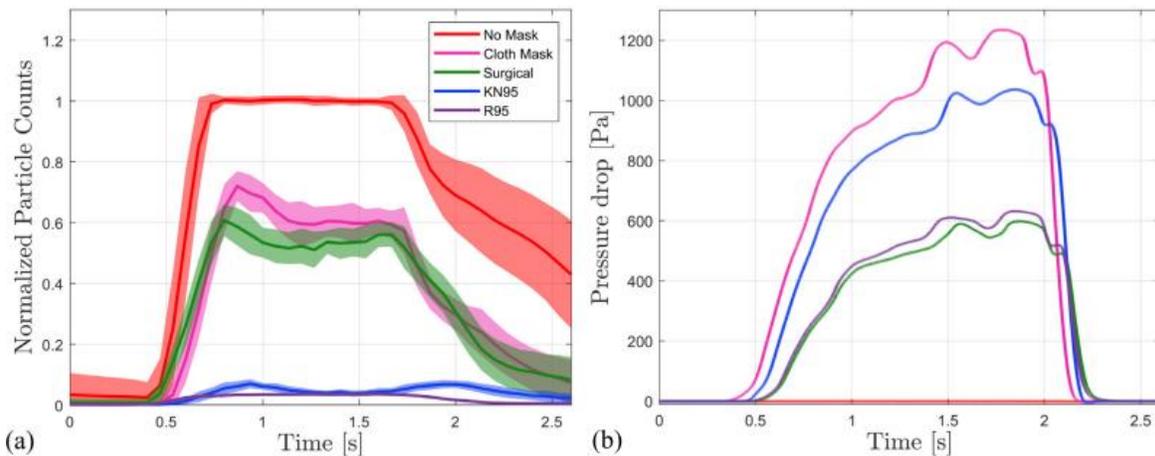
Clasificación UNE EN 149:2001+A1:2010	% Penetración máxima al agente de ensayo	% de fuga hacia el interior máxima
FFP1	20	22
FFP2	6	8
FFP3	1	2

Nota. Asociación de los respiradores, siendo entre mayor su referencia mejor para su penetración de aerosoles como de partículas salivales. “*Mascarilla como equipo de protección individual durante la pandemia COVID.19: como, cuando y cuales deben utilizarse*”. Jesús M., Aranz Andrés, M. Teresa Velásquez, Jorge Guajiro y compañía.2020

En contraste, los respiradores hacen parte fundamental de las mascarillas ya que son un fragmento de estas, generalmente en medio de capas que están en contacto con el exterior y con el rostro del usuario, usándose los filtros o respiradores para aerosoles en las mascarillas como la N95, N99, R95, N100, entre otros. Evidenciándose la ausencia de estos en las mascarillas caseras y por otro lado en cuanto a las mascarillas quirúrgicas el respirador o medio filtrante de calidad es inferior, usualmente usado para la prevención de contagios y elementos de micraje superiores a $3\mu\text{m}$ [143].

Figura 39.

Normalización del comportamiento de partículas tanto la caída de presión en diferentes mascarillas



Nota. En a. se evidencia el recuento de partículas una vez son pasadas por las mascarillas, siendo la normalización de esta y en b se muestra la caída de presión de las mascarillas a un flujo de 0,4 L/s. Y. Shah, J. W. Kurelek, S. D. Peterson, and S. Yarusevych, “Experimental investigation of indoor aerosol dispersion and accumulation in the context of COVID-19: Effects of masks and ventilation,” *Phys. Fluids*, vol. 33, no. 7, 2021, doi: 10.1063/5.0057100.

Con base a la figura anterior y relacionado con la eficiencia de filtración se evidencia que la mascarilla de tela “Cloth mask” es la de menor retención de partículas, es decir, la que tiene menos eficiencia de filtración; como por otro lado siendo la de mayor caída de presión. De igual forma, la mascarilla quirúrgica, aunque tiene una baja caída de presión respecto a la anterior su capacidad de filtración no es superior significativamente comparada con la mascarilla de tela, donde primeramente, la caída de presión representa la facilidad para acoplarse con el rostro y la facilidad para respirar bien, siendo los mayores valores asociados con la dificultad de lo previamente dicho, es decir que, para la mascarilla de tela se obtiene baja retención de partículas además de una alta caída de presión.

Por otro lado, aunque la KN95 tiene muy buen filtrado de partículas presenta una alta caída de presión siendo la más equilibrada la R95, dando una razón a la delimitación del uso de estas mascarillas solo para personal médico ya que se puede presentar complicaciones al usarse en la población, principalmente a causa de problemas respiratorios generando riesgos ajenos a la pandemia[141]. De igual forma, partiendo del diseño en estas mascarillas, tienen la ventaja de ser más herméticas evitando el movimiento de estas al momento de hablar debido a la ausencia de contacto con los cachetes como con otras partes faciales [138], además asociadas con su tipo de filtro FFP 2/ FFP 3 se ve afectada su caída de presión donde ciertas mascarillas cuentan con válvula ayudando a una mejor filtración del aire, contribuyendo a respirar mejor en esta clase de mascarillas[144] aliándose con la baja porosidad del filtro.

Continuando, se atribuye su eficiencia de filtrado a la mascarilla N95 por contener múltiples capas de diferentes materiales donde el orden de su composición contribuye a su buen comportamiento frente a aerosoles, siendo la que contiene mayor cantidad de materiales respecto a las otras mencionadas, contando con una capa de carbón activado, algodón electroestático, una capa de refuerzo de algodón nuevamente y las capas externas generalmente hechas de paño antiadherente o polipropileno [145], limpiando el aire con ayuda de la estructura micro porosa y la tasa de adsorción más alta brindada por el carbón activado [146], la higroscopicidad de la capa de algodón y la adhesión de partículas gracias a la carga electrostática [147], afectando paralelamente la facilidad de respiración para los usuarios.

Por otro lado, usualmente se usa tela no tejida de polipropileno como único medio filtrante para mascarillas quirúrgicas donde la distribución de los filamentos es desordenada pero su porosidad es inferior a las mascarillas de tela y superior a los usados en la N95, presentando eficiencias de filtración del 40% [138], siendo mayor a la de las mascarillas de tela, pero causando mayor contaminación por la disposición final de cada una. Donde, las mascarillas fabricadas de telas tejidas como el algodón son reutilizables, caso contrario a las mascarillas quirúrgicas que actualmente son desechadas a diario y en conjunto al crecimiento de la demanda llegando a su disposición final inadecuada.

Así pues, se han desarrollado nuevas alternativas debido a la pandemia y a la demanda generada en la necesidad del uso de mascarillas para la prevención de contagio, donde se han hecho innovaciones de diseño utilizando polímeros rígidos, modificación de diseños en telas y el uso de diferentes telas [148], fabricación de pack de filtros lavables con condiciones específicas a partir de capas de tela no tejida de polipropileno o carbón activado teniendo un rango de uso desde 5 h hasta 24 h [149].

Es por esto que, se propone un arreglo donde a partir del estudio de telas para tanto su filtración de partículas como la permeabilidad al aire se fusiona con un medio filtrante de tela no tejida a partir de fibras de celulosa laminadas extraídas del bagazo de caña, con un diseño estructural hermético basado en la mascarilla N95 aumentando su eficiencia de filtración al incorporarlas en conjunto.

Tabla 28.

Alternativas de telas para la mascarilla propuesta a partir de la permeabilidad al aire de la tela y el porcentaje retenido dependiente al micraje

Muestra de tejido	Permeabilidad al aire (L/min)	Filtración por tamaño de partícula (%)				
		0,5 μm	0,7 μm	1 μm	3 μm	5 μm
No tejido: 81 g- una capa	55	13	12	19	58	75
No tejido: 160g- dos capas	29	20	24	26	71	85
Tejido de punto liso (100% algodón): 120 g-2 capas	3,9	28	39	42	66	79

Tabla 298. Continuación

Muestra de tejido	Permeabilidad al aire (L/min)	Filtración por tamaño de partícula (%)				
		0,5 µm	0,7 µm	1 µm	3 µm	5 µm
Tejido de punto liso (70% poliéster y 30% algodón): 100 g- 2 capas	14,4	10	15	17	46	62
Camisa Oxford tejida (100% algodón): 130 g- 2 capas	5,2	21	29	32	64	69
Camiseta de punto (100% algodón); 150 g- 2 capas	10,6	16	23	27	77	89
Camisa de lino tejida (100% lino); 145 g- 2 capas	60	10	15	17	53	70
Sarga de demonio (100% algodón); 270 g- 1 capa	1,3	16	21	24	44	47
Tejido vaquero liso (100% algodón):310 g- 1 capa	7,5	11	13	13	25	31
Tejido vaquero liso (lyocell): 160 g- 1 capa	34,7	9	12	13	29	37
Tejido vaquero liso (lyocell); 320g-2 capas	16,7	7	16	20	49	58

Nota. Resultados al testear la permeabilidad al aire con un flujo de 8 L/min, resistencia a la absorción de agua y a la filtración de partículas en las diferentes telas para aplicación a mascarillas de tela en su uso no médico. Tomado de: B. Sousa-Pinto *et al.*, "Face masks for community use: An awareness call to the differences in materials," *Respirology*, vol. 25, no. 8, pp. 894–895, 2020, doi: 10.1111/resp. 13891..

Así pues, según la tabla 27 regida por la EN ISO 9237:1995 Y EN 14683, al incorporar una tela no tejida con una tela de punto con 100% algodón o de 100% lino contribuye a un mejor filtrado de partículas finas como lo son las de 0,5 µm y con una retención superior al 70% en las partículas más gruesas, mejorando la eficiencia de filtración además de evitar altas caídas de presión buscando innovar en las alternativas actuales sin afectar al usuario, también en la posibilidad de reutilizar una fracción de la mascarilla y con un medio filtrante compostable, aportando a la alimentación de cultivos y a la fabricación del humus con ayuda de la lombriz californiana.

6. CONCLUSIONES

Se presenta un 40,63% de recirculación en el proceso de tamizado llevando a la trituración nuevamente de la masa retenida en el tamiz 10, aunque implique aumento en costos energéticos, es más aprovechable para el proceso. Además, como se hace una doble capa donde se mezclan 2 tipos de micraje, ayudando a la porosidad y a la retención de partículas salivales con un flujo no hiposialico, se aumenta a la vez el provecho del bagazo de caña de un 37,41% a 49,63% usando 13 gramos del tamiz 20 y 13 gramos del tamiz 40. Y con el 9,74% restante referente al material fibroso en los fondos se desarrolla una harina para que sea complementaria en alimentos o como tal un subproducto.

Al momento de realizar las rutas I y II se evidencia una fuerte diferencia al cambiar en un 0,6 % de la concentración de H_2SO_4 , logrando confirmar el rompimiento de los enlaces glicosídicos presentes, generando glucosa lo que permite su aplicación para la producción de bioetanol en proporciones bajas de activación para su posterior hidrolisis alcalina. En cambio, el porcentaje de celulosa a partir de la ruta III presenta una mayor facilidad de replicación y permite obtener una pulpa con menos contenido de lignina a causa de la ruptura de los enlaces éter de la lignina por medio de los radicales libre OH del hidróxido de sodio obteniendo un bajo porcentaje de lignina que ofrece la conexión de la pulpa de celulosa y protección antimicrobiana leve.

Someter la fibra de celulosa a temperaturas superiores a $500^{\circ}C$ elimina los compuestos lignocelulósicos presentes, evidenciado en la determinación de cenizas una composición del 99% de carbono, ofreciendo su disposición final como sustrato óptimo para compostabilidad. Adicional, el porcentaje restante al ser de compuesto inorgánicos se le atribuye a los extractivos tales como ceras, las cuales, no fueron tenidas en cuenta para la elaboración del presente documento.

Se evidencia la retención de fluidos de las fibras de celulosa con un valor de $8,76 \pm 0,29$ % de humedad constante a lo largo de su almacenamiento antes de sus modificaciones estando exento al crecimiento microbiano gracias a su baja humedad. Aclarando que, al momento de almacenaje con las modificaciones seleccionadas a partir del ANOVA, obtiene una mayor humedad esto gracias al hinchamiento de las fibras a causa de la concentración de glicerina. lo cual confirma que

a pesar de estar seco sus grupos hidroxilos tendrán una fuerte asociación con el agua permitiéndole retener en un corto espacio de contacto grandes cantidades [150].

El medio filtrante de $1,54 \pm 0,19$ g con modificaciones es adecuado para el uso en mascarillas con velocidades no hiposónicas reteniendo de 37 a 45 ml durante un promedio de 15 minutos, esto quiere decir que, al incrementar el área del medio filtrante genera mayor retención a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta a las partículas salivales, las cuales presentan variedad de micraje y dependen netamente del usuario.

Respecto a la porosidad es requerido un estudio posterior a las modificaciones realizadas al medio filtrante de fibras de celulosa, ya que se conoce cualitativamente su disminución tanto con los aditivos como con la implementación de la doble capa, sin embargo, no se conoce el tamaño de poro, el arreglo cubico, entre otros; para su distribución estructural donde la microscopia electrónica de barrido juega un papel clave. Por otro lado, se relaciona con la caída de presión, ya que al disminuir en porcentajes bajos su porosidad la caída aumenta generando menor permeabilidad a fluidos.

En función de mejorar el medio filtrante con respecto a su comportamiento frente a la adsorción de microorganismos, se puede adicionar en el secado, una capa de aceite esencial de canela, tomillo u orégano reemplazando al aceite mineral, contribuyendo además de su función inicial en el presente trabajo, con beneficios como al contacto con la piel, la generación de una capa superficial delgada, se aporta un comportamiento antimicrobiano. Como también hacer un recubrimiento de nano fibra con quitosano.

Al ser un material higroscópico beneficia la digestión en las lombrices siendo un alimento de interés para estas en cuanto a su facilidad de asimilarlo, al succionar el medio filtrante con saturación de agua por medio del sistema nervioso; Por lo cual al pasar 26 días ya no se observan fibras remanentes junto con el aumento de peso de las lombrices en un $54,31 \pm 10,30$ %. De igual modo, en el compostaje las fibras se acoplan y equilibran con tierra respecto a su humedad, visualizándose a lo largo del tiempo una tonalidad más oscura en las fibras incorporándose en los componentes de la tierra pretratada teniendo en cuenta en los dos casos la germinación del cultivo y/o estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. C. Cueva-Orjuela, A. Hormaza-Anaguano, y A. Merino-Restrepo, “Sugarcane bagasse and its potential use for the textile effluent treatment TT - Bagazo de caña de azúcar y su potencial aprovechamiento para el tratamiento de efluentes textiles”, *Dyna*, vol. 84, núm. 203, pp. 291–297, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n203.61723>.
- [2] M. Lignocelulosicos, “Ii. fundamentos 1.”, pp. 7–62, 2001, [En línea]. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/8503/Fundamentos-5.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
- [3] American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Ash in Wood”. 2001, [En línea]. Disponible en: <http://file.yizimg.com/175706/2011120520563116.pdf>.
- [4] J. M. Aranaz Andrés *et al.*, “Masks as personal protective equipment in the COVID-19 pandemic: How, when and which should be used”, *J. Healthc. Qual. Res.*, vol. 35, núm. 4, pp. 245–252, 2020, doi: 10.1016/j.jhqr.2020.06.001.
- [5] Ministerio de salud, “El uso de tapabocas se hace obligatorio en el sistema de transporte público”, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/El-uso-de-tapabocas-se-hace-obligatorio-en-el-sistema-de-transporte-publico.aspx>.
- [6] La republica, “3M, Saver y Nara Safe, entre las empresas que impulsan la producción de tapabocas”, 2020. <https://www.larepublica.co/empresas/3m-saver-y-nara-safe-entre-las-empresas-que-impulsan-la-produccion-de-tapabocas-2985515>.
- [7] F. Staff, “Los tapabocas: una nueva forma de contaminación mundial”, 2020. <https://forbes.co/2020/06/12/actualidad/los-tapabocas-una-nueva-forma-de-contaminacion-mundial/>.
- [8] P. L. Wang *et al.*, “Recent developments in filtration media and respirator technology in response to COVID-19”, *MRS Bull.*, vol. 46, núm. September, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1557/s43577-021-00173-6.
- [9] K. Selvaranjan, S. Navaratnam, P. Rajeev, y N. Ravintherakumaran, “Environmental challenges induced by extensive use of face masks during COVID-19: A review and potential solutions”, *Environ. Challenges*, vol. 3, núm. February, p. 100039, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100039.
- [10] O. O. Fadare y E. D. Okoffo, “Covid-19 face masks: A potential source of microplastic

- fibers in the environment”, *Sci. Total Environ.*, vol. 737, p. 140279, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140279.
- [11] Asociación de Cultivadores de Caña, “Sector Agroindustrial De La Caña”, 2017. <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>.
- [12] A. F. y C. A. Zoycris Pernalet, Francibell Piña, Madeleine Suárez, “Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco”, 2008. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612008000100001.
- [13] Elias Martinez-Hernandez, Myriam Adela Amezcua-Allieri, J. Sadhukhan, y Jorge Aburto Anell, “Sugarcane Bagasse Valorization Strategies for Bioethanol and Energy Production”, *Web Sci.*, p. 29, 2013.
- [14] A. E. C. Velandia, “Adsorbentes naturales en la mitigación del impacto adverso causado por derrames de crudo en fuentes hídricas.”, *Hilos Tensados*, vol. 1, núm., pp. 1–476, 2017.
- [15] R. E. Ross-Alcudia *et al.*, “Planta piloto para obtención de celulosa de residuos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y elaboración de recipientes biodegradables”, *Agroproductividad*, vol. 10, núm. 11, pp. 60–65, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/64/59>.
- [16] P. De La Concepcion Martinez Nodal, I. R. Rico, G. E. Pérez, y J. L. Mas, “Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos”, *Afinidad*, vol. 71, núm. 565, pp. 57–62, 2014.
- [17] J. Fernández-rodríguez y N. Díaz-hernández, “Evaluación de un material compuesto reforzado con fibras de bagazo en matriz de cemento”, *ICIDCA. Sobre los Deriv. la Caña Azúcar*, vol. 51, núm. 1, pp. 53–59, 2017.
- [18] A. S. Tejedor, “Tecnología de la celulosa. La industria papelera”. <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>.
- [19] Susana Saval, “Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro”, *Rev. la Soc. Mex. Biotecnol. y Bioingeniería A.C.*, pp. 14–47, 2012, [En línea]. Disponible en: https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf.
- [20] O. Triana, M. Leonard, F. Saavedr, N. Fernandez, G. Galvez, y E. Pena, *Atlas of sugarcane bagasse*. 1990.
- [21] S. J. Suárez-Forero, A. M. Candela-Soto, J. A. Henao-Martínez, y O. L. Bayona-Ayala,

- “Evaluation of the performance of the pretreatment with the hydrogen peroxide on sugar cane bagasse for removing lignin”, *Iteckne*, vol. 16, núm. 1, pp. 21–28, 2019, doi: 10.15332/iteckne.v16i1.2158.
- [22] M. J. Negro, J. M. Martínez, J. Manero, F. Sáez, y C. Martín, *Efecto del pretratamiento con explosión por vapor en la hidrólisis enzimática de madera de eucalipto y bagazo de sorgo*. 1990.
- [23] M. Barroso Casillas, “Pretratamiento De Biomasa Celulósica Para La Obtención De Etanol En El Marco De Una Biorrefinería”, *Univ. Politécnica Madrid*, p. 117, 2010, [En línea]. Disponible en: http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf.
- [24] E. Jiménez, “Obtención de la pulpa de celulosa a partir de residuos de agavaceas: potencial elaboración de papel tipo artesanal”, p. 160, 2017.
- [25] M. M. Domínguez-Domínguez, A. Álvarez-Castillo, M. Granados-Baeza, y F. Hernández-Campos, “Estudio de la cinética del pretatamiento e hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar”, *Iberoam. Polim.*, vol. 13, núm. 4, pp. 200–211, 2012.
- [26] J. C. B. Bassante, “Evaluación de diferentes pretratamientos químicos a la biomasa de la cáscara de cacao para procesos de fermentación alcohólica”, 2018.
- [27] L. M. R. Fuentes, “Síntesis de un biofloculante sustituto de mucilagos naturales en el proceso de producción de panela”, 2018.
- [28] E. Ott, H. M. Spurlin, y M. W. Grafflin, *Cellulose and cellulose derivatives*. 1954.
- [29] M. J. A. Chica y P. E. E. Ramírez, “Estudio comparativo de la celulosa obtenida a partir del pseudotallo de banano con la obtenida de bagazo de la caña de azúcar, empleando la misma metodología”, 2015.
- [30] C. G. N. Gómez, “Obtención de celulosa a partir de residuos de la poda de pasto común por medio de líquido iónico (cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio)”, 2018.
- [31] O. A. del Olmo, Aracelia Hernández Gutiérrez, M. A. B. Herrada, O. C. Cabo, G. N. A. Polo, y N. F. Rodríguez, “El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial”, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/72041168-Parte-v-el-bagazo-de-la-cana-de-azucar-propiedades-constitucion-y-potencial.html>.
- [32] V. S. Rodríguez y L. B. B. Ruiz, “Ciencia Unisalle Revisión bibliográfica y modelación de la producción de azúcares reductores y aluminio a partir de residuos de tetrapak mediante hidrólisis subcrítica”, 2021, [En línea]. Disponible en:

- https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2916&context=ing_ambiental_sanitaria.
- [33] O. L. B. Ayala, “Avaliação de pré-tratamentos para a hidrólise enzimática de palha de cana-de-açúcar considerando a produção de etanol”, 2012.
- [34] A. Álvarez Rodríguez, C. Pizarro García, y M.-B. Folgueras Díaz, “Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico”, *Repos. Inst. la Univ. Oviedo*, pp. 1–12, 2012.
- [35] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, *Manual de los derivados de la caña de azúcar*. Ciudad Habana: Minaz, 2000.
- [36] K. Anabel, “Obtención de celulosa a partir de biomasa de bagazo de caña de azúcar para su transformación catalítica en ácido láctico”, 2018.
- [37] D. Ramírez y S. Gómez, “Evaluación del efecto del pretratamiento con Steam Explosion al bagazo de caña para la obtención de pulpa alcalina para papel”, p. 66, 2015.
- [38] B. Mexicana, “Fibras naturales”, 2020. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>.
- [39] G. Vidal y S. Hormazabál, *Las fibras vegetales y sus aplicaciones*. 2016.
- [40] M. de A. y D. R. Minagricultura, “Cadena Productiva de la Caña de Azúcar”, p. 40, 2015.
- [41] N. Aguilar Rivera, “Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel Effect of Storing of Sugar Cane Bagasse on Physical Properties from Cellulose for Paper”, *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. XII, pp. 189–197, 2011.
- [42] N. ponce García, “Caña de azúcar: Generalidades y factores agrometeorológicos”, 2015. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/34813/secme-19851.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [43] J. C. F. Gallas, M. Area, F. Cristina, y E. Fernando, “Estudio De La Factibilidad Economica Del Uso Del Bagazo De Caña De Azucar Para La Obtencion De Papel De Impresión Y Escritura En El Paraguay”, 2009.
- [44] R. J. A. Cartagena, “La caña de azúcar, variedades”, 2010. <http://julius-juliusrac.blogspot.com/2010/06/variedades.html>.
- [45] A. Vallejo y F. Zapata, “King Grass – Saccharum sinense Roxb.”, 2020. <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/king-grass-saccharum-sinense-roxb.html>.
- [46] S. Oliveira y L. Pellegrini, “Plantas de cogeneración con caña de azúcar Sugarcane-based

- cogeneration plants Introducción”, vol. 31, pp. 88–101, 2010.
- [47] L. García-garcía, E. Bordallo-lópez, D. Dopico-ramírez, y D. Cordero-fernández, “Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de la caña de azúcar”, *ICIDCA Sobre los Deriv. la Caña Azúcar*, vol. 47, núm. 1, pp. 57–63, 2013.
- [48] C. Tejada Tovar, A. Villabona Ortiz, y E. Ruiz Paternina, “Remoción de Pb (II), Ni (II) y Cr (VI) en soluciones acuosas usando matrices modificadas químicamente”, *Prospectiva*, vol. 12, núm. 2, p. 7, 2014, doi: 10.15665/rp.v12i2.265.
- [49] V. Bustamante García, A. Carrillo Parra, J. Á. Prieto Ruíz, J. J. Corral-Rivas, y J. C. Hernández Díaz, “Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión”, *Rev. Mex. Ciencias For.*, vol. 7, núm. 38, pp. 5–24, 2017, doi: 10.29298/rmcf.v7i38.8.
- [50] C. Simón-García, “Determinación de la higroscopicidad y comportamiento termodinámico de la madera juvenil y madura a través de sus isotermas de sorción”, pp. 23-24 (295), 2015, [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/148678566.pdf>.
- [51] J. A. M. Montañez y D. A. Z. Moreno, “Evaluación de la obtención de celulosa partiendo del buchón de agua (*eichhornia crassipes*) mediante la hidrólisis básica y el proceso enzimático del hongo *pleurotus ostreatus*.”, 2019.
- [52] B. F. Sarrouh, J. Jover, y E. Gonzáles, “Estudio de la hidrólisis del bagazo con ácido sulfúrico concentrado utilizando dos variantes de una sola etapa y una sola etapa modificada para la obtención de etanol y análisis técnico-económico de dicho proceso”, *Rev. Ing. e Investig.*, vol. 25, núm. 3, pp. 34–38, 2005.
- [53] SafeRack, “White Liquor Handling”, 2021. <https://www.saferack.com/bulk-chemical/white-liquor/>.
- [54] D. Felipe y S. Mariani, “Propiedades del licor negro bajo la influencia de la carga y formulación de antraquinona en pulpaje kraft”, 2005.
- [55] V. M. V Cruz, J. Vicente, H. Dangelo, y V. B. L. G. De Oliveira, “Determinação Do Teor De Lignina Total Em Amostras Do Processo De Extração Da Lignina Do Licor Negro”, núm. 2010, pp. 22–24, 2019.
- [56] E. Jiménez-Muñoz, F. Prieto-García, J. Prieto-Méndez, O. A. Acevedo-Sandoval, y R. Rodríguez-Laguna, “Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de *Agave salmiana* B. Otto ex Salm. Optimización”, *DYNA*, vol. 84, núm. 200, pp. 253–260, 2017, doi:

- 10.15446/dyna.v84n200.58906.
- [57] S. Morales De La Rosa, “Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos.”, p. 15, 2015, [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/132717>.
- [58] todo en polimeros, “Textiles no tejidos”, 2019. <https://todoenpolimeros.com/2019/05/06/textiles-no-tejidos/>.
- [59] Alejandra Delgado Lopera, “Estandarizacion de una linea de productos publicitarios en tela no tejida para la disminucion del impacto ambiental de la empresa publiempaques S.A”, 2010.
- [60] Biossmann, “Tela no tejida de polipropileno”. <https://biossmann.com/tela-no-tejida-de-polipropileno.html>.
- [61] EFELAB, “Tela no tejida”. <https://www.efelab.com/prod/tela-no-tejida/>.
- [62] F. Danze, “Máquinas extrusoras para fabricar tela meltblown nonwoven”, 2020. <http://blog.fdtecsl.com/tag/mascarillas>.
- [63] F. K. Nonwoven, “Procesos de fabricación de telas no tejidas”, 2017. <http://es.pnnonwoven.com/info/nonwoven-fabric-manufacturing-processes-24797565.html>.
- [64] F. Narvaez, “Humus de lombriz Principales características”, *La lombriz, la Cuid. los pastos*, 2008, [En línea]. Disponible en: http://feriasaraucania.cl/UserFiles/File/humus.pdf%0Ahttp://www.lombec.com/producto_humus_de_lombriz.html.
- [65] Fertilab, “El humus de lombriz”, *Cent. Investig. y Desarro.*, pp. 2–3, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El-Humus-de-Lombriz.pdf>.
- [66] C. R. Machado y H. Hettiarachchi, “Organic Waste Composting through Nexus Thinking”, *Org. Waste Compost. through Nexus Think.*, núm. November, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-36283-6.
- [67] N. Scott, *How to Make and use compost the ultimate guide*. 2009.
- [68] J. Mauricio y L. Ariza, “Análisis de conveniencia en la implementación de sistema de generación de energía a través de biomasa , que use como fuente primaria los residuos agroindustriales de la caña de azúcar (bagazo), en la industria panelera ubicada en el municipio de Villeta”, 2019.

- [69] A. de Villeta-Cundinamarca, “Información del municipio”, 2021. <https://www.villeta-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>.
- [70] Climate-Data, “Clima Villeta (Colombia)”. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cundinamarca/villeta-876037/>.
- [71] V. S. Garay, “Proceso de fabricación de pulpa y papel”. <https://pdfslide.tips/documents/planta-de-pulpa.html>.
- [72] Tamices, “Tabla Comparativa Normas Tamices Iso / Astm”, 2015. https://www.tamices.es/wp-content/uploads/2015/07/Tabla_comparativa_normas.pdf.
- [73] N. K. Garcia Alcocer, S. Salgado García, S. Cordoba Sanchez, R. Castañeda Ceja, P. De la Cruz Burelo, y J. Turrado Saucedo, “Evaluation of calcium oxide and calcium hydroxide for the obtaining of cellulose fiber”, vol. 12, pp. 3–9, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1433%0AEvaluation>.
- [74] M. Vivero-Rocero, “Capítulo 12 Determinación de la Cristalinidad y de la Accesibilidad de las Fibras de Celulosa Mediante Diferentes Técnicas”, pp. 1–26, 2008.
- [75] A. López *et al.*, “Obtención de Celulosa a Partir de Bagazo de Caña de Azúcar (*Saccharum spp.*)”, *Agroproductividad*, vol. 9, núm. 7, p. 43, 2016.
- [76] C. Chandler *et al.*, “Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables”, *Multiciencias*, vol. 12, núm. 3, pp. 245–253, 2012.
- [77] M. Gaona y V. Yadira, “Estudio de la degradabilidad del PET (polietileno tereftalato) dosificado con un biopolímero de la fibra de banano”, *Tesis licenciatura Univ. Politécnica Sales.*, vol. 1, núm. 1, p. 85, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14370/4/UPS-CT007043.pdf?dLDF=false>.
- [78] A. D. P. Lozada, “Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de la cáscara de café para la elaboración de un biosorbente utilizado en la remoción de cadmio como metal pesado.”, 2020.
- [79] S. I. S. S. I. Mussatto *et al.*, “Análisis Químicos De Materias Primas Fibrosas”, *J. Inst. Brew.*, vol. 85, núm. 2, pp. 58–63, 2008, [En línea]. Disponible en: http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/92219%0Ahttp://tecnociencia.uach.mx/numeros/.../numeros/v3n2/data/Fuentes_de_carbono_economicas_para_la_produccion_de_bioplasticos_bacterianos.pdf%0Ahttp://www.crcnetbase.com/doi/book/10.1201/b12487%0Ahttp://.

- [80] American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood”, *ASTM Int.*, vol. 04, núm. Reapproved 2009, pp. 1–9, 2011, [En línea]. Disponible en: www.astm.org.
- [81] E. Romero, G. Montero, Toscano, L. Pérez, R. Torres, y M. T. Beleño, “Determinación de los principales componentes de la biomasa lignocelulósica; celulosa, hemicelulosa y lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico.”, *XVII Congr. Int. Ciencias Agric.*, núm. October, pp. 114–118, 2014, [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/282365664>.
- [82] D. A. E. Fundación, “¿Por qué son tan peligrosos los ácidos?”, 2019. https://www.esteve.org/publicaciones/nosotras-respondemos-acidos/?doing_wp_cron=1636490892.7028369903564453125000.
- [83] D. K. Meschede, E. D. Velini, C. A. Carbonari, y C. P. Moraes, “Teores de lignina e celulose em plantas de cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores”, *Planta Daninha*, vol. 30, núm. 1, pp. 121–127, 2012, doi: 10.1590/S0100-83582012000100014.
- [84] J. Rojas y S. Peña, “Densidad aparente”, *I*, vol. 1, núm. 1, p. 3, 2012, [En línea]. Disponible en: www.inta.gov.ar/saenzpe.
- [85] J. Loma, “Determinación de la densidad aparente de probetas bituminosas”, 2015.
- [86] P. Mohazzab, “Archimedes’ Principle Revisited”, *J. Appl. Math. Phys.*, vol. 05, núm. 04, pp. 836–843, 2017, doi: 10.4236/jamp.2017.54073.
- [87] M. M. Day y A. Carpi, “Propiedades Físicas Densidad”. <https://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-Generales/3/Densidad/37>.
- [88] G. R. Muñoz, J. I. Encinas, y J. E. de Paula, “Wood density of 59 tree species in the order sapindales from natural forests in Brazil”, *Madera y Bosques*, vol. 25, núm. 2, pp. 1–12, 2019, doi: 10.21829/myb.2019.2521817.
- [89] I. F. M. E. Atencia, “Densidad de maderas (Kg/m³) ordenadas por nombre comun”. p. 8, 2003.
- [90] M. Interesante, “¿Por qué el papel mojado se abarquilla?”, 2006. <https://www.muyinteresante.es/curiosidades/preguntas-respuestas/ipor-que-el-papel-mojado-se-abarquilla>.
- [91] P. Glover, “Course Notes Porosity”, *Petrophysics MSc Course Notes*, pp. 10–20, 2000, [En línea]. Disponible en: http://homepages.see.leeds.ac.uk/~earpwjg/PG_EN/CD

Contents/GGL-66565 Petrophysics English/Chapter 2.PDF.

- [92] D. Benavente, “Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales”, *Util. rocas y Miner. Ind. Semin. la Soc. Española Mineral.* 2, pp. 123–153, 2006.
- [93] C. Guizard, “Clasificación de las Membranas y de los procesos que las utilizan.”, *Lab. Formulación, Interfaces, Reol. y Procesos*, vol. 2, p. 37, 1999.
- [94] F. De Ingeniería, U. Autónoma, y D. S. Luis, “Análisis del desempeño estructural de andamios de hidroxiapatita utilizados en ingeniería tisular”, *Ing. mecánica, Tecnol. y Desarro.*, vol. 4, núm. 5, pp. 185–194, 2013.
- [95] A. F. Ruiz, “Caracterización de membranas de ultrafiltración estudio comparativo Mediante porosimetría LLDP y análisis de Imágenes SEM.”, 2019.
- [96] G. A. Goldmann, “Determinación de la distribución de la porosidad en rocas mediante resistividad electrica”, 2018.
- [97] U. de Valencai, “Análisis Gravimétrico”, *Curso Análisis Químico - Fac. Ciencias Agrar. y For.*, vol. 17, p. 12, 2016, [En línea]. Disponible en: [https://www.uv.es/baeza/Tema_4_Análisis gravimétrico_2016.pdf](https://www.uv.es/baeza/Tema_4_Análisis_gravimétrico_2016.pdf).
- [98] Universidad Nacional Autónoma de México, “Fundamentos Y Tecnicas Analisis De Alimentos”, p. 58, 2008.
- [99] Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, “Paja de cereales (trigo y cebada)”. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/paja-de-cereales-trigo-y-cebada.
- [100] J. O. Prieto García, R. Quintana Puchol, E. Rodríguez Suárez, y Á. Mollineda Trujillo, “Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la remoción de zinc en soluciones acuosas”, *Cent. Azúcar*, vol. 43, núm. 3, pp. 78–83, 2016, [En línea]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n3/caz08316.pdf>.
- [101] M. B. Márquez, “Cenizas Y Grasas”, *Univ. Nac. Sn Agustin*, pp. 3–45, 2014.
- [102] G. Lafuente Aranda, “Glicerol : Síntesis Y Aplicaciones”, *Univ. Nac. Educ. a Distancia Má*, pp. 1–56, 2017, [En línea]. Disponible en: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Glafuente/Lafuente_Aranda_Gustavo_TFM.pdf.
- [103] I. Hurtado, A. Sánchez, C. Rebollo, y D. Sánchez, “Textil biodegradable”, *POLI-RED*, p. 3, 2020.

- [104] S. S. coop. Galega, “Todo lo que debes saber sobre las harinas”. <https://www.cooperativasimbiosis.com/harinas/>.
- [105] E. molino Verde, “Harina 7 granos”, 2021. <https://elmolinoverde.com/productos/harina-7-granos/>.
- [106] T. G. Journal, “Harina y fécula de maíz, diferencias y similitudes”. <https://www.thegourmetjournal.com/a-fondo/harina-y-fecula-de-maiz/>.
- [107] H. G. Pulido y R. D. L. V. Salazar, *Analisis y diseño de experimentos*. 2008.
- [108] S. S. Institute, “ISO 18695”, 2008. <https://www.sis.se/api/document/preview/64579/>.
- [109] C. S. Facts, “Aceite mineral”. <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/aceite-mineral/>.
- [110] A. F. Garcia, “Medida de la presión de vapor del agua (II)”, 2016. http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/calor/vapor/vapor_1.html.
- [111] X. Nolla, “Los efectos de cambios de densidad causados por oscilaciones de temperatura en la medición hidrostática de nivel”, 2017. <https://www.bloginstrumentacion.com/instrumentacion/los-efectos-cambios-densidad-causados-oscilaciones-temperatura-la-medicin-hidrostatica-nivel/>.
- [112] Y. A. Parry Yáñez, “Asociación entre velocidad de flujo salival, pH y concentración de proteínas salivales en sujetos xerostómicos hiposialícos y no hiposialícos con alteraciones dentales, de mucosa oral y lengua”, pp. 1–76, 2015.
- [113] S. On, P. Properties, T. H. E. Kinetics, D. Of, y C. Grains, “Estudio De Las Propiedades Físicas Y De La Cinética De Secado De Granos De Maiz Colorado Duro”, *Av. en Ciencias e Ing.*, vol. 3, núm. 3, pp. 153–171, 2012.
- [114] Minitab, “¿Qué es deseabilidad individual y deseabilidad compuesta?”, 2019. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/using-fitted-models/supporting-topics/response-optimization/what-are-individual-desirability-and-composite-desirability/>.
- [115] T. V. Chalikian y K. J. Breslauer, “On volume changes accompanying conformational transitions of biopolymers”, *Biopolymers*, vol. 39, núm. 5, pp. 619–626, 1996, doi: 10.1002/(sici)1097-0282(199611)39:5<619::aid-bip1>3.0.co;2-z.
- [116] Vidasostenible, “Papel, Cartón y Madera”, 2010, [En línea]. Disponible en: <http://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/clasificacion-del-ph>.
- [117] C. L. Puy, “The rôle of saliva in maintaining oral health and as an aid to diagnosis”, *Med.*

- Oral S.L., 2006.
- [118] N. A. Rivera, “Sugarcane bagasse pulp with a high ratio of long fiber”, 2016.
- [119] Leanpio, “Diferencia entre compostable y biodegradable”.
<https://www.leanpio.com/2017/11/22/diferencia-entre-compostable-y-biodegradable/>.
- [120] D. Matter y C. Detec-, “Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Accelerated Landfill Conditions”, *Significance*, vol. 94, núm. May 1994, pp. 1–5, 2002.
- [121] A. de Normalización y Francés, “EN 13432”, pp. 5778731–5778731, 2007.
- [122] R. Sherman, *The worm farmer’s handbook*. Chelsea Green Publishing, 2018.
- [123] Departamento Nacional de Planeación, “Documento CONPES 3874. Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Solidos”, *Cons. Nac. Política Económica y Soc. República Colomb. Nac. Planeación*, pp. 1–73, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3874.pdf>.
- [124] C. Mikolic *et al.*, “Manual De Vermicompostaje: Cómo reciclar nuestros residuos orgánicos”, *Montevideo Ambient.*, vol. 1, pp. 1–208, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>.
- [125] P. Román, Pilar, Martinez, Maria, *Manual de compostaje del agricultor*. 2015.
- [126] R. J. Somarriba Reyes y F. Guzmán Guillén, “Guía de Lombricultura”, *Lombricultura una Altern. Prod.*, núm. 4, pp. 9–11, 2012, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>.
- [127] G. Internacional, “Guía sobre la descomposición de alimentos y como evitarlo”, 2020. <https://gastronomicainternacional.com/articulos-culinarios/nutricion/descomposicion-de-alimentos/#:~:text=Algunas bacterias que descomponen los,de las plantas y árboles>.
- [128] P. Mejia, “Manual lombricultura”, *Agroflor Lombricultura*, núm. 01 963, p. 54, 2010, [En línea]. Disponible en: [https://cdn.website-editor.net/a6d5d07bd07b4ebbb41c70f03402e2a8/files/uploaded/Manual%2520de%2520lombricultura.pdf%0Ahttp://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual de Lombricultura.pdf](https://cdn.website-editor.net/a6d5d07bd07b4ebbb41c70f03402e2a8/files/uploaded/Manual%2520de%2520lombricultura.pdf%0Ahttp://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf).
- [129] Agrobot, “Cría intensiva de lombrices”.
[http://www.agrobot.com/Documentos/I_1_6_Lombricu/330_mi000004lo\[1\].htm](http://www.agrobot.com/Documentos/I_1_6_Lombricu/330_mi000004lo[1].htm).
- [130] R. L. Sherman, *Vermicomposting for businesses and institutions*. 2010.
- [131] J. Abellan y J. Palacios, “Manual De Compostaje”, *Minist. Medio Ambient. Y Medio Rural*

- Y Mar.*, vol. 2, pp. 11–24, 2015.
- [132] P. B. Márquez, M. J. D. Blanco, y F. C. Capitán, “Factores que afectan al proceso de Compostaje”, 2008.
- [133] H. Escencial, “¿Por qué su compost tiene moho?” <https://www.huertoescencial.com/por-que-su-compost-tiene-moho/>.
- [134] O. panamericana para la Salud, “Peligros biológicos”. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10838:2015-peligros-biologicos&Itemid=41432&lang=es.
- [135] B. Vainshelboim, “Facemasks in the COVID-19 era: A health hypothesis”, *Med. Hypotheses*, vol. 146, núm. October 2020, p. 110411, 2021, doi: 10.1016/j.mehy.2020.110411.
- [136] G. Alba, “La diferencia entre las mascarillas N95, las mascarillas quirúrgicas y las mascarillas de tela”, 2020. <https://www.massgeneral.org/es/coronavirus/la-diferencia-entre-las-mascarillas-N95-las-mascarillas-quirurgicas-y-las-mascarillas-de-tela>.
- [137] T. H. Partners, *Conserving PPE by Decontaminating N95 Masks*. 2020.
- [138] Y. Shah, J. W. Kurelek, S. D. Peterson, y S. Yarusevych, “Experimental investigation of indoor aerosol dispersion and accumulation in the context of COVID-19: Effects of masks and ventilation”, *Phys. Fluids*, vol. 33, núm. 7, 2021, doi: 10.1063/5.0057100.
- [139] Centros para el Control y Prevención de Enfermedades, “Tipos de mascarillas comunes y de respiración”, 2021. <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/types-of-masks.html#respirators>.
- [140] O. mundial de la Salud, “Preguntas y respuestas sobre la transmisión de la COVID-19”, 2020. <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>.
- [141] Organización Mundial de la Salud, “Recomendaciones sobre el uso de mascarillas”, *Organ. Mund. La Salud*, núm. 1, p. 18, 2020, [En línea]. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332657/WHO-2019-nCov-IPC_Masks-2020.4-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [142] Y. Long *et al.*, “Effectiveness of N95 respirators versus surgical masks against influenza: A systematic review and meta-analysis”, *J. Evid. Based. Med.*, vol. 13, núm. 2, pp. 93–101, 2020, doi: 10.1111/jebm.12381.

- [143] B. Sousa-Pinto *et al.*, “Face masks for community use: An awareness call to the differences in materials”, *Respirology*, vol. 25, núm. 8, pp. 894–895, 2020, doi: 10.1111/resp.13891.
- [144] E. Cumbo y G. A. Scardina, “Management and use of filter masks in the ‘none-medical’ population during the Covid-19 period”, *Saf. Sci.*, vol. 133, p. 104997, 2021, doi: 10.1016/j.ssci.2020.104997.
- [145] Trip, “Máscara deportiva KN95”, 2021. <https://www.triphelmets.com/products/mascara-antipolucion>.
- [146] Ekonexo, “Beneficios del carbón activado en tu mascarilla”, 2021. <https://ekonexo.com/ekoblog/beneficios-carbon-activado-en-tu-mascarilla.html>.
- [147] J. M. K. Sejin Choi, Hyeonyeol Jeon, Min Jang, Hyeri Kim, Giyoung Shin, J. J. Minkyung Lee, Hye Kyeong Sung, Youngho Eom, Ho-Sung Yang, y and S. Y. H. Jeyoung Park,* Dongyeop X. Oh, “Biodegradable, Efficient, and Breathable Multi-Use Face Mask Filter”, *Adv. Sci.*, 2021.
- [148] GQ, “Mascarillas inteligentes 2021, así son los diseños más innovadores”, 2021. <https://www.gq.com.mx/estilo-de-vida/articulo/cubrebocas-inteligentes-2021-mas-innovadores>.
- [149] Expansión, “Estos son los filtros desechables para mascarillas de tela que puedes (y debes) utilizar”, 2020. <https://www.expansion.com/ofertas-regalos/estilo-de-vida/2020/08/01/5f22c9eb468aeb20658b45b5.html>.
- [150] J. Turrado, A. R. Saucedo, J. Ramos, y M. L. Reynoso, “Comportamiento de la fibra de celulosa reciclada en el proceso de hidratación”, *Inf. Tecnol.*, vol. 19, núm. 5, pp. 129–136, 2008, doi: 10.1612/inf.tecnol.3955it.07.

ANEXOS

ANEXO 1.

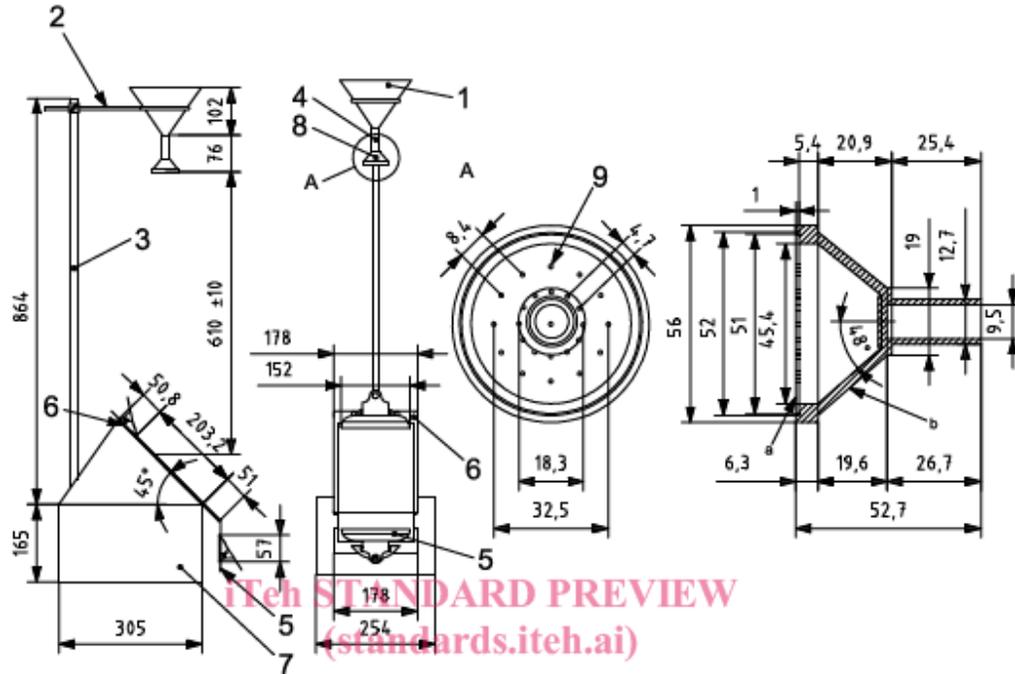
RECOMENDACIONES

- Analizar el comportamiento del medio filtrante a partir de la carga de las fibras por medio de electro hilado mejorando la eficiencia de filtración y adhesión de partículas finas, asociadas a aerosoles, recubriéndolo por una fibra nanométrica.
- Es beneficioso para el proceso de extracción de celulosa someter el material lignocelulósico a un proceso mecánico como lo es el steam explosion, encargado de debilitar la pared celular disminuyendo el consumo de reactivos al igual que lavados previos con acetona para eliminar compuestos indeseados.
- Determinar la cantidad de hemicelulosa restante para enfocarlo a la mejora de propiedades mecánicas tales como la flexibilidad y maleabilidad.
- Evaluar la cantidad de lignina presente en el licor negro aprovechable en procesos previos, ofreciendo un valor agregado al proceso llevando a cabo la cogeneración de energía.
- Evaluar la retención partículas y resistencia al rasgado con caudales más altos a los establecidos en este documento.
- Para un procedimiento a gran escala el uso de equipos como el FOU DRINER contribuye a la formación de láminas delgadas en menores tiempos.
- Desarrollar un análisis de costo para la producción del medio filtrante y su posterior venta en conjunto con mascarillas de tela y por unidad.

ANEXO 2.
ISO 18695.2008 PARA LA PENETRACIÓN DE AGUA



Dimensions in millimetres



Key

- 1 laboratory funnel, 152 mm
- 2 laboratory ring support
- 3 metal rod, \varnothing 12,7 mm
- 4 rubber tubing, 9,5 mm
- 5 metal spring clip, 152 mm (494 g)
- 6 steel plate with clip
- 7 inclined stand
- 8 spray head nozzle (see detail A)
- 9 twenty five holes, $(0,99 \pm 0,005)$ mm

- a Brass.
- b Bronze.

Nota. Detalles estructurales de la prueba de penetración de impacto y detalles estructurales de la prueba de penetración de impacto

ANEXO 3.
TABLAS DE ESTUDIO DEL ANOVA

Varianza 138,9166667 6,91666667

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	200	1	200	14,03508772	0,020010493	7,70864 7422
Columnas	722	1	722	50,66666667	0,002058822	7,70864 7422
Interacción	180,5	1	180,5	12,66666667	0,023606637	7,70864 7422
Dentro del grupo	57	4	14,25			
Total	1159,5	7				

ANEXO 4.

ESTUDIO DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS POR STATGRAPHICS

	BLOQUE	Porcentaje glicerina	Porcentaje harina 7 granos	penetración de agua (SD)
		%v/v	%p/p	ml absorbidos
	Entero	Numérico	Numérico	Numérico
1	1	20,0	10,0	23
2	1	50,0	10,0	14
3	1	50,0	70,0	15
4	1	20,0	70,0	37
5	2	20,0	10,0	20
6	2	50,0	10,0	10
7	2	50,0	70,0	10
8	2	20,0	70,0	45

Asistente de Diseño de Experimentos

Paso 1: Definir las variables respuesta a ser medidas

Nombre	Unidades	Analizar	Objetivo	Destino
penetración de agua(SD)	ml absorbidos	Std. desviación	Maximizar	

Nombre	Impacto	Sensibilidad	Bajo	Alto
penetración de agua(SD)	3,0	Medio	0,0	50,0

Paso 2: Definir los factores experimentales que van a variar

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Bajo	Alto	Niveles
A:Porcentaje glicerina	%v/v	Continuo	Controlable	20,0	50,0	
B:Porcentaje harina 7 granos	%p/p	Continuo	Controlable	10,0	70,0	

Paso 3: Seleccione el diseño experimental

Tipo of Factores	Diseño Tipo	Puntos Centrales Por Bloque	Punto Central Colocación	Diseño es Aleatorizado
Proceso	Factorial 2 ²	0	Aleatorio	Sí

Tipo of Factores	Número de Replicaciones	Total Ejecuciones	Total Bloques	Error D.F.
Proceso	1	8	2	3

Número de muestras por ejecución: 1

Paso 4: Indicar el modelo inicial a ajustar a los resultados del experimento

Factores	Modelo	Coefficientes	Efectos excluidos
Proceso	Interacciones de 2 factores	4	

Paso 8: Analizar los resultados del experimento

Modelo	penetración de agua(SD)
Transformación	ninguno
Modelo d.f.	3
P-valor	0,0173
Error d.f.	3
Std. error	4,28174
R-cuadrado	95,26
Adj. R-cuadrado	88,93

Paso 9: Optimizar las respuestas

Valores de respuesta y Óptimo

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95,0% Limite
penetración de agua(SD)	si	41,0	31,3647

Respuesta	Superior 95,0% Limite	Deseabilidad
penetración de agua(SD)	50,6353	0,82

Factores establecidos y Óptimo

Factor	Establecimiento
Porcentaje glicerina	20,0
Porcentaje harina 7 granos	70,0

Tabla ANOVA

Origen	D.F.
Modelo	3
Error total	4
Falta de ajuste	4
Error puro	0
Total (corr.)	7

Conveniencia

<i>Respuesta</i>	<i>Observado Mínimo</i>	<i>Observado Máximo</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Impacto</i>	<i>Sensibilidad</i>
penetración de agua(SD)	10,0	45,0	Maximizar	3,0	Medio

<i>Respuesta</i>	<i>Especificado Bajo</i>	<i>Especificado Alto</i>
penetración de agua(SD)	0,0	50,0

<i>Ejecutar</i>	<i>Observado penetración de agua(SD)</i>	<i>Predicho penetración de agua(SD)</i>	<i>Observado Deseabilidad</i>
1	23,0	22,0	0,46
2	14,0	12,5	0,28
3	15,0	13,0	0,3
4	37,0	41,5	0,74
5	20,0	21,0	0,4
6	10,0	11,5	0,2
7	10,0	12,0	0,2
8	45,0	40,5	0,9

<i>Ejecutar</i>	<i>Predicho Deseabilidad</i>
1	0,44
2	0,25
3	0,26
4	0,83
5	0,42
6	0,23
7	0,24
8	0,81

ANEXO 5.
EQUIPO PARA TRITURACIÓN OSTER 1250



ANEXO 6.
PATACONERA UTILIZADA EN EL PROCESO

