

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DEL SUR DE GUANAJUATO**



## **Elaboración de un aislante acústico ecológico a partir de residuos vegetales**

Opción 2: Titulación Integral-Tesis profesional.

Elaborada por:

Abril Díaz Pérez

**Que presenta para obtener el título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

Asesor:

M.I.T.M. Alfredo Torres Martínez

# **“Elaboración de un aislante acústico ecológico a partir de residuos vegetales”**

Elaborada por:

**Abril Díaz Pérez**

Aprobado por. ....

M.I.T.M. Alfredo Torres Martínez

Docente de la carrera de Ingeniería Ambiental

Asesor de Tesis Profesional

Revisado por. ....

Dr. Edgar G. Blanco Díaz

Jefe de División de Ingeniería Ambiental

Revisor de Tesis Profesional

Revisado por. ....

Q. Brenda Huichapa Rocha

Docente de la carrera de Ingeniería Ambiental

Revisor de Tesis Profesional



LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Uriangato, Gto., 09/05/2025

Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral

Dr. José Gabriel Aguilera González  
Director Académico  
ITSUR  
PRESENTE

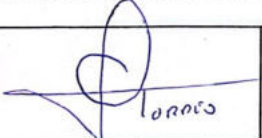


Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre de estudiante y/o egresado(a): Abril Díaz Pérez	
Carrera: Ingeniería Ambiental	Núm. de control: A20120275
Nombre del proyecto: Elaboración de un aislante acústico ecológico a partir de residuos vegetales	
Producto: Tesis profesional	

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestras y nuestros egresados.

  
**ATENTAMENTE**  
 Dr. Edgar G. Blanco Díaz  
 Jefe de División de Ingeniería Ambiental  
 ITSUR

La comisión revisora ha tenido a bien aprobar la reproducción de este trabajo.

		
M.I.T.M. Alfredo Torres Martínez	Dr. Edgar G. Blanco Díaz	Q. Brenda Huichapa Rocha

c.c.p.- Expediente



Julio 2017

## Resumen

El objetivo de este proyecto es desarrollar un material aislante acústico ecológico a partir de residuos, evaluando la eficiencia en la reducción del sonido de cada uno de los materiales utilizados. Para ello, el proyecto se llevó a cabo en varias fases. Primero, se seleccionaron los residuos vegetales en función de su disponibilidad, eligiendo trabajar con césped fresco, césped seco y hojas secas. Posteriormente, se investigaron los tratamientos para la extracción de celulosa de materiales no maderables, con el fin de diseñar un proceso experimental adaptado a las características de los materiales seleccionados, basado en métodos comunes de procesamiento de fibras vegetales. Una vez obtenido el material base, se prepararon las muestras integrando la celulosa extraída con adhesivo y posteriormente estas muestras se dejaron secar al aire libre. Una vez secas, se realizaron pruebas acústicas utilizando un prototipo de tubo de ondas estacionarias y el software Audacity para evaluar la efectividad de cada material a distintas frecuencias.

Los resultados obtenidos mostraron que, en el caso de las muestras de 1 cm de espesor, el material con mayor capacidad de reducción sonora fue el césped seco, especialmente en las frecuencias de 100 Hz, 1050 Hz, alcanzando una disminución máxima de 51.23 dB y 48.45 dB, representando un 67% y 63% en reducción respectivamente. En cambio, al aumentar el espesor a 2 cm, el césped fresco presentó una mayor reducción en el rango de 1050 Hz, con un promedio disminuido de 48.14 dB, representando un 66 % de reducción.

En conclusión, los resultados obtenidos cumplen con el objetivo del proyecto, demostrando que el aislante ecológico desarrollado ofrece un buen desempeño en la absorción acústica en ciertas frecuencias. Además, su implementación es viable para futuras investigaciones y optimizaciones, considerando sus beneficios tanto para el medio ambiente como para el bienestar de las personas.

**Palabras claves.**

Aislante acústico, residuos vegetales, Tubo de ondas estacionarias, medio ambiente.

**Abstract.**

The objective of this project is to develop an eco-friendly acoustic insulating material from waste, evaluating the efficiency of each material used in reducing sound. To achieve this, the project was carried out in several phases. First, plant waste was selected based on availability, choosing to work with fresh grass, dry grass, and dry leaves. Subsequently, treatments for extracting cellulose from non-wood materials were researched, to design an experimental process adapted to the characteristics of the selected materials, based on common methods for processing plant fibers.

Once the base material was obtained, samples were prepared by integrating the extracted cellulose with adhesive, and then these samples were left to air-dry. Once dried, acoustic tests were carried out using a stationary wave tube prototype and Audacity software to evaluate the effectiveness of each material at different frequencies: 100 Hz, 250 Hz, 450 Hz, 650 Hz, 850 Hz, 1050 Hz, and 1250 Hz.

The results obtained showed that, in the case of the 1 cm thick samples, the material with the greatest sound reduction capacity was dry grass, especially at frequencies of 100 Hz and 1050 Hz, achieving a maximum reduction of 51.23 dB and 48.45 dB, representing 67% and 63% reduction, respectively. On the other hand, when increasing the thickness to 2 cm, fresh grass showed greater reduction in the 1050 Hz range, with an average decrease of 48.14 dB, representing a 66% reduction.

In conclusion, the results obtained fulfill the project's objective, demonstrating that the developed eco-friendly insulator performs well in sound absorption at certain frequencies. Moreover, its implementation is feasible for future research and optimization, considering its benefits for both the environment and human wellbeing.

**Keywords.**

Acoustic insulation, Plant-based waste, standing wave tube, Environment.

**Agradecimiento:**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la vida, la fortaleza y la valentía para afrontar cada etapa de este camino. Agradezco al Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto en sus instalaciones, especialmente en el área de Ingeniería Ambiental. Mi gratitud también se extiende a la coordinación de dicha área por permitirme realizar parte de este trabajo en el laboratorio. Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación académica. Asimismo, agradezco sinceramente a mis asesores, por su paciencia, guía y compromiso durante el desarrollo de este proyecto. De igual forma, reconozco con especial aprecio a mis maestros, quienes, con dedicación y entusiasmo, contribuyeron al fortalecimiento de mis conocimientos durante estos años de aprendizaje. Finalmente, quiero agradecer a mis amigas Alondra y Karen, por su apoyo incondicional y por impulsarme a seguir adelante en los momentos más difíciles. A todas las personas que, de una u otra forma, me brindaron un consejo, una palabra de aliento o su tiempo para guiarme en este proceso, mi más sincero agradecimiento.

**Dedicatoria:**

Deseo dedicar este trabajo, con profundo respeto y cariño, a mi madre, María del Carmen por su confianza inquebrantable en mí, su amor constante y su ejemplo de valentía que han sido la base sobre la cual he construido este logro, también dedicado a mi padre Cesar Díaz, al cual le agradezco por acompañarme en cada paso, incluso en silencio, y por ser mi fuerza cuando más la necesité.

Extiendo esta dedicatoria a mis amigas, cuya presencia ha sido luz en los días más grises. Su apoyo genuino, palabras sinceras y alegría compartida han sido fundamentales en este proceso, por ultimo dedicar este trabajo a PCY.

## Índice General

Capítulo 1 .....	1
Introducción. ....	1
Capítulo 2 .....	2
Marco teórico (Antecedentes).....	2
Capítulo 3 .....	30
Planteamiento del problema .....	30
3.1. Identificación.....	30
3.2. Justificación. ....	31
3.3. Alcance. ....	32
Capítulo .....	33
Objetivos .....	33
4.1. Objetivos generales. ....	33
4.2. Objetivos específicos.....	33
Capítulo 5 .....	34
Metodología .....	34
Capítulo 6 .....	40
Resultados .....	40
Capítulo 7 .....	49
Análisis de Resultados.....	49
Capítulo 8 .....	57
Conclusiones y trabajo a futuro .....	57
Referencias bibliográficas .....	58
Anexos .....	62

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Composición porcentual promedio de los residuos en las categorías de orgánicos, susceptibles de aprovechamiento y otros residuos( SEMARNAT 2020). .....	3
Ilustración 2.Estructura química de la celulosa (Sanz Tejedor, s.f.). .....	4
Ilustración 3.Representación de las ondas generadas al hablar (BMI, ESPAÑA 2023). ..	14
Ilustración 4.Representación gráfica del rango de frecuencias que puede detectar el oído humano (BMI, ESPAÑA 2023). .....	16
Ilustración 5. Clasificación de los materiales. ....	18
Ilustración 6.Tubos de ondas estacionarias para medir la absorción acústica. (1) Vehículo de ensayo;(2) raíles; (3) fuente sonora; y (4) tubos de ondas estacionarias (para ensayos de baja y alta frecuencia)(Chen, X, 2023). .....	28
Ilustración 7.Proceso experimental para obtener un material aislante acústico ecológico a partir de residuos vegetales. ....	36
Ilustración 8. Prototipo para verificar el comportamiento del material como aislante acústico (C1-computadora1, C2-computadora 2, A cable auxiliar de audio, B1-B2- bridas, F- fuente de sonido, S-sonometro, T-tubo pvc, T1- tapa de tubo de pv.....	39
Ilustración 9. Residuos seleccionados para extraer la celulosa (Césped seco, césped fresco y hojas). ....	40
Ilustración 10.Proceso aplicado para el tratamiento del césped fresco. ....	41
Ilustración 11.Proceso aplicado para el tratamiento césped seco. ....	42
Ilustración 12. Proceso de elaboración de material aislante de hojas. ....	43
Ilustración 13.Reducción promedio de sonido en a) muestra de césped 1cm y b)muestra de césped 2cm.....	51
Ilustración 14.Ilustración 14. Reducción promedio de sonido para las muestras de hojas de a) 1cm y b) 2cm .....	53
Ilustración 15.Reducción promedio de sonido en muestras de césped seco sin tratamiento de a) 1cm y b) 2cm. ....	54
Ilustración 16. Reducción promedio de muestras de césped, hojas y césped seco con longitudes iniciales de (a) 1 cm y (b) 2 cm. ....	55

## Índice de Tablas.

Tabla 1.Composición química del césped en tres fechas de cosecha diferentes (Chacón. 2010).....	11
Tabla 2. Propiedades del sonido, Amplitud y frecuencias. ....	15
Tabla 3.Límites máximos permisibles en zonas habitables. ....	25
Tabla 4.Tabla 4. Muestras de césped,césped seco y hojas obtenidas y sus características de cada muestra. ....	44
Tabla 5. Muestras de césped fresco, césped seco y hojas, obtenidas y sus características. ....	45
Tabla 6.. Resultados promedio de dB disminuidos en las pruebas de sonido realiza a las muestras de 1cm de espesor obtenidas. ....	47
Tabla 7. Resutados de los promedios obtenidos de dB, realizados de las muestras de 2cm. ....	47
Tabla 8. Muestras obtenidas.....	50
Tabla 9. Anexo de promedios en frecuencia de 100 Hz .....	62
Tabla 10. Anexo de dB totales reducidos en muestra de Césped.....	62
Tabla 11. Promedios de muestra de césped a la frecuencia de 250 Hz.....	63
Tabla 12. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento. 63	
Tabla 13.Anexo de promedios de frecuencia de 450 y blancos realizados .....	63
Tabla 14. Resultados de reducción de dB en la muestra de césped.....	64
Tabla 15. Anexo de promedios en frecuencia de 650 Hz .....	64
Tabla 16.Anexo de promedios en frecuencia de 8500 Hz .....	64
Tabla 17,. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento 65	
Tabla 18.Anexo de promedios en frecuencia de 1050 Hz .....	65
Tabla 19. . Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento .....	65
Tabla 20. Anexo de promedios en frecuencia de 1250 Hz .....	65

Tabla 21. Operaciones realizadas para la obtención de dB disminuidos en las muestras de césped .....	65
Tabla 22. Datos de muestras de césped 1cm.....	66
Tabla 23. Anexo 2 de promedios en frecuencia de 100 Hz hojas.....	66
Tabla 24.. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento	66
Tabla 25.Anexo 2 de promedios en frecuencia de 250 Hz hojas.....	66
Tabla 26. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento	67
Tabla 27. Anexo 2 de promedios en frecuencia de 450 Hz hojas.....	67
Tabla 28,. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento	67
Tabla 29.Anexo 2 de promedios en frecuencia de 650 Hz hojas.....	67
Tabla 30.. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento	68
Tabla 31,Anexo 2 de promedios en frecuencia de 850 Hz hojas.....	68
Tabla 32.Resultados de reducción de los dB, en la muestra de hojas con tratamiento ....	68
Tabla 33.Anexo 2 de promedios en frecuencia de 850 Hz hojas.....	69
Tabla 34. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de hojas con tratamiento ...	69
Tabla 35.Anexo 2 de promedios en frecuencia de 1250 Hz hojas.....	69
Tabla 36.Resultados de reducción de los dB, en la muestra de hojas con tratamiento ....	69
Tabla 37 Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento... 70	70
Tabla 38.Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento... 71	71
Tabla 39.Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento... 71	71
Tabla 40.Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento... 71	71
Tabla 41. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento.. 72	72
Tabla 42.Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento... 72	72
Tabla 43.Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento... 73	73
Tabla 44.Tabla 42. Datos recabados de las muestras de 1cm.....	73

## **Capítulo 1**

### **Introducción.**

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la gestión de residuos es uno de los principales desafíos medioambientales a nivel global. En México, se generan anualmente millones de toneladas de residuos orgánicos, de los cuales una gran parte proviene de la jardinería. De hecho, los residuos de jardinería representan aproximadamente el 10.84% de los residuos sólidos urbanos en el país (SEMARNAT, 2020). Estos desechos, que incluyen ramas, hojas y pasto, son frecuentemente eliminados sin ser aprovechados, a pesar de su potencial para ser reutilizados en la creación de materiales útiles (SEMARNAT, 2020).

El aislamiento acústico se utiliza para reducir el sonido y el ruido, contribuyendo al cumplimiento de normativas ambientales y regulatorias. Los materiales acústicos absorben o bloquean el ruido, evitando su transmisión entre habitaciones dentro de un edificio, lo que ha incrementado la conciencia sobre los impactos del ruido en la salud (Allied Market Research, 2023).

Hoy en día, los materiales acústicos son fundamentales en las viviendas debido al estilo de vida moderno. Por ello, se buscan alternativas que posean las características necesarias para su uso y que, al mismo tiempo, sean amigables con el medio ambiente. En este proyecto, el objetivo es desarrollar un aislante acústico a partir de residuos vegetales provenientes de jardines y realizar una comparativa entre tres tipos de residuos para determinar cuál es más eficiente en la reducción promedio de dB a diferentes frecuencias.

## **Capítulo 2**

### **Marco teórico (Antecedentes).**

#### **2.1 Residuos sólidos urbanos.**

Los residuos sólidos urbanos son todos aquellos residuos generados en los hogares como resultado del uso de materiales en actividades domésticas, el consumo de productos y la disposición de sus envases, embalajes o empaques. También incluyen los desechos producidos en establecimientos o en la vía pública con características similares a los residuos domiciliarios, así como los provenientes de la limpieza de calles y espacios públicos, siempre que no sean clasificados por esta Ley como otro tipo de residuos (SEMARNAT 2020) .

#### **2.1.2 Aprovechamiento de los residuos Orgánicos.**

En México, existen 24 plantas dedicadas al tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos urbanos (FORSU), de las cuales 19 realizan compostaje y 5 biodigestión (SEMARNAT 2020).

En la Ciudad de México, hay 7 plantas de composta y 1 de biodigestión. La planta de Bordo Poniente es la más grande, procesando 1,374 toneladas diarias de residuos orgánicos, incluyendo 123 toneladas de residuos de poda, con una producción de 269 toneladas de composta al día. El resto de las plantas en la CDMX procesan en conjunto 26 toneladas diarias. Sin embargo, los datos reportados pueden no ser precisos, ya que algunas plantas combinan distintos procesos sin especificar cantidades exactas (SEMARNAT 2020).

En cuanto a la biodigestión, México cuenta con 5 plantas, ubicadas en Xalatlaco (Edo. de México), Parácuaro (Michoacán), Comalcalco (Tabasco) y dos en Chiconcuautla (Puebla). Adicionalmente, en la CDMX se encuentra una planta en Milpa Alta con capacidad de 3 toneladas diarias de residuos de nopal. También existe una planta en Atlacomulco (Edo. de México) con capacidad de 30 toneladas.

diarias, pero que procesa residuos de grandes generadores como restaurantes y mercados, en lugar de residuos domiciliarios (SEMARNAT 2020).

A nivel nacional, se estima que el 44% de los RSU son orgánicos, incluyendo restos de comida, poda y jardinería. Sin embargo, solo el 7% de estos residuos orgánicos son aprovechados mediante actividades como la digestión anaeróbica y el compostaje industrial; el resto, aproximadamente el 93%, es desechado sin tratamiento adecuado generando una problemática al no presentar un buen aprovechamiento, ya que en el caso de los residuos de jardinería, estos son desechados en basureros al aire libre; convirtiéndose en refugio para animales no deseados o incinerados, trayendo más problemas debido a que no son recolectados adecuadamente, en la imagen 1 se muestra una gráfica de la composición porcentual promedio de los residuos, en la parte roja-rosa se muestran los residuos orgánicos, destacando en segundo lugar los residuos de jardinería, como ya se mencionó anterior mente este tipo de residuos son desechados al aire libre y en la mayoría de los casos incinerados debido a su naturaleza (CIBNOR 2021).

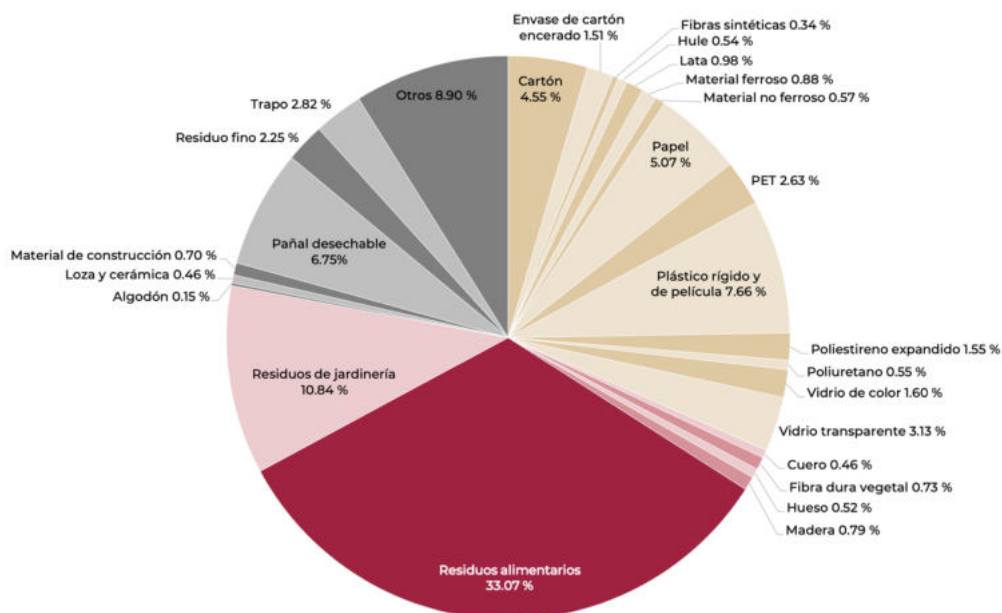


Ilustración 1. Composición porcentual promedio de los residuos en las categorías de orgánicos, susceptibles de aprovechamiento y otros residuos( SEMARNAT 2020).

## 2.2 Celulosa.

La celulosa es un polisacárido compuesto únicamente por unidades de glucosa, lo que la convierte en un homopolisacárido. Se caracteriza por ser rígida, insoluble en agua y estar formada por cientos o incluso miles de moléculas de  $\beta$ -glucosa. Es la biomolécula orgánica más abundante, ya que representa la mayor parte de la biomasa terrestre. Su estructura se origina a partir de la unión de moléculas de  $\beta$ -glucosa mediante enlaces  $\beta$ -1,4-O-glucosídicos, y al someterse a hidrólisis se descompone en glucosa. La celulosa está compuesta por largas cadenas poliméricas con un peso molecular variable y su fórmula empírica es  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , donde n tiene un valor mínimo de 200 (Química.es, s.f.).

En las plantas, cumple una función estructural al formar parte de los tejidos de sostén. Por ejemplo, en las células vegetales jóvenes, la pared celular está compuesta aproximadamente en un 40% de celulosa, mientras que la madera contiene alrededor de un 50% y el algodón, que es su forma más pura, supera el 90% (Química.es, s.f.).

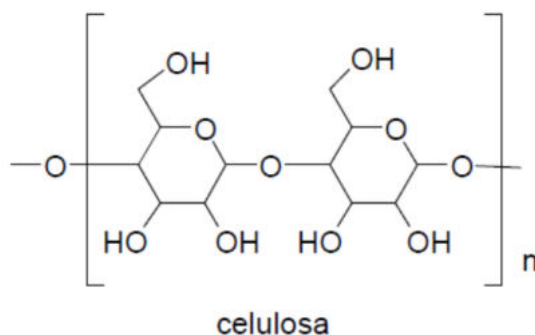


Ilustración 2. Estructura química de la celulosa (Sanz Tejedor, s.f.).

La estructura de la celulosa es lineal y fibrosa, lo que permite la formación de múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas de glucosa dispuestas en paralelo. Esta característica la hace resistente al agua y le confiere su insolubilidad, además de generar fibras compactas que conforman la pared celular de las plantas (Química.es, s.f.).

### **2.3 Metodologías para obtener la celulosa.**

Existen varios métodos aplicados en la extracción de la celulosa, algunos de estos pueden ser métodos químicos o métodos mecánicos, cada uno de ellos con técnicas y reactivos distintos. A continuación se describen algunos métodos de extracción de celulosa.

#### **2.3.1 Método de Jayme-Wise**

Este método ácido emplea productos químicos como el clorito de sodio y el ácido acético para eliminar parcialmente la lignina, logrando fibras más elásticas y fibrosas. En este procedimiento, la materia prima, que incluye astillas, hojas, tallos o cáscaras de materiales no maderables, se somete a una cocción a temperaturas de entre 70 y 80 °C (Andy Huatatuca, 2020).

En el pasado, el carbonato sódico se utilizaba en la producción de papel; sin embargo, debido a su alto costo, fue reemplazado por hidróxido de sodio en una primera etapa, facilitando la descomposición de los componentes lignocelulósicos. Posteriormente, se emplea clorito de sodio en un medio ácido para blanquear la pasta obtenida, proceso que varía según los reactivos utilizados y da lugar a dos tipos de cocción:

- Cocción intensa: se aplica para producir un papel más claro, limpio y resistente, ideal para sobres o papel de hilar.
- Cocción menos intensa: genera un papel más oscuro pero igualmente resistente, adecuado para fabricar sacos y materiales de embalaje (Andy Huatatuca, L.S .2020).

Este método es considerado uno de los más efectivos en cuando a la obtención de celulosa pura, también considerado común en la implementación de los materiales no maderables.

### **2.3.2 Método de Kurshner y Hoffner.**

Este método emplea sulfito o alcohol en un entorno ácido para eliminar completamente la lignina y otras impurezas, aplicando calor y presión en una solución acuosa a temperaturas entre 135 y 140 °C.

El proceso consiste en alternar aproximadamente cinco ciclos de baños de vapor para regular el blanqueo mediante el uso de peróxidos o acetato de sodio. Sin embargo, este procedimiento reduce la resistencia, calidad y cantidad de la fibra (Cárdenas, 2009).

Al igual que en el método anterior, se distinguen dos tipos de cocción:

- **Cocción intensa:** utilizada para la producción de papel higiénico, sanitario y papeles blancos con una resistencia limitada.
- **Cocción menos intensa:** da lugar a papeles de calidad intermedia y buena resistencia, empleados en embalajes o, combinados con otras pastas, en la fabricación de papel para escritura .(Andy Huatatocha, L.S. 2020).

### **2.3.3 Método de Cazaurang (método a la sosa).**

Este método implica el tratamiento de la biomasa con soluciones alcalinas, como hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S), en digestores a presión. Este proceso es eficaz para separar la lignina y obtener pulpa de celulosa de alta calidad.

En este método se utiliza hidróxido de sodio al 10 %, dejando calentar la solución por aproximadamente 10 minutos hasta alcanzar una temperatura de 90 °C, posteriormente para el proceso de blanqueamiento se pasa a una hidrólisis ácida con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> JT Barker al 0.4 %, posteriormente se deja en reacción por 1 hora, posteriormente se deja enfriar y se procede a lavados con agua hasta obtener un pH de 7. (García et, al 2017).

### **2.3.4 Método de proceso organosolv.**

Consiste en tratar materiales lignocelulósicos con mezclas de agua, disolventes orgánicos (como etanol) y ácidos (como ácido clorhídrico) que actúan como

catalizadores. Este método facilita la deslignificación y la obtención de celulosa con menor impacto ambiental (Muñoz et, al 2017).

### **2.3.5 Método de Hidrolisis Ácida.**

Este proceso implica el uso de ácidos fuertes, como el ácido sulfúrico, para romper las cadenas de hemicelulosa y lignina, liberando la celulosa. El procedimiento implica tratar los materiales lignocelulósicos con ácidos, como el sulfúrico o clorhídrico, para romper los enlaces que mantienen unidos a la celulosa, hemicelulosa y lignina. Esto permite la liberación de azúcares simples y la posterior obtención de celulosa. Es esencial controlar parámetros como la concentración del ácido, la temperatura y el tiempo de reacción para optimizar el rendimiento y minimizar la formación de subproductos indeseados (Moncada Mora ,D.C .2007).

La hidrólisis ácida se ha empleado para producir azúcares fermentables a partir de materiales lignocelulósicos, que luego pueden convertirse en bioetanol u otros productos químicos de valor añadido. Sin embargo, es importante considerar que este proceso puede generar productos de degradación que inhiben la fermentación, por lo que se requieren estrategias para mitigar estos efectos (Moncada Mora ,D.C .2007).

### **2.3.6 Método de Hidrólisis Enzimática.**

La hidrólisis enzimática es un proceso biotecnológico que utiliza enzimas, principalmente celulasas, para descomponer la celulosa presente en biomasa lignocelulósica en azúcares fermentables como la glucosa. Este método es especialmente relevante para materiales no maderables, como residuos agrícolas (paja de trigo, bagazo de caña de azúcar) y desechos de cultivos, debido a su abundancia y menor costo en comparación con la madera (Gonzales et,al 2011)

Antes de la hidrólisis enzimática, es esencial realizar un pretratamiento adecuado para aumentar la accesibilidad de las enzimas a la celulosa. Los materiales lignocelulósicos están compuestos por celulosa, hemicelulosa y lignina, formando

una estructura compleja que dificulta la acción enzimática. El pretratamiento busca descomponer esta matriz, eliminando parcial o totalmente la lignina y hemicelulosa, y alterando la estructura cristalina de la celulosa para facilitar su posterior hidrólisis (Gonzales et,al 2011).

### **2.3.7 Métodos Mecánicos.**

Incluyen técnicas como la homogeneización de alta presión, molienda y sonicación para desintegrar la biomasa y liberar las fibras de celulosa, esta metodología es una de las simples y en la mayoría de los métodos mecánicos no se requiere de compuestos químicos (Macaed 2007).

## **2.4 Materiales de construcción a base de celulosa.**

La celulosa, un polímero natural presente en las paredes celulares de las plantas, se ha convertido en un material clave en la construcción sostenible debido a sus excelentes propiedades aislantes y su bajo impacto ambiental, actualmente la celulosa se emplea en la construcción como un nuevo material sostenible y de eficiencia energética que aporta a las propiedades de los edificios, disminuyendo la necesidad de calefacción y refrigeración (The Cellulose Society. (S.F).

### **2.4.1 Muretes de papel reciclado.**

Una investigación llevada a cabo en la Universidad de Colombia analizó un método de mampostería para la construcción de muretes utilizando papel periódico reciclado y engrudo de almidón de yuca. El objetivo del estudio fue evaluar la viabilidad estructural de estos muretes dentro del ámbito de la Ingeniería Civil (Chanchi et al., 2002).

Los resultados indicaron que el material presentaba una alta densidad y conductividad. No obstante, su resistencia a la compresión y al corte fue inferior a la de los muretes elaborados con arcilla u otros materiales. Por ello, se planteó la necesidad de continuar investigando alternativas para mejorar sus propiedades, especialmente en lo que respecta a su vulnerabilidad ante la exposición a la

intemperie y al fuego, debido a la naturaleza de sus componentes (Chanchi et al., 2002).

#### **2.4.2 Panel de papel.**

Se ha desarrollado un panel a partir de papel reciclado, utilizando papel periódico y cemento Portland blanco como material conglomerante. Este panel, conocido como Recíñanle, es una opción económica y de buenas propiedades mecánicas, diseñada para su uso en muros tabiques y cielos falsos en la construcción. Además, cumple con las normativas colombianas para paneles no estructurales y destaca por su resistencia. (Canola et al., 2012).

El reciclaje de papel ofrece una alternativa viable para la fabricación de paneles en la industria constructiva. Ejemplos como el sistema **Swiss Cell** y el **Papercrete** demuestran su potencial al sustituir parte de los áridos convencionales con papel triturado.

Este estudio se enfoca en la producción de paneles reforzados con fibras de polipropileno, los cuales logran una estructura rígida y estable gracias a procesos de compactación y homogeneización. Los resultados indican que estos paneles presentan alta resistencia, baja conductividad térmica y un impacto ambiental reducido, convirtiéndolos en una alternativa sostenible para la construcción (Canola et al., 2012).

#### **2.4.3 Material sostenible hecho a partir de hojas de papel reciclado.**

Segun Blanco et al. ( 2024a), se desarrolló un material ecológico a partir de papel reciclado, evaluando su viabilidad en la construcción, para este material se realizaron varias pruebas en las que éste demostró sea resistente a la inmersión, a la alta compresión, también demostrando ser un buen aislante acustico en frecuencias graves y media, convirtiéndolo en un material qué puede ser aplicado construcción utilizando los residuos que se generan de papel.

#### **2.4.4 Aislante acústico ecológico hecho a base de semillas de aguacate y hojas de papel reciclado.**

De igual manera, Blanco et al. (2024b) desarrollaron un aislante acústico ecológico a partir de semillas de aguacate y hojas de papel reciclado. Este material fue sometido a diversas pruebas acústicas para evaluar su efectividad y se trabajó en tres espesores diferentes (1 cm, 1.5 cm y 2 cm). Se expuso a distintas frecuencias de sonido, y los resultados indicaron que el aislante ecológico puede reducir hasta **70.24 dB**. Al compararlo con el poliestireno expandido, demostró una mayor eficiencia. Sin embargo, a una frecuencia de **1000 Hz**, los espesores de **1.5 cm y 2 cm** no mostraron un desempeño óptimo.

#### **2.5 Césped.**

Se define al césped como el tapiz vegetal herbáceo de escasa altura, que cubre la superficie del suelo.

El césped se encuentra integrado por especies de la familia de las Gramíneas y es considerado la base del jardín. sin embargo, no todas las especies pertenecientes a las gramíneas puede formar un césped, ya que se debe reunir ciertas condiciones: ofrecer a la vista una totalidad uniforme; adaptarse a las variaciones del clima del lugar, manteniéndose siempre verde, resistente al tránsito o soportar constantes pisoteos.

En la actualidad, los parques y jardines han ganado un papel significativo en las zonas urbanas y periféricas. Frecuentemente, su calidad recreativa y su distribución armónica resultan en una conexión con la naturaleza. justamente lo que garantiza el panorama verde.(Parracia A.N 2012 Césped)

##### **2.5.1 Composición química del césped.**

Un césped está integrado, en su mayor parte, por especies pertenecientes a la familia de las gramíneas. Las gramíneas se caracterizan por su porte erguido, hojas lineales, lámina foliar con nervaduras paraleliformes, raíces fibrosas, extendidas y

ramificadas. En lugar de tallo poseen una caña, envuelta por una vaina. Por su parte, la caña presenta nudos y las porciones comprendidas entre dos nudos se denomina entrenudo. El meristema se encuentra protegido en la base y forma el ápice o domo meristemático, que es la altura de corte (Aedo, 1996).

En cuanto a su composición química, el contenido puede variar, esto debido a ciertos factores, como lo pueden ser la edad de cosecha, si tiene tiempo de floración o etapa de rebrote. El factor más importante del cual depende su composición química es del tiempo de cosecha, ya que si el césped es más maduro aumenta el contenido de celulosa y hemicelulosa y el contenido de lignina disminuye, lo que favorece la extracción de la celulosa (Aedo, 1996).

En la siguiente tabla se muestra la composición del césped en tres edades diferentes de cosecha, en las que podemos observar que la celulosa es el componente que se encuentra en mayor porcentaje y que al tener una edad mayor de cosecha, posee un porcentaje mayor de celulosa.

Tabla 1. Composición química del césped en tres fechas de cosecha diferentes (Chacón. 2010).

<b>Composición</b>	<b>Contenido</b>		
	<b>60 días</b>	<b>75 días</b>	<b>90 días</b>
Celulosa	34,38%	36,47%	38,28%
Hemicelulosa	27,25%	26,23%	24,71%
Lignina	12,15%	13,30%	13,59%
Cenizas	14,47%	13,86	13,61%

Aunque existan diversos tipos de césped en el medio ambiente, la mayoría de los céspedes y pastos contienen es su mayoría la misma composición química debido a que son pertenecientes a la familia de las gramíneas, pero los factores como la

calidad del suelo, temperatura y especie hará que estas composiciones tengan cierta variación en la cantidad de composición (Aedo, 1996).

Según Yessenia Paola Guerrero (2021), en su tesis, extracción de celulosa a partir de residuos de pasto común para la elaboración de acetato de celulosa, obtuvo que el porcentaje de contenido de celulosa de *Festuca arundinacea* fue de 43.40%, este resultado fue obtenido mediante el método de hidrólisis básica, siguiendo los protocolos de normas ASTM en Ecuador. Por lo que mediante este trabajo también se destaca al césped como una buena alternativa de obtención de celulosa de materiales no maderables. Así como este trabajo, existen más trabajos en los cuales se obtiene un resultado favorable en la obtención de celulosa de los céspedes, cabe mencionar que el contenido obtenido puede variar acorde al método de obtención empleado, especie utilizada, edad de esta e incluso la fecha de recolección.

### **2.5.3 Clasificación del césped:**

*Cynodon dactylon* el cual pertenece a climas cálidos y posee características de hojas gruesas y anchas que suelen ser rastreas y de raíces profundas. Soporta veranos calurosos e inviernos suaves, crece durante el verano y queda latente en otoño e invierno, prospera a partir de 25 °C, resiste sequías y usos intensos lo que lo hace precisar poco riego, corte bajo y se reproduce por partes vegetativas y por semilla. En climas fríos está el ejemplo de *Festuca rubra* y *Lolium perenne*, cuyas características son; hojas largas y finas de crecimiento agrupado, raíces superficiales, es capaz de soportar bien a las heladas, poco tolerantes a la sequía y uso intensivo. Crece durante la primavera y el otoño, prospera a temperaturas de 15 y 24 °C con un corte a mayor altura porte erecto (Parracia A.N 2012 Césped).

### **2.6 Hojas y su estructura.**

Actualmente, existen diversos estudios que analizan la composición química de las hojas de los árboles, los cuales se centran en determinar el contenido de lignina, celulosa y otros componentes. Estas investigaciones buscan utilizar las hojas como

material alternativo para la fabricación de papel, especialmente en regiones donde los recursos maderables son limitados, presentando así una opción sostenible para la obtención de celulosa.

El aprovechamiento de las hojas como fuente de celulosa no solo contribuye a la reducción de residuos orgánicos, sino que también promueve el desarrollo de procesos sostenibles, favoreciendo la valorización de subproductos agrícolas y forestales dentro de la economía circular.

En el estudio realizado por Rosales et al. (2016), publicado en la revista *Madera y Bosques*, se analizó la composición química de las hojas y ramas de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) provenientes de dos plantaciones forestales. El objetivo del trabajo fue evaluar la biomasa lignocelulósica como fuente para la producción de etanol, determinando los contenidos de extraíbles totales, holocelulosa,  $\alpha$ -celulosa, lignina y azúcares reductores. Los resultados mostraron que las hojas pueden contener hasta un 30.25% de  $\alpha$ -celulosa.

Por otro lado, Petisco et al. (2005) realizó una investigación para la gestión eficiente y conservación del medio natural, en la que se determinó la cantidad de lignina y celulosa en 18 especies leñosas utilizando espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). En este estudio se reportó un promedio del 7.40% de celulosa contenida en las hojas de los árboles.

Gracias a estas investigaciones, se han desarrollado materiales alternativos como papel elaborado a partir de la celulosa extraída de las hojas, lo que representa una alternativa sostenible al uso de recursos maderables.

## **2.7 El sonido.**

El sonido está producido por pequeñas variaciones de presión en un medio, habitualmente el aire. Estas variaciones son originarias por las vibraciones de un objeto o una estructura, por ejemplo, al hablar provocamos un movimiento de estas partículas, causa pequeñas variaciones sobre el valor de la presión atmosférica,

que son detectados por nuestro oído, en la ilustración 3, se muestran gráficamente las ondas generadas al hablar. (BMI, ESPAÑA 2023)

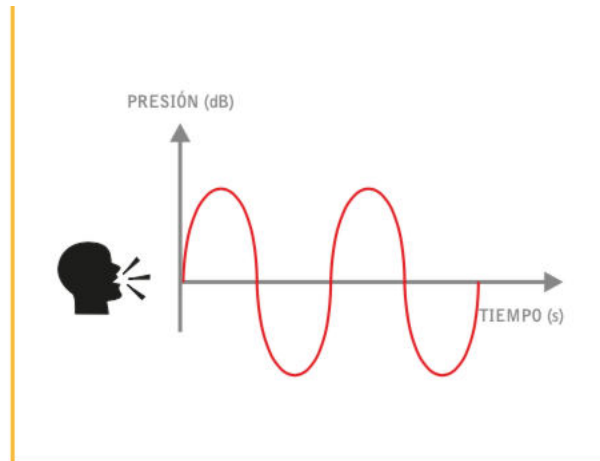


Ilustración 3. Representación de las ondas generadas al hablar (BMI, ESPAÑA 2023).

### **2.7.1 Propiedades del sonido: Amplitud y frecuencia.**

Un sonido se caracteriza por dos propiedades:

**Amplitud:** indica la magnitud de las variaciones de presión. Cuando mayor sea este valor más fuerte será la sensación de sonido que percibimos. Debido a que el rango de amplitudes que el oído es capaz de detectar es muy amplio, se utiliza una escala logarítmica o comprimida, cuya unidad es el decibelio (dB) para facilitar su valoración (BMI, ESPAÑA 2023).

La mínima variación de presión que el oído es capaz de detectar son cero decibelios (0 dB), y es lo que se considera umbral de audición. Por otro lado, lo máximo que se puede soportar son 120 dB, y a esto se le conoce como umbral de dolor. A partir de este valor se producen daños irreversibles en el sistema auditivo. En la siguiente tabla se muestra el umbral de audición y el umbral de dolor podemos situar los niveles de presión acústica que percibimos habitualmente, que pueden ir desde los niveles más bajos hasta los niveles muy elevados. (BMI, ESPAÑA 2023)

Tabla 2. Propiedades del sonido, Amplitud y frecuencias.

<b>dB</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Sensación</b>
<b>0</b>	Umbral de audición	Nivel Bajo
<b>30</b>	Dormitorio en silencio	
<b>50</b>	TV bajo nivel	Nivel Moderado
<b>60</b>	Conversación	
<b>70</b>	Oficina	Nivel de Elevado
<b>80</b>	Tráfico denso	
<b>90</b>	Bar con equipos de música	
<b>100</b>	Discoteca	Nivel muy elevado
<b>120</b>	Despegue de avión	

Al ser la escala del decibelio una escala comprimida, pequeñas variaciones de nivel equivalen a cambios de percepción muy amplios como se puede en la tabla 1. Se debe tener en cuenta que un aumento de 10 dB en el nivel de un sonido, equivale a percibir este sonido al doble de intenso. Otra cuestión que se debe tomar en cuenta es que las amplitudes de los sonidos no se suman de manera aritmética, sino de forma logarítmica, por ejemplo; dos personas están hablando cada una a

una amplitud de 60 dB, la suma será 63 dB en lugar de 120 dB que equivaldría al despegue de un avión. (BMI, ESPAÑA 2023)

### **La frecuencia:**

Indica la velocidad de las variaciones de presión por segundo y se mide en hercios (Hz), que es número de variaciones por segundo. El rango de frecuencias que es capaz de percibir el oído humano se encuentra entre los 20 Hz (20 variaciones por segundo) y los 20,000 Hz (20,000 variaciones por segundo), en la siguiente imagen se hace una demostración grafica del rango que es capaz de percibir el oído humano (BMI, ESPAÑA 2023).

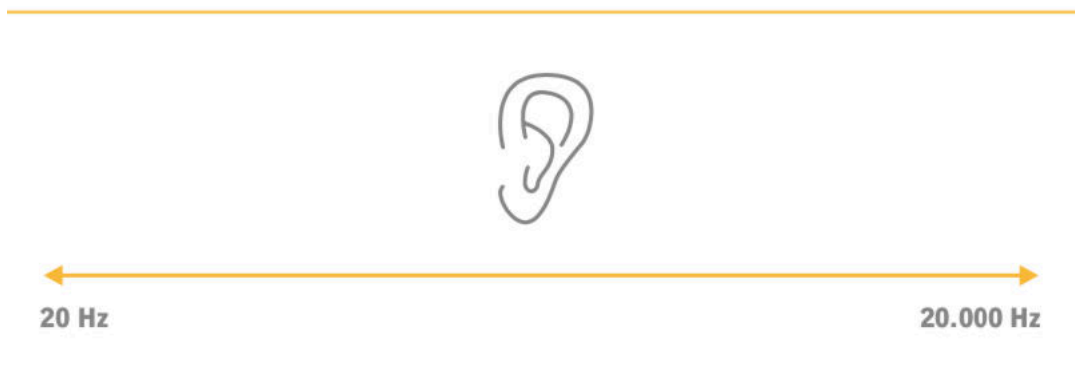


Ilustración 4. Representación gráfica del rango de frecuencias que puede detectar el oído humano (BMI, ESPAÑA 2023).

### **2.7.2 Clasificación de los sonidos según su frecuencia.**

La frecuencia de un sonido está asociada al tono, que es la percepción subjetiva de la frecuencia. Cuando la frecuencia de un sonido es baja (inferior a. 400 Hz) percibimos un tono grave. Si este se encuentra entre los 400Hz y 1600Hz es un sonido de tono medio, y cuando se trata de un tono superior a 1600 Hz este lo detectamos como un tono agudo.

Por lo general los sonidos que percibimos están formados por diferentes frecuencias, las cuales al ser representadas en una misma grafica de amplitud y

frecuencia se obtiene lo que se denomina espectro sonoro, el cual es único y característico de cada sonido y es lo que permite distinguir, por ejemplo, la voz de dos personas. (BMI, ESPAÑA 2023)

**El ruido:** El ruido es un sonido molesto, que nos produce una sensación de incomodidad y que sufrimos habitualmente ya sea en nuestro lugar de residencia o en nuestro trabajo.

La exposición prolongada a fuentes de ruido puede provocar fatiga, daños auditivos irreversibles, alteraciones del sueño, estrés o disminución de rendimiento en el trabajo y vida cotidiana.

### **2.7.3 Tipos de ruido.**

El ruido se clasifica según su origen y forma de propagación en tres grupos:

**Ruido aéreo:** El cual es todo ruido que tiene origen en el aire y se propaga a través del mismo, como el tráfico, las obras de construcción, conversaciones, la radio, televisión, etc.

**Ruido de impacto:** Este ruido es causado por un golpe en un medio sólido, como puede ser el suelo, el cual hace que se propague a través de la estructura, como la caída de un objeto, las pisadas, el arrastre de muebles, etc.

**Ruido de vibraciones:** Es un ruido producido por el movimiento de algún objeto unido directamente a un medio sólido y que se propaga a través de la estructura, este tipo de ruido puede ser a causa de motores, máquinas como grupos de presión, ascensores, etc. (BMI, ESPAÑA 2023)

## 2.8 Aislantes acústicos.

El sonido puede ser absorbido a través de distintos mecanismos, siendo el más relevante la transformación de la energía acústica en calor debido a la disipación visco-térmica. Aunque este proceso ocurre también en el aire, su efecto es significativamente mayor en materiales diseñados específicamente para este propósito, conocidos como materiales acústicos. Estos materiales suelen emplearse como revestimientos en la superficie interna de paredes o paneles divisorios, denominándose absorbentes superficiales. En ciertos casos, se colocan de manera que toda su superficie quede expuesta al campo sonoro, funcionando así como absorbentes volumétricos (Cobo P.P 2015).

El interés por este tipo de materias acústicos surge en los años 30, en el contexto del estudio de la reverberación en recintos.

**2.8.1 Materiales absorbentes:** Los dispositivos absorbentes son aquellos susceptibles de producir una absorción del sonido más. Según Colina y Moreno (2005), los materiales absorbentes se pueden clasificar en:

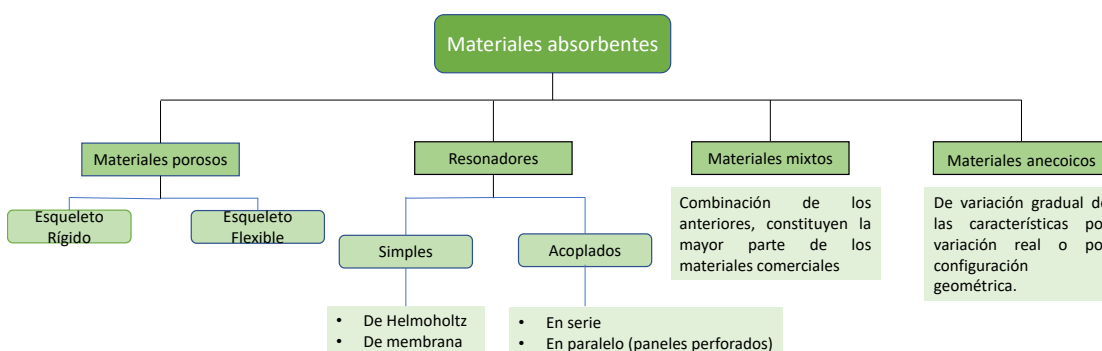


Ilustración 5. Clasificación de los materiales.

Los materiales porosos están formados por una estructura interna, que puede ser rígida o flexible, dentro de la cual se encuentran cavidades llenas de aire con trayectorias más o menos complejas. En general, los materiales con estructura rígida ofrecen una mayor capacidad de absorción acústica en frecuencias elevadas, mientras que aquellos con estructura flexible tienden a mostrar picos de resonancia,

lo que los hace especialmente eficaces en la absorción de frecuencias bajas (Cobo P.P., 2015).

En cuanto a la configuración de los poros, estos pueden ser abiertos o cerrados, siendo los de poro abierto más eficientes para la absorción del sonido. Según Áreas y Crocker (2010), los materiales porosos pueden clasificarse como celulares (como las espumas), fibrosos (como las lanas minerales) o granulares (como las granzas de caucho) (Cobo P.P., 2015).

En los absorbentes de tipo resonador, la atenuación del sonido se debe al conocido principio de resonancia de Helmholtz. Estos materiales presentan una absorción concentrada en un rango estrecho de frecuencias, determinado por el volumen de la cavidad y las dimensiones del cuello del resonador. Los paneles microperforados funcionan como un conjunto de resonadores distribuidos que comparten una misma cámara de aire, lo que les permite ampliar el rango de absorción respecto a un solo resonador. Para lograr una absorción más amplia aún, es posible utilizar múltiples capas de estos paneles, formando sistemas multicapa (Cobo P.P., 2015).

### **2.8.2. Materiales aislantes acústicos ecológicos.**

Los aislantes acústicos ecológicos son materiales diseñados para reducir la transmisión de sonidos entre espacios, mientras que minimizan el impacto ambiental. En las últimas décadas, la construcción y el diseño de espacios interiores ha evolucionado hacia un enfoque más sostenible, lo que ha impulsado la búsqueda de soluciones más verdes para el aislamiento acústico. Estos materiales no solo cumplen con la función de aislamiento, sino que también son elaborados con productos naturales, reciclables o de bajo impacto ambiental (Arquitectura Sostenible. (s. f.)).

### **2.8.3 Materiales Comunes en Aislantes Acústicos Ecológicos.**

1. **Cork (Corcho):** El corcho es un material natural y renovable que ofrece excelentes propiedades de aislamiento acústico. Se obtiene de la corteza del alcornoque, un árbol que no necesita ser talado para obtener el corcho, lo que lo convierte en una opción sustentable. Además, es biodegradable y reciclable. (Arquitectura Sostenible. (s. f.) ).
2. **Fibra de Cábano:** El cábano es otro material ecológico que se está utilizando cada vez más en la construcción, incluido el aislamiento acústico. La fibra de cábano es ligera, resistente y tiene propiedades acústicas destacadas. Es una opción favorable para quienes buscan materiales libres de toxinas y sostenibles. (Arquitectura Sostenible. (s. f.)).
3. **Fibra de Coco:** Esta fibra es resistente, ligera y natural. Se utiliza en paneles acústicos que absorben el sonido, y su producción tiene un impacto ambiental relativamente bajo en comparación con los materiales sintéticos(Arquitectura Sostenible. (s. f.)).
4. **Lana de Oveja:** La lana de oveja es un material que no solo ofrece un buen aislamiento térmico, sino también acústico. Es biodegradable, renovable y tiene la capacidad de absorber y reducir ruidos de manera efectiva (Arquitectura Sostenible. (s. f.)).
5. **Papel Reciclado y Materiales Compuestos:** Algunos productos acústicos ecológicos están hechos de papel reciclado y otros materiales de deshecho, lo que los hace una opción atractiva para la construcción sostenible. Estos materiales, aunque ligeros, pueden ser muy efectivos en la absorción de sonidos. (Arquitectura Sostenible. (s. f.)).

#### **2.8.4 Beneficios de los Aislantes Acústicos Ecológicos.**

- **Reducción de la huella ambiental:** Los materiales ecológicos son renovables, reciclables o biodegradables, lo que significa que tienen un menor impacto ambiental durante su ciclo de vida (European Acústica. (s. f)).
- **Mejora de la calidad del aire interior:** A menudo, estos materiales no emiten compuestos orgánicos volátiles (COVs) que pueden afectar la salud humana, lo que mejora la calidad del aire en el interior de los edificios (European Acústica. (s. f)).
- **Eficiencia energética:** Además de reducir el ruido, muchos de estos materiales también proporcionan aislamiento térmico, lo que contribuye a una mayor eficiencia energética en los edificios (European Acústica. (s. f)).

**Durabilidad y rendimiento:** Aunque muchos materiales ecológicos son naturales, su rendimiento en términos de aislamiento acústico es comparable al de los materiales sintéticos, y en algunos casos, incluso superior (European Acústica. (s. f)).

Uno de los principales desafíos en el uso de aislantes acústicos ecológicos es la disponibilidad y el costo. Los materiales naturales a menudo tienen un precio más alto que los sintéticos debido a los métodos de producción más laboriosos y a menor escala, es por eso que se buscan alternativas para la realización de este tipo de aislantes, como lo son la implementación de ciertos residuos para poder fabricarlos (European Acústica. (s. f)).

## **2.9 Normativa sujeta a los aislantes acústicos (Internacional y Nacional).**

En el ámbito de la acústica, el aislamiento acústico se refiere a la capacidad de una pared, material o estructura para impedir la propagación de sonidos aéreos o por impacto. Este parámetro se establece para elementos como divisiones, puertas, ventanas o techos ( Svantek. s.f.).

Las normativas de construcción estipulan que los espacios deben diseñarse para proteger a los ocupantes del ruido perjudicial. Por ello, diseñadores y contratistas deben considerar los niveles de ruido definidos en las regulaciones que controlan los decibeles permitidos. Siguiendo estas normativas, las particiones interiores y exteriores, así como otros componentes de la edificación, deben cumplir con ciertos estándares de aislamiento acústico (Svantek .s.f.).

Las normas internacionales más relevantes, que se aplican al aislamiento acústico son, ISO 717 Y ISO 12354 estos son normas internacionales relacionadas con la acústica de edificios y evaluación del aislamiento acústico en edificios y elementos de construcción (Svantek .s.f.).

### **2.9.1 ISO 717.**

Se ocupa específicamente de la evaluación del aislamiento acústico en los edificios y el aislamiento acústico de los elementos de construcción.

Su objetivo y campo de aplicación define magnitudes globales para el aislamiento a ruido aéreo en edificios y elementos de construcción tales como paredes, suelos, puertas y ventanas además de que toma en consideración los diferentes espectros sonoros de la fuente de ruido tales como ruido intenso, en los edificios, ruidos de tráfico exterior al edificio; también proporciona reglas para la determinación de estas magnitudes a partir de resultados de medición realizados en bandas de tercio de octava o de octava de acuerdo a las normas (ISO-717-1:2020).

Las magnitudes globales conforme a esta parte de la norma pretenden clasificar el aislamiento acústico y simplificar la formulación de los requisitos acústicos en los

códigos de edificación. se indica una nueva evaluación única en pasos de 0,1 dB para la expresión de la incertidumbre (excepto para términos de adaptación de espectro).

El valor numérico requerido de estas magnitudes globales se especifica de acuerdo a las diferentes necesidades. Les magnitudes globales se basan en los resultados de mediciones en bandas de tercio de octava u octava (ISO-717-1:2020).

#### **2.9.1.2 ISO 12354.**

Se centra en la determinación de las propiedades acústicas de los edificios en función de las propiedades de los elementos individuales.

El estudio y campo de aplicación de este documento especifica modelos de cálculo diseñados para determinar el aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos adyacentes, haciendo principalmente uso de los datos medidos que caracterizan la transmisión directa o indirecta por los elementos de construcción implicados, así como los métodos teóricamente derivados de las propagaciones del sonido y elementos estructurales. (ISO-12354-1:2018).

#### **Normativa acústica nacional.**

En México existen normas las cuales determinan los niveles de ruido ambiental que se son empleadas para controlar un nivel, estas normas las normas más destacadas se muestran a continuación

#### **2.9.2 NOM-AA-62-1978.**

El objetivo de esta norma es establecer los procedimientos de campo para determinar el ruido ambiental producidos por contribuciones relativas de diversas fuentes y las acciones reverberantes y amortiguadoras de los pavimentos edificios, vegetación y otros obstáculos en la trayectoria de dispersión Sonora (Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. (1978)).

Esta norma sirve para evaluar el ruido que está presente durante largo tiempo en áreas definidas, bajo condiciones y variabilidad diversa, esta nos permite establecer una correlación entre los efectos de diversas fuentes contribuyentes y el ambiente en el área de estudio de tal manera que los valores medidos corroboren los valores predecibles a partir de modelos de simulación.

Los métodos que se describen en esta norma se deben emplear sólo en casos de que se requiere realizar trabajos ambientales en un punto determinado sobre el monitoreo de ruido en dicha área su variabilidad en tiempo y espacio los hace poco confiables para los efectos de planificación en ningún caso deberá usarse para mediciones de ruido en fuentes específicas (Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. (1978)).

#### **2.9.2.1. NOM-081-SEMARNAT-1994.**

(Antes NOM-081-ECOL-1994) Esta norma establece los **límites máximos permisibles de emisión de ruido de fuentes fijas** y detalla el método de medición para evaluar el cumplimiento de esos límites. Su objetivo es regular los niveles de ruido generados por **fuentes fijas** (como fábricas, talleres o establecimientos comerciales) para prevenir y controlar la contaminación acústica en las áreas circundantes (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (1995)). Esta norma aplica a todas las actividades que generen ruido por fuentes fijas y que puedan afectar la tranquilidad de las zonas habitadas durante ciertas horas del día.

En la tabla 3, se muestra a manera de resumen los límites permisibles de ciertas zonas y los límites máximos permisibles de dB en cada una de ellas, donde se muestran los lugares habitables en ciertas horas y los decibels máximos en esas horas.

Tabla 3.Límites máximos permisibles en zonas habitables.

<b>Zona industrial</b>	<b>Zona comercial</b>	<b>Zona habitacional</b>	<b>Zona habitacional con hospitales</b>
<b>Día (6:00 a 22:00): 68 dB(A)</b>	Día: 65 dB(A)	Día: 55 dB(A)	Día: 50 dB(A)
<b>Noche (22:00 a 6:00): 65 dB(A)</b>	Noche: 62 dB(A)	Noche: 50 dB(A)	Noche: 45 dB(A)

Para realizar estas mediciones, se utiliza un sonómetro calibrado, las mediciones se realizan en el exterior de las instalaciones emisoras de ruido y se deben tomar varias lecturas en diferentes horarios, considerando el nivel ambiental de fondo para evitar sesgos.

También, las empresas responsables de las fuentes fijas, deben garantizar que sus emisores de ruido no superen los límites establecidos y también deben implementar medidas de control acústico, esto en caso de exceder los límites permisibles. (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (1995)).

En general, esta norma busca promover un ambiente sano y proteger la calidad de vida de la población al minimizar la contaminación acústica en las zonas urbanas y rurales.

### **2.9.2.2 NOM-011-STPS-2001.**

La NOM establece las condiciones de seguridad e higiene necesarias en los centros de trabajo donde los empleados puedan estar expuestos a un ruido, que por su

intensidad característica o duración puedan causar daños a la salud. publicada en el diario oficial de la federación en el 2002, esta norma busca prevenir problemas como pérdida auditiva y otras alteraciones relacionadas con la exposición prolongada del ruido (Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2001)).

En esta norma se exponen los límites máximos de exposición, los cuales para una jornada laboral de 8 horas, son un máximo de 85 dB y en caso de estar en una exposición mayor a esta se requiere aplicar medidas de mitigación. La exposición máxima permitida sin el uso de equipo de protección auditiva es de 105 dB (Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2001)).

En esta norma las obligaciones del patrón son, realizar la evaluación de ruido en áreas de trabajo con niveles de ruido iguales o superiores a 80 dB, implementar programas de conservación auditiva que incluya exámenes médicos regulares y capacitación para los empleados, promover equipos de protección personal adecuados como tapones auditivos y orejeras y por ultimo informar a los trabajadores sobre los riesgos de exposición al ruido y capacitarlos para minimizar daños.

Los centros de trabajo deberán contar con medidas de prevención, las cuales son:

- Uso de sonómetro normalizados para medir niveles de ruido en los lugares de trabajo y asegurar que se someten a dB que la norma muestra como seguros.
- Instalación de barreras acústicas o reubicación de fuentes de ruido.
- Proporción de descanso regulares en zonas con niveles de ruidos bajos.

También se deben incluir programas de conservación de la audición, los cuales deben incluir monitoreo constante, ajuste en medidas de control y evaluación médica de los trabajadores.

Cumplir con esta normativa no sólo es un requisito legal, sino que también benefician los trabajadores al proteger su salud y al empleador al reducir los costos relacionados con enfermedades laborales y mejorar el ambiente laboral (Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2001)).

### **2.10. Sonómetro.**

Un sonómetro se puede definir como un dispositivo diseñado para medir el nivel de presión sonora, el cual está constituido de tres secciones principales: el micrófono, el amplificador e indicador de nivel de potencia. Dependiendo del objetivo de las mediciones existen cuatro tipos de sonómetros, estos pueden ser de tipo cero, los cuales son sonómetros de patrones, puede ser tipo uno que son sonómetros de presión, pueden ser de tipo 2 los cuales son de presión y de uso general o también pueden ser de tipo 3 los cuales son de inspección. El sonómetro mide exclusivamente niveles de presión Sonora. su unidad de procesado permite realizar medidas globales, o bien por bandas de frecuencia con diferentes respuestas temporales (respuestas fast, slow, impulse o peak). por otro lado, con el fin de reducir al máximo las posibles diferencias entre mediciones efectuadas con sonómetros de distintas marcas y modelos, existen normas internacionales a las que se deben ceñirse los fabricantes de tales instrumentos (Hernández Juárez J.R(2009)).

#### **Su funcionamiento es el siguiente:**

Primero, la señal que es entregada por el micrófono y a condicionada por el preamplificador pasa por una serie de circuitos amplificadores para acomodar el rango de lectura con los niveles a medir, y posteriormente pasa a la red de ponderación. estas redes de ponderación se introducen para que el sonómetro tenga una respuesta de frecuencia similar del oído humano para cada frecuencia, y se corresponden con las curvas de igual nivel de sonoridad o curvas isofónicas.

La escala de indicador de nivel de potencia está en decibeles: 0 decibeles corresponde a un cambio de presión de aire de  $20 \mu\text{ Pa}$  y 120 dB equivale a un cambio de 20 pascuales.(Hernández Juárez J.R(2009))

### 2.10.1 Método del tubo de onda estacionaria.

El tubo de onda estacionaria es un cilindro recto, generalmente fabricado en metal o plástico, diseñado para evaluar la absorción acústica de distintos materiales. Su estructura consta de un altavoz en un extremo y una muestra fijada en el otro, permitiendo la propagación de ondas sonoras dentro del tubo de manera rectilínea y amplificada.

Estas ondas se consideran estacionarias, ya que los puntos de máxima y mínima presión sonora se distribuyen de forma alterna sobre la superficie del material en prueba. La variación entre estos valores se mide mediante un sonómetro móvil, lo que permite determinar el comportamiento acústico del material analizado.

Este procedimiento se rige por la norma GB/T 19696.1-2004, utilizada para la evaluación de los decibeles absorbidos o el coeficiente de absorción acústica. En la Ilustración 8, se presenta un diagrama del tubo de onda estacionaria, detallando sus componentes principales.

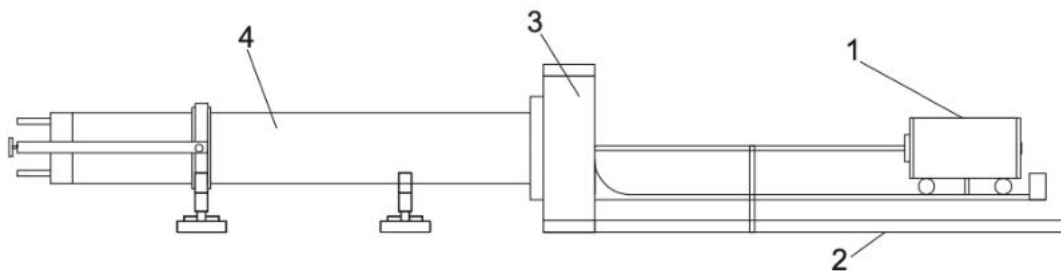


Ilustración 6. Tubos de ondas estacionarias para medir la absorción acústica. (1) Vehículo de ensayo; (2) raíles; (3) fuente sonora; y (4) tubos de ondas estacionarias (para ensayos de baja y alta frecuencia)(Chen, X, 2023).

En 1980, Chung y Blaser desarrollaron un método para medir el coeficiente de absorción utilizando la función de transferencia en tubos de impedancia con dos micrófonos. A diferencia del método tradicional de onda estacionaria, donde se

emplea un micrófono deslizante, este enfoque sustituye dicho micrófono por dos micrófonos fijos en la pared del tubo.

El procedimiento consiste en generar ondas planas dentro del tubo mediante una fuente sonora. La presión acústica se mide con dos micrófonos ubicados cerca de la muestra de ensayo, permitiendo así determinar la función de propagación del sonido a partir de las señales obtenidas. Con estos datos, se calcula de manera precisa el coeficiente de absorción normal incidente y la impedancia superficial del material analizado. Según Chen (2023), la función de transferencia es un método más eficiente y avanzado que el método de onda estacionaria.

Para el desarrollo del presente estudio, se ha optado por emplear el tubo de onda estacionaria con el propósito de evaluar la capacidad de distintos materiales para reducir la propagación del sonido. El procedimiento consiste en generar ondas acústicas de frecuencia conocida en un extremo del tubo y medir las ondas reflejadas o transmitidas a través del material aislante colocado. La diferencia en la intensidad de las ondas permite calcular el nivel de atenuación acústica, determinando así el desempeño del material como aislante sonoro.

## **Capítulo 3**

### **Planteamiento del problema**

#### **3.1. Identificación**

En México, los residuos de jardinería representan una gran cantidad de deshechos que, en su mayoría, no reciben un tratamiento adecuado y son gestionados de manera ineficiente. Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), estos residuos están compuestos principalmente por hojas secas, ramas, césped y otras plantas. La falta de un manejo eficiente provoca que la mayor parte de estos materiales sean enviados a vertederos o quemados, generando un impacto ambiental negativo y desaprovechando recursos con gran potencial de reutilización.

Lejos de ser considerados deshechos sin valor, los residuos de jardinería contienen celulosa, un material con múltiples aplicaciones. Sin embargo, la falta de infraestructura adecuada para su manejo y tratamiento limita su aprovechamiento. Aunque en México se han implementado esfuerzos para mejorar la gestión de residuos sólidos, el reciclaje de los residuos de jardinería sigue siendo insuficiente. Esto no solo contribuye a la contaminación ambiental, sino que también impide el desarrollo de alternativas sostenibles para la fabricación de nuevos productos.

Paralelamente, el crecimiento de las ciudades y el estilo de vida actual han incrementado la contaminación acústica, lo que afecta tanto la salud de las personas como el equilibrio ambiental. En respuesta a esta problemática, diversas investigaciones han explorado el desarrollo de materiales de construcción sostenibles que incorporan materiales reciclados o transformables. En este contexto, el uso de residuos de jardinería como fuente de celulosa para la fabricación de aislantes acústicos representa una solución innovadora y ecológica.

### **3.2 Justificación.**

En la actualidad, la generación de residuos de jardinería representa un desafío ambiental significativo. En México, se estima que diariamente se recolectan aproximadamente 5,281 toneladas de estos residuos, lo que equivale al 5% del total de los desechos urbanos. De esta cantidad, 2,062 toneladas por día corresponden a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (SEMARNAT, 2020).

Una de las estrategias para el manejo de estos residuos es su recolección en plantas de tratamiento, de las cuales existen 44 en todo el país. De estas, 24 están destinadas a procesos de compostaje y biodigestión. Un ejemplo destacado es la planta de composta de Bordo Poniente, que procesa 1,374 toneladas diarias de residuos orgánicos, aunque solo 123 toneladas provienen de restos de poda. A pesar de la existencia de estas plantas, una gran cantidad de residuos de jardinería no recibe un tratamiento adecuado, lo que evidencia la necesidad de buscar alternativas sostenibles para su aprovechamiento. Una opción innovadora es su uso en la fabricación de materiales de construcción, en particular, aislantes acústicos.

Este proyecto propone la utilización de residuos de jardinería como fuente de celulosa, un componente fundamental en la elaboración de materiales con propiedades aislantes. La celulosa extraída de estos residuos permitirá la producción de un material capaz de reducir los niveles de ruido en entornos con alta contaminación acústica. La exposición prolongada a altos niveles de ruido puede tener efectos negativos en la salud, por lo que el desarrollo de soluciones sostenibles y eficientes resulta clave para mejorar la calidad de vida en espacios urbanos.

Con este enfoque, no solo se ofrece una alternativa viable para el manejo de residuos de jardinería, sino que también se promueve el desarrollo de materiales de construcción ecológicos y funcionales.

### **3.3. Alcance.**

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un aislante acústico a partir de residuos vegetales. Para ello, se seguirán una serie de etapas que permitirán cumplir con el propósito principal de la investigación.

En primer lugar, implementar un pretratamiento a los residuos de jardín seleccionados, específicamente césped y hojas. Una vez definidos estos materiales, se investigará una metodología adecuada para la extracción de celulosa a partir de materiales no maderables.

Posteriormente, establecer un proceso experimental basado en la metodología seleccionada, con el fin de obtener el material principal para la fabricación del aislante acústico. A partir de este material, se elaborarán muestras con los tres tipos de residuos definidos.

Finalmente, llevar a cabo pruebas de sonido utilizando el método de tubo de onda estacionaria trabajando por triplicado cada una de las muestras, con el objetivo de evaluar la eficiencia del material obtenido en la absorción acústica y determinar su viabilidad como aislante

## **Capítulo 4**

### **Objetivos**

#### **4.1. Objetivos generales.**

- Elaboración de un aislante acústico ecológico a partir de residuos vegetales.

#### **4.2. Objetivos específicos.**

- Implementar un pretratamiento a los residuos de jardín para obtener el material base del aislante acústico.
- Diseñar el proceso experimental para obtener un material aislante acústico ecológico a partir de residuos vegetales.
- Obtener muestras del material aislante acústico.
- Realizar pruebas de sonido a las muestras del material acústico para verificar su funcionalidad.

## **Capítulo 5**

### **Metodología**

Para esta metodología se implementó el uso de material de laboratorio del Instituto Tecnológico superior del sur de Guanajuato, en Uriangato Guanajuato, por lo cual todo el trabajo elaborado en este proyecto es realizado en el laboratorio de química del área de ambiental, siguiendo cuatro etapas fundamentales para lograr el objetivo de este trabajo.

#### **5.1 Implementar un pretratamiento a los residuos de jardín para obtener el material base del aislante acústico.**

En esta primera etapa, el objetivo es seleccionar los residuos a trabajar y definir un pretratamiento adecuado para su procesamiento. Se seleccionaron el césped y las hojas de árboles para ser analizados en un principio, debido a su abundancia en entornos urbanos y su contenido de celulosa.

Antes de definir los residuos a utilizar, se realizaron pruebas preliminares con diferentes materiales vegetales para evaluar la viabilidad de distintas técnicas de extracción de celulosa. Durante este proceso, se analizaron e investigaron métodos como el de **Jayme-Wise, Kurshner y Hoffner, Cazaurang** (también conocido como método a la sosa), así como procesos con disolventes orgánicos, hidrólisis ácida, hidrólisis enzimática y métodos mecánicos. Tras evaluar las ventajas y limitaciones de cada técnica, se seleccionó el método que requería la menor cantidad de reactivos y que mejor se ajustaba a las condiciones del laboratorio.

#### **5.2 Diseñar un proceso experimental para obtener un material aislante acústico ecológico a partir de residuos vegetales.**

Una vez definidos los residuos a utilizar para la obtención de celulosa y determinado el tratamiento más adecuado, se llevaron a cabo diversas pruebas con los materiales seleccionados (césped fresco, césped seco y hojas). A partir del método

previamente establecido como compatible con las condiciones de trabajo, se analizaron las muestras obtenidas, evaluando su color y consistencia. Estos resultados permitieron establecer un procedimiento experimental base para la extracción de celulosa, siguiendo la metodología de **Jayme-Wise**.

La estrategia adoptada busca optimizar tanto la extracción como la caracterización del material, asegurando su eficiencia y viabilidad para su posterior transformación en un aislante acústico funcional. Dicho proceso se ilustra en la figura 8. Cabe destacar que la metodología fue adaptada para ajustarse mejor a las condiciones del laboratorio y garantizar su aplicabilidad.

1. Se inicio con la obtención de césped fresco y de las hojas de árbol.
2. Posteriormente en el caso de césped fresco y hojas, se lavaron y cortaron, para posteriormente pasarlos a la solución de NaOH al 5% que se preparó.
3. Pasadas las horas de cocción, se procedió al lavado y blanqueamiento de la celulosa obtenida.
4. Una vez obtenida la celulosa, se mezcla con un adhesivo natural preparado y se vierte en moldes, para posteriormente pasar al proceso de secado y lijado de las muestras.
5. Una vez que las muestras están listas, estas se someten a las pruebas de sonido.

Para el caso del césped seco, como se prepara mediante un proceso mecánico, lo primero es secar el césped, para poder ser triturado y tamizado, para obtener un polvo fino que se pueda mezclar con el adhesivo y posteriormente realizar las muestras, dejarlas secar, lijarlas y realizar las pruebas de sonido.



El proceso para el caso del césped, tal y como puede apreciarse en la *ilustración 8*, se trabajó en dos procesos distintos, uno con método químico empleando la técnica de Jayme-Wise y un proceso mecánico más sencillo para el caso del césped seco, esto con el propósito de analizar el tipo de material que se obtiene con un tratamiento y sin un tratamiento. Para la extracción de celulosa de las hojas, se empleó el método químico trabajado con el césped fresco.

### **5.3 Obtención muestras del material aislante acústico.**

Una vez definido el proceso experimental para la obtención del material base del aislante acústico, se llevó a cabo el tratamiento de hojas, césped fresco y seco para extraer la celulosa. Posteriormente, se procedió a la fabricación de las muestras.

El siguiente paso consistió en determinar el tamaño adecuado de las muestras, tomando como referencia las dimensiones del tubo de onda estacionaria para garantizar su compatibilidad con el equipo utilizado en las pruebas acústicas. Además, se establecieron características específicas, como el espesor y el diámetro, considerando los requerimientos del análisis a realizar y asegurando un adecuado acondicionamiento del material antes de su evaluación.

Con los moldes listos, se obtuvo la cantidad necesaria de celulosa para la fabricación de aproximadamente 18 muestras. Para ello, se preparó una mezcla homogénea combinando la celulosa con el adhesivo mediante un proceso de mezclado. Posteriormente, la mezcla fue moldeada y sometida a un proceso de secado bajo condiciones controladas, asegurando así su estabilidad y preparación para el análisis de su capacidad de atenuación del ruido.

### **5.4 Realización pruebas de sonido a las muestras del material acústico para verificar su eficiencia.**

Para evaluar la capacidad de atenuación del material desarrollado, se empleó un prototipo basado en el del tubo de onda estacionarias, con el fin de verificar el

comportamiento del material como aislante acústico. Se analizaron las 18 muestras fabricadas con diferentes tipos de celulosa:

- Césped fresco: 3 muestras de 1 cm y 3 de 2 cm de espesor.
- Césped seco: 3 muestras de 1 cm y 3 de 2 cm de espesor.
- Hojas: 3 muestras de 1 cm y 3 de 2 cm de espesor.

El punto clave fue realizar las pruebas por triplicado para garantizar la repetibilidad de los resultados, realizando también un blanco intermedio en cada repetición de estas muestras.

#### **Procedimiento de realización de las pruebas.**

- **Colocación de la muestra:** se debe situar la muestra entre las bridas B1 y B2 como se observa en la ilustración 9.
- **Instrumentación:** En la parte media del tubo se colocó un sonómetro, en la Ilustración 9 se aprecia S el cual representa al sonómetro, con el cual se detectara la reducción de decibeles (dB). Este dispositivo debe estar conectado a C2 , en la cual se registran los valores obtenidos.
- **Generación de sonido:** A través C1, se reprodujeron frecuencias específicas (100 Hz, 250 Hz, 450 Hz, 650 Hz, 850 Hz, 1050 Hz y 1250 Hz) utilizando el software Audacity. Esta computadora estuvo conectada a una bocina (F) , ubicada al inicio del tubo.
- **Registro de mediciones:** La prueba se llevó a cabo en tres fases:
  - 30 segundos sin frecuencia (solo ruido del ambiente)
  - 30 segundos de la frecuencia establecida.

Antes de cada prueba con material, se realizó una medición de referencia o “blanco” sin muestra, lo que permitió posteriormente comparar los resultados y calcular la reducción total de dB atribuida al material aislante. Mediante este procedimiento es que se permitió analizar la eficacia acústica de cada muestra y comparar su desempeño en la absorción del sonido.

Continuación en la ilustración 8, se muestra el prototipo basado en el tubo de ondas estacionarias, el cual fue empleado para verificar el comportamiento del material como aislante acústico.

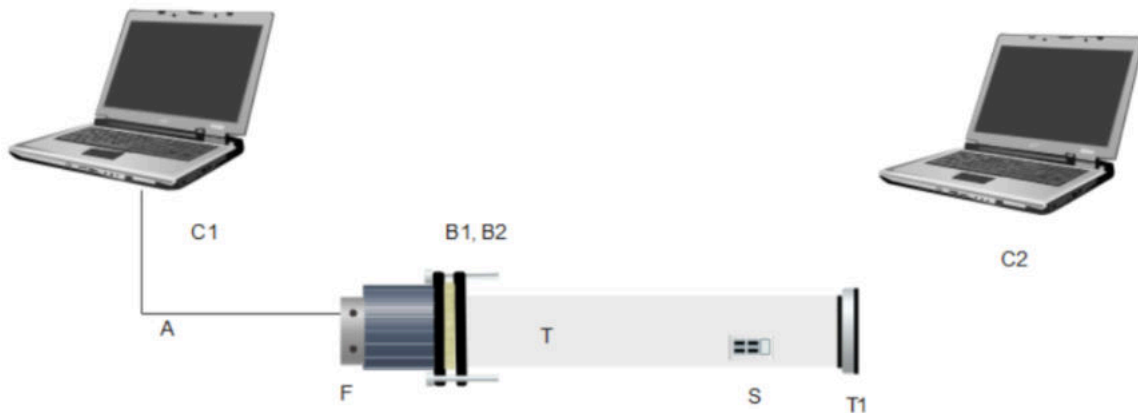


Ilustración 8. Prototipo para verificar el comportamiento del material como aislante acústico (C1-computadora 1, C2-computadora 2, A cable auxiliar de audio, B1-B2- bridas, F-fuente de sonido, S-sonómetro, T-tubo pvc, T1- tapa de tubo de pv

## Capítulo 6

### Resultados

#### 6.1 material base del aislante acústico.

El primer paso del proceso consistió en la selección y pretratamiento de los residuos de jardinería, determinando que el césped y las hojas eran los materiales más adecuados para la extracción de celulosa. Esta elección se basó en su abundancia en los jardines y en su composición química, que favorece un alto contenido de fibras vegetales. Los residuos fueron recolectados en las instalaciones del ITSUR para su posterior procesamiento, en la ilustración 9 se muestra cada uno de ellos.



Ilustración 9. Residuos seleccionados para extraer la celulosa (Césped seco, césped fresco y hojas).

Una vez definidos los residuos a utilizar, se seleccionó la **técnica de Jayme-Wise** como método principal para la extracción de celulosa. Esta técnica fue elegida por su eficacia en la descomposición de la lignina, lo que facilita la separación de las fibras vegetales y mejora su calidad. El procedimiento fue adaptado para su aplicación en laboratorio, asegurando su viabilidad en condiciones controladas.

Adicionalmente, en el caso del césped seco, se decidió implementar un método mecánico como alternativa. Esto permitirá comparar los resultados obtenidos con

ambos tratamientos y evaluar si la eliminación de lignina contribuye a la mejora de las propiedades acústicas del material aislante.

**6.2. Diseñar un proceso experimental para obtener un material aislante acústico ecológico a partir de residuos vegetales.**

A continuación en la ilustración 10, se muestra el resultado del seguimiento del proceso experimental que se llevó a cabo para el césped fresco con el tratamiento químico planteado como metodología a emplear.

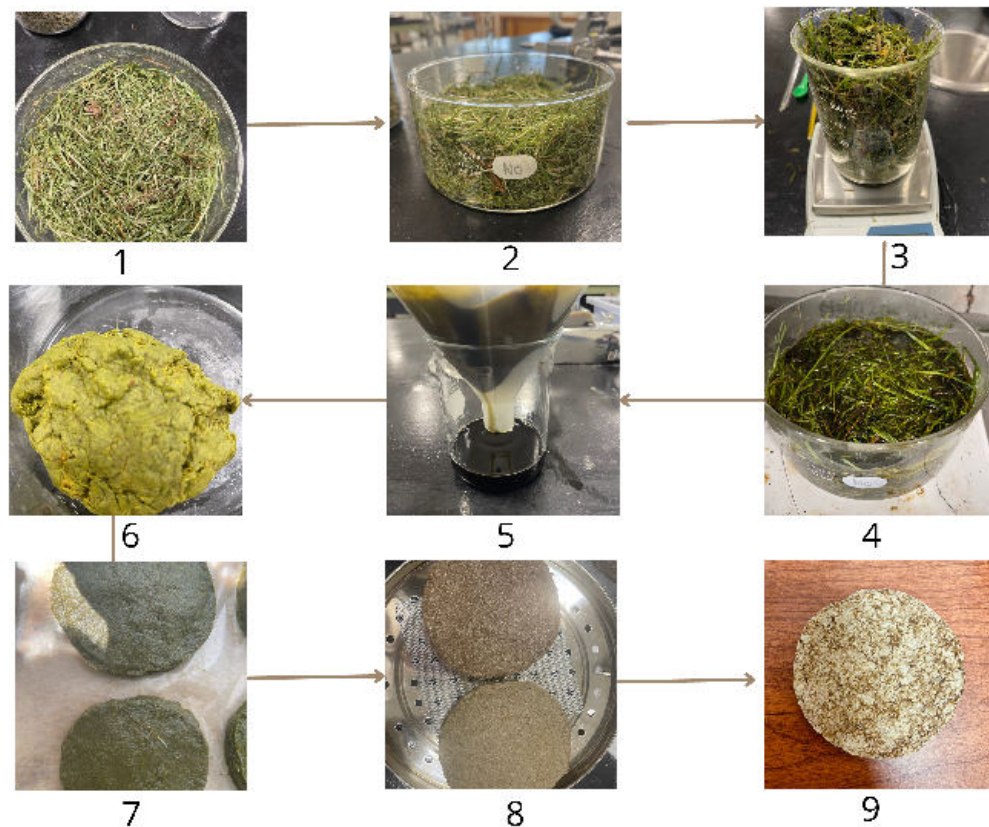


Ilustración 10. Proceso aplicado para el tratamiento del césped fresco.

Este método nos dio como resultado una pasta un poco fibrosa y con una textura similar al papel, por lo que se considera para este caso una muy buena consistencia para trabajar.

A continuación en la ilustración 11, Se muestran los resultados que se obtuvieron al aplicar la metodología mecánica, en donde podemos apreciar que el color del material obtenido es más oscuro comparado con el anterior.

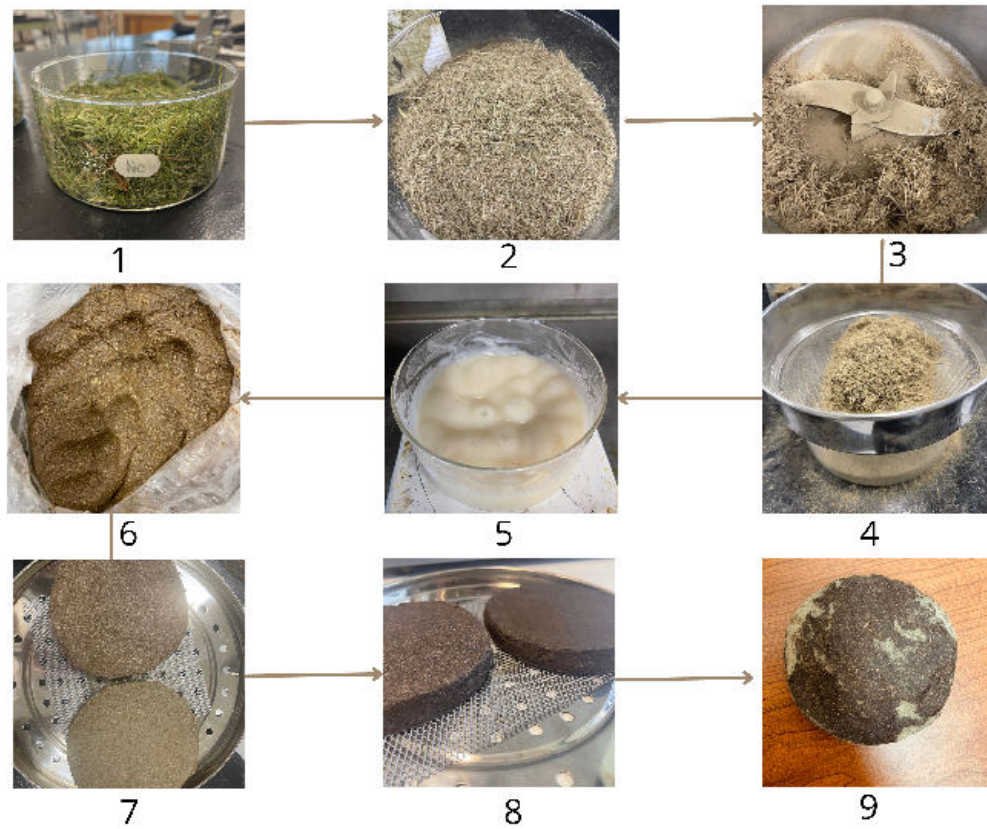


Ilustración 11. Proceso aplicado para el tratamiento de césped seco.

A continuación en la ilustración 12, se muestra el proceso realizado para la obtención de la celulosa extraída de las hojas, esto mediante un procedimiento químico.

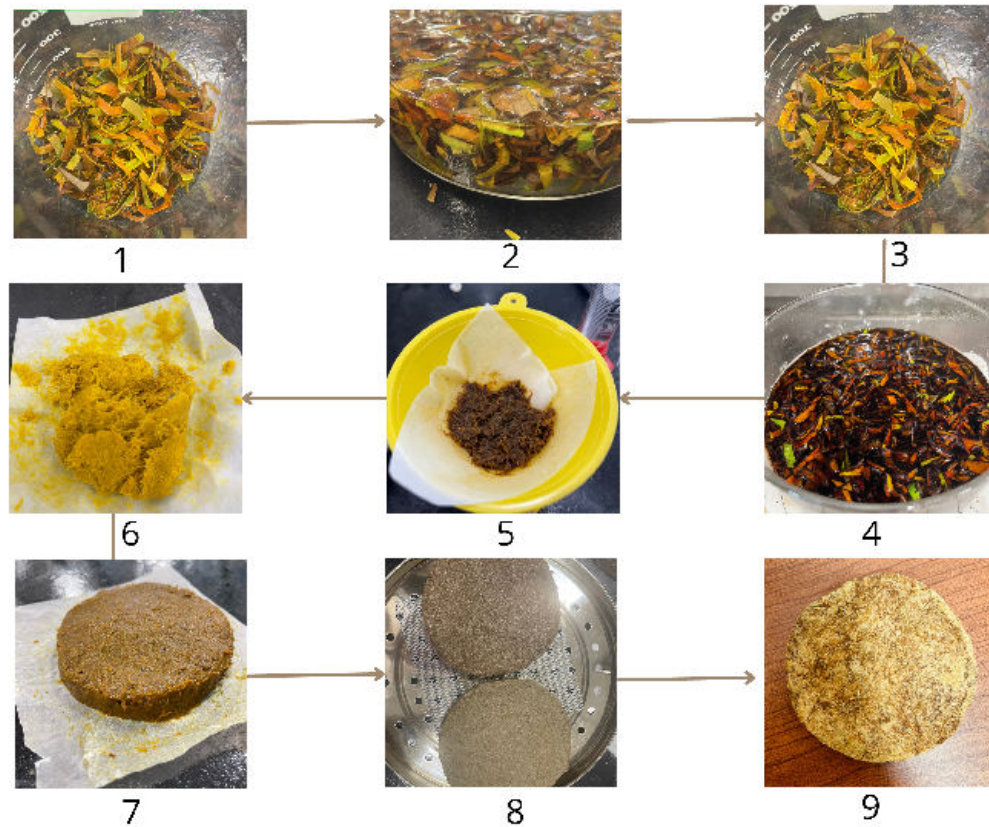




Ilustración 12. Proceso de elaboración de material aislante de hojas.

### **6.3. Obtención muestras del material aislante acústico.**




Tras seguir los pasos establecidos en el diseño del proceso experimental para cada uno de los materiales, se logró la fabricación de 18 muestras de aislante acústico. A continuación en la **Tabla 4** y **tabla 5** se presentan los resultados obtenidos, donde se especifican las medidas, espesores y texturas de las muestras elaboradas a partir de los residuos de jardinería seleccionados.

Tabla 4 Muestras de césped, césped seco y hojas obtenidas y sus características de cada muestra.

	Muestra de césped fresco	Características: <ul style="list-style-type: none"><li>• 1cm de espesor.</li><li>• Diámetro de 10 cm.</li><li>• Rugosidad media.</li><li>• Muestras realizadas por triplicado.</li></ul>
	Muestra de césped seco sin tratamiento químico.	Características: <ul style="list-style-type: none"><li>• 1cm de espesor.</li><li>• Diámetro de 10 cm.</li><li>• Rugosa.</li><li>• Muestras realizadas por triplicado.</li></ul>
	Muestra obtenida de hojas.	Características: <ul style="list-style-type: none"><li>• 1cm de espesor.</li><li>• Diámetro de 10 cm.</li><li>• Rugosidad media lisa.</li><li>• Muestras realizadas por triplicado.</li></ul>

Posteriormente en la tabla 5, se muestran los resultados que se obtuvieron para las muestras realizadas con un espesor de 2cm.

Tabla 5. Muestras de césped fresco, césped seco y hojas, obtenidas y sus características.

	<p>Muestra de césped fresco</p>	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 2cm de espesor.</li><li>• Diámetro de 10 cm.</li><li>• Textura media rugosa.</li><li>• Muestras realizadas por triplicado.</li><li>• Color claro.</li></ul>
	<p>Muestra de césped seco sin tratamiento químico.</p>	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 2cm de espesor.</li><li>• Diámetro de 10 cm.</li><li>• Textura rugosa.</li><li>• Muestras realizadas por triplicado.</li><li>• Color fuerte.</li></ul>
	<p>Muestra obtenida de hojas.</p>	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 2cm de espesor.</li><li>• Diámetro de 10 cm.</li><li>• Rugosidad media lisa.</li><li>• Muestras realizadas por triplicado.</li><li>• Color claro.</li></ul>

Como se puede observar en las imágenes de ambas tablas, las muestras obtenidas presentan diferencias en color y textura. Estas variaciones pueden deberse a las

propiedades de los residuos utilizados para la extracción de celulosa, ya que cada material posee características físicas distintivas. Estas diferencias son visibles a simple vista, lo que sugiere que la composición y el tratamiento aplicado influyeron en el aspecto final de las muestras.

#### **6.4 Realización pruebas de sonido a las muestras del material acústico para verificar su eficiencia.**

Para evaluar la capacidad de aislamiento acústico de las muestras fabricadas, se realizó un procedimiento estandarizado utilizando el tubo de onda estacionaria. Como primer paso, se llevó a cabo una prueba en blanco, en la que se registraron los niveles de sonido ambiental y de la señal acústica generada.

**Esta prueba consistió en tres fases:** 30 segundos de medición del sonido ambiental, la cual llamaremos base, 30 segundos con la emisión de la frecuencia llamada ruido, mediante el software Audacity y, finalmente, otros 30 segundos de sonido ambiental tras la interrupción de la señal.

Posteriormente, se repitió este procedimiento con las muestras de aislante acústico colocadas en el tubo, siguiendo la misma metodología. Se realizaron tres mediciones independientes para cada tipo de muestra, estas fueron obteniendo así un conjunto de datos replicados. Con los valores registrados, se calcularon los promedios del nivel de ruido en las pruebas en blanco y con las muestras aislantes, lo que permitió determinar la atenuación en decibeles (dB) proporcionada por cada material.

En las tablas 6 y 7 se presenta la reducción promedio del sonido, calculada a partir de los valores promedio de la base y el ruido tanto de las muestras como de sus respectivos blancos. Para obtener este resultado, primero se determinó la diferencia entre la base y el ruido en cada caso, y posteriormente se restó la diferencia obtenida en los blancos de la correspondiente a las muestras. Este procedimiento permitió calcular la reducción promedio del sonido para cada muestra de manera

precisa, en el anexo 1 y 2, se muestra de una manera más detallada, las operaciones realizadas para la obtención promedio de dB reducidos para cada una de las muestras realizadas.

Tabla 6.. Resultados promedio de dB disminuidos en las pruebas de sonido realizadas a las muestras de 1cm de espesor obtenidas.

Frecuencias	Promedios		
	Césped	Césped sin tratamiento	Hojas
100 Hz	17.42 dB	51.23 dB	33.91 dB
250 Hz	22.65 dB	23.99 dB	22.57 dB
450 Hz	10.32 dB	5.95 dB	15.01 dB
650 Hz	24.07 dB	20.52 dB	29.61 dB
850 Hz	32.16 dB	42.62 dB	37.67 dB
1050 Hz	37.86 dB	48.45 dB	45.35 dB
1250 Hz	24.17 dB	25.74 dB	22.79 dB

Tabla 7. Resultados de los promedios obtenidos de dB, realizados de las muestras de 2cm.

Frecuencias	Promedios		
	Césped	Césped sin tratamiento	Hojas
100 Hz	35.26 dB	37.64 dB	33.56 dB
250 Hz	26.64 dB	33.21 dB	29.50 dB
450 Hz	35.21 dB	35.98 dB	25.98 dB
650 Hz	31.34 dB	35.84 dB	17.76 dB
850 Hz	43.40 dB	32.39 dB	39.14 dB
1050 Hz	48.14 dB	40.78 dB	25.87 dB
1250 Hz	25.32 dB	32.26 dB	25.69 dB

En las tablas 8 y 9 que se muestran a continuación, se puede apreciar el porcentaje de reducción de sonido para cada una de las muestras realizadas de 1 cm y 2 cm.

Tabla 8. % de reducción promedio de sonido

% de reducción promedio de sonido 1cm			
Frecuencias	Césped	Césped sin tratamiento	Hojas
100 Hz	23%	67%	44%
250 Hz	29%	31%	29%
450 Hz	14%	8%	21%
650 Hz	32%	27%	39%
850 Hz	41%	55%	48%
1050 Hz	49%	63%	59%
1250 Hz	33%	35%	31%

Tabla 9. % de reducción de sonido en muestras de 2cm

% de reducción promedio de sonido			
Frecuencias	Césped	Césped sin tratamiento	Hojas
100 Hz	47%	50%	41%
250 Hz	34%	43%	38%
450 Hz	45%	46%	33%
650 Hz	43%	49%	24%
850 Hz	56%	42%	51%
1050 Hz	66%	56%	41%
1250 Hz	34%	44%	35%

## **Capítulo 7**


### **Análisis de Resultados**

A continuación en la tabla 10, se presentan las muestras obtenidas a partir de los residuos de césped fresco, hojas y césped seco procesados mediante el método mecánico.

Se observa que cada muestra presenta un color característico, determinado tanto por el tipo de residuo utilizado como por el método de procesamiento aplicado. En el caso de las muestras de césped sin tratamiento, el color es más oscuro, ya que este material no fue sometido a un proceso de blanqueamiento debido a las condiciones de la técnica utilizada. Por otro lado, las muestras de césped y hojas procesadas mediante la extracción de celulosa presentan un tono más claro, similar al papel de escritura, debido a la aplicación del proceso de blanqueamiento.

En cuanto a la forma, se notó que las muestras tienden a deformarse ligeramente durante el secado al aire libre, a pesar de haber sido moldeadas. Esto puede atribuirse a la compactación del material durante su fabricación. Sin embargo, todas las muestras conservan una superficie mayormente plana y cumplen con los espesores definidos de 1 cm y 2 cm, los cuales fueron establecidos para el análisis acústico.

Tabla 10. Muestras obtenidas.

Muestra de césped fresco 1 cm	Muestra de hojas 1 cm	Muestras de césped seco 1 cm
		
Muestras de césped fresco 2 cm	Muestras de hojas 2 cm	Muestras de césped seco 2 cm
		

**7.2 Realización pruebas de sonido a las muestras del material acústico para verificar su eficiencia.**

En el siguiente gráfico se presenta la reducción promedio del sonido obtenida en las muestras de césped fresco tratadas químicamente. Se observa que no hay una variación significativa entre los datos obtenidos para las muestras.

Sin embargo, se identifican regiones específicas con mayor reducción de decibeles (dB). La mayor atenuación se registra en la frecuencia de 1050 Hz, con una

reducción promedio de 37.86 dB, que representa el 49% de reducción. Le sigue la frecuencia de 850 Hz, donde se obtuvo una disminución de 32.16 dB, representando el 41% ,lo que indica una reducción significativa en estas bandas de frecuencia.

Por el contrario, en la frecuencia de 450 Hz, el material no mostró una reducción efectiva del sonido, lo que sugiere que su capacidad de absorción acústica es menor en esta región del espectro, logrando reducir solo el 14%.

Al comparar ambas muestras realizadas (a y b) ,podemos apreciar que existen diferencias en ambas, aunque las muestras de cada material mostraron resultados diferentes, si se analizan por los puntos más altos, las muestras de 2cm demuestran tener una disminución mayor del sonido.

En conclusión, las muestras demostraron una buena capacidad de reducción de dB en 850 Hz y destacaron especialmente en 1050 Hz con la disminución del 49%, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en estas frecuencias.

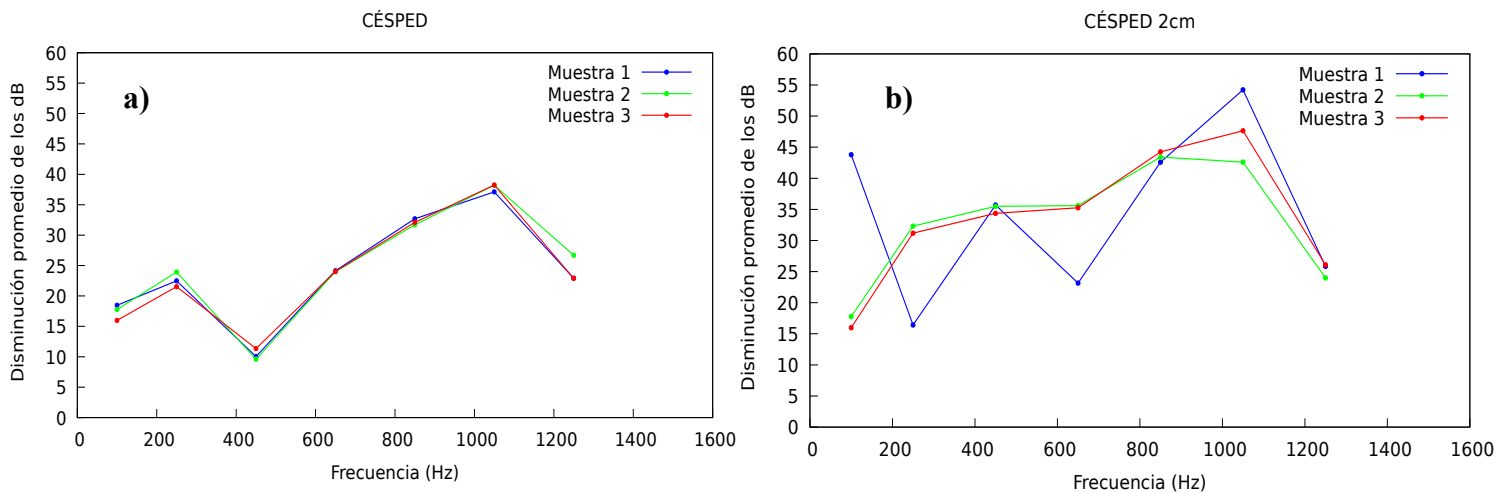


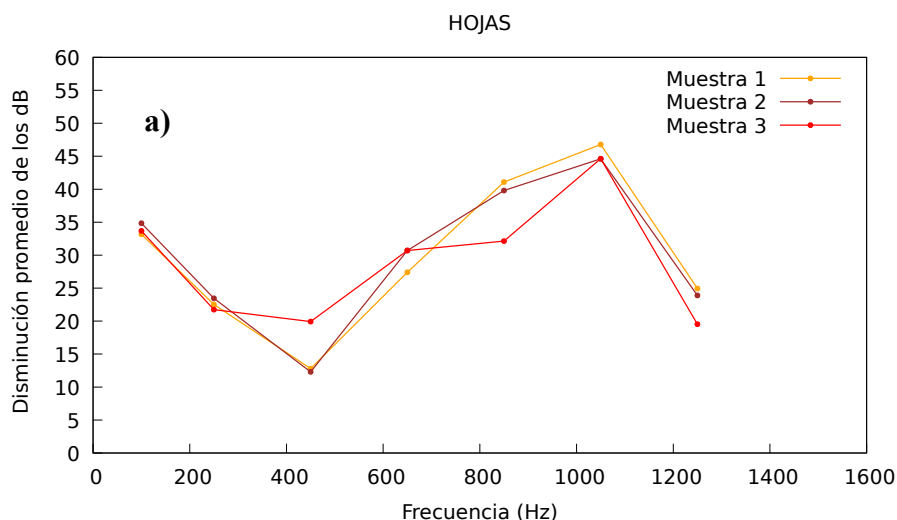
Ilustración 13.Reducción promedio de sonido en a) muestra de césped 1cm y b)muestra de césped 2cm.

A continuación en la Ilustración 14, se presentan las gráficas de disminución promedio de dB para las muestras de 1 y 2cm elaboradas con hojas. En este caso, se observa una variación considerable entre las diferentes muestras de 1cm.

Sin embargo, al igual que en los análisis previos, las muestras fabricadas con hojas destacan en la frecuencia de 1050 Hz con 45.35 dB, marcando un 59% de disminución en el caso de las de 1cm, mientras que las de 2cm destacaron el 850 Hz con 39.14 dB, representando un 51% , donde se obtuvo una reducción promedio de 45.35 dB, seguida de la frecuencia de 1050 Hz, con una disminución de 25.87dB representando un 41% de reducción .

Por otro lado, al igual que en los casos anteriores, en la frecuencia de 450 Hz, se reporta el porcentaje más bajo de reducción de las muestras con un 21%, lo que indica una menor capacidad de absorción acústica en esa región del espectro.

Estos resultados refuerzan la tendencia observada en las demás muestras, mostrando que el material es más efectivo en la absorción del sonido en las frecuencias 850 Hz y 1050 Hz.



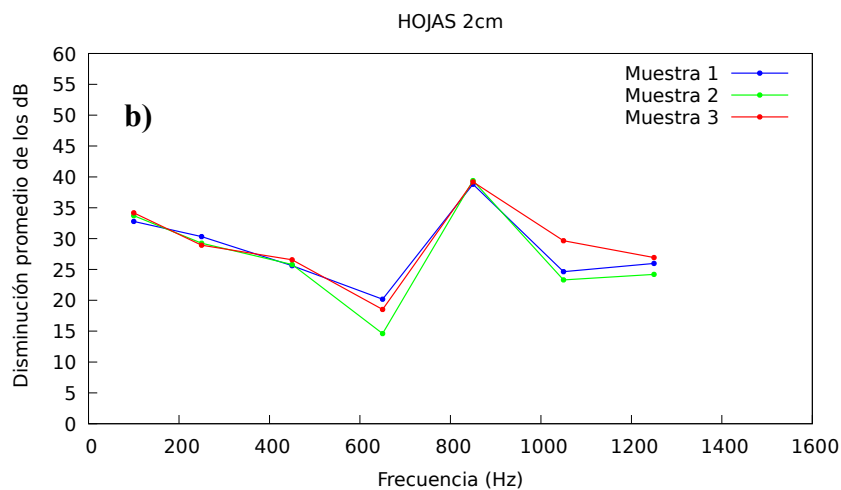
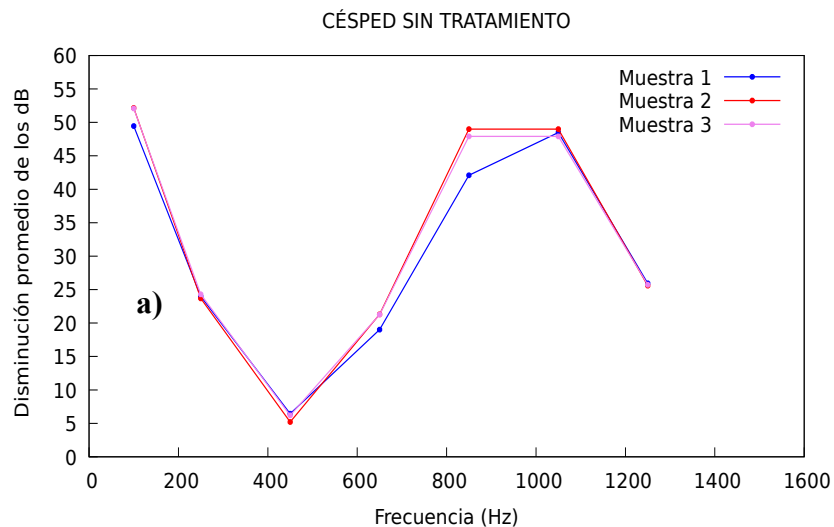


Ilustración 14. Reducción promedio de sonido para las muestras de hojas de **a)** 1cm y **b)** 2cm

El análisis de las pruebas realizadas en las muestras de césped seco revela que estas destacan en términos de reducción promedio de sonido, tal y como se puede observar en la ilustración 15. La mayor disminución se registró en **100 Hz**, con un promedio de **51.23 dB (67%)** , seguido de **1050 Hz**, con **48.45 dB** representando el 63%.

Por otro lado, la menor reducción se observó en **450 Hz (8%)** para las muestras de 1cm, y para el caso de las de 2cm el promedio más bajo se encontró en 850 Hz (42%).



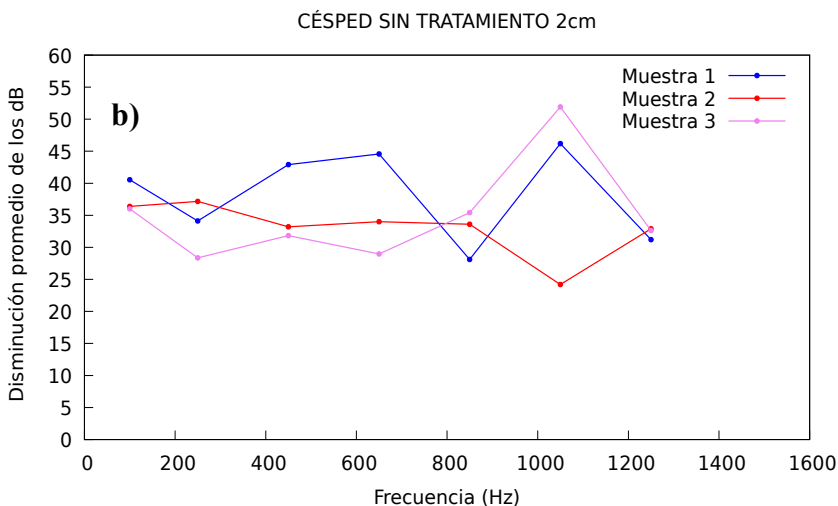


Ilustración 15.Reducción promedio de sonido en muestras de césped seco sin tratamiento de a) 1cm y b) 2cm.

A continuación en la Ilustración 16, se presentan los promedios generales de las tres muestras analizadas (césped, hojas y césped seco). Al realizar un análisis individual de cada tipo de residuo, se observó que en el caso del césped existe un incremento en la atenuación del sonido (expresada en dB disminuidos) conforme aumenta el espesor de las muestras.

Por otro lado, en las muestras de hojas se registraron aumentos en ciertas frecuencias, aunque no en la magnitud esperada. Esto podría atribuirse a la presencia de fisuras no visibles en las muestras, que pudieron afectar los resultados de las pruebas, o a la influencia de ruido ambiental durante la medición.

En el caso del césped sin tratamiento, los resultados obtenidos tampoco fueron los esperados. Sin embargo, en comparación con las muestras de 1 cm de espesor, las de 2 cm mostraron un aumento considerable en regiones donde previamente se había registrado una menor atenuación del sonido.

Además, se calculó la desviación estándar en estas pruebas. Se considera que una desviación estándar baja indica un comportamiento estable y predecible del material. En contraste, una desviación estándar alta sugiere que el material presenta

propiedades heterogéneas o que existen variaciones en los métodos de medición que afectan la consistencia de los resultados.

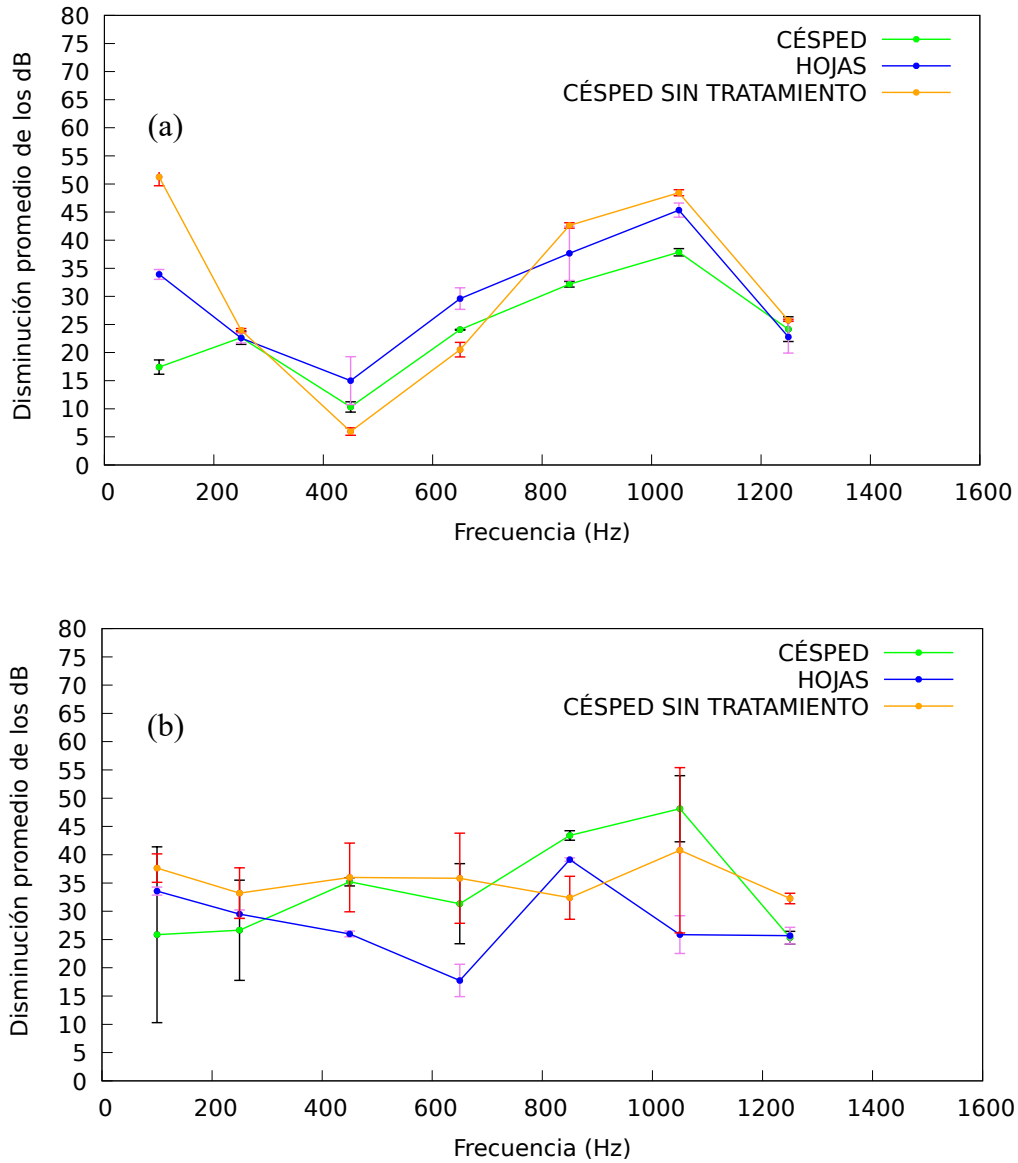


Ilustración 16. Reducción promedio de muestras de césped, hojas y césped seco con longitudes iniciales de (a) 1 cm y (b) 2 cm.

A continuación en la **tabla 11**, se presenta una comparación de las muestras del aislante con dos espesores analizados, mostrando los resultados promedio de disminución de decibelios (dB) obtenidos en las pruebas acústicas resaltados en amarillo, dando un resumen de cada muestra.

En el caso del césped fresco, se observa que al aumentar el espesor del material, tal como se esperaba, también se incrementa la reducción promedio de dB. Los resultados más destacados se obtuvieron en las frecuencias de 1050 Hz, 850 Hz y con un aumento considerable en 450 Hz.

Para el césped sin tratamiento químico, los resultados indican que las muestras con 1 cm de espesor presentaron un mejor desempeño en la atenuación del sonido, especialmente en las frecuencias de 100 Hz, 1050 Hz y 850 Hz. Estas muestras alcanzaron una disminución promedio de hasta 51.23 dB, superando al resto en eficacia acústica.

En cuanto a las hojas, se identificó que en algunas frecuencias, como 650 Hz y 250 Hz, las muestras con 2 cm de espesor mostraron una menor reducción de dB en comparación con las de menor espesor. Sin embargo, al igual que las muestras de césped, estas también destacaron en la frecuencia de 1050 Hz.

Tabla 11. comparación de espesores de muestras.

Frecuencia	Césped 1cm	Césped 2m	Césped sin tratamiento 1cm	Césped sin tratamiento 2cm	Hojas 1cm	Hojas 2cm
100 Hz	17.42 dB	25.85 dB	51.23 dB	37.64 dB	33.91 dB	33.56 dB
250 Hz	22.65 dB	26.64 dB	23.99 dB	33.21 dB	22.57 dB	29.50 dB
450 Hz	10.32 dB	35.21 dB	5.95 dB	35.98 dB	15.01 dB	25.98 dB
650 Hz	24.07 dB	31.34 dB	20.52 dB	35.84 dB	29.61 dB	17.76 dB
850 Hz	32.16 dB	43.40 dB	42.62 dB	32.39 dB	37.67 dB	39.14 dB
1050 Hz	37.86 dB	48.14 dB	48.45 dB	40.78 dB	45.35 dB	25.87 dB
1250 Hz	24.17 dB	25.32 dB	25.74 dB	32.26 dB	22.79 dB	25.69 dB

## Capítulo 8

### Conclusiones y trabajo a futuro

En este trabajo se exploró una alternativa para el aprovechamiento de residuos de jardinería, centrándose en el estudio de dos tipos específicos: césped y hojas. A estos residuos se les aplicó en un primer paso, un tratamiento basado en un diseño experimental que permitió la extracción de celulosa, el cual garantiza su obtención para posteriormente la fabricación de muestras para evaluar su potencial como material aislante.

Las pruebas de sonido demostraron que el material obtenido a partir de estos residuos tiene la capacidad de reducir hasta **50 dB** en frecuencias de **100 Hz** representando un 67% de reducción, además de mostrar un buen rendimiento en **850 Hz y 1050 Hz**, también al comparar las muestras de los dos residuos trabajados, el caso del césped destaca sobre las hojas, esto incluyendo las dos formas de trabajo que se emplearon para el caso del césped. Sin embargo, el análisis de datos también nos indicó que su desempeño no es óptimo en las frecuencias de **450 Hz y 650 Hz**, ya que mostraban un 14% y 41% de reducción promedio, esto considerando las tres muestras lo que sugiere oportunidades de mejora en su composición o procesamiento e incluso en un análisis más profundo.

Para futuras investigaciones, sería fundamental evaluar el comportamiento del material con más espesores y realizar más pruebas en las tres muestras para obtener un análisis más completo de cada una. Además, se recomienda llevar a cabo ensayos adicionales, como pruebas de resistencia mecánica, absorción de humedad y estudios biológicos, con el objetivo de mejorar las propiedades y la eficacia del material desarrollado.

**Referencias bibliográficas.**

1. Aedo, N. (1996). Morfología de una gramínea y leguminosa típica. In I. Ruiz (Ed.), *Praderas para Chile* (2da edición, Vol. 1, pp. 28–39).
2. Andy Huatatocha, L.S (2020) (tesis de licenciatura) “*Elaboración De Papel Artesanal A Base De Los Residuos Vegetales De Los Tallos De Maíz (Zea Mays L) Y Cáscara De Plátano (Musa Paradisiaca L) Utilizando Los Métodos Químicos De Jayme-Wise, Kurshner Y Hoffner*”. Recuperado el (20/02/2024)
3. Arquitectura Sostenible. (s. f.). *Aislantes acústicos sostenibles: Alternativas ecológicas para la construcción*. Recuperado el 5 de marzo de 2025, de <https://arquitectura-sostenible.es/aislantes-acusticos-sostenibles/>
4. Asociación Española de Normalización (UNE). (2018). *UNE-EN ISO 12354-1:2018 Acústica. Evaluación de la emisión acústica de los edificios a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo entre recintos (ISO 12354-1:2017)* (Versión corregida en abril de 2019).
5. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). (s.f.). *Residuos orgánicos: ¿Basura o recurso?* Recuperado el (18/02/2025) , de [https://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/pdfs/vol1num3EE/3\\_RESIDUOS.pdf](https://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/pdfs/vol1num3EE/3_RESIDUOS.pdf).
6. Chacón-Hernández, Pablo Andrés, & Vargas-Rodríguez, Claudio Fabián. (2010). Consumo de Pennisetum purpureum cv. King Grass a tres edades de cosecha en caprinos. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2), 267-274. Retrieved April 09, 2025, from [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1659-13212010000200005&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212010000200005&lng=en&tlng=es).
7. Cobo Parra, P. (2015). *Absorción del sonido: ( ed.)*. Madrid, Spain: Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/itsur/titulos/41809>.

8. European Acústica. (s. f.). *Aislantes acústicos ecológicos: Aislamiento sostenible*. Recuperado el 5 de marzo de 2025, de <https://www.europeanacustica.com/aislantes-acusticos-ecologicos-aislamiento/>
9. García-Estrada, Y., Salgado-García, S., Bolio-López, G. I., Córdova-Sánchez, S., Lagunes-Espinoza, L. C., Falconi-Calderón, R., & Veleva, L. (2017). MÉTODOS PARA EXTRAER CELULOSA DE LA PAJA DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad*, 10(11), 54-59. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/download/65/60/104>
10. González-Rentería, S.M., Soto-Cruz, N.O., Rutiaga-Quiñones, O.M., Medrano-Roldán, H., Rutiaga-Quiñones, J.G., & López-Miranda, J.. (2011). Optimización del proceso de hidrólisis enzimática de una mezcla de pajas de frijol cuatro variedades (Pinto villa, Pinto saltillo, Pinto mestizo y Flor de mayo). *Revista mexicana de ingeniería química*, 10(1), 17-28. Recuperado en 02 de abril de 2025, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382011000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000100003&lng=es&tlng=es).
11. International Organization for Standardization. (2020). *ISO 717-1:2020 Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/77435/1609f1821aa54f128753faa0423d239a/ISO-717-1-2020.pdf>
12. Jiménez-Muñoz, E., Prieto-García, F., Prieto-Méndez, J., Acevedo-Sandoval, O. A., & Rodríguez-Laguna, R. (2017). Obtención de pulpa de celulosa a partir de residuos de *Agave salmiana* B. Otto ex Salm. *Optimización. Dyna*, 84(200), 253-260. [fecha de Consulta 25 de Febrero de 2025]. ISSN: 0012-7353. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49650910031>
13. Macaed. (2007, 14 de julio). *Curso de Papel. Clase 5: Pulpeado Mecánico. CELULOSA & PAPEL*.
14. Moncada Mora, D. C. (2007). *Estudio de hidrólisis con ácido concentrado y baja temperatura para la obtención de azúcares fermentables a partir de los racimos*

- vacíos de los frutos de la palma de aceite* [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio de la Universidad de los Andes.
15. Parracia, A. N. 2012. Césped : principales especies, manejo y métodos de propagación usados en parques y jardines [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/cesped-principales-especies-manejo.pdf> [16/09/2024].
16. Petisco, C., García Ciudad, A., Vázquez de Aldana, B. R., & García Criado, B. (2005). *Determinación de lignina y celulosa en hojas de plantas leñosas mediante NIRS: comparación de métodos estadísticos*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/39579878\\_Determinacion\\_de\\_lignina\\_y\\_celulosa\\_en\\_hojas\\_de\\_plantas\\_lenosas\\_mediante\\_NIRS\\_comparacion\\_de\\_metodos\\_estadisticos](https://www.researchgate.net/publication/39579878_Determinacion_de_lignina_y_celulosa_en_hojas_de_plantas_lenosas_mediante_NIRS_comparacion_de_metodos_estadisticos)
17. Química.es. (s.f.). *Celulosa*. (Recuperado el (20/02/2025) <https://www.quimica.es/enciclopedia/Celulosa.html>
18. Rosales-Castro, M., Honorato-Salazar, J. A., Santos-García, A. B., Pérez-López, M. E., Colotl-Hernández, G., & Sánchez-Monsalvo, V. (2016). Composición química de las hojas y ramas de *Cedrela odorata* L. de dos plantaciones forestales como fuente de materia prima lignocelulósica. *Madera y bosques*, 22(2), 131-146. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221330>
19. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2020*. Gobierno de México. Recuperado el (18/02/2025), de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
20. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (1995). *NOM-081-SEMARNAT-1994: Que establece los límites máximos permisibles de emisión*

## ***Referencias bibliográficas.***

---

- de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.* Diario Oficial de la Federación, México, 13 de diciembre de 1995.
21. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. (1978). *NOM-AA-62-1978: Determinación de la transmitancia del sonido de materiales y productos para la construcción – Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación, México.
22. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2001). *NOM-011-STPS-2001: Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.* Diario Oficial de la Federación, México.
23. Svantek. (s.f.). *Aislamiento acústico.* Recuperado de <https://svantek.com/es/servicios/aislamiento-acustico/>
24. The International Council for Cellulose. (s.f.). *Cellulose: The global resource for a sustainable future.* <https://cellulose.org/>

## Anexos

### 1.Promedio de datos de Césped a las frecuencias trabajadas.

En esta sección se muestran a detalle los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a las muestras de césped, se muestra primero la tabla de promedios de las dos regiones analizadas de las muestras y posteriormente también se muestran la obtención de los dB realizando las restas de los blancos y el sonido ambiental.

En la tabla 5, se muestran los promedios obtenidos en la muestra 1 de césped a la frecuencia de 100 Hz y los blancos realizados sin material a esta misma frecuencia.

Tabla 12. Anexo de promedios en frecuencia de 100 Hz

<b>Césped</b>											
Muestra 1 100 Hz		Muestra 2 100 Hz		Muestra 3 100 Hz		Blanco		Blanco 2		Blanco 3	
36.26	95.78	34.17	95.82	34.23	97.19	38.11	116.10	37.15	116.58	37.15	116.11

En la tabla 6, se muestran las operaciones realizadas para la obtención de los decibeles reducidos con el material de césped a con la frecuencia de 100 Hz. En la que para cada una de las muestras al ruido se resta la base, tanto para el caso del blanco como para el caso de la muestra realizada con el material, posterior mente se resta el blanco y el resultado de la muestra para saber exactamente sobre los dB disminuidos.

Este proceso es realizado para cada una

Tabla 13. Anexo de dB totales reducidos en muestra de Césped.

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
<b>100 Hz</b>	<b>S,M</b>	<b>1-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>1,5-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>2-Mu</b>
<b>Base</b>	38.11	36.26	37.15	34.17	37.15	34.23
<b>Ruido</b>	116.10	95.78	116.58	95.82	116.11	97.19

77.99	59.52	79.43	61.65	78.96	62.96
18.47		17.78		15.99	

**En la tabla 7, se muestran los promedios obtenidos de los blancos y el ruido en la frecuencia de 250 Hz**

Tabla 14. Promedios de muestra de césped a la frecuencia de 250 Hz.

250 Hz		250 Hz 2		250 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
34.52	94.64	34.82	93.50	32.29	93.35	37.08	119.68	37.08	119.68	37.08	119.68

En la tabla 8, se muestran las operaciones realizadas para la obtención de los decibeles reducidos con el material de césped a con la frecuencia de 250 Hz.

Tabla 15. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento.

	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
250 Hz	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	37.08	34.52	37.08	34.82	37.08	32.29
Ruido	119.68	94.64	119.68	93.50	119.68	93.35
	82.60	60.12	82.60	58.68	82.60	61.06
	22.49		23.93		21.54	

En la tabla 9, se muestran los promedios obtenidos en la muestra 1 de césped a la frecuencia de 450 Hz y los blancos realizados sin material a esta misma frecuencia.

Tabla 16. Anexo de promedios de frecuencia de 450 y blancos realizados

450 Hz		450 Hz 2		450 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
32.00	91.19	31.96	91.16	33.11	91.12	38.28	107.50	38.31	107.10	38.24	107.59

En la tabla 10, se muestran las operaciones realizadas para la obtención de los decibeles reducidos con el material de césped a con la frecuencia de 450 Hz.

Tabla 17. Resultados de reducción de dB en la muestra de césped.

	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
<b>450 Hz</b>	<b>S,M</b>	<b>1-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>1,5-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>2-Mu</b>
<b>Base</b>	38.28	32.00	38.31	31.96	38.24	33.11
<b>Ruido</b>	107.50	91.19	107.10	91.16	107.59	91.12
	69.22	59.19	68.80	59.19	69.36	58.01
	10.03		9.6		11.34	

Tabla 18. Anexo de promedios en frecuencia de 650 Hz

650 Hz		650 Hz 2		650 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
32.29	84.26	32.11	84.25	32.17	84.26	38.11	114.23	38.11	114.23	38.11	114.23

En la tabla 12, se muestran las operaciones realizadas para la obtención de los decibeles reducidos con el material de césped a con la frecuencia de 250 Hz.

	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
<b>650 Hz</b>	<b>S,M</b>	<b>1-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>1,5-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>2-Mu</b>
<b>Base</b>	38.11	32.29	38.11	32.17	38.11	32.17
<b>Ruido</b>	114.23	84.26	114.23	84.26	114.23	84.26
	76.12	51.97	76.12	52.09	76.12	52.09
	24.15		24.0		24.03	

Tabla 19. Anexo de promedios en frecuencia de 8500 Hz

850 Hz		850 Hz 2		850 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
33.05	81.84	32.13	81.90	32.28	81.68	36.93	118.41	36.93	118.41	36.93	118.41

Tabla 20., Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento

850 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	36.93	33.05	36.93	32.13	36.93	32.28
Ruido	118.41	81.84	118.41	81.90	118.41	81.68
	81.48	48.79	81.48	49.77	81.48	49.40

32.69

31.7

32.09

Tabla 21. Anexo de promedios en frecuencia de 1050 Hz

1050 Hz		1050 Hz 2		1050 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
33.86	74.26	32.46	74.17	34.68	73.95	37.94	115.45	37.94	115.45	37.94	115.45

Tabla 22. . Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento

1050 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	37.94	33.86	37.94	34.68	37.94	34.68
Ruido	115.45	74.26	115.45	73.95	115.45	73.95
	77.51	40.40	77.51	39.27	77.51	39.27

37.11

38.2

38.24

Tabla 23. Anexo de promedios en frecuencia de 1250 Hz

1250 Hz		1250 Hz 2		1250 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
32.68	82.21	36.26	82.00	32.64	82.21	38.04	110.49	38.04	110.49	38.04	110.49

Tabla 24. Operaciones realizadas para la obtención de dB disminuidos en las muestras de césped

1250 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	38.04	32.68	38.04	36.26	38.04	32.64
Ruido	110.49	82.21	110.49	82.00	110.49	82.21
	72.45	49.53	72.45	45.74	72.45	49.56

22.92

26.7

22.89

**Recolección de datos para grafica resumen.**

Tabla 25. Datos de muestras de césped 1cm.

CESPED		
FRECUENCIA	PROMEDIOS	DESVIACION
100	17.42	1.28
250	22.65	1.20
450	10.32	0.91
650	24.07	0.07
850	32.16	0.50
1050	37.86	0.65
1250	24.17	2.20

**Anexo 2 Resultados de las muestras de hojas.**

**Promedio de datos de Hojas a las frecuencias trabajadas.**

Tabla 26. Anexo 2 de promedios en frecuencia de 100 Hz hojas.

Hojas											
100 Hz		100 Hz 2		100 Hz 3		Blanco		Blanco 2		Blanco 3	
30.62	75.45	30.84	75.38	30.01	75.28	38.11	116.10	37.15	116.58	37.15	116.11

Tabla 27.. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento

100 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	38.11	30.62	37.15	30.84	37.15	30.01
Ruido	116.10	75.45	116.58	75.38	116.11	75.28
	77.99	44.83	79.43	44.54	78.96	45.27
	33.16		34.89		33.68	

Tabla 28. Anexo 2 de promedios en frecuencia de 250 Hz hojas.

250 Hz	250 Hz 2	250 Hz 3	Blanco 1	Blanco 2	Blanco 3
--------	----------	----------	----------	----------	----------

30.07	90.17	31.25	90.39	29.77	90.62	37.08	119.68	37.08	119.68	37.08	119.68
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	--------	-------	--------

Tabla 29. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento

	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
<b>200 Hz</b>	<b>S,M</b>	<b>1-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>1,5-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>2-Mu</b>
<b>Base</b>	37.08	30.07	37.08	31.25	37.08	29.77
<b>Ruido</b>	119.68	90.17	119.68	90.39	119.68	90.62
	82.60	60.10	82.60	59.14	82.60	60.86
	22.51		23.46		21.74	

Tabla 30. Anexo 2 de promedios en frecuencia de 450 Hz hojas.

450 Hz		450 Hz 2		450 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
30.16	86.72	29.59	86.63	29.00	86.58	38.28	107.50	38.31	107.10	38.24	107.59

Tabla 31., Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento

	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
<b>450 Hz</b>	<b>S,M</b>	<b>1-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>1,5-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>2-Mu</b>
<b>Base</b>	38.24	30.16	38.24	29.59	38.24	37.15
<b>Ruido</b>	107.59	86.72	107.59	86.63	107.59	86.58
	69.36	56.56	69.36	57.03	69.36	49.43
	12.79		12.3		19.93	

Tabla 32. Anexo 2 de promedios en frecuencia de 650 Hz hojas.

650 Hz		650 Hz 2		650 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
<b>33.22</b>	81.95	29.67	75.56	29.96	75.37	38.11	114.23	38.11	114.23	38.11	114.23

Tabla 33.. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped con tratamiento

650 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
<b>Base</b>	38.11	33.22	38.11	29.96	38.11	29.96
<b>Ruido</b>	114.23	81.95	114.23	75.37	114.23	75.37
	76.12	48.72	76.12	45.41	76.12	45.41

27.40

30.7

30.71

Tabla 34, Anexo 2 de promedios en frecuencia de 850 Hz hojas.

850 Hz		850 Hz 2		850 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
<b>33.86</b>	74.26	32.46	74.17	31.73	81.08	36.93	118.41	36.93	118.41	36.93	118.41

Tabla 35. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de hojas con tratamiento

850 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
<b>Base</b>	36.93	33.86	36.93	32.46	36.93	31.73
<b>Ruido</b>	118.41	74.26	118.41	74.17	118.41	81.08
	81.48	40.40	81.48	41.70	81.48	49.34

41.09

39.8

32.14

Tabla 36. Anexo 2 de promedios en frecuencia de 850 Hz hojas

1050 Hz		1050 Hz 2		1050 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
35.57	66.30	33.91	66.44	33.29	66.18	37.94	115.45	37.94	115.45	37.94	115.45

Tabla 37. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de hojas con tratamiento

1050 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	37.94	35.57	37.94	33.29	37.94	33.29
Ruido	115.45	66.30	115.45	66.18	115.45	66.18
	77.51	30.72	77.51	32.89	77.51	32.89

46.79

44.6

44.62

Tabla 38. Anexo 2 de promedios en frecuencia de 1250 Hz hojas.

1250 Hz		1250 Hz 2		1250 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
33.2	80.7	32.5	81.1	29.9	82.8	38.0	110.4	38.0	110.4	38.0	110.4
6	8	9	6	3	5	4	9	4	9	4	9

Tabla 39. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de hojas con tratamiento

1250 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	38.04	33.26	38.04	32.59	38.04	29.93
Ruido	110.49	80.78	110.49	81.16	110.49	82.85
	72.45	47.51	72.45	48.57	72.45	52.92

24.94

23.9

19.53

CESPED SIN TRATAMIENTO		
FRECUENCIA	PROMEDIOS	DESVIACION
100	33.91	0.88
250	22.57	0.86
450	15.01	4.26
650	29.61	1.91
850	37.67	4.83
1050	45.35	1.25
1250	22.79	2.87

**Promedio de datos de Césped sin tratamiento a las frecuencias trabajadas.**

Césped sin tratamiento											
100 Hz		100 Hz 2		100 Hz 3		Blanco		Blanco 2		Blanco 3	
<b>30.86</b>	59.39	31.26	58.54	31.43	58.31	38.11	116.10	37.15	116.58	37.15	116.11

Tabla 40 Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento.

100 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
<b>Base</b>	38.11	30.86	37.15	31.26	37.15	31.43
<b>Ruido</b>	116.10	59.39	116.58	58.54	116.11	58.31
	77.99	28.53	79.43	27.27	78.96	26.88
	49.46		52.16		52.08	

250 Hz		250 Hz 2		250 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
<b>27.53</b>	86.12	27.52	86.44	28.01	86.32	37.08	119.68	37.08	119.68	37.08	119.68

Tabla 41. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento.

	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
<b>200 Hz</b>	<b>S,M</b>	<b>1-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>1,5-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>2-Mu</b>
<b>Base</b>	37.08	27.53	37.08	27.52	37.08	28.01
<b>Ruido</b>	119.68	86.12	119.68	86.44	119.68	86.32
	82.60	58.60	82.60	58.92	82.60	58.31
	24.00		23.69		24.29	

450 Hz		450 Hz 2		450 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
27.83	90.66	27.35	91.00	27.77	90.93	38.28	107.50	38.31	107.10	38.24	107.59

Tabla 42. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento

	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
<b>450 Hz</b>	<b>S,M</b>	<b>1-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>1,5-Mu</b>	<b>S,M</b>	<b>2-Mu</b>
<b>Base</b>	38.24	27.83	38.24	27.35	38.24	27.77
<b>Ruido</b>	107.50	90.66	107.10	91.00	107.59	90.93
	69.26	62.83	68.87	63.66	69.36	63.15
	6.44		5.2		6.20	

650 Hz		650 Hz 2		650 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
27.46	84.56	29.26	84.09	29.28	84.13	38.1	114.2	38.1	114.2	38.1	114.2
						1	3	1	3	1	3

Tabla 43. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento

Muestra 1	Muestra 2	muestra 3
-----------	-----------	-----------

**Anexos.**

650 Hz	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	38.11	27.46	38.11	29.28	38.11	29.28
Ruido	114.23	84.56	114.23	84.13	114.23	84.13
	76.12	57.10	76.12	54.85	76.12	54.85

19.02

21.3

21.27

850 Hz		850 Hz 2		850 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
27.51	66.90	28.19	66.97	28.74	67.16	36.93	118.41	36.93	118.41	36.93	118.41

Tabla 44. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento

	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
850 Hz	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	36.93	27.51	36.93	28.19	36.93	28.74
Ruido	118.41	66.90	118.41	66.97	118.41	67.16
	81.48	39.39	81.48	38.78	81.48	38.42

42.10

42.7

43.07

1050 Hz		1050 Hz 2		1050 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
27.70	56.73	28.19	56.73	27.01	56.62	37.9	115.4	37.9	115.4	37.9	115.4
						4	5	4	5	4	5

Tabla 45. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento

	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
1050 Hz	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	37.94	27.70	37.94	28.19	37.94	27.01
Ruido	115.45	56.73	115.45	56.73	115.45	56.62
	77.51	29.03	77.51	28.54	77.51	29.61

48.48

49.0

47.90

1250 Hz		1250 Hz 2		1250 Hz 3		Blanco 1		Blanco 2		Blanco 3	
27.27	73.78	27.1275641	74.02	27.06	73.78	38.04	110.49	38.04	110.49	38.04	110.49

Tabla 46. Resultados de reducción de los dB, en la muestra de césped sin tratamiento

1250 Hz	Muestra 1		Muestra 2		muestra 3	
	S,M	1-Mu	S,M	1,5-Mu	S,M	2-Mu
Base	38.04	27.27	38.04	27.13	38.04	27.06
Ruido	110.49	73.78	110.49	74.02	110.49	73.78
	72.45	46.51	72.45	46.89	72.45	46.72

25.94

25.6

25.73

**Datos recabados.**

Tabla 47. Tabla 42. Datos recabados de las muestras de 1cm.

Frecuencias	promedios			Desviación estándar		
	Césped	Hojas	Césped sin tratamiento	Césped	Hojas	Césped sin tratamiento
100	17.42	33.91	51.23	1.28	0.88	1.53
250	22.65	22.57	23.99	1.20	0.86	0.30
450	10.32	15.01	5.95	0.91	4.26	0.65
650	24.07	29.61	20.52	0.07	1.91	1.30
850	32.16	37.67	42.62	0.50	4.83	0.49
1050	37.86	45.35	48.45	0.65	1.25	0.53
1250	24.17	22.79	25.74	2.20	2.87	0.19