



**USO DE HONGOS BIODEGRADADORES DE LIGNINA COMO ALTERNATIVA  
AMBIENTAL PARA LOS RESIDUOS DE MADERA URBANOS EN BUCARAMANGA.**

Modalidad:  
Proyecto de Investigación

Milet Daniela Amador Arcila  
CC. 1095301232

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías  
Tecnología en Manejo de Recursos Ambientales  
Bucaramanga, 02/06/2026**



Uso de hongos biodegradadores de lignina como alternativa ambiental para los  
residuos de madera urbanos en Bucaramanga.

Proyecto de Investigación

Milet Daniela Amador Arcila  
CC. 1095301232

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Tecnóloga en Manejo de Recursos Ambientales**

**DIRECTOR**

Mág. Cristhian Fernando Cagua Toledo

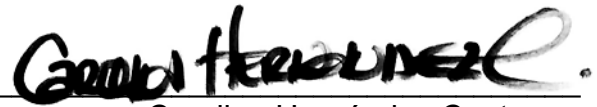
Grupo de Investigación en Ecosistemas y Servicios Ambientales – GIECSA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**


Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías  
Tecnología en Manejo de Recursos Ambientales  
**Bucaramanga, 02/06/2026**

Nota de Aceptación

Este informe final de trabajo de grado,  
En modalidad Proyecto de Investigación, fue APROBADO  
en cumplimiento de uno de los requisitos exigidos por las  
Unidades Tecnológicas de Santander para optar por el  
Título de Tecnóloga en Manejo de Recursos Ambientales  
según el acta No. 16 del 19 de junio del 2026  
del Comité de Trabajos de Grado



Carolina Hernández Contreras  
Firma del Evaluador



Cristhian Fernando Cacia Toledo  
Firma del Director

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres quienes me han acompañado durante todo mi proceso de formación quienes me han brindado un apoyo incondicional, guiándome hasta este momento.

A Dios, a quien me he aferrado en mis momentos más difíciles y quien me ha dado la fortaleza para seguir en este camino.

A mi pareja, que ha estado en momentos difíciles y me ha ayudado a salir de ellos.

Al profesor Cristhian, quien me ha guiado en este proyecto y me ayudado a terminarlo con éxito.

Finalmente, a todos mis docentes, quienes han contribuido en cada paso que he dado durante este proceso de formación.

## AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la Universidad Tecnológica de Santander por la formación académica. Asimismo, agradece a su director de proyecto el profesor Cristhian Fernando Cagua Toledo por su asesoramiento técnico y sus métodos, que le permitieron alcanzar sus objetivos de manera consistente.

Además, agradece a los estudios científicos, bibliotecas virtuales y documentos académicos que enriquecieron el desarrollo teórico y metodológico del proyecto sobre residuos lignocelulósicas y hongos xilófagos.

Finalmente, la autora agradece a todos aquellos que participaron en las sesiones de observación y recolectaron datos en diferentes áreas de Bucaramanga. También agradece el apoyo y el acompañamiento de su familia y amigos durante este período.

## TABLA DE CONTENIDO

<b><u>RESUMEN EJECUTIVO.....</u></b>	<b>11</b>
<b><u>INTRODUCCIÓN.....</u></b>	<b>13</b>
<b><u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</u></b>	<b>15</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	18
<b><u>2. MARCO REFERENCIAL .....</u></b>	<b>22</b>
2.1. MARCO HISTÓRICO .....	22
2.2. MARCO TEÓRICO .....	23
2.2.1. RESIDUOS DE MADERA Y SU PROBLEMÁTICA AMBIENTAL .....	23
2.2.2. BIODEGRACIÓN .....	25
2.2.3. HONGOS COMO AGENTES DESCOMPONEDORES .....	26
2.2.4. APLICACIÓN BIOTECNOLÓGICA DE LOS HONGOS XILÓFAGOS.....	26
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	27
2.4. MARCO LEGAL .....	28
2.5. MARCO GEOGRÁFICO .....	30
2.6. MARCO AMBIENTAL .....	32
<b><u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</u></b>	<b>34</b>
<b><u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....</u></b>	<b>35</b>
4.1. FASE 1: BÚSQUEDA DE LA INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	35
4.2. FASE 2: CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO DE MADERA.....	36
4.3. FASE 3: CARACTERIZACIÓN DE LOS HONGOS XILÓFAGOS EN BUCARAMANGA .....	38
4.4. FASE 4: DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE LA PROPAGACIÓN DE HONGOS XILÓFAGOS .....	40
<b><u>5. RESULTADOS .....</u></b>	<b>43</b>
5.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS RESIDUOS DE MADERA. ....	43

<b>5.2. DETERMINACIÓN DE LOS HONGOS XILÓFAGOS PRESENTES EN ÁREAS URBANAS Y PERIURBANAS DE BUCARAMANGA.....</b>	<b>50</b>
<b>5.3. PROCEDIMIENTO DE PROPAGACIÓN DE HONGOS XILÓFAGOS DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA. ....</b>	<b>64</b>
<b><u>6. CONCLUSIONES .....</u></b>	<b><u>69</u></b>
<b><u>7. RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>71</u></b>
<b><u>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</u></b>	<b><u>72</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Bucaramanga.....	30
Figura 2. Parques Metropolitanos. ....	31
Figura 3. Residuos de madera en Bucaramanga.....	47
Figura 4. Residuos de madera en Bucaramanga.....	49
Figura 5. Hongo liso, <i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.....	52
Figura 6. Hongo liso, <i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.....	52
Figura 7. Hongo liso, <i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.....	52
Figura 8. Repisa blanca, <i>Trametes hirsuta</i> (Wulfen) Lloyd.....	53
Figura 9. Repisa blanca, <i>Trametes hirsuta</i> (Wulfen) Lloyd.....	53
Figura 10. Repisa blanca, <i>Trametes hirsuta</i> (Wulfen) Lloyd.....	53
Figura 11. Sombrillitas, <i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J.E.Lange .....	54
Figura 12. Sombrillitas, <i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J.E.Lange .....	54
Figura 13. Sombrillitas, <i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J.E.Lange .....	54
Figura 14. Girola, <i>Pleurotus djamor</i> (Rumph. ex Fr.) Boedijn.....	55
Figura 15. Girola, <i>Pleurotus djamor</i> (Rumph. ex Fr.) Boedijn.....	55
Figura 16. Girola, <i>Pleurotus djamor</i> (Rumph. ex Fr.) Boedijn.....	55
Figura 17. Poroso blanco, <i>Favolus tenuiculus</i> P.Beauv. ....	56
Figura 18. Poroso blanco, <i>Favolus tenuiculus</i> P.Beauv. ....	56
Figura 19. Poroso blanco, <i>Favolus tenuiculus</i> P.Beauv. ....	56
Figura 20. Abanico, <i>Schizophyllum commune</i> Fr. ....	57
Figura 21. Abanico, <i>Schizophyllum commune</i> Fr. ....	57
Figura 22. Abanico, <i>Schizophyllum commune</i> Fr. ....	58
Figura 23. Oreja de judas, <i>Auricularia auricula-judae</i> (Bull.) Qué. ....	58
Figura 24. Oreja de judas, <i>Auricularia auricula-judae</i> (Bull.) Qué. ....	58
Figura 25. Oreja de judas, <i>Auricularia auricula-judae</i> (Bull.) Qué. ....	59
Figura 26. Hongo pulmón, <i>Pleurotus pulmonarius</i> (Fr.) Qué. ....	59
Figura 27. Hongo pulmón, <i>Pleurotus pulmonarius</i> (Fr.) Qué. ....	60

<i>Figura 28.</i> Hongo pulmón, <i>Pleurotus pulmonarius</i> (Fr.) Qué. ....	60
<i>Figura 29.</i> Hongos copa de vino, <i>Cookeina tricholoma</i> (Mont.) Kuntze.....	60
<i>Figura 30.</i> Hongos copa de vino, <i>Cookeina tricholoma</i> (Mont.) Kuntze.....	61
<i>Figura 31.</i> Hongos copa de vino, <i>Cookeina tricholoma</i> (Mont.) Kuntze.....	61
<i>Figura 32.</i> Hongo de repisa, <i>Trametes villosa</i> (Sw.) Kreisel.....	62
<i>Figura 33.</i> Hongo de repisa, <i>Trametes villosa</i> (Sw.) Kreisel.....	62
<i>Figura 34.</i> Hongo de repisa, <i>Trametes villosa</i> (Sw.) Kreisel.....	62
<i>Figura 35.</i> Mapa de la ubicación de las muestras. ....	63
<i>Figura 36.</i> Diagrama de Flujo procedimiento de recolección y caracterización inicial de hongos xilófagos. ....	66
<i>Figura 37.</i> Diagrama de Flujo procedimiento de preparación y aislamiento microbiológico de hongos xilófagos.....	67
<i>Figura 38.</i> Diagrama de Flujo procedimiento de incubación y evaluación del potencial biodegradador de hongos xilófagos. ....	68

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Leyes asociadas con la restauración ecológica urbana .....	28
Tabla 2. Características físicas y químicas de los residuos de madera. ....	44
Tabla 3. Características físicas y químicas de los residuos de madera. ....	48
Tabla 4. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 1. ....	52
Tabla 5. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 2. ....	53
Tabla 6. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 3. ....	54
Tabla 7. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 4. ....	55
Tabla 8. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 5. ....	56
Tabla 9. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 6. ....	57
Tabla 10. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 7. ....	58
Tabla 11. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 8. ....	59
Tabla 12. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 9. ....	60
Tabla 13. Registro de observación de hongos xilófagos muestra 10. ....	61

## RESUMEN EJECUTIVO

Los residuos de la madera son compuestos lignocelulósica provenientes de actividades urbanas, forestales y de la carpintería, la acumulación de este material se ha venido incrementando debido a la su lenta degradación y a su poco aprovechamiento sostenible. Este residuo está formado principalmente por lignina, hemicelulosa y celulosa, compuestos con características favorables para la proliferación de hongos xilófagos.

El presente proyecto tuvo como objetivo realizar una análisis químico y físico del residuo de la madera y planificar un procedimiento para la propagación de cepas de hongos xilófagos provenientes del entorno de Bucaramanga enfocado a su implementación biotecnológica, la investigación se realizó con un enfoque descriptivo orientado en una revisión bibliográfica, consultando artículos científicos relacionados con residuos de lignina, hongos xilófagos y biodegradación, incluso se realizó una revisión en la zonas urbanas donde se tenía presencia de madera en descomposición y se catalogaron registros biológicos encontrados en la ciudad.

Los resultados obtenidos facilitaron determinar que variables como humedad, porosidad, pH, densidad y la relación nitrógeno-carbono afecta directamente en la descomposición de la madera y la proliferación de hongos xilófagos, de esta forma se evidencio que la lignina es la limitación principal para la degradación debido a la complejidad de su estructura, por último se planifico un procesamiento de propagación diseñado por etapas, facilitando reconocer el potencial degradador de los hongos xilófagos como una alternativa sostenible para el aprovechamiento del residuo de la madera.

**PALABRAS CLAVE.** Degradación, lignocelulósicos, celulosa, proliferación, lignina.

## ABSTRACT

Wood waste consists of lignocellulosic compounds originating from urban, forestry, and carpentry activities. The accumulation of this material has been increasing due to its slow degradation and limited sustainable use. This waste is primarily composed of lignin, hemicellulose, and cellulose, compounds with characteristics favorable for the proliferation of wood-decaying fungi.

This project aimed to conduct a chemical and physical analysis of wood waste and plan a procedure for propagating strains of wood-decaying fungi from the Bucaramanga area, focusing on their biotechnological implementation. The research employed a descriptive approach, based on a literature review, consulting scientific articles related to lignin waste, wood-decaying fungi, and biodegradation. A survey was also conducted in urban areas where decomposing wood was present, and biological records found in the city were cataloged.

The results obtained allowed us to determine that variables such as moisture, porosity, pH, density, and the nitrogen-carbon ratio directly affect wood decomposition and the proliferation of wood-decaying fungi. This revealed that lignin is the main limiting factor for degradation due to the complexity of its structure. Finally, a phased propagation process was planned, facilitating the recognition of the degrading potential of wood-decaying fungi as a sustainable alternative for utilizing wood waste.

**KEYWORDS:** Degradation, lignocellulosic, cellulose, proliferation, lignin.

## INTRODUCCIÓN

Los Residuos provenientes de la madera se establecen como un tipo de residuo lignocelulósico producido principalmente por actividades del sector de la carpintería, la construcción y la industria forestal (Sanchez, 2009). Este residuo está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, estos componentes tienen una estructura que presenta una alta resistencia a la degradación natural, lo que impide una inadecuada disposición final y genera una acumulación de este desecho (Rowell, 2012). En Bucaramanga se evidencia dificultades para la adecuada gestión de los residuos sólidos, las limitaciones y saturación del relleno sanitario demuestran lo necesario que es plantear estrategias sostenibles para adecuado manejo de los residuos, entre estos los que tienen origen lignocelulósico (Franco, Meza, & Almeira, 2018).

En los ecosistemas, la degradación natural de la madera sucede principalmente debido la intervención de los hongos xilófagos, estos organismos tienen la capacidad de descomposición de materiales lignocelulósicos a través de la producción de enzimas especializadas, la actividad enzimática de estos microorganismos les permite degradar los complejos componentes de la madera, contribuyendo al control de algunos ecosistemas lignocelulósicos (Baldrian, 2008). El funcionamiento de estos hongos es indispensable para los procesos de descomposición de la materia orgánica y el ciclaje de nutrientes contenidos en este, debido a que alteran los compuestos permitiendo que se conviertan en moléculas más simples haciendo que otros organismos puedan utilizarlas dentro de los ecosistemas (Rayner & Boddy, 1988).

Los hongos pudridores de madera se clasifican en hongos de pudrición blanca y hongos de pudrición parda, estos se dividen de esta forma dependiendo de los mecanismos usados para degradar los componentes de la madera (Sanchez,

2009). Los hongos de pudrición blanca presentan la característica que degradan la lignina a través de enzimas como lacasas y peroxidasas, por otro lado, los hongos de pudrición parda se encargan de degradar principalmente las estructuras compuestas por carbohidratos como celulosa y hemicelulosa (Kirk & Farrell, 1987). De esta forma estos mecanismos naturales de los hongos han sido estudiados ampliamente debido a que este proceso natural de descomposición de la madera puede ser usado en aplicaciones biotecnológicas como celulosa y hemicelulosa (Eriksson, Blanchette, & Ander, 1990).

A lo largo de los años, se ha venido presentando un incremento en el uso en estos hongos degradadores de lignocelulosa en el campo de la biotecnología ambiental, esto debido a su alta capacidad de producción de enzimas siendo estas capaz de modificar materiales lignocelulósicos complejos en compuestos más simples, estas enzimas son utilizadas en procedimientos de biodegradación de residuos orgánicos y aprovechamiento de biomasa vegetal (Andlar, & otros, 2018). De esta forma, distintos estudios han indicado que la adecuada selección de sepas con alta actividad lignocelulolítica puede mejorar notablemente la degradación residuos vegetales (Pointing, 2001).

Pese a los estudios realizados sobre este tema, aún hoy en día existe una necesidad de investigación de los microorganismos locales para determinar su potencial para el tratamiento de residuos en determinadas zonas, en las ciudades como Bucaramanga que se tiene una actividad comercial relacionada con la madera, el residuo de este material crea una problemática ambiental porque no se cuenta con estrategias sostenibles para su manejo (Gadd, 2001). De esta forma, la identificación de hongos descomponedores de madera presentes en el ambiente de Bucaramanga presentan una alternativa sostenible para el tratamiento de estos residuos (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009).

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en Bucaramanga las actividades como la carpintería, la construcción, podas urbanas y la industria maderera han venido presentando un fuerte aumento significativo en la generación de residuos, lo que evidencia una fuerte presión ambiental que está ligada al manejo inadecuado de la disposición final de este material (Bomberos de Bucaramanga, 2019). Estos residuos suelen ser quemados, abandonados en espacios públicos o zonas verdes y, en algunos casos desechados al relleno sanitario, estas prácticas solo contribuyen al aumento de desechos en el relleno sanitario, a la contaminación del aire haciendo que sea vea afectada la salud de diferentes poblaciones, además en algunos casos contribuyendo directamente al deterioro del suelo. (FAO, 2018) (MADS, 2020).

La problemática se origina en la ausencia de estrategias sostenibles y eficientes para el aprovechamiento de estos residuos sólidos, así como en el limitado conocimiento e implementación de alternativas biotecnológicas, lo cual dificulta la gestión adecuada de los residuos urbanos. A esto se suma que la madera está compuesta principalmente por elementos lignocelulósicos de difícil degradación, lo que representa una restricción ambiental relevante (Sanchez, 2009). Frente a ello, el uso de hongos como agentes biodegradadores surge como una alternativa viable para gestionar estos residuos con un impacto ambiental mínimo.

De esta forma la implementación de hongos como agentes biodegradadores aparece como una alternativa para generar una forma de gestionar estos residuos con un impacto ambiental mínimo y mejora el ciclaje de nutrientes en el ecosistema. De esta manera nos preguntamos ¿De qué manera los hongos contribuyen a la degradación de los desechos de madera producidos en Bucaramanga?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

La elaboración de este proyecto se argumenta por la necesidad planear alternativas sostenibles para darle el manejo adecuado a los residuos de madera generados en Bucaramanga, estos expresan una fuerte problemática ambiental debido a que no existen suficientes tácticas de aprovechamiento y su inapropiada disposición final por parte de la comunidad. (Alcaldía de Bucaramanga, 2025). El inadecuado almacenamiento de estos residuos contribuye a la acelerada degradación del suelo y de muestra las limitaciones que tiene el relleno sanitario para el tratamiento de este residuo (MADS, 2020).

Desde el planteamiento ambiental y tecnológico, la implementación de hongos biodegradadores aportan una alternativa factible, estos microorganismos poseen la capacidad de degeneración de compuestos lignocelulósicos complejos a través de la fabricación de enzimas especializadas, esto nos permite disminuir el volumen de este residuo con impacto ambiental mínimo (Sanchez, 2009). Distintos estudios han comprobado que los hongos xilófagos pueden degradar lignina, celulosa y hemicelulosa, elementos principales que contiene la madera, fomentando el desarrollo de biodegradación natural y sostenible (Datta, & otros, 2017).

Este proyecto es adecuado para las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS), por que refuerza la línea de investigación GIECSA (Grupo de investigación en ecosistemas y servicios ambientales) al fomentar la práctica de conocimiento científico en problemáticas ambientales locales. De esta forma los objetivos previstos pueden contribuir a medidas que puedan ser aplicadas en el sector productivo y social, promoviendo conductas consientes sobre el aprovechamiento de la biotecnología en este residuo sólido (Quintero, Feijoo, & Lema, 2006).

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Establecer la efectividad de hongos xilófagos en la biodegradación de los residuos de madera en Bucaramanga, a través de la caracterización de los parámetros del residuo, el conocimiento de la diversidad fúngica de la ciudad y ensayos de propagación en laboratorio, con el propósito de propagar cepas con potencial biotecnológico para el tratamiento de este residuo de madera.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los residuos de madera a través de una revisión bibliográfica de estudios físicos y químicos tipificados, para definir las propiedades que influyen su biodegradación mediante hongos xilófagos.
- Determinar los hongos xilófagos presentes en Bucaramanga mediante el muestreo en áreas urbanas y periurbanas de la ciudad con el fin de conocer la diversidad existente de potenciales hongos degradadores de madera.
- Realizar un procedimiento de propagación de hongos xilófagos presentes en Bucaramanga, mediante pruebas de cultivos en laboratorio, con el fin de revisar su utilidad sobre la degradación de residuos de madera.

## 1.4. ESTADO DEL ARTE

### Antecedentes internacionales

Un estudio elaborado por (Domínguez, & otros, 2011). Centro Nacional de Investigaciones Científicas Cuba (Cuba), elaboraron un estudio titulado “Degradación biológica de contaminantes orgánicos persistentes por hongos de la podredumbre blanca” este estudio tuvo como objetivo analizar los efectos negativos que los contaminantes orgánicos persistentes en los ecosistemas con el propósito de demostrar que la podredumbre blanca puede degradar distintos tipos de compuestos a través de enzimas ligninolíticas.

El estudio elaborado por (Pinzón, López, Guerrero, Véliz, & Martínez, 2016), en la Universidad Nacional Autónoma de México (México), elaboraron un estudio titulado “Métodos para el estudio de algunas características de los hongos xilófagos como organismos degradadores de la madera” este estudio desarrollo diferentes metodologías para la determinación de los hongos xilófagos como una alternativa para la degradación de madera esta investigación destaco la importancia de estos hongos en ámbito ecológico y económico, ellos destacaron la importancia de estos hongos en los ecosistemas pero también los llevo a desarrollar una problemática económica ya que estos hongos llegan afectar la madera en contextos industriales causan un problema económico.

(Rodríguez, 2018), en la Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile), elaboraron un estudio titulado “Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales” este estudio tuvo como objetivo analizar a él micelio de los hongos descomponedores de madera mediante identificación, colecta, cultivo y propagación con el propósito de determinar sus propiedades físicas de manera que puedan ser utilizado en diseños sostenible y enfocarlos a la industria sostenible.

Por otro lado un Estudio elaborado por (Mena, Morales, Vargas, & Víquez, 2023), en la revista Tecnología en Marcha (Costa Rica), elaboraron un estudio titulado “Aplicaciones biotecnológicas de la degradación bioquímica de madera por acción de hongos xilófagos: pudrición parda y blanca” este estudio tuvo como objetivo analizar los procesos biotecnológicos que están asociados a la degradación de la madera a través de los hongos xilófagos enfocándose en hongos de pudrición parda y blanca describiendo sus mecanismos de degradación (enzimático) y explicando su estos procesos pueden aprovecharse en estrategias de biorremediación y manejo de residuos.

A través del estudio elaborado por (Belito, Susan, Montes, Cruz, & Quintana, 2024), en la Universidad Interamericana para el Desarrollo (Peru), elaboraron un estudio titulado “Inventario de hongos xilófagos y su impacto en la degradación estructural de la madera en bosques de Eucalipto, Aliso y Pino del Centro Poblado de Viñas, Tayacaja-Huancavelica-2024” este estudio investigo la presencia de los hongos xilófagos en maderas de los árboles de eucalipto, aliso y pino con el objetivo de determinar el impactos de estos hongos sobre la madera, realizaron análisis macroscópicos y microscópicos después de este análisis lograron identificar más de 10 especies de hongos dentro de los cuales destacan Trametes cinnabarina, Stereum hirsutum y Ganoderma applanatum estos asociados principalmente a hongos de pudrición blanca y parda. Gracias a este estudio se pudo demostrar que estos microorganismos tienen una alta capacidad para degradar estructuras complejas de la madera como lo son la lignina y la celulosa.

### **Antecedentes nacionales**

(Quintero, Feijoo, & Lema, 2006), en la Universidad de Antioquia (Colombia), elaboraron un estudio titulado “Producción de enzimas ligninolíticas con hongos basidiomicetos cultivados sobre materiales lignocelulósicos” este estudio tuvo como

objetivo evaluar los hongos basidiomicetos de pudrición blanca para revisar su capacidad de producción de enzimas ligninolíticas en materiales lignocelulósicos con el propósito de reconocer su tiempo de crecimiento y actividad enzimática y un posible uso aplicaciones de biorremediación.

Un estudio elaborado por (Chaparro, Rosas, & Varela, 2006), en la Pontificia Universidad Javeriana (Colombia) elaboraron un estudio titulado “Aislamiento y evaluación de la actividad enzimática de hongos descomponedores de madera en la reserva natural la montaña del ocaso, quimbaya-Quindío” este estudio tuvo como objetivo analizar los hongos que colonizan troncos cuidados esto permitiendo evaluar la actividad enzimática de la lacasa y la celobiosa en hongos de pudrición blanca permitiendo establecer el nivel de descomposición.

El estudio realizado por (Polanco, Caicedo, & Diego, 2013), en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia) elaboraron un estudio titulado “Durabilidad natural y descripción anatómica de la madera de la especie *Caryodaphnopsis cogolloi* Van der Werf” esta investigación se desarrolló para evaluar la durabilidad de las especies forestales, la especie utilizada fue *Caryodaphnopsis cogolloi* analizaron la resistencia que esta especie tenía a los hongos de pudrición blanca y parda específicamente *Trametes versicolor* y *Gloeophyllum trabeum* esto se realizó bajo ensayos de laboratorio controlados. Inicialmente la especie forestal presentaba una resistencia al ataque de estos hongos posteriormente las especies de hongos lograron reducir el espesor de la pared celular demostrado que aun que la madera presenta resistencia los hongos logran hacer modificaciones microscópicas.

(Pérez & Pacheco, 2022), en la universidad de Córdoba (Colombia) elaboraron un estudio titulado “Diversidad de macrohongos xilófagos (basidiomicetos y

ascomicetos) en la estación ecológicas las guartinajas, Tierralta-Córdoba” este estudio realizo una evaluación de los hongos xilófagos presentes en Las Guartinajas, en Tierralta, especialmente los filos Basidiomycota y Ascomycota estos evidenciaron a la alta capacidad degradativa y su fácil adaptación.

Por otro lado, un Estudio elaborado por (Jaramillo, 2025), en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Colombia) elaboraron un estudio titulado “Los biopreservantes inhibidores de hongos como alternativa sostenible para la inmunización de maderas” este estudio tuvo como objetivo documentar el potencial degradador de los hongos xilófagos (mechadores y mohos) presentes en la madera de manera que fuera una alternativa sostenible evitando los químicos tradicionales reduciendo los impactos a la salud humana y el medio ambiente siendo este estudio un impacto positivo en la industria madera en Bogotá.

### **Antecedentes locales**

Un plan desarrollado por los (Bomberos de Bucaramanga, 2019), que se tituló “Plan de gestión integral de residuos sólidos” demostró que en la ciudad existe un problemática ambiental muy fuerte con respecto a la disposición final de los residuos sólidos, dentro estos se encuentra la madera que clasificaron como residuo orgánico biodegradable, según el plan de gestión la ciudad presente muy bajo aprovechamiento ya que en la ciudad solo de llega a aprovechar el 2% de los residuos y el resto terminan en el relleno sanitario, según este plan la madera al ser un residuo orgánico biodegradable debería tener un potencial de aprovechamiento mucho mayor pero la realidad es que este residuo no tiene un tratamiento adecuado de aprovechamiento ocasionado que termine en el relleno sanita. De esta forma se evidencia que, a nivel local de Bucaramanga y su área metropolitana, no se han realizado estudios directos sobre el uso de los hongos xilófagos como descomponedores de madera, esto demuestra una carencia de conocimiento.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Marco Histórico

A lo largo del tiempo los hongos han sido conocidos por su papel fundamental en los ecosistemas como descomponedores de materia orgánica, sin embargo, el estudio científico se desarrolló hasta el siglo XVIII y XIX cuando se establecieron las bases de la relación de los procesos naturales con los microorganismos, de esta forma se logró reconocer la importancia de hongos descomponedores en la degradación de materia orgánica específicamente en ecosistemas terrestres (Madigan, Bender, Buckley, Sattley, & Stahl, 2018).

En el siglo XX, a través de los avances de la micología se profundizó el papel de los hongos en los ecosistemas como agentes en el reciclaje de nutrientes, durante este siglo diversas investigaciones comprobaron que estos microorganismos tienen la capacidad de degradar compuesto más complejos que se encuentran en sus ecosistemas (Gadd, 2001). Gracias a las investigaciones de este siglo se determinó el rol esencial de estos hongos en la descomposición de biomasa vegetal manteniendo un equilibrio ecológico (Carlile, Watkinson, & Gooday, 2001).

A finales del siglo XX e inicios del siglo XXI se desarrolló la biotecnología, debido a eso se incrementó el interés en el estudio de los hongos en proceso de biodegradación, estos estudios demostraron que los hongos tienen sistemas enzimáticos especializados en degradar la celulosa, hemicelulosa y lignina (Sanchez, 2009). Estos estudios permitieron ampliar el conocimiento sobre los hongos en áreas como biorremediación y en degradación de materia orgánica de esta forma se posiciona a los hongos como una herramienta sostenible (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009).

A lo largo del siglo XXI se desarrollaron estudios que lograron clasificar la pudrición de los hongos específicamente en dos, hongos de pudrición blanca y parda esta clasificación fue de esta forma debido la actividad enzimática específica de cada uno para degradar los componentes de la madera (Kirk & Farrell, 1987). Estos estudios permitieron entender el funcionamiento enzimático logrando comprender la forma en la que los hongos transformaban la lignina y los carbohidratos de las estructuras de la madera de esta forma se pudo entender cómo se realizaba pudrición de la madera (Baldrian, 2008).

Actualmente los hongos xilófagos tienen una relevancia importante en el ámbito biotecnológico y ambiental, debido a su alto potencial biodegradador de los compuestos lignocelulósicos y su aplicación en estrategias sostenibles (Mena, Morales, Vargas, & Víquez, 2023). Las investigaciones recientes resaltan la importancia de identificar las especies locales y enfatiza e la importancia de la diversidad en los hongos xilófagos y lo relevante de su comportamiento en diferentes entornos ambientales, la evaluación su degradación en diferentes condiciones tiene como identificar el uso de estos en residuos de madera y biomasa vegetal, esto permitiendo incorporar el conocimiento ecológico en aplicaciones biotecnológicas (Belito, Montes, Montes, Cruz, & Quintana, 2024).

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Residuos de madera y su problemática ambiental**

Los residuos de madera son un material considerado altamente resistente a la degradación natural debido que sus materiales lignocelulósicos (celulosa, hemicelulosa y lignina) estos residuos son generados mediante actividades como la construcción y la carpintería favorecen la acumulación ambiental (Rowell, 2012).

Debido a la mala gestión en de este residuo en zonas urbanas y la falta de estrategias sostenibles se genera una acumulación en rellenos sanitarios o en otros casos terminan incinerados, desaprovechando su potencial reutilizable, produciendo impactos negativos como emisiones de contaminantes formando una problemática ambiental (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009).

Los residuos provenientes de la madera representan una gran parte de los residuos urbanos, particularmente en ciudades con actividades como la construcción y la venta comercial, de esta forma el volumen de este residuo crece considerablemente si no se ejecutan estrategias de aprovechamiento, la acumulación de este residuo colabora la a saturación de los lugares de disposición final generando una influencia negativa en el entorno (IDEAM, 2019).

La inadecuada descomposición de este residuo puede llegar a generar gases de efecto invernadero estos gases pueden ser el metano y el dióxido de carbono, esto sucede especialmente cuando se desechan estos residuos en rellenos sanitarios ya que su disposición se da en condiciones anaerobias, esto contribuye a la perdida de la calidad del aire y al cambio climático, esto resalta la importancia de ejecutar alternativas sostenibles para el tratamiento de estos residuos (IPCC, 2021).

De esta forma los residuos lignocelulósicos disponen de un alto potencial en procesos biotecnológicos, debido a su estructura como polisacárido este residuo puede ser transformado y aprovechado en procesos biotecnológicos, a pesar de esto su potencial no es debidamente utilizado evidenciando la necesidad de más investigaciones para su aprovechamiento y valorización (Sanchez, 2009).

### **2.2.2. Biodegradación**

la biodegradación es un proceso de transformación mediante la utilización de microorganismos estos alteran compuestos complejos en compuestos más simples, de esta forma estos pueden ser reintegrados a los procesos bioquímicos, este proceso es indispensable para el equilibrio de los ecosistemas ya que permite la regulación de la materia orgánica (Madigan, Bender, Buckley, Sattley, & Stahl, 2018).

La biodegradación se clasifica dependiendo de la cantidad de oxígeno posible, se clasifica en dos tipos, aerobia y anaeróbica, la biodegradación aerobia se caracteriza por que los microorganismos a través del uso del oxígeno son capaces de descomponer materia orgánica dando como producto biomasa, agua y dióxido de carbono, por el contrario la biodegradación anaeróbica no utiliza el oxígeno para la descomposición debido a esto produce metano y dióxido de carbono los cuales generan impactos significativos al planeta (Atlas, 2002).

Como agentes biodegradadores se tiene una amplia variedad de microorganismos, como los hongos, las bacterias y actinomicetos, especialmente los hongos xilófagos manifiestan una alta capacidad degradadora de compuestos lignocelulósicos debido a su sistema enzimático, permitiéndoles descomponer compuestos complejos que otros microorganismos no pueden (Deacon, 2006).

En el caso de los compuestos lignocelulósicos el proceso de degradación es complejo debido a que estos tienen una barrera (lignina) la cual no permite la degradación de la celulosa y hemicelulosa, de esta forma se deben utilizar microorganismos aptos para producir enzimas especializadas que permitan deshacer esas estructuras complejas (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009). Los hongos xilófagos tienen unas enzimas que actúan de una forma sinérgica que permite

romper los enlaces que contienen la estructura de la madera, esto ayuda a la transformación de los compuestos complejos en unos más simples que son aprovechados por otros microorganismos (Kirk & Farrell, 1987).

El proceso de biodegradación de los residuos lignocelulósicos tiene una fuerte importancia en los procesos de aplicación biotecnológica ya que este proceso permite el aprovechamiento de biomasa vegetal presentando una alternativa sostenible en contraste con la situación actual de la disposición final de residuo contribuyendo a reducir el fuerte impacto ambiental (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000).

### **2.2.3. Hongos como agentes descomponedores**

Los hongos desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas, la capacidad de producir enzimas permite la degradación de compuestos más complejos especialmente residuos vegetales (Carlile, Watkinson, & Gooday, 2001). Los hongos son organismos capaces de adaptarse a cualquier condición ambiental, lo que permite que su desarrollo sea mucho más fácil en cualquier ecosistema, una de sus actividades es transformas compuestos más complejos en unos más simple facilitando la utilización de estos en otros organismos de esta forma se mantiene un equilibrio ecológico (Madigan, Bender, Buckley, Sattley, & Stahl, 2018).

### **2.2.4. Aplicación biotecnológica de los hongos xilófagos**

En las últimas décadas los hongos xilófagos han sido objeto de estudio por su potencial biotecnológico debido a su capacidad de degradación de compuestos lignocelulósicos esto gracias a su actividad enzimática que es capaz de descomponer compuestos complejos en unos más simples, haciendo que los

procesos biotecnológicos con ellos hoy en día sean una alternativa sostenible (Andlar, & otros, 2018).

De esta forma es fundamental la identificación de cepas con alta actividad degradadora ya que optimiza los procesos de tratamiento de residuos sólidos, procesos de biorremediación y desarrolla de tecnologías sostenibles, estos procedimientos son claves para optimizar y garantizar la eficiencia en diferentes condiciones ambientales (Sanchez, 2009).

### 2.3. Marco conceptual

- **Lignocelulósicos:** Son compuestos de origen vegetal conformados principalmente por lignina, hemicelulosa y celulosa estos forman la pared celular de una planta, debido a su compleja estructura estos compuestos presentan una alta resistencia a la degradación (Eriksson, Blanchette, & Ander, 1990).
- **Residuos orgánicos:** Son desechos biológicos que son biodegradables, estos residuos provienen de los organismos vivos, estos pueden ser modificados en compuestos más simple por la acción de los microorganismos, el adecuado manejo de estos es indispensable para evitar impactos negativos en el ambiente (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1993).
- **Biotecnología:** Es la aplicación de microorganismo o sistemas biológicos en procedimientos tecnológicos con el propósito de adquirir servicios o productos útiles, en el contexto ambiental se utilizan en procedimientos biológicos para el tratamiento de residuos o contaminantes (Crueger & Crueger, 2000).
- **Hongos xilófagos:** Son microorganismos expertos en degradar compuestos lignocelulósicos a través de enzimas especializadas capaces de descomponer estructuras complejas, estos microorganismos cumplen un papel muy importante en la descomposición de la materia vegetal (Rayner & Boddy, 1988).

- **Arbolado urbano:** Es el conjunto de árboles presentes en una zona urbana, estos aportan beneficios económicos, sociales y ecológicos, en el ámbito ambiental regulan el clima y capturan grandes cantidades carbono. (Konijnendijk, Kjell, Randrup, & Schipperijn, 2005).
- **Hongos urbanos:** Son los hongos que habitan en el ambiente urbano y son capaces de adaptarse a las condiciones extremas debido a la actividad humana, estos microorganismos tienen la capacidad de degradar la materia orgánica disponible en su entorno de esta forma tiene un impacto positivo en procesos ecológicos urbanos (Cooke & Rayner, 1984).
- 

## 2.4. Marco Legal

**Tabla 1.** Leyes asociadas con la restauración ecológica urbana

Normatividad	Contenido
Ley 99 de 1993	Por el cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se aprueban otras medidas.
Decreto 2811 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Regula el uso y conservación de los recursos naturales.
Decreto 1076 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Decreto 1376 2013	Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial.

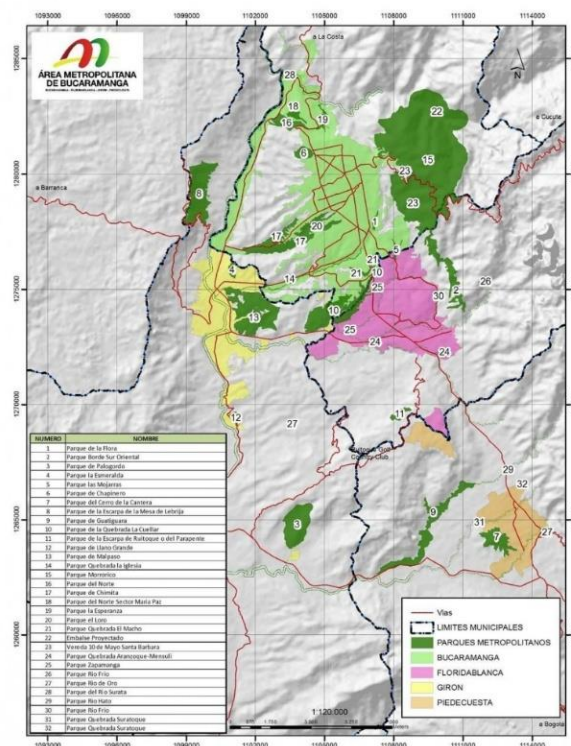
Resolución 0754 2014	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS).
Ley 165 1994	Por medio de la cual se aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Respalda la conservación y uso sostenible de la biodiversidad.
Ley 142 de 1994	Por lo cual regula la prestación del servicio de aseo, incluyendo la recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos.
Decreto 1713 de 2002	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo en relación con la gestión integral de residuos sólidos.
Resolución 1096 de 2000	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), incluyendo criterios para el manejo y disposición de residuos sólidos.
CONPES 3874 de 2016	Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos, orientada a la reducción, aprovechamiento y disposición adecuada de los residuos.
Decreto 2981 de 2013	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo, incluyendo actividades relacionadas con la recolección, aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos.
Ley 1259 de 2008	Por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de



En cuanto al clima Bucaramanga presenta un clima cálido tropical con temperaturas en oscilantes dependiendo del periodo del año estas pueden ser más altas o bajas, en Bucaramanga se identifican dos periodos uno de lluvia y uno de seguía, esto tiene una acción directa sobre la humedad ambiental influenciando procesos biológicos, debido a estas condiciones la proliferación de microorganismos es muy favorable (Spark Weather, 2025).

La ciudad de Bucaramanga presenta zonas urbanas y periurbanas estas siendo las zonas con presencias de parques, espacios forestales y áreas verdes, una de las fuertes industrial de Bucaramanga genera residuos de madera derivados de la construcción, la poda de árboles y la carpintería, debido a sus zonas periurbanas y a su clima se dan procesos naturales de biodegradación (Alcaldia de Bucaramanga, 2022).

**Figura 2.** Parques Metropolitanos.



Fuente: Área metropolitana de Bucaramanga, 2022.

Bucaramanga presenta una topografía irregular donde en promedio el 15% es plana, el 30% ondulada y el 55% es quebrada además dentro del territorio destacan tres grandes cerros (Morro Rico, Alto de San José y El Cacique) estas características terminan influyendo en la vegetación, el agua y los residuos sólidos, debido a su ubicación en la cordillera le permite tener distintas condiciones ambientales que benefician al desarrollo de microorganismos de esta forma la ciudad es un buen escenario para el estudio los hongos y su aplicación degradadora (Area metropolitana de Bucaramanga, 2022).

## 2.6. Marco Ambiental

El desarrollo de la investigación va enfocado dentro de los criterios de sostenibilidad ambiental, esto enmarcado en el interés de minimizar los impactos negativos sobre el entorno y fomentar practicas sostenibles sobre los recursos naturales, el criterio de sostenibilidad involucra un equilibrio entre la protección del medio ambiente, lo social y el desarrollo económico (Cardona, 2025).

La investigación se realiza en el área metropolitana de Bucaramanga, esta zona cuenta con características ambientales fundamentales donde la protección de los recursos ambientales en fundamental, de esta forma esta investigación no genera ningún tipo de residuo peligroso, ni genera emisiones contaminantes y afectación en los ecosistemas lo cual esta alineado con la norma colombiana sobre la gestión ambiental (Gobierno Nacional ley 99 de 1993, 1993).

La investigación se relaciona con los parámetros de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, autoridad encargada de dar cumplimiento a la norma ambiental vigente, de esta forma esta investigación no genera un impacto negativo sobre el ambiente esto indicando que no se requiere

ningún permiso ambiental ni licencias ambientales ya que no se realizan actividades que generan daño ambiental (CDMB, 2008).

En el ámbito social esta investigación fomenta la conciencia ecológica y la educación ambiental de esta forma contribuye con la perfección del desarrollo sostenible del territorio, lo fundamenta unas bases fundamentales en la gestión de los recursos naturales (ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2024).

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se desarrolla dentro de un marco de investigación de tipo descriptiva, ya que este proyecto busca caracterizar e identificar los hongos xilófagos presentes en Bucaramanga, permitiendo analizar su eficiencia biodegradadora sobre los residuos de la madera, este tipo de investigación permite explicar el comportamiento y las propiedades de los procesos estudiados sin interferir en ellos directamente (Arias, 2012).

El enfoque de esta investigación es cualitativo con apoyo cuantitativo, debido a que se identifican las cepas de los hongos y se estudia su actividad degradadora, de esta forma se complementa con mediciones de parámetros físico y químicos permitiendo evaluar los procesos de biodegradación, este enfoque permite entender los fenómenos biológicos y de esta forma permite revisar variables específicas del proceso (Hernandez, Fernandez, & Pilar, 2014).

El método utilizado es experimental debido a que se basa en la observación de los casos controlados del laboratorio permitiendo concluir sobre el potencial biodegradador de los hongos xilófagos, este método permite observar y generar conocimiento desde la experimentación (Tamayo, 2004).

El desarrollo de esta investigación se realiza en fases que incluyen la Búsqueda de información bibliográfica, la Caracterización de residuos de madera, la Caracterización de los hongos xilófagos de Bucaramanga y el diseño del procedimiento de propagación de los hongos xilófagos, esto garantizando el cumplimiento de los objetivos planteados.

## **4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO**

### **4.1. Fase 1: Búsqueda de la información bibliográfica**

En esta fase se tuvo como propósito el análisis y la recopilación de la información científica sobre los hongos xilógrafos y residuos lignocelulósicos, esta fase es elemental en investigaciones científicas ya que permite identificar metodologías, antecedentes y planteamientos importantes para el desarrollo de este proyecto (Hernandez, Fernandez, & Pilar, 2014).

#### **Etapa 1: identificación de las fuentes de la información**

Se realizó una búsqueda de la información en base de datos académicas como Google académico, ScieceDirect, Scopus, inicialmente se empezó la búsqueda empleando palabras claves como, hongos xilófagos, residuos de madera y biodegradación de compuestos como lignina, de esta forma se consultaron libros enfocados en la microbiología ambiental y artículos científicos enfocados en la biotecnología, esto permitió garantizar la confiabilidad y la calidad de la información (Bernal, 2010).

#### **Etapa 2: Selección, organización y análisis de la información**

Para seleccionar la información se establecieron criterios como, autores y actualidad de la información, la información se organizó en tablas donde se indica la fuente, donde fue encontrada, posteriormente la información fue revisada para garantizar su confiabilidad de esta forma facilitando su integración en el estudio (Schwarze, Engels, & Mattheck, 2000).

Realizada la selección de la información se desarrolló un proceso exclusión donde se priorizaron libros de microbiología, artículos de residuos lignocelulósicos, artículos de degradación y artículos científicos de biotecnología evitando

información desactualizada y fuentes sin acreditación académica, este procedimiento permitió que la información utilizada para el proyecto fuera confiable y actualizada (Hernandez, Fernandez, & Pilar, 2014).

La información se organizó en cuadros donde se analizaron las bibliografías, los documentos se clasificaron por metodología empleada, tipo de estudio, principales hallazgos y año en el se publicó, este proceso facilito la comparación entre investigaciones permitiendo determinar patrones y que vacíos se encontraban dentro de ellas ayudando a decidir si era posible integrarlas en la investigación (Kitchenham, 2004).

Finalizando esta etapa se realizó un análisis crítico y comparativo del contenido de cada fuente de investigación, esto permitiendo determinar cuál fue el aporte de cada investigación en relación con los objetivos de este proyecto, esto permitió la elaboración de una base teórica solida logrando identificar metodologías aplicables para el desarrollo este proyecto (Booth, Papaioannou, & Sutton, 2012).

#### **4.2. Fase 2: Caracterización del residuo de madera**

En esta fase se realizó la caracterización del residuo de la madera mediante revisión bibliográfica con el propósito de identificas sus propiedades física y químicas, para identificar su influencia en la biodegradación, esta investigación permitió entender como está compuesta la estructura del material y su comportamiento frente a la intervención de hongos xilófagos, sin necesitar experimentación directa (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000).

#### **Etapa 1: Revisión de propiedades físicas y químicas**

La información fue reunida específicamente de artículos científicos previamente publicados en repositorios académicos además de libros especializados en microbiología ambiental y la química de la madera, una de las fuentes más consultadas fue el artículo científico de Rowell en 2012, donde se describe a detalle las propiedades químicas y físicas de la madera (Rowell, 2012). Otra de las fuentes más consultada fue el artículo científico de Sánchez en 2009 este explica a detalle la biodegradación de compuesto lignocelulósicos explicando la influencia que estos tienen en los procesos biológicos de un ecosistema (Sanchez, 2009).

Se revisaron parámetros específicos de la madera como la composición lignocelulósicos (celulosa, hemicelulosa, lignina), humedad y densidad, estos han sido detallados en diferentes artículos científicos determinado su importancia para la proliferación y actividad de los hongos xilófagos, estos estudios plantean la relación entre la compleja estructura de la madera y su posible degradación biológica (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000).

Esta etapa se finalizó contrastando las diferentes fuentes investigadas para identificar diferencias y similitudes en los resultados reportados, lo que permitió forma un criterio fiel para la determinación de las propiedades más importantes del residuo de madera (Rowell, 2012).

## **Etapa 2: Análisis de su potencial biodegradador**

Este análisis se realizó a través de fuentes bibliográficas, se analizó la relación entre los componentes del residuo de la madera y la resistencia a la biodegradación por hongos xilófagos, esto permitió establecer su capacidad en procesos biotecnológicos (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009).

Para esto se realizó una revisión comparativa de los estudios científicos que trataban el tema de la degradación de material lignocelulósico, estos artículos científicos permitieron identificar como la presencia de lignina, celulosa y hemicelulosa influye directamente en la eficiencia y velocidad de la biodegradación, se estableció que la lignina actúa como un factor limitante debido a que su estructura química es compleja lo que requiere una acción enzimática proveniente de cierto hongos para poder degradarla (Kirk & Farrell, 1987).

Se analizaron diferentes investigaciones que determinaban el comportamiento de los hongos xilófagos sobre la madera, estos estudios consideraban distintas variables como tiempo de degradación y condiciones ambientales, esto permitió identificar qué circunstancias favorecen el proceso de biodegradación y cuáles pueden ser limitaciones (Schwarze, Engels, & Mattheck, 2000).

De este modo la información investigada fue integrada de manera conjunta permitiendo determinar la relación entre las características químicas y físicas de la madera como un sustrato para la proliferación de hongos xilófagos, lo que ayuda a identificar sus aplicaciones en la biotecnología (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009).

### **4.3. Fase 3: Caracterización de los hongos xilófagos en Bucaramanga**

Esta fase de describió e identifiqué los hongos xilófagos presentes en Bucaramanga, teniendo en cuenta la importancia que estos tienen en procesos de degradación de compuestos orgánicos lignocelulósicos (Baldrian, 2008).

#### **Etapas 1: Revisión preliminar de zonas con árboles en putrefacción**

Inicialmente se realizó una revisión en diferentes zonas de la ciudad de Bucaramanga específicamente las zonas con árboles urbanos en descomposición

con el propósito de reconocer áreas con potencial para el desarrollo de hongos xilófagos, esta revisión se centró en espacios como zonas verdes, parque y separadores viales, donde el almacenamiento de la madera en descomposición beneficia la actividad microbiana de estos organismos (Alcaldía de Bucaramanga, 2025).

Por otra parte, se realizó la consulta del registro de los hongos en el sitio web Global Biodiversity Information Facility (GBIF), con la finalidad de identificar las diferentes especies de hongos que están reportados en Bucaramanga, esta información orientó la selección de zonas de interés y permitió reconocer la diversidad fúngica presente en Bucaramanga (GBIF, 2024).

A lo largo de esta etapa se tuvieron en cuenta variables ambientales como el estado de descomposición de la madera, la humedad y la exposición solar, variables que están directamente relacionadas con el desarrollo y crecimiento de los hongos xilófagos (Deacon, 2006).

## **Etapa 2: Recolección de información**

La recopilación de la información se realizó a través de la observación en campo, el registro se realizó documentando las características visibles de los hongos presentes en la madera las propiedades examinadas fueron textura, tipo de crecimiento, color y forma, realizado este proceso se realizó un registro fotográfico (vista superior, inferior y lateral) y se incluyó la ubicación de cada observación con el propósito de organizar la información (Deacon, 2006).

Las muestras tomadas del entorno de Bucaramanga fueron analizadas a través de la observación macroscópica y microscópica, esto permitiendo identificar los hongos mediante taxonomía, los hongos fueron posteriormente catalogados según

su tipo de degradación (podrición parda y podrición blanca) (Schwarze, Engels, & Mattheck, 2000).

La identificación se basó en artículos científicos especializados y guías taxonómicas, se realizó la comparación de la información con bases de datos biológicas, esto permitió que la determinación de las especies fuera más precisa, este proceso facilitó la relación entre las características observadas y la función de estos hongos en el proceso de degradación (GBIF, 2024).

#### **4.4. Fase 4: Diseño del procedimiento de la propagación de hongos xilófagos**

En esta fase se diseñó un procedimiento para la propagación de los hongos, para esto se tuvo en cuenta sus condiciones óptimas de crecimiento y sus requisitos biológicos este proceso de propagación es indispensable para su aplicación biotecnológicas en el proyecto (Carlile, Watkinson, & Gooday, 2001).

El diseño del procedimiento se basó en la examinación de protocolos microbiológicos empleados en cultivos de hongos lignocelulolíticos, con el propósito de asegurar las condiciones controladas que permite la reproducción de las especies, esta estrategia permite que este procedimiento sea replicable en el laboratorio además está dirigido al aprovechamiento de los hongos xilófagos en procesos de biodegradación (Carlile, Watkinson, & Gooday, 2001).

#### **Etapas 1: Condiciones de propagación**

Se estipularon distintas variables como humedad, sustratos, temperatura y condiciones de aislamiento necesarias para la proliferación de los hongos, esto influye directamente en el desarrollo y actividad metabólica de los hongos (Madigan, Bender, Buckley, Sattley, & Stahl, 2018).

Se establecieron categorías específicas las cuales fueron la temperatura entre los 20 °C y 30 °C y la humedad, ya que estas variables benefician el crecimiento de los xilófagos en condiciones controladas, también se contempló el uso de medios lignocelulósicos como el residuo de la madera que previamente condicionado, este sustrato actúa como una fuente de energía y carbono para el micelio permitiendo su desarrollo óptimo (Sanchez, 2009).

Además, se establecieron condiciones de asepsia, se instauraron medidas como uso de materiales estériles, ambientes controlados y desinfección del material, con el propósito de evitar la contaminación de las muestras que puedan alterar el crecimiento de estas, estos procesos son indispensables para el cultivo microbiológico (Deacon, 2006).

## **Etapa 2: Diseño de propagación**

La propagación está diseñada para realizarse en tres pasos, primero paso la propagación del sustrato esto permite que el hongo obtenga el alimento necesario, segundo paso la inoculación de las cepas este proceso se realiza para introducir el hongo para su crecimiento y tercer paso las condiciones de incubación este paso busca un crecimiento saludable y rápido, estos tres pasos permiten estandarizar el procedimiento facilitando su replicación en estudios posteriores (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000).

Mediante procesos de secado los residuos de madera son sometidos a reducir su tamaño y en algunos casos son esterilizados, con el propósito de optimizar el proceso de colonización fúngica, este procedimiento ayuda a que los compuestos lignocelulósicos sean más accesibles para los hongos (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000).

Durante el proceso de inoculación, se utilizan partes provenientes de los hongos como esporas o el micelio, estos son insertados en el sustrato en condiciones controladas, este procedimiento es fundamental para garantizar la estabilidad y la actividad degradadora del hongo (Deacon, 2006).

Posteriormente en la incubación se preserva las condiciones controladas como ventilación, temperatura y humedad, permitiendo que el hongo colonice el sustrato, el monitoreo continuo de estas variables garantiza un crecimiento apropiado y también evita el incremento de contaminantes (Carlile, Watkinson, & Gooday, 2001).

El diseño de esta metodología permite la eficiente propagación de los hongos xilófagos, además contribuye al estudio de aplicaciones de estos hongos en procesos de biodegradación, aportando conocimiento al desarrollo de estrategias sostenibles para el tratamiento de este material (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Caracterización físico-química de los residuos de madera.

Partiendo de la revisión bibliográfica realizada, se logró identificar las características físicas y químicas principales de los residuos de madera, lo cual ayuda a identificar su conducta en procesos de biodegradación (Sanchez, 2009). El residuo de la madera esta principalmente formado por compuesto lignocelulósicos (celulosa, hemicelulosa y lignina) estos materiales tienen una proporción aproximada de entre 40% y 50% de celulosa, 20% y 35% de hemicelulosa y entre 15% y 35% de lignina, estos valores dependen de las condiciones ambientales del residuo (Rowell, 2012). la proporción de estos compuestos están directamente relacionados con su degradación.

La hemicelulosa y la celulosa evidencian una biodegradación mucho más eficiente debido a que cuentan con estructuras menos complejas, lo que permite la acción directa de las enzimas producidas por los hongos xilófagos (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009). Contrariamente la lignina presenta una estructura tridimensional más compleja evidencia una alta resistencia dificultando el proceso de biodegradación (Kirk & Farrell, 1987).

Además de las propiedades lignocelulósicas, los residuos de la madera presentan propiedades tanto físicas como químicas que están directamente relacionadas con su compartimiento y manejo ambiental, la variable como la porosidad, el tamaño de las partículas, la densidad y el contenido de humedad son fundamentales para la determinación la velocidad de degradación (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000).

Sus propiedades físicas como el contenido de humedad, la porosidad y la densidad contribuyen considerablemente en la colonización de hongos xilófagos, las grandes cantidades de humedad benefician el crecimiento fúngico, pero por otro parte los materiales con densidad alta impiden una condición estable para la penetración del micelio, restringiendo la eficacia del proceso de biodegradación (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000). De esta forma la información se sintetizó en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Características físicas y químicas de los residuos de madera.

Características	Descripción	Afectación en la biodegradación
Celulosa	Polisacárido más abundante de la tierra.	Alta biodegradabilidad.
Hemicelulosa	Heteropolisacárido, es amorfo de fácil degradación.	Alta biodegradabilidad.
Lignina	Polímero complejo, es rígido y resistente.	Dificulta la degradación.
Densidad	Cantidad de masa contenida en un volumen.	Alta densidad dificulta el proceso de degradación.
Humedad	Contenido de agua en el residuo.	Beneficia el crecimiento fúngico.
Tamaño de partícula	Longitud de los fragmentos de madera.	Mayor fragmentación mejora la degradación.
Porosidad	Espacios internos del material.	Permite la colonización.

**Fuente:** Elaboración propia con información tomada de los Autores, (Rowell, 2012), (Sanchez, 2009), (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009).

La densidad del residuo de la madera es variable ya que depende de la especie forestal y la compactación de este, generalmente la densidad de esta material esta entre 0.40 y 0.85 g/cm<sup>3</sup>, los residuos de madera con una densidad mayor suelen tener estructuras más complejas, más rígidas y menos porosas, en cambio los residuos de madera con una menor densidad suelen tener un proceso

de degradación mucho más eficientes debido a su capacidad de retención y facilidad de penetración en el micelio (Rowell, 2012).

Otro factor determinante es el contenido de humedad, este es fundamental ya que tiene una influencia directa sobre la actividad metabólica de los hongos, los residuos de madera con un contenido de humedad entre 30% y 60% tienen condiciones más óptimas para la actividad enzimática, no obstante la humedad excesiva puede generar problemas en la oxigenación del sustrato donde crece el hongo produciendo una afectación directa en el proceso de biodegradación (Carlile, Watkinson, & Gooday, 2001).

Además, se demostró que el estado inicial de degradación del residuo y el tamaño del residuo son variables fundamentales ya que los residuos fragmentados presentan un área superficial más óptima, favoreciendo su acción enzimática, en cambio residuos escasamente degradados toman más tiempo en ser transformados (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009).

El exceso de residuos de madera principalmente se ve asociado a la lenta degradación que este presenta y el gran volumen que ocupa en los lugares de disposición final, debido a la presencia de estructuras complejas estos residuos, estos permanecen largos periodos tiempo cuando no son tratados de manera adecuada, sin embargo debido a estas características lignocelulósicas son considerados una fuente importante para la proliferación de hongos xilófagos permitiendo que estos actúen como agentes degradadores (FAO, 2020).

Por otro lado, la relación entre el carbono y el nitrógeno en los residuos de madera acostumbran ser elevados valor entre 100:1 – 500:1, lo que llega hacer una limitación natural de la actividad microbiana cuando no se tiene una buena adición

de nutrientes, esto hace necesario evaluar previamente las propiedades químicas y físicas de los residuos antes de realizar procedimientos de degradación (Sanchez, 2009).

El pH en residuos de madera es de suma importancia ya que este tiene una influencia directa sobre los procesos microbiológicos y el crecimiento de los hongos xilófagos siendo indispensables en la biodegradación, normalmente los compuestos lignocelulósicos tienen un pH ligeramente ácido los valores de que estos presentan están entre 4.0 y 6.5 esto dependiendo de la especie forestal, el estado de descomposición de la madera y el contenido de humedad que esté presente (Rowell, 2012). El pH ácido favorece el crecimiento de los hongos descomponedores estos capaces de degradar lignina y celulosa, muchas especies de hongos xilófagos tienen una mayor actividad enzimática en medios con un pH ácido (Carlile, Watkinson, & Gooday, 2001).

Por otra parte, el pH puede verse alterado debido al proceso de degradación esto sucede porque se liberan compuestos orgánicos que provienen de la actividad metabólica de los hongos, cuando los residuos de madera tienen una alternación notable en su pH genera restricciones en la transformación de compuestos lignocelulósicos (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000). Debido a esto es fundamental controlar el pH en procesos de degradación donde se involucren hongos xilófagos.

A su vez el tiempo de descomposición de la madera depende directamente de variables como las condiciones naturales, la presencia de microorganismos degradadores y los compuestos lignocelulósicos, las grandes proporciones de lignina en los residuos de madera generan una resistencia natural que hace que el proceso de degradación sea mucho más lento, haciendo de esta forma que estos residuos se mantengan largos periodos de tiempo en el ambiente cuando no se

tienen las condiciones necesarias para su modificación (Kirk & Farrell, 1987). En los lugares de disposición final y ambientes urbanos la degradación de los residuos de madera suele ser muy tardada, durando largos periodos de tiempo esto debido a diversos factores como limitación de actividad enzimática por parte de los hongos y la baja humedad (FAO, 2020).

**Figura 3.** Residuos de madera en Bucaramanga.



Fuente: Autora

Sin embargo, cuando se cuentan con las condiciones necesarias como la presencia de hongos xilófagos, la temperatura y la humedad el tiempo del proceso de degradación se reduce significativamente debido a la actividad enzimática ligninolíticas de los hongos que son capaces de degradar mucho más rápido los compuestos lignocelulósicos (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009). De esta forma la información se sintetizo en la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Características físicas y químicas de los residuos de madera.

Propiedad	Valor aproximado	Relación ambiental	Influencia en el residuo
Densidad	0.40 – 0.85 g/cm <sup>3</sup>	Difícil compactación debido al volumen del residuo.	Dificultad en el transporte y almacenamiento.
Contenido de humedad	30 % – 60 %	Beneficia el proceso de descomposición.	Acelera la proliferación de microorganismos.
Celulosa	40 % – 50 %	Fácil degradación.	Alto potencial biodegradador.
Hemicelulosa	20 % – 35 %	Fácil degradación.	Alto potencial biodegradador.
Lignina	15 % – 35 %	Lenta degradación.	Bajo potencial biodegradador
Porosidad	Variable según tipo de madera	Alta retención de humedad favorece a los microorganismos.	Tiene una fuerte influencia en la degradación.
Tamaño de partícula	Variable	Fragmentos que ocupan espacios.	Disminuye la eficiencia del proceso.
Relación carbono/nitrógeno	100:1 – 500:1	Un contenido orgánico alto,	Requiere adición de nutrientes.
pH	4.0 – 6.5	Ligeramente ácido.	Tiene una influencia directa en la proliferación de microorganismos.
Tiempo de degradación	Prolongado	Fuerte acumulación en zonas urbanas	Requiere gestión sostenible.

**Fuente:** Elaboración propia con información tomada de los Autores, (Rowell, 2012), (Sanchez, 2009), (Dashtban, Schraft, & Qin, 2009).

Partiendo de estos resultados, se puede determinar que los residuos de madera plantean limitaciones como facilidades para el tratamiento biotecnológico, entre sus facilidades sobresale la celulosa y la hemicelulosa, estas siendo de fácil degradación para los hongos xilófagos, a pesar de esto la lignina presenta una

barrera estructural importante, de esta forma es necesario el uso de microorganismo con una alta capacidad enzimática para poder realizar alguna transformación (Kirk & Farrell, 1987).

Teniendo en cuenta la caracterización, el éxito de la investigación dependerá de la adecuada selección de cepas y las condiciones del sustrato, debido a que distintos factores como el tamaño del residuo y la humedad puede ser una limitante en el proceso de biodegradación, esto demuestra la relevancia de estudiar las características del material antes de realizar algún proceso biotecnológico (Rowell, 2012).

**Figura 4.** Residuos de madera en Bucaramanga.



Fuente: Autora

## **5.2. Determinación de los hongos xilófagos presentes en áreas urbanas y periurbanas de Bucaramanga.**

A lo largo de las jornadas de observación llevadas a cabo en la ciudad de Bucaramanga se determinó la presencia de hongos xilófagos en mayor medida en zonas húmedas y con una fuerte presencia de materia orgánica en descomposición. Gran parte de las muestras observadas fueron encontradas en la madera muerta correspondientes a árboles caídos o troncos en descomposición, particularmente las zonas donde se encontraban estos hongos eran en parques y áreas con una interacción antrópica mínima, estas circunstancias favorecen la proliferación de hongos debido a que la humedad posibilita la penetración del micelio haciendo que la actividad enzimática sea mucho más satisfactoria (Deacon, 2006).

En el área de Bucaramanga se demostró una mayor presencia de hongos xilófagos en las zonas como el Parque Ecológico La Flora, Parque San Pío, Parque Carlos Enrique Virviescas, el Sendero de los Caminantes, el sector ubicado debajo del puente de la Novena y el Parque Bolívar, en estas áreas los troncos y ramas caídos estaban expuestos a sombra y humedad variables que facilitan el crecimiento de estos microorganismos.

Se analizó que los hongos xilófagos tienen una mayor presencia en madera húmeda e incompletas que demuestran diferentes niveles de descomposición, además las especies de hongos observadas demostraron que estos crecen principalmente en la superficie externa de la madera, formando agrupaciones que se adhieren directamente al sustrato, este comportamiento se ajusta a los estándares de crecimiento presentados en diferentes investigaciones sobre el




comportamiento de degradación de la lignina y celulosa en ambientes húmedos (Carlile, Watkinson, & Gooday, 2001).

Con respecto a las características de la madera, se reconoció que los residuos con mayor contenido de humedad manifiestan una colonización mucho más prolifera, mientras que las maderas secas y más densas demuestran menos abundancia de hongos, lo cual demuestra las limitaciones que se tienen cuando el material es muy seco y con poca porosidad (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000).

desde un punto de vista ambiental esta identificación permite determinar que la acumulación de los residuos provenientes de la madera en espacios urbanos beneficia la proliferación de los hongos xilófagos estos cumpliendo un papel determinante en procesos de biodegradación de materia orgánica evidenciando el potencial que estos hongos tienen en el aprovechamiento de compuestos lignocelulósicos en la ciudad de Bucaramanga




Por otra parte, la observación facilitó la identificación de las diferentes colonias y sus variaciones demostrando la diversidad morfológica que presentan estos microorganismos, estas diferencias pueden estar relacionadas con el tipo de madera invadida y las condiciones ambientales de la zona (Deacon, 2006). De esta forma partiendo de las observaciones se realizaron registros fotográficos y una explicación de cada muestra, sintetizando la información en las siguientes tablas.

**Tabla 4.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 1.

<b>Muestra 1</b>		
<b>Tipo de madera</b>	Madera muerta en avanzado estado de descomposición, proveniente de un árbol caído, la muestra fue recolectada en la parte media del tronco.	<b>Descripción del hongo</b>
<b>Estado de la madera</b>	Húmeda	<p><b>Forma:</b> Tiene estructura en forma de repisas.</p> <p><b>Olor:</b> Presenta tonos variados como marrón, beige, gris.</p> <p><b>Superficie:</b> La parte superior es lisa.</p> <p><b>Borde:</b> Más claro definido.</p> <p><b>Hábitat:</b> Crece directamente sobre madera muerta.</p>
<b>Coordenadas</b>	7.1096933, -73.1072190	
<b>Imagen Frontal</b>	<i>Figura 5.</i> Hongo liso, <i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.	
		
<b>Imagen Superior</b>	<i>Figura 6.</i> Hongo liso, <i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.	
		
<b>Imagen Inferior</b>	<i>Figura 7.</i> Hongo liso, <i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.	
		




Fuente: Autora

**Tabla 5.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 2.

<b>Muestra 2</b>		
<b>Tipo de madera</b>	Madera muerta en avanzado estado de descomposición, proveniente de un árbol caído, la muestra fue recolectada en la parte inferior del tronco.	<b>Descripción del hongo</b>
<b>Estado de la madera</b>	Húmeda	<p><b>Forma:</b> tiene un tamaño pequeño, pocos centímetros de ancho.</p> <p><b>Color:</b> Presenta tonos blanco crema a beige claro.</p> <p><b>Superficie:</b> La parte superior es fina y muy delicada.</p> <p><b>Borde:</b> Ondas en la orilla.</p> <p><b>Hábitat:</b> Crece directamente sobre madera muerta.</p>
<b>Coordenadas</b>	7.12686, -73.10225	
<b>Imagen Frontal</b>	<p><b>Figura 8.</b> Repisa blanca, <i>Trametes hirsuta</i> (Wulfen) Lloyd</p> 	
<b>Imagen Superior</b>	<p><b>Figura 9.</b> Repisa blanca, <i>Trametes hirsuta</i> (Wulfen) Lloyd</p> 	
<b>Imagen Inferior</b>	<p><b>Figura 10.</b> Repisa blanca, <i>Trametes hirsuta</i> (Wulfen) Lloyd</p> 	




Fuente: Autora

**Tabla 6.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 3.

<b>Muestra 3</b>		
<b>Tipo de madera</b>	Madera muerta en avanzado estado de descomposición, proveniente de un árbol cortado, la muestra fue recolectada en la parte inferior del tronco.	<b>Descripción del hongo</b>
<b>Estado de la madera</b>	Húmeda	<p><b>Forma:</b> el sombrero es ovalado y campanulado, el pie es delgado y frágil, es de un tamaño muy pequeño.</p> <p><b>Color:</b> Blanco crema.</p> <p><b>Superficie:</b> es delicada y suele marchitarse rápido.</p> <p><b>Borde:</b> definidos en forma circular.</p> <p><b>Hábitat:</b> Crece directamente sobre madera muerta.</p>
<b>Coordenadas</b>	7.09737, -73.09821	
<b>Imagen Frontal</b>	<p><b>Figura 11.</b> Sombrillitas, <i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J.E.Lange</p> 	
<b>Imagen Superior</b>	<p><b>Figura 12.</b> Sombrillitas, <i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J.E.Lange</p> 	
<b>Imagen Inferior</b>	<p><b>Figura 13.</b> Sombrillitas, <i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J.E.Lange</p> 	



Fuente: Autora

**Tabla 7.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 4.

<b>Muestra 4</b>		
<b>Tipo de madera</b>	Madera muerta en avanzado estado de descomposición, proveniente de un árbol cortado, la muestra fue recolectada en la parte superior del tronco.	<b>Descripción del hongo</b>
<b>Estado de la madera</b>	Húmeda	<p><b>Forma:</b> Tiene estructura en forma de abanico creciendo adherido lateralmente a la madera.</p> <p><b>Color:</b> Tonos ocre y marón.</p> <p><b>Superficie:</b> La parte superior es rugosa.</p> <p><b>Borde:</b> ondulados definidos.</p> <p><b>Hábitat:</b> Crece directamente sobre madera muerta.</p>
<b>Coordenadas</b>	7.11949, -73.106	
<b>Imagen Frontal</b>	<i>Figura 14. Girola, Pleurotus djamor (Rumph. ex Fr.) Boedijn</i>	
		
<b>Imagen Superior</b>	<i>Figura 15. Girola, Pleurotus djamor (Rumph. ex Fr.) Boedijn</i>	
		
<b>Imagen Inferior</b>	<i>Figura 16. Girola, Pleurotus djamor (Rumph. ex Fr.) Boedijn</i>	
		

Fuente: Autora



**Tabla 8.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 5.

<b>Muestra 5</b>		
<b>Tipo de madera</b>	Madera muerta en avanzado estado de descomposición, proveniente de un árbol cortado, la muestra fue recolectada en la parte interna del tronco.	<b>Descripción del hongo</b>
<b>Estado de la madera</b>	Húmeda	<p><b>Forma:</b> Tiene estructura en forma de repisas.</p> <p><b>Color:</b> Presenta tonos variados como marrón, beige, gris.</p> <p><b>Superficie:</b> La parte superior es lisa.</p> <p><b>Borde:</b> Más claro definido.</p> <p><b>Hábitat:</b> Crece directamente sobre madera muerta.</p>
<b>Coordenadas</b>	7.12188, -73.1246	
<b>Imagen Frontal</b>	<i>Figura 17.</i> Poroso blanco, <i>Favolus tenuiculus</i> P.Beauv.	
		
<b>Imagen Superior</b>	<i>Figura 18.</i> Poroso blanco, <i>Favolus tenuiculus</i> P.Beauv.	
		
<b>Imagen Inferior</b>	<i>Figura 19.</i> Poroso blanco, <i>Favolus tenuiculus</i> P.Beauv.	



Fuente: Autora

**Tabla 9.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 6.

<b>Muestra 6</b>		
<b>Tipo de madera</b>	Madera quemada, proveniente de un árbol en pie, la muestra fue recolectada en la parte media del tronco.	<b>Descripción del hongo</b>
<b>Estado de la madera</b>	Seca	
<b>Coordenadas</b>	7.11358, -73.11576	
<b>Imagen Frontal</b>	<i>Figura 20.</i> Abanico, <i>Schizophyllum commune</i> Fr.	
		
<b>Imagen Superior</b>	<i>Figura 21.</i> Abanico, <i>Schizophyllum commune</i> Fr.	
		

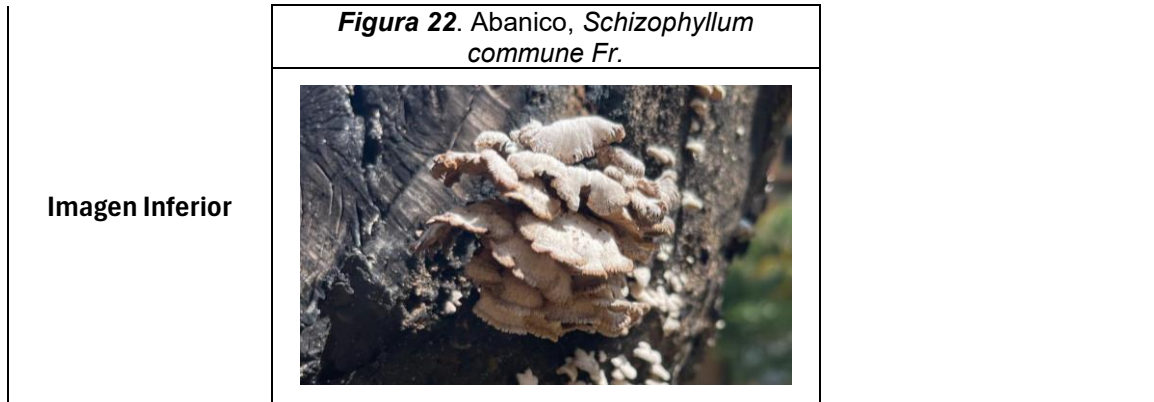
**Forma:** Tiene estructura en forma de repisas o abanicos.

**Color:** Presenta tonos color crema con ligeras variaciones en marrón.

**Superficie:** La parte superior es rugosa.


**Borde:** Más oscuro y ondulado.



**Hábitat:** Crece directamente sobre madera viva.



Fuente: Autora

**Tabla 10.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 7.

<b>Muestra 7</b>		
<b>Tipo de madera</b>	Madera muerta en avanzado estado de descomposición, proveniente de un árbol cortado, la muestra fue recolectada en la parte interna del tronco.	<b>Descripción del hongo</b>
<b>Estado de la madera</b>	Húmeda	<p><b>Forma:</b> Tiene estructura en forma de copa, oreja o embudo.</p> <p><b>Color:</b> Presenta tonos color marrón oscuro y grisáceo.</p> <p><b>Superficie:</b> La parte superior externa es lisa mientras la interna presenta una textura más suave.</p> <p><b>Borde:</b> Más ondulados y con tonos claros.</p>
<b>Coordenadas</b>	7.07188, -73.08725	
<b>Imagen Frontal</b>	<b>Figura 23.</b> Oreja de judas, <i>Auricularia auricula-judae</i> (Bull.) Quéf.	
		
<b>Imagen Superior</b>	<b>Figura 24.</b> Oreja de judas, <i>Auricularia auricula-judae</i> (Bull.) Quéf.	

		<p><b>Hábitat:</b> Crece directamente sobre madera muerta.</p>
<p><b>Imagen Inferior</b></p>	<p><b>Figura 25.</b> Oreja de judas, <i>Auricularia auricula-judae</i> (Bull.) Quéf.</p> 	

Fuente: Autora

**Tabla 11.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 8.







Muestra 8		
<p><b>Tipo de madera</b></p>	<p>Madera muerta en avanzado estado de descomposición, proveniente de un árbol caído, la muestra fue recolectada en la parte inferior del tronco.</p>	<p><b>Descripción del hongo</b></p>
<p><b>Estado de la madera</b></p>	<p>Húmeda</p>	<p><b>Forma:</b> Tiene estructura en forma sombrilla o abanico.</p> <p><b>Color:</b> Presenta tonos color blanco a crema, uniforme en toda la estructura.</p> <p><b>Superficie:</b> La parte superior es ligeramente translúcida.</p>
<p><b>Coordenadas</b></p>	<p>7.09176, -73.14275</p>	
<p><b>Imagen Frontal</b></p>	<p><b>Figura 26.</b> Hongo pulmón, <i>Pleurotus pulmonarius</i> (Fr.) Quéf.</p> 	

Imagen Superior	<p><b>Figura 27.</b> Hongo pulmón, <i>Pleurotus pulmonarius</i> (Fr.) Quél.</p> 	<p><b>Borde:</b> finos y ondulados.</p> <p><b>Hábitat:</b> Crece directamente sobre madera muerta.</p>
	<p><b>Figura 28.</b> Hongo pulmón, <i>Pleurotus pulmonarius</i> (Fr.) Quél.</p> 	
Imagen Inferior		

Fuente: Autora

**Tabla 12.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 9.




Muestra 9		
<b>Tipo de madera</b>	Madera muerta en avanzado estado de descomposición, proveniente de un árbol caído, la muestra fue recolectada en la parte superior del tronco.	<b>Descripción del hongo</b>
<b>Estado de la madera</b>	Húmeda	<b>Forma:</b> Tiene estructura de copa pequeña.
<b>Coordenadas</b>	7.13644, -73.12905	
<b>Imagen Frontal</b>	<b>Figura 29.</b> Hongos copa de vino, <i>Cookeina tricholoma</i> (Mont.) Kuntze	

		<p><b>Color:</b> Predomina una coloración de coloración rosado.</p>
<p><b>Imagen Superior</b></p>	<p><b>Figura 30.</b> Hongos copa de vino, <i>Cookeina tricholoma</i> (Mont.) Kuntze</p> 	<p><b>Superficie:</b> La parte interna es lisa y alrededor tiene finas espinas delicadas.</p> <p><b>Borde:</b> Bien definidos rodeados por abundantes filamentos largos y finos color blanco.</p>
<p><b>Imagen Inferior</b></p>	<p><b>Figura 31.</b> Hongos copa de vino, <i>Cookeina tricholoma</i> (Mont.) Kuntze</p> 	<p><b>Hábitat:</b> Crece directamente sobre madera muerta.</p>

Fuente: Autora

**Tabla 13.** Registro de observación de hongos xilófagos muestra 10.

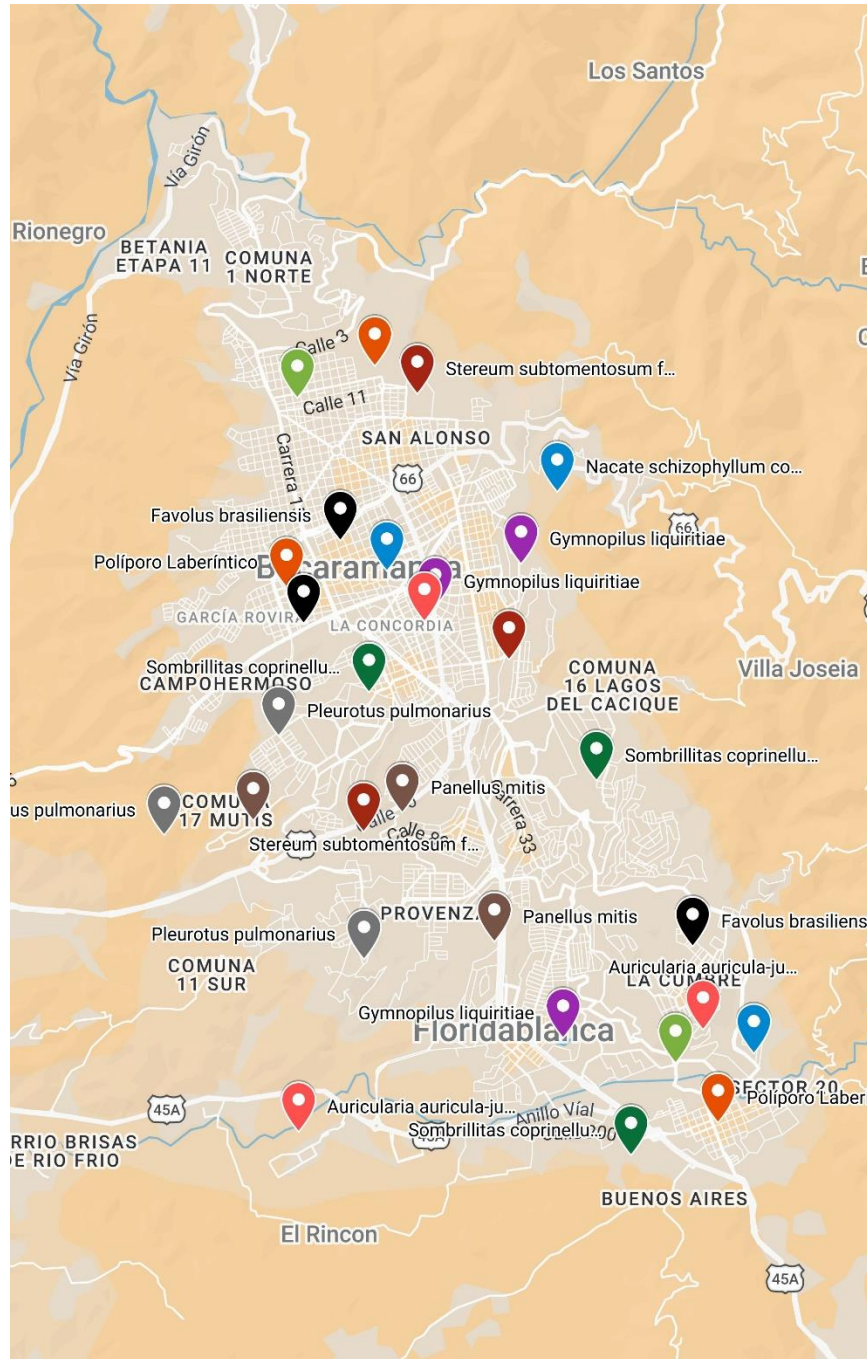
Muestra 10		
<p><b>Tipo de madera</b></p>	<p>Madera muerta en avanzado estado de descomposición, proveniente de un árbol caído, la muestra fue recolectada en la parte media del tronco.</p>	<p><b>Descripción del hongo</b></p>
<p><b>Estado de la madera</b></p>	<p>Húmeda</p>	<p><b>Forma:</b> Tiene estructura en forma de repisas.</p>
<p><b>Coordenadas</b></p>	<p>7.13971, -73.12106</p>	

<p><b>Imagen Frontal</b></p>	<p><b>Figura 32.</b> Hongo de repisa, <i>Trametes villosa</i> (Sw.) Kreisel</p> 	<p><b>Color:</b> Presenta tonos color verde claro.</p> <p><b>Superficie:</b> La superficie superior es rugosa.</p> <p><b>Borde:</b> delgados y irregulares.</p> <p><b>Hábitat:</b> Crece directamente sobre madera muerta.</p>
<p><b>Imagen Superior</b></p>	<p><b>Figura 33.</b> Hongo de repisa, <i>Trametes villosa</i> (Sw.) Kreisel</p> 	
<p><b>Imagen Inferior</b></p>	<p><b>Figura 34.</b> Hongo de repisa, <i>Trametes villosa</i> (Sw.) Kreisel</p> 	

Fuente: Autora

A continuación, se presentó un mapa con la ubicación geográfica de los hongos xilófilos identificados en el área de Bucaramanga.

**Figura 35. Mapa de la ubicación de las muestras.**



Fuente: Autora

**ELABORADO POR:**  
Docencia

**REVISADO POR:**  
Sistema Integrado de Gestión

**APROBADO POR:** Líder del Sistema Integrado de Gestión  
**FECHA APROBACIÓN:** Octubre de 2023

### **5.3. Procedimiento de propagación de hongos xilófagos de la ciudad de Bucaramanga.**

En la base de la revisión bibliográfica se implementó una metodología para la propagación de los hongos xilófagos basada en procedimientos microbiológicos, de forma que se aplicable en la investigación de la biodegradación de los compuestos lignocelulósicos, este procedimiento permite que los cultivos fúngicos sean viables en los procesos de transformación del residuo de la madera y de esta forma sean utilizados en el campo de la biotecnología (Shabbir, Siddiquir, Mahmudul, Nilanjana, & Ashfaqur, 2018).

Esta metodología se basa en protocolos utilizados en biotecnología y microbiología, este proceso busca respaldar la pureza y la actividad metabólica de los hongos, la implementación de es protocolo no solo busca la adecuada propagación de hongos si no también determinar su capacidad como agentes degradadores en condiciones controladas en el laboratorio (Deacon, 2006).

Iniciamos con la recolección de las muestras, estas se tomaron de árboles que se encontraron en el área metropolitana de Bucaramanga, las muestras fueron almacenadas en bolsas de papel esto permite tener condiciones controladas evitando la contaminación de las muestras, luego estas son sometidas a un procedimiento donde se secan en un horno a baja temperatura de esta forma la manipulación es más fácil y se conserva la estructura de la muestra (Lodge, Ammirati, O'Dell, & Mueller, 2004).

Durante la recopilación de las muestras se catalogaron variables como las condiciones ambientales (humedad, exposición solar), la ubicación geográfica y el estado de descomposición de la madera, lo cual permitido establecer una relación

entre el entorno y el crecimiento de cada especie de hongo, este registro es fundamental para determinar la interrelación entre los hongos xilófagos y en las condiciones ambientales donde se encuentran (Pandey, Soccol, & Larroche, 2000).

Una vez terminado el proceso anterior, las muestras son aisladas en medios de cultivo estériles este suministra los nutrientes esenciales para el crecimiento del micelio, este proceso facilita la obtención de cultivos puros en el laboratorio en condiciones controladas, siendo un método típico en investigaciones microbiológicas (Carlile, Watkinson, & Gooday, 2001).

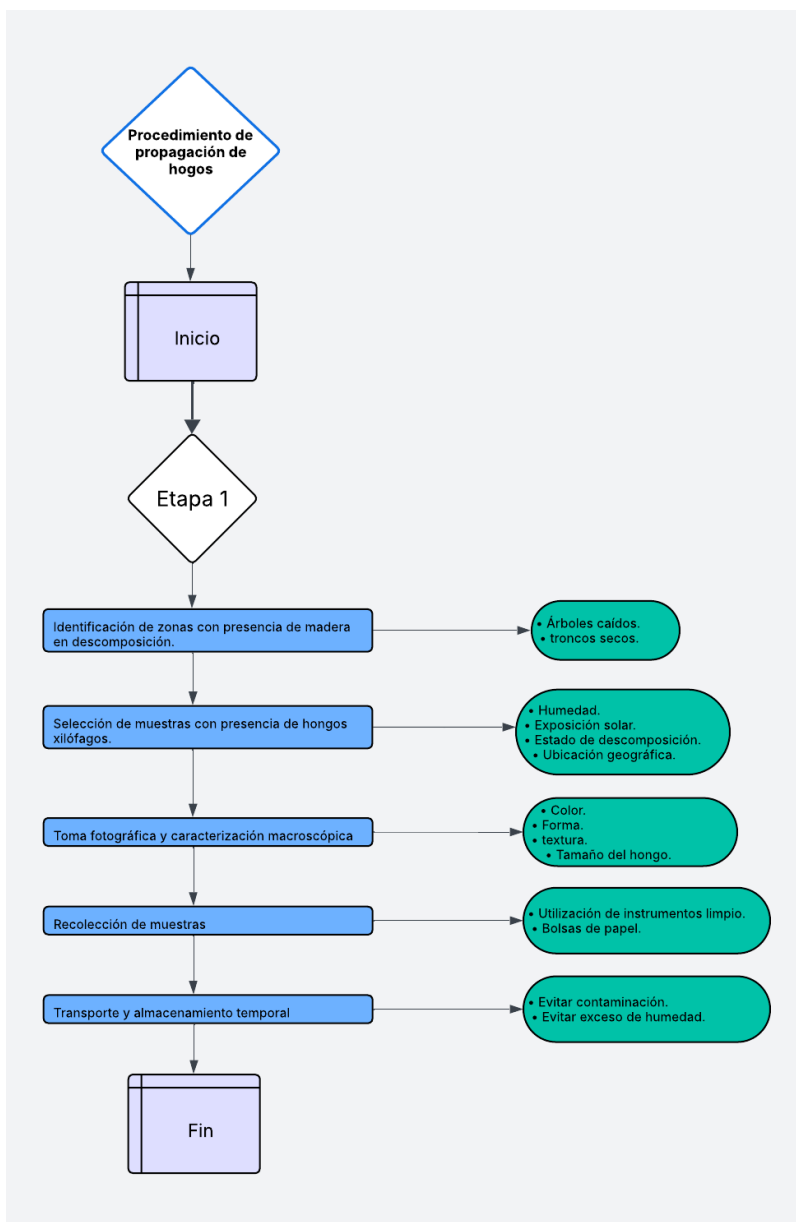
Para el aislamiento se utilizaron medios de cultivo específicos, este medio de cultivo beneficia el crecimiento adecuado del hongo, de igual manera se implementaron condiciones asépticas para la siembra, empleado instrumentos estériles, con el propósito de evitar contaminación en las muestras (Madigan, Bender, Buckley, Sattley, & Stahl, 2018).

Posteriormente, los cultivos son incubados controlando la humedad y la temperatura, normalmente la temperatura permanece entre 25 y 30°C esto ayuda a correcto desarrollo del micelio, a lo largo de esta etapa constantemente se realiza un seguimiento del crecimiento fúngico esto se realiza a través de la observación de características como morfología y la rapidez en la colonización, esto permite elegir las cepas más adecuadas para el proceso de degradación (Shabbir, Siddiqur, Mahmudul, Nilanjana, & Ashfaqur, 2018).

La estandarización este proceso permite que este sea replicado en futuras investigaciones, favoreciendo la implementación de microorganismos en el aprovechamiento del residuo de la madera en contextos urbanos (Deacon, 2006).

Con el objetivo de exponer de una manera más clara y precisa cada una de las etapas del procedimiento de propagación de los hongos xilófagos se presentan los siguientes diagramas de flujo.

**Figura 36.** Diagrama de Flujo procedimiento de recolección y caracterización inicial de hongos xilófagos.



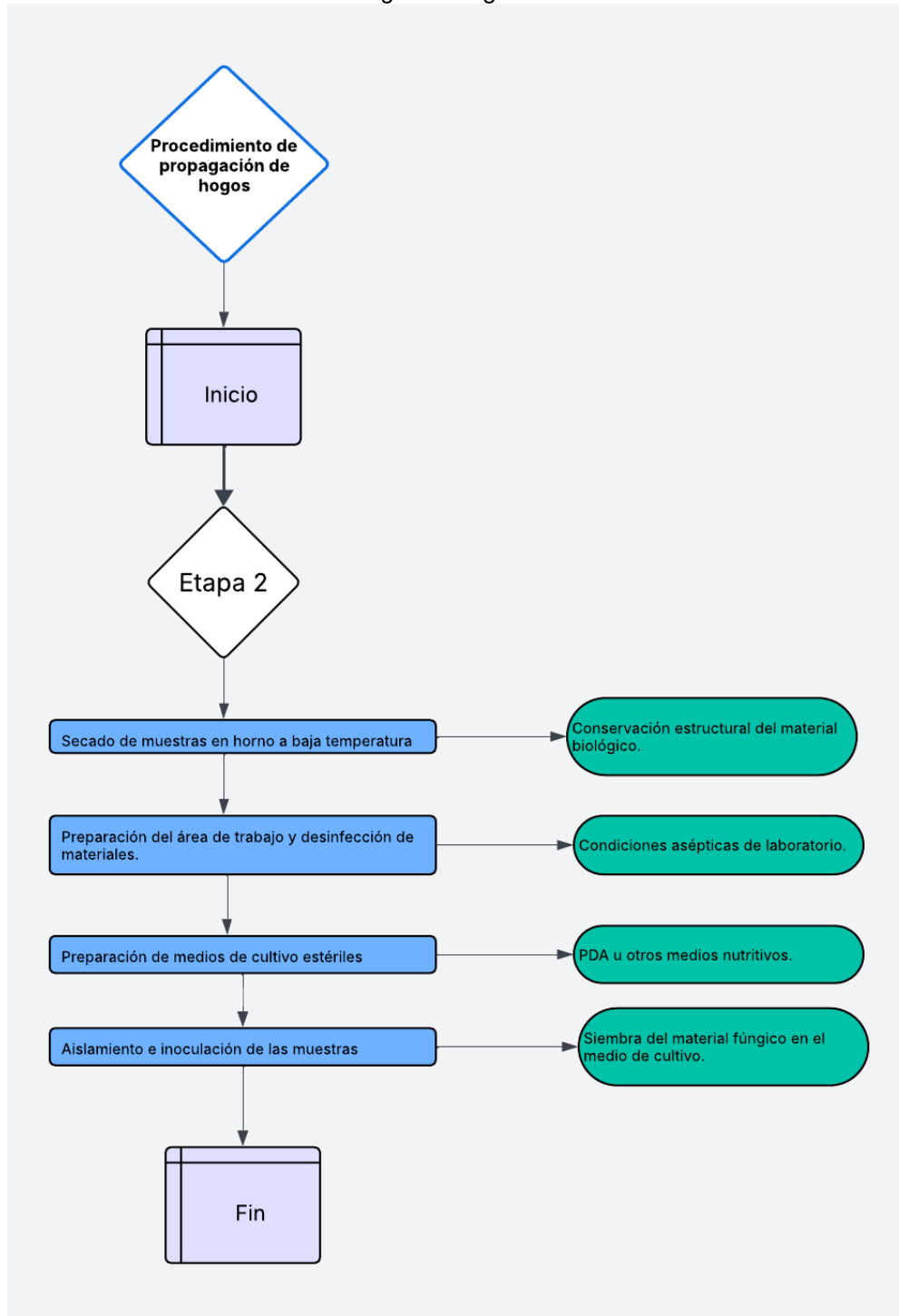
Fuente: Autora

**ELABORADO POR:**  
Docencia

**REVISADO POR:**  
Sistema Integrado de Gestión

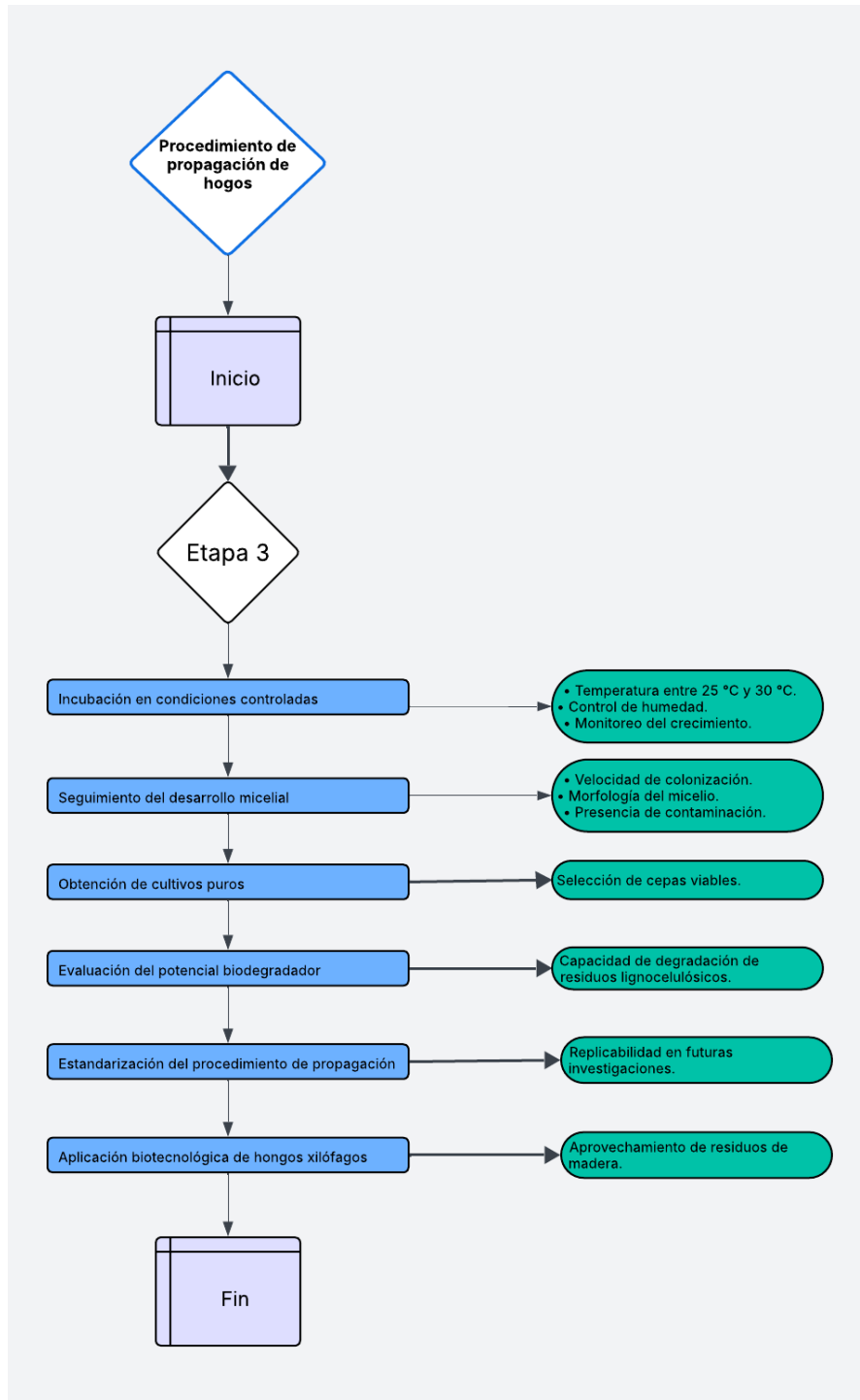
**APROBADO POR:** Líder del Sistema Integrado de Gestión  
**FECHA APROBACIÓN:** Octubre de 2023

**Figura 37.** Diagrama de Flujo procedimiento de preparación y aislamiento microbiológico de hongos xilófagos.



Fuente: Autora

**Figura 38.** Diagrama de Flujo procedimiento de incubación y evaluación del potencial biodegradador de hongos xilófagos.



Autora: Fuente: Autora

**ELABORADO POR:**  
Docencia

**REVISADO POR:**  
Sistema Integrado de Gestión

**APROBADO POR:** Líder del Sistema Integrado de Gestión  
**FECHA APROBACIÓN:** Octubre de 2023

## 6. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica facilitó determinar que los residuos provenientes de la madera poseen unas características químicas y físicas que tienen una influencia directa en el proceso de degradación de este material, debido a la presencia de compuestos lignocelulósicos como lo son la hemicelulosa, la lignina y la celulosa. Se determinaron que diferentes variables como, la porosidad, la humedad y la densidad, son factores determinantes en la permanencia del residuo en el ambiente y la adaptabilidad de los hongos xilófagos, comprobando la importancia que tiene realizar una caracterización antes de desarrollar algún proceso de biodegradación.

La caracterización bibliográfica del residuo de madera permitió determinar que este material muestra un gran potencial para el desarrollo de metodologías que contribuyen en el aprovechamiento sostenible de este material debido a su capacidad de transformación a través de un proceso biológico. A pesar de esto se presentó una barrera estructural debido a la lignina lo que hace indispensable la implementación de microorganismos capaces de realizar procesos enzimáticos degradadores competentes.

El análisis de la información correspondiente a los hongos presentes en el entorno de Bucaramanga permitió identificar las especies relacionadas con procesos de descomposición de madera en la zona urbana, demostrando la importancia ecológica en distintos procesos como la degradación de la materia orgánica, por otro lado, se logró determinar la relación en los factores ambientales (exposición solar, estado de descomposición, humedad) y el crecimiento de estos microorganismos.

El procedimiento de propagación posibilitó realizar una metodología de asilamiento y crecimiento controlado de los hongos a través de condiciones adecuadas, la aplicación de condiciones asépticas, el uso de medios de cultivos determinados y el control de las diferentes variables ambientales, contribuyen hacer factores fundamentales para asegurar la viabilidad de las cepas y una factible aplicación en procesos de degradación en compuestos lignocelulósicos.

A lo largo del desarrollo del proyecto se determinó como obstáculo principal la limitación de la información local sobre los hongos xilófagos urbanos en Bucaramanga, específicamente en investigaciones dirigidas al beneficio biotecnológicos del residuo de la madera, para superar esta restricción fue indispensable recurrir a bibliográfica científica internacional y nacional, al igual que plataformas de investigación y libros microbiológicos especializados, esto permitiendo desarrollar una base teórica fuerte para el desarrollo del proyecto.

## 7. RECOMENDACIONES

Se propone que en futuros proyectos e investigaciones se desarrollen ensayos experimentales en laboratorios con el fin de evaluar la verdadera capacidad de degradación de las diferentes especies de hongos xilófagos sobre los residuos de madera del área de Bucaramanga, esto dejara hacer comparaciones entre la eficiencia enzimática de los hongos, los tiempos en que se demoran en realizar el proceso de degradación y la adaptabilidad de las diferentes sepas para degradar compuestos lignocelulósicos a través condiciones controladas.

Es fundamental ampliar el estudio de la identificación de los hongos xilófagos presentes en entornos urbanos, implementado técnicas microbiológicas y genéticas que posibiliten una clasificación más exacta de las especies, de esta forma se lograría la identificación de las cepas con mayor potencial degradador para ser utilizadas en procesos biotecnológicos como el aprovechamiento del residuo de la madera.

Se recomienda desarrollar un plan experimental dirigido a la aplicación de hongos xilófagos en la gestión de los residuos de la madera provenientes de actividades forestales y urbanas, con el propósito de analizar el comportamiento de estos en condiciones reales, esto permitiría explorar la posibilidad de implementar estrategias sostenibles en el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos en el área de Bucaramanga.

Se aconseja reforzar la infraestructura de los laboratorios donde se realice este proceso con el propósito de tener condiciones controladas como la temperatura, la esterilidad y la humedad, asimismo la adquisición de equipos microbiológicos especializados, esto para facilitar la propagación, la conservación y el aislamiento de los cultivos que serán destinados a estudios de biodegradación.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Bucaramanga. (2020). Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023. *Alcaldía de Bucaramanga*, 12-18.
- Alcaldía de Bucaramanga. (2022). Manual de silvicultura urbana municipio de Bucaramanga. *Alcaldía de Bucaramanga*, 6-18.
- Alcaldía de Bucaramanga. (2025). *Censo forestal urbano de Bucaramanga*. Bucaramanga: Alcaldía de Bucaramanga.
- Alcaldía de Bucaramanga. (2025). Estrategia ciudadana busca combatir infractores de la disposición de residuos en Bucaramanga. *Alcaldía de Bucaramanga*, 1.
- Andlar, M., Rezić, T., Nenad, M., Kracher, D., Ludwing, R., & Santek, B. (2018). Lignocellulose degradation: An overview of fungi and fungal enzymes involved in lignocellulose degradation. *Microbial Biotechnology*, 268–281.
- Area metropolitana de Bucaramanga. (01 de 05 de 2022). *Gobernacion de Santander*. Obtenido de Alcaldía de Bucaramanga: <https://www.amb.gov.co/bucaramanga/>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigacion introduccion a la metodologia cientifica 6 edificacion*. Caracas: Episteme.
- Atlas, R. (2002). *Microbial Ecology: Fundamentals and Applications (4th edicion)*. Estados unidos: Benjamin Cummings.
- Baldrian, P. (2008). Chapter 2 Enzymes of saprotrophic basidiomycetes. *British Mycological Society Symposia Series*, 501-521.
- Belito, E., Montes, S., Montes, M., Cruz, D., & Quintana, F. (2024). Inventario de hongos xilófagos y su impacto en la degradación estructural de la madera en bosques de Eucalipto, Aliso y Pino del Centro Poblado de Viñas, Tayacaja-Huancavelica-2024. *Revista Científica y Tecnológica FitoVida*, 27-33.
- Belito, E., Susan, M., Montes, M., Cruz, D., & Quintana, F. (2024). Inventario de hongos xilófagos y su impacto en la degradación estructural de la madera en bosques de Eucalipto, Aliso y Pino del Centro Poblado de Viñas, Tayacaja-Huancavelica-2024. *Revista Científica y Tecnológica FitoVida*, 1-2.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigacion 3 edicion*. Bogota: Pearson.
- Bomberos de Bucaramanga, S. (2019). *Plan de Gestión de Residuos*. Bucaramanga: Alcaldía de Bucaramanga.
- Booth, A., Papaioannou, D., & Sutton, A. (2012). *Systematic Approaches to a Successful Literature Review*. Sheffield: Sage.
- Bucaramanga, B. d. (2019). *Plan de gestión integral*. Bucaramanga: Alcaldía de Bucaramanga.
- Cardona, A. (22 de 04 de 2025). *Departamento de derecho ambiental y tierras*. Obtenido de Universidad externado de colombia: <https://medioambiente.uexternado.edu.co/el-informe-brundtland-el-origen-juridico-del-desarrollo-sostenible-y-la-participacion-colombiana/>
- Carlile, M., Watkinson, S., & Gooday, G. (2001). *The fungi*. San Diego: Academic Press.
- CDMB. (28 de 04 de 2008). *CDMB*. Obtenido de CDMB: <https://www.cdmb.gov.co/>
- Chaparro, D., Rosas, D., & Varela, A. (2006). Aislamiento y evaluación de la actividad enzimática de hongos descomponedores de madera en la Reserva Natural La Montaña del Ocaso, Quimbaya – Quindío. *Pontificia Universidad Javeriana*, 13-16.

- Cooke, R., & Rayner, A. (1984). *Ecology of saprotrophic fungi*. Estados Unidos: Longman.
- Crueger, W., & Crueger, A. (2000). *A textbook of industrial microbiology 2nd ed.* Madison: Crueger.
- Dashtban, M., Schraft, H., & Qin, W. (2009). Fungal Bioconversion of Lignocellulosic Residues; Opportunities & Perspectives. *International Journal of Biological Sciences*, 578–595.
- Datta, R., Kelkar, A., Baraniya, D., Ali, M., Moulick, A., Meena, R. S., & Formanek, P. (2017). Enzymatic Degradation of Lignin in Soil: A Review. *Sustainability*, 11.
- Deacon, J. (2006). *Fungal Biology 4 edition*. Malden: Blackwell Publishing.
- Domínguez, O., Ramos, M., Sánchez, A., Manzano, A. M., Argüelles, J., Sánchez, M. I., & Guerra, G. (2011). Degradación biológica de contaminantes orgánicos persistentes por hongos de la podredumbre blanca. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 51-59.
- Eriksson, K.-e., Blanchette, R., & Ander, P. (1990). *Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components*. New York: T.E Timell.
- FAO. (2018). Forest products and wood waste management. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, 1.
- FAO. (2020). Forest products annual market review 2019–2020. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1.
- Franco, L., Meza, M., & Almeida, J. (2018). Situación de la disposición final de residuos sólidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga: caso relleno sanitario El Carrasco. *ResearchGate*, 180-191.
- Gadd, G. (2001). *Fungi in Bioremediation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- GBIF. (02 de 02 de 2024). *GBIF Global Biodiversity Information Facility*. Obtenido de GBIF Global Biodiversity Information Facility: <https://www.gbif.org/>
- Gobierno Nacional ley 99 de 1993. (1993). Constitución Política de Colombia. En G. Nacional, *Constitucion Política de Colombia* (pág. 1). Bogota: Temis.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Pilar, B. (2014). *Metodología de la investigacion 6 edicion*. celaya: MC Graw Hill Education .
- IDEAM. (2019). *Informe del estado del ambiente y los recursos naturales renovables* . Bogota: IDEAM.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jaramillo, G. (2025). Los biopreservantes inhibidores de hongos como alternativa sostenible para la inmunización de maderas, perspectiva para Bogotá, Colombia. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*, 11-13.
- Kirk, T., & Farrell, R. (1987). Enzymatic combustion: The microbial degradation of lignin. *Annual Review of Microbiology*, 465-505.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for Performing Systematic Reviews. *Keele University*, 1-27.
- Konijnendijk, C., Kjell, N., Randrup, T., & Schipperijn, J. (2005). *Urban Forests and Tress a Reference Book*. Estados Unidos: Springer.
- Lodge, D. J., Ammirati, J., O'Dell, T., & Mueller, G. (2004). Collecting and describing macrofungi. *Forest Service U.S. Department of Agriculture*, 128-158.
- Madigan, M., Bender, K., Buckley, D., Sattley, M., & Stahl, D. (2018). *Brock Biology of Microorganisms (15th ed.)*. Estados Unidos: Person.

- MADS. (2020). Gestión integral de residuos sólidos en Colombia. *Gobierno de Colombia*, 1.
- Mena, C., Morales, C., Vargas, I., & Víquez, V. (2023). Aplicaciones biotecnológicas de la degradación bioquímica de la madera por acción de hongos Xilófagos: pudrición parda y blanca. *Tecnología en Marcha*, 2-3.
- ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2024). *Política Nacional de Educación Ambiental*. Bogotá: Gobierno de Colombia.
- Pandey, A., Soccol, C., & Larroche, C. (2000). *Current Developments in Solid-state Fermentation*. New York: Springer.
- Pérez, K., & Pacheco, L. (2022). Diversidad de macrohongos xilófagos (basidiomicetos y ascomicetos) en la estación ecológicas las guartinajas, Tierralta-Córdoba. *Estación Ecológica Las Guartinajas*, 7-80.
- Pinzón, L., López, M., Guerrero, M., Véliz, F., & Martínez, J. (2016). Métodos para el estudio de algunas características de los hongos xilófagos como organismos degradadores de la madera. *Scientia Fungorum*, 147-157.
- Pointing, S. (2001). Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 20–33.
- Polanco, C., Caicedo, J., & Diego, B. (2013). Durabilidad natural y descripción anatómica de la madera de la especie *Caryodaphnopsis cogolloi* Van der Werf. *Colombia Forestal*, 9-22.
- Quintero, J., Feijoo, G., & Lema, J. (2006). Producción de enzimas ligninolíticas con hongos basidiomicetos cultivados sobre materiales lignocelulósicos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 17-27.
- Rayner, A., & Boddy, L. (1988). *Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Rodríguez, S. (2018). Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales. *RChD: Creación y Pensamiento*, 1-15.
- Rowell, R. (2012). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Estados Unidos de America: Taylor & Francis group.
- Sanchez, C. (2009). Residuos lignocelulósicos: Biodegradación y bioconversión por hongos. *Avances en biotecnología*, 185–194.
- Schwarze, W., Engels, J., & Mattheck, C. (2000). *Fungal Strategies of Wood Decay in Trees*. Alemania: Springer.
- Shabbir, A., Siddiqui, R., Mahmudul, H., Nilanjana, P., & Ashfaqur, S. (2018). Microbial degradation of lignocellulosic biomass: discovery of novel natural lignocellulolytic bacteria. *ResearchGate*, 138-146.
- Spark Weather. (01 de 06 de 2025). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/24381/Clima-promedio-en-Bucaramanga-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#>
- Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. Mexico: Limusa.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). *Integrated solid waste management*. Estados Unidos: McGraw-Hill.