

DESARROLLO DE PANELES A PARTIR DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS
FIBRAS DE CULMO DE *ZEA MAYS* (MAÍZ) Y HOJAS DE *MUSA X PARADISIACA*
(PLÁTANO) COMO MATERIALES ABSORBENTES AL SONIDO

YESIKA PATRICIA ALVAREZ RUIZ



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS
PROYECTO DE GRADO
BOGOTA, 2017

DESARROLLO DE PANELES A PARTIR DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS
FIBRAS DE CULMO DE *ZEA MAYS* (MAÍZ) Y HOJAS DE *MUSA X PARADISIACA*
(PLÁTANO) COMO MATERIALES ABSORBENTES AL SONIDO

Presentado para optar al Título de
Tecnólogo en Construcciones Arquitectónicas

Coordinador PTCA

Arq. Nelson Ricardo Cifuentes Villalobos

Docente De Proyecto

Arq. Andrea Lara

YESIKA PATRICIA ALVAREZ RUIZ



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS
PROYECTO DE GRADO
BOGOTA, 2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Observaciones



Firma Director Trabajo de Grado

Firma del presidente jurado

Firma del jurado

Bogotá, mayo del 2017

Dedicatoria

Este proyecto quiero dedicárselo a mis papás pues fueron de gran apoyo especialmente a mi mamá, quien fue la persona que más me apoyo y animo a pesar de la distancia cuando creía que las cosas no saldrían bien y a aquellas personas que creyeron en mi desde el comienzo pues de alguna manera me ayudaron para al desarrollo a este proyecto.

Agradecimientos

Hoy 11 de mayo de 2017 una vez culminado mi proyecto de grado para optar al al Título de Tecnólogo en Construcciones Arquitectónicas de la Universidad La Gran Colombia quiero principalmente agradecer a la Arquitecta Andrea Niampira por su gran orientación teórica y compromiso para el desarrollo del proyecto pues esto fue de gran motivación para enfocarme más en el camino de la investigación permitiéndome abrir la mente y plantear futuras líneas de investigación en mi proyecto; también quiero agradecer a la arquitecta Liliana Patiño y al arquitecto Walter Barreto pues sus consejos, orientaciones y observaciones fueron de gran ayuda para el desarrollo del proyecto .

Tabla de contenido

Resumen	15
Abstract	16
Introducción	17
Capítulo 1	19
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos.....	19
Antecedentes	20
Marco Teórico.....	27
Sonido.....	27
Ruido	27
Ruido aéreo	29
Aislamiento acústico	29
Masa	29
Rigidez	30
Amortiguación.....	30
Ley de masas	30
Paredes dobles	31
Acústica arquitectónica	31
Eco.....	31
Reflexiones tempranas	32
Ambiencia	32
Absorción sonora.....	32
Resonador de resonador de Helmholtz.....	33

Impedancia	33
Admitancia	33
Tiempo de reverberación.....	34
Materiales absorbentes acústicos	35
<i>Musa x paradisiaca</i> (planta de plátano)	35
<i>Zea mays</i> (planta de Maíz)	37
Marco legal	38
NTC 5626.....	38
DB-HR documento básico protección frente al ruido.....	41
Metodología	44
Objetivo 1	44
Objetivo 2.....	45
Objetivo 3.....	45
Capítulo 2	47
Caracterización del material y asociaciones físicas.....	47
Obtención de las fibras	49
<i>Zea mays</i> (maíz).	49
<i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).....	51
Capacidad absorbente de agua.....	53
Análisis fibras de <i>Zea mays</i> (maíz).	54
Análisis fibras de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).....	58
Porcentaje de contenido De humedad de las fibras	64
Análisis fibras de <i>Zea mays</i> (maíz)	65
Análisis fibra de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).	66
Absorción de humedad	70

Análisis fibras de <i>Zea mays</i> (maíz)	71
Análisis fibras de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).....	76
Densidad	83
Conclusiones	86
Capítulo 3	88
Metodología de evaluación de capacidad de atenuación de ondas.	88
Elaboración de los prototipos.....	88
Evaluación de capacidad de atenuación de las ondas.	93
Desarrollo de la metodología para la prueba de aislamiento acústico.	95
Resultado de las pruebas de aislamiento acústico.....	101
Conclusiones.	108
Capítulo 4	109
Lineamientos para la fabricación eficiente del panel e implementación	109
Elementos absorbentes selectivos resonadores.	109
Montaje.....	111
Conclusiones	116
Recomendaciones	117
Bibliografía	118
Anexos	122
Protocolo ensayo según norma ASTM D 1037	122
Protocolo ensayo según norma ASTM D 4442-07	125
Protocolo ensayo según norma ASTM D 5229	128
Anexo detalles.....	131

Lista de figuras

Figura 1. Propiedades biométricas de las fibras	21
Figura 2. Proceso de extracción de la fibra de plátano.....	25
Figura 3. Proceso de extracción de la fibra de plátano.....	25
Figura 4. Proceso de prensado de la fibra en el molde.....	25
Figura 5. Paneles con fibras de banano	26
Figura 6. Valores Intensidad sonora.....	28
Figura 7: Ley teoría de masas.	30
Figura 8 En línea de puntos, el sonido directo. En líneas llenas, algunas de las primeras reflexiones o reflexiones tempranas.	32
Figura 9: niveles sonoros máximos permisibles en Colombia.....	38
Figura 10 proceso de obtención de fibras del culmo de Zea mays (maíz)	49
Figura 11 partes del entrenudo del culmo del maíz.....	50
Figura 12 proceso de obtención de fibras de Musa x paradisiaca (plátano).....	51
Figura 13: procedimiento realización prueba absorción de agua según ASTM D 1037.....	53
Figura 14: Procedimiento para desarrollo prueba absorción de agua según ASTM D 1037 ..	53
Figura 15: diagrama de dispersión peso/tiempo 4 probetas de fibra de culmo de Zea mays (maíz)	54
Figura 16: diagrama de dispersión porcentaje de absorción / tiempo (h) 4 probetas de fibra culmo de Zea mays (maíz)	56
Figura 17: diagrama de dispersión peso/tiempo durante 20h de calor a 4 probetas de fibra de culmo de Zea	57
Figura 18 diagrama de dispersión peso/tiempo 4 probetas de fibra de Musa x paradisiaca (plátano).....	59
Figura 19: diagrama de dispersión porcentaje de absorción / tiempo (h) 4 probetas de fibra de Musa x paradisiaca (plátano)	61
Figura 20: diagrama de dispersión peso/tiempo durante 20h de calor a 4 probetas de fibra de Musa x paradisiaca (plátano).....	62
Figura 21: Proceso realización prueba de contenido de humedad de las fibras según las ASTM D 4442-07.....	64

Figura 22: diagrama de dispersión peso/tipo de muestra mojada y seca 4 probetas de fibra de culmo de Zea mays (maíz).....	65
Figura 23: diagrama de dispersión peso/tipo de muestra mojada y seca 4 probetas de fibra de Musa x paradisiaca (plátano).....	67
Figura 24: diagrama de dispersión de porcentaje de contenido de humedad por probeta en 4 probetas de fibra de Musa x paradisiaca (plátano) y 4 probetas de culmo de Zea mays (maíz).....	68
Figura 25: Proceso realización prueba de absorción de humedad de las fibras según las ASTM D 5229.	70
Figura 26: diagrama de dispersión porcentaje cambio de masa durante los intervalos de tiempo de la prueba completa con probetas de Zea mays (maíz).....	73
Figura 27: diagrama de dispersión porcentaje contenido de humedad durante los intervalos de tiempo de la prueba completa con probetas de Zea mays (maíz)	75
Figura 28 diagrama de dispersión porcentaje cambio de masa durante los intervalos de tiempo de la prueba completa con probetas de Musa x paradisiaca (plátano).....	78
Figura 29: diagrama de dispersión porcentaje contenido de humedad durante los intervalos de tiempo de la prueba completa con probetas de Musa x paradisiaca (plátano).....	81
Figura 30: proceso de elaboración primera capa absorbente acústica de la caja reverberante.	88
Figura 31: primer proceso de elaboración última capa absorbente acústica de la caja reverberante.	89
Figura 32: último proceso de elaboración última capa absorbente acústica de la caja reverberante.	90
Figura 33 : proceso de elaboración tres capas faltantes absorbentes acústicas de la caja reverberante.	91
Figura 34: Proceso de armado caja reverberante de 6 cm.....	91
Figura 35: Proceso de armado caja reverberante de 11 cm.....	92
Figura 36: Ruido rosa, con una distribución de energía que decae 3 dB/octava	93
Figura 37: Esquema de planteamiento de un m ³ de volumen.....	94
Figura 38: mini componente Panasonic-SA Ak240.....	94
Figura 39: sonómetro Extech HD600 clase 2.....	95
Figura 40: Excavación 1m de profundidad, montaje del marco	95
Figura 41: Sellado del marco, ubicación del baffle.	96

Figura 42: Grabación ruido de fondo cuatro puntos	96
Figura 43: Grabación ruido rosa cinco puntos	97
Figura 44: Grabación drywall con Frescasa foil de 8cm cinco puntos.	98
Figura 45: Grabación prototipo 7 cm cinco puntos.....	99
Figura 46: Grabación prototipo 12cm cinco puntos.....	100
Figura 47: Ruido rosa fuente sonora muestra 1	103
Figura 48: Ruido muestra 1	104
Figura 49. Ruido rosa fuente sonora muestra 2.....	104
Figura 50: Ruido muestra 2.....	105
Figura 51: Ruido rosa fuente sonora muestra 3	105
Figura 52: Ruido muestra 3.....	106
Figura 53: Detalle de un tramo unitario de un panel perforado con indicación de sus dimensiones características.....	110
Figura 54: Detalle de un tramo unitario de un panel ranurado con indicación de sus dimensiones características.....	110
Figura 55: Resonadores a base de paneles de madera perforados y ranurados (paneles Obersound, distribuidos por C.i.C.S. Cortines i Control Solar, S.L.)	111
Figura 56: Perfil principal Domino 15/16”	112
Figura 57: Perfil Secundario 15/16”	112
Figura 58 : Angulo perimetral 15/16”	113
Figura 59: proceso instalación perfilaría auto ensamble.....	113
Figura 60: proceso instalación perfilaría auto ensamble.....	114
Figura 61 proceso instalación perfilaría auto ensamble.	114
Figura 62 proceso instalación perfilaría auto ensamble.	114
Figura 63: vista superior cielo raso	115

Lista de tablas

Tabla 1. Propiedades biométricas comparativas de figuras de diversas fuentes	21
Tabla 2. Índices de calidad de las fibras de las hojas de maíz y de bagazo de caña en comparación con otros materiales fibrosos.	22
Tabla 3 coeficientes de absorción de diversos materiales en función de la frecuencia.....	34
Tabla 4 Cosecha y producción por departamentos de la región del área andina de plátano	36
Tabla 5 Cosecha y producción por departamentos de la región del área andina de maíz	37
Tabla 6 Estándares máximos permisibles de niveles de ruidos expresados en decibeles	39
Tabla 7: Tabla peso inicial y peso durante el periodo de inmersión en 4 probetas de fibra de culmo de <i>Zea mays</i> (maíz) i: peso inicial 2h: tiempo 2 horas 3.55h: tiempo 3 horas 55 minutos	54
Tabla 8: tabla porcentajes de absorción de agua en los tiempos estimulados 4 probetas de fibra de culmo de <i>Zea mays</i> (maíz) Aa: absorción de agua.....	55
Tabla 9: Tabla peso durante el periodo de calor de horno a 55°C en 4 probetas de fibra de culmo de <i>Zea mays</i> (maíz)	57
Tabla 10: Tabla peso inicial y peso durante el periodo de inmersión en 4 probetas de fibra de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).	58
Tabla 11: tabla porcentajes de absorción de agua en los tiempos estimulados 4 probetas de fibra de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).....	60
Tabla 12: Tabla peso durante el periodo de calor de horno a 55°C en 4 probetas de fibra de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).....	61
Tabla 13: Tabla de peso húmedo (wm) y peso seco (Ws) de la fibra de <i>Zea mays</i> (maíz).....	65
Tabla 14: Tabla de peso mojado (wm) y peso seco (Ws) de la fibra de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).....	66
Tabla 15: Tabla de porcentaje de contenido de humedad de la fibra de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano) y culmo de <i>Zea mays</i> (maíz)	68
Tabla 16: Peso de las probetas durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de <i>Zea mays</i> (maíz) a 25°C.....	71
Tabla 17: Peso de las probetas sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de ultimo peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de <i>Zea mays</i> (maíz)	71

Tabla 18: Porcentaje cambio de masa (CM) durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de <i>Zea mays</i> (maíz) a 25°C	72
Tabla 19: Porcentaje cambio de masa (CM) sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de último peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de <i>Zea mays</i> (maíz).....	72
Tabla 20: Porcentaje contenido de humedad (CH) durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de <i>Zea mays</i> (maíz) a 25°C	74
Tabla 21: Porcentaje contenido de humedad (CH) sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de ultimo peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de <i>Zea mays</i> (maíz).....	74
Tabla 22: Peso de las probetas durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano) a 25°C	76
Tabla 23: Peso de las probetas sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de ultimo peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).....	76
Tabla 24: Porcentaje cambio de masa (CM) durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano) a 25°C.	77
Tabla 25: Porcentaje cambio de masa (CM) sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de último peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).	78
Tabla 26: Porcentaje contenido de humedad (CH) durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano) a 25°C	80
Tabla 27: Porcentaje contenido de humedad (CH) sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de ultimo peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano).....	80
Tabla 28: tabla de densidades de acuerdo a las probetas realizadas para el análisis en el laboratorio.....	83
Tabla 29: tabla de densidades materiales comerciales y fibra de <i>Musa x paradisiaca</i>	84
Tabla 30 tabla de densidades materiales comerciales y fibra de <i>Zea mays</i>	85
Tabla 31: 5 primeros valores registrados ruido ambiental	102
Tabla 32: Total nivel sonoro ruido ambiental	102

Tabla 33: Resultado niveles de presión sonora L1 y L2	103
Tabla 34: Índices de reducción.....	107

Resumen

El presente proyecto plantea el desarrollo de un panel de aislamiento acústico en el cual se utilizarán fibras de *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) y del culmo de *Zea mays* (planta de Maíz), En Colombia se presentan dos factores muy importantes principalmente que los aislamientos acústicos tienen elevados costos lo cual no permiten que sean asequibles para toda la población y en segunda estancia que aún no se aprovechan en su totalidad las fuentes de energía renovable, lo que llevó a pensar en un aprovechamiento de la biomasa producida por *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) y la caña de *Zea mays* (planta de maíz) pues se demostró que de estos solo era aprovechado el 5% y 50% de estos materiales, como se ha analizado actualmente hay gran cantidad de aislamientos acústicos elaborados con fibras naturales tratando de ser cada vez más amigables con el medio ambiente; para el desarrollo del panel inicialmente se realizara una caracterización física de las fibras de *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) y del culmo de *Zea mays* (planta de Maíz) con el fin de analizar la capacidad absorbente de agua, el contenido de humedad y la absorción de la humedad; posteriormente se prosigue a la elaboración del panel de aislamiento acústico de 61cm x 61cm el funcionara como una caja de resonador de Helmholtz el cual se someterá a pruebas acústicas para identificar su capacidad de aislamiento acústico y coeficiente de absorción; para el desarrollo del proyecto se basa en una metodología cuantitativa y cualitativa basada en diferentes protocolos de ensayos y finalmente se planteara cómo será la instalación del panel comparativamente con aislamientos acústicos ya existentes .

Palabras clave: fibra, *Musa x paradisiaca*, *Zea mays*, aislamiento acústico, ruido, panel.

Abstract

The present project proposes the development of an acoustic insulation panel in which fibers of *Musa x paradisiaca* (plantain plant) and the culm of *Zea mays* (Maize plant) are used. Acoustic insulation has high costs which do not allow it to be affordable for the whole population and in the second stay the sources of renewable energy are not yet fully exploited, which led to the idea of taking advantage of the biomass produced by *Musa x paradisiaca* (Banana plant) and *Zea mays* (maize) cane, since it was shown that only 5% and 50% of these materials were used, as has been analyzed at the moment there are many acoustic insulation made with natural fibers Trying to be more and more friendly with the environment; The development of the panel initially a physical characterization of the fibers of *Musa x paradisiaca* (plantain plant) and the culm of *Zea mays* (Maize plant) will be carried out in order to analyze the water absorbing capacity, the moisture content and Absorption of moisture; Then proceed to the development of the sound insulation panel of 61cm x 61cm will function as a Helmholtz resonator box which will be subjected to acoustic tests to identify its sound insulation capacity and absorption coefficient; For the development of the project is based on a quantitative and qualitative methodology based on different protocols of tests and finally consider how the installation of the panel will be compared to existing acoustic insulation.

Key words: fiber, *Musa x paradisiaca*, *Zea mays*, acoustic insulation, noise, panel.

Introducción

La investigación está dirigida al uso de la biomasa producida por *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) fibras de las hojas y de la *Zea mays* (planta de Maíz) fibras del culmo de la planta del maíz, como insumos para el desarrollo de paneles con un posible uso en la construcción, concretamente como aporte a la calidad acústica de las edificaciones. El desarrollo de la investigación se plantea en la innovación del aprovechamiento de residuos agrícolas como insumo en la concepción de nuevos materiales de bajo impacto ambiental. De la biomasa producida por *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) y la caña de *Zea mays* (planta de maíz) sólo se aprovecha entre el 5% y el 50 % respectivamente (Jaramillo, 2011) (Pasturas de América), como sustento de alimentación para bovinos después de cada temporada de cosecha. Como principal antecedente en el uso de estos residuos en el sector de la construcción, se encuentra la investigación realizada por Hincapié, Villa, Rocha, Gañan, Kerguelénd, Betancourt, Restrepo y Muñoz (Eco hábitat 2008) "Paneles generados a partir de la agroindustria platanera". Por otro lado desde del análisis previo del aspecto físico de los elementos resultantes de estos residuos (fibras), se indica una posible aplicación en el desarrollo de materiales con capacidad de absorción al sonido. De acuerdo a este primer planteamiento, se desarrollan diferentes patrones teóricos para poder llegar al objetivo deseado "Diseñar un panel a partir de la implementación de las fibras de la biomasa producida por *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) fibras de las hojas y de la *Zea mays* (planta de Maíz) fibras del culmo de la planta de maíz con respuesta positiva a la absorción del sonido y aislamiento acústico". El principal aporte en el desarrollo de este trabajo además del aprovechamiento de un material de residuo en la agroindustria, es la investigación en el desarrollo de nuevos materiales con una posible aplicación posible aplicación en el ámbito de la construcción, en este caso más concretamente en el confort y

acondicionamiento acústico, teniendo en cuenta que normalmente los materiales utilizados para este fin en la edificación son producidos a partir de un alto costo energético, en ocasiones son escasos en el mercado nacional (este hecho limita su utilización) y tienen un costo monetario elevado

El desarrollo de la investigación se plantea con base a parámetros como el aprovechamiento de insumos agrícolas con un alto porcentaje de desperdicio (Pasturas de américa) (Jaramillo, 2011) y su inclusión en procesos como insumos de bajo impacto ambiental a la industria de la construcción. Así mismo, el planteamiento de este proyecto de investigación se desarrolla a partir de antecedentes de uso de las fibras propuestas.

De acuerdo a la base problemática formulada anteriormente se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Es posible el desarrollo un nuevo material con posibles propiedades acústica frente al aislamiento y la absorción del sonido a partir del uso de los residuos de la fibras del peciolo de las hojas y del vástago *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) y del culmo de *Zea mays* (planta de Maíz)?

Capítulo 1

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un panel a partir de la implementación de los residuos producidos por fibras del peciolo de las hojas y del vástago *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) y del culmo de *Zea mays* (planta de Maíz) con respuesta positiva a la absorción del sonido y aislamiento acústico.

Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física de las fibras del peciolo de las hojas y del vástago *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) y del culmo de *Zea mays* (planta de Maíz) a fin de identificar su comportamiento frente a los requerimientos de desarrollo de un panel en cuanto a sus condiciones físicas su, dimensionamiento, espesor, peso, densidad; y otras como la absorción de humedad y comportamiento frente al sonido.
- Aplicar la metodología para evaluación de capacidad de atenuación de las ondas sonoras.
- Plantear lineamientos para la fabricación eficiente del panel e implementación.

Antecedentes

Para el desarrollo y enfoque de la propuesta de investigación se hace necesario el uso de referencias bibliográficas que permitan un adecuado desarrollo de la misma.

Según estudios realizados por (Prado- Martínez, 2012) muestran una caracterización química y un análisis de la morfología de la fibra en plantas de mazorca y bagazo de caña de *Zea mays* (planta de Maíz) en donde se establece un uso viable en la elaboración de pulpa celulósica mixta como se muestra en (AISLA HOME, 2016) los aislamiento con celulosa ofrecen muy buenas prestaciones térmicas y acústicas y es un producto ecológico por excelencia.

La caracterización morfológica de las fibras de culmo de *Zea mays* (planta de Maíz) coincide con lo explicado por (Palacios, 2003) quien propuso una clasificación y medidas con respecto a la longitud promedio de las fibras de hojas de mazorca, ubicándolas dentro de un grupo de fibras moderadamente largas, con longitud incluso similar a la que presentan algunas maderas coníferas como *Jacaranda acutifolia* y *Tilia mexicana* entre otras; de este proyecto se concluye que por el alto contenido de Holo celulosa y a-celulosa las plantas son adecuadas para la producción de papeles especiales en comparación con otras fuentes de materia prima y para la obtención de celulosa, adicionalmente el estudio biométrico de las hojas de mazorca se muestra que son un material fibroso con buenas propiedades de resistencia, como se observa en el índice de calidad de fibras, donde encontramos un coeficiente de rigidez de 0.316 kPa, un coeficiente de flexibilidad de 0.677 kPa una relación Runkel de 0.466 kPa y una clasificación de la calidad de la pulpa que según la relación de valores Runkel obtenidos es muy buena.

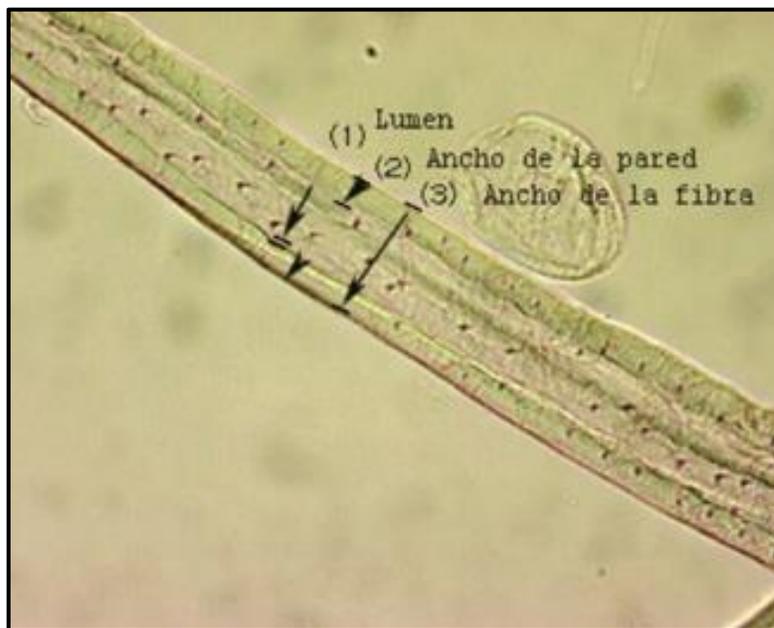


Figura 1. Propiedades biométricas de las fibras

Fuente: (Prado- Martinez, 2012)

En la **figura 1** se identifican algunas propiedades biométricas de las fibras de hoja de mazorca como lo son el lumen, el ancho de la pared y el ancho de la fibra.

Tabla 1. Propiedades biométricas comparativas de figuras de diversas fuentes

Fuente: (Prado- Martinez, 2012)

Especie	Longitud promedio (mm)	Ancho de la fibra (mm)	Lumen (mm)	Espesor (mm)
Hoja de <i>Zea mays</i>	1,86	47,4	32,1	7,5
Bagazo de caña	1,5	20	12	4
Eucalyptus globulus*	0,94	18,3	9,65	4,3
Kenaf*	1,29	22,1	12,7	4,3
Jacaranda acutifolia**	0,9	14	10	2
Tilia mexicana**	1,31	28	20	4
Bellotia mexicana**	1,49	41	27	7
Clethra mexicana**	2,33	35	21	7

* valores obtenidos para estas especies por Sanjuan (1997)
 ** valores obtenidos para estas especies por Tamarit (1996)

Tabla 2. Índices de calidad de las fibras de las hojas de maíz y de bagazo de caña en comparación con otros materiales fibrosos.

Fuente: (Prado- Martinez, 2012)

Tipo de fibra	Relación De Runkel	Coefficiente de rigidez	Coefficiente de flexibilidad	clasificación calidad pulpa según la relación de Runkel
Hoja de mazorca				
<i>Zea mays</i>	0,466	0,316	0,677	Muy buena
Bagazo de caña				
<i>Saccharum officinarum</i> L	0,66	0,4	0,6	Buena
<i>Eucalyptus globulus</i> *	0,895	0,472	0,527	Buena
<i>Eucalyptus dunnii</i> *	0,686	0,407	0,592	Buena
<i>Jacaranda acutifolia</i> **	0,4	0,28	0,71	Muy buena
<i>Tilia mexicana</i> **	0,4	0,28	0,71	Muy buena
<i>Bellotia mexicana</i> **	0,51	0,34	0,65	Buena
<i>Clethra mexicana</i> **	0,66	0,34	0,6	Buena
* Valores obtenidos para estas especies por Sanjuan (1997).				
** Valores obtenidos para estas especies por Tamarit (1996).				

En la **tabla 1** se pueden observar algunas propiedades biométricas como lo son la longitud promedio, el ancho de la fibra, lumen y espesor, ubicando la hoja de maíz y bagazo de caña con unos buenos promedios en relación a los demás materiales fibrosos analizados y en la **tabla 2** se realiza un índice de calidad de las fibras de las hojas de maíz y bagazo de caña en comparación con otros materiales fibrosos, donde observamos que la clasificación de calidad de pulpa según la relación Runkel dice que estas fibras son muy buenas, debido a su coeficiente de rigidez, coeficiente de flexibilidad y clasificación de la pulpa

Posteriormente (Rodríguez, 2013) demuestra que la fibra de la *Musa x paradisiaca* (plátano) tiene grandes propiedades de resistencia y que además representaría una gran innovación en la materiabilidad; en este caso, la ingeniera Lady Johana Rodríguez y su asesor, son los encargados de demostrar mediante porcentajes los cambios y propiedades de

las hojas de plátano después de someterlas durante un tiempo a procesos químicos que modifican las estructuras internas de las fibras *Musa x paradisiaca* (plátano). Dicho tratamiento consiste en sumergirlas durante 24 horas en una mezcla compuesta por epiclorhidrina (solvente) reactivo anhídrido acético y acetona, se lavan con acetona y agua destilada y se secan en un horno por un día luego estas son sometidas a pruebas de resistencia de hidrofiliadad (absorción de agua, térmicas y de alcalinidad), una vez realizado este tratamiento encontraron que las fibras repelieron el agua hasta un 33% y su resistencia de humedad del aire aumento en un 32,43% ,por otro lado en la prueba térmica mostro un aumento de su capacidad para soportar calor de un 6.84% esta última necesaria para la elaboración de materiales biocompuestos con estas cifras se puede concluir que las fibras se hicieron menos absorbentes .

De acuerdo a este estudio se determinó la posible influencia de las características agroecológicas y de los suelos en Colombia, en la mejora de las propiedades naturales de las fibras nacionales, de manera natural frente a otras latitudes. Las pruebas de resistencia realizadas arrojaron valores de 877milipascales fuerza de tensión máxima que soporta antes de romperse. *"es una ventaja adicional frente a otros materiales orgánicos que se usan en el mundo, si las aplicamos en materiales biocompuestos, podríamos ser más competitivos que otros países."* Ingeniera agrónoma Yamileth Cuartas Betancourt docente Universidad de Caldas 2013.

Del mismo modo (laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica de arquitectura, Leet., 2008-2009) creadores del proyecto ganador del premio Nacional Corona Pro Hábitat 2008-2009 plantean la investigación y desarrollo de paneles generados a partir de residuos de la agroindustria platanera, donde las fibras empleadas como elemento reforzante fueron

obtenidas mediante extracción mecánica de plantas de *Musa x paradisiaca* (plátano) de la región del Urabá.

El panel final se dio como resultado de la aplicación del tratamiento Steam explosion¹, debido a que las fibras naturales empleadas tienen tendencia a captar la humedad. Para realizar este tratamiento con vapor se hizo uso de una temperatura de 200°C y tiempo de resistencia de entre 4 y 8 minutos, teniendo como respuesta el alcance de un equilibrio de humedad cercano al 7%; luego de hacer un análisis térmico y de captación de humedad con las muestras de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano) se aprecia que la estabilidad del sistema incrementa al reducir la absorción de humedad. Los ensayos fueron realizados utilizando un equipo de termo gravimetría (TIGA) *TA instruments 1600 DTA* bajo atmósfera inerte de nitrógeno a una velocidad de calentamiento de 10°C/minuto.

Para la elaboración del panel utilizaron el método de obtención de fibras mencionado anteriormente, se encontró que se empleaban las fibras de la *Musa x paradisiaca* (plátano) y resinas poliméricas de tipo fenólico ya utilizadas en la elaboración de tableros aglomerados de madera, las muestras de fibra de *Musa x paradisiaca* fueron realizadas mediante compresión en caliente donde se empleó una temperatura de trabajo de 180°C y ciclos de presión durante 15 minutos. Algunas muestras fueron sometidas a pruebas de exposición ambiental en la región del Urabá que tiene un 95% de humedad relativa y una temperatura media de 35°C, esta prueba se realizó por más de un año, donde se concluyó que con este material pueden fabricarse elementos no estructurales.

Como aportes del producto se dio la innovación de un nuevo material, transportable, liviano, de bajo costo, utilizable para la construcción de muros interiores.

¹ Steam explosion: Es un proceso de pre tratamiento que abre las fibras y Polímeros de biomasa más accesibles para procesos posteriores, es decir, fermentación, hidrólisis o Densificación.



Figura 2. Proceso de extracción de la fibra de plátano

Fuente: (laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica de arquitectura, Leet., 2008-2009)



Figura 3. Proceso de extracción de la fibra de plátano

Fuente: (laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica de arquitectura, Leet., 2008-2009)

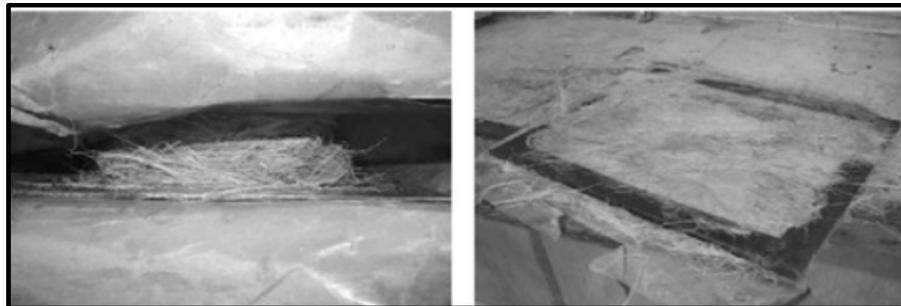


Figura 4. Proceso de prensado de la fibra en el molde.

Fuente: (laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica de arquitectura, Leet., 2008-2009)

Finalmente (Guerrero, 2015) plantea la realización de recubrimientos para paredes utilizando como materia prima las fibras del banano, donde durante su proceso se concluyó

que las fibras naturales son una opción más saludable, más sostenible ya que las fibras naturales tienen emisiones neutrales de dióxido de carbono las cuales al ser procesadas crean residuos que pueden ser utilizados en materiales compuestos para la construcción como una opción de alta tecnología pues éstas cuentan con una buena resistencia mecánica, poco peso y bajo coste económico .

Los óptimos resultados de resistencia y ligereza de ésta fibra, lo hace un material llamativo en el uso industrial (Guerrero, 2015). En Europa se estima el uso de 80.000 toneladas de fibras naturales para reforzar paneles termoplásticos, en la India se han desarrollado laminas hechas con compuestos de fibra de coco, en Brasil se está realizando un material de cubierta reforzada con sisal., En Europa se utilizan los residuos del cáñamo como refuerzo en estructuras realizadas con cemento y en China como materiales de construcción en las edificaciones construidas para los Juegos Olímpicos en el año 2008.



Figura 5. Paneles con fibras de banano

Fuente: (Guerrero, 2015)

Marco Teórico

A continuación encontraremos una serie de términos relacionados que nos abren puertas cognitivas en el campo de la acústica, los cuales son de gran importancia para el desarrollo del proyecto, contextualizando conceptualmente la temática a tratar. Teniendo en cuenta la base conceptual se define: sonido, ruido, ruido aéreo, niveles de presión sonora, frecuencia, aislamiento acústico, masa, rigidez, amortiguación, ley de masas, paredes dobles, acústica arquitectónica, ecos, reflexión temprana, ambiencia, absorción sonora, tiempo de reverberación, acústica arquitectónica, materiales absorbentes acústicos, absorción sonora y resonador de Helmholtz.

Sonido es una vibración de ondas mecánica que se propaga en medios elásticos y densos produciendo una sensación auditiva. De acuerdo a la definición dada por (Sistemas de Insonorización para la Industria y Medio Ambiente) es posible considerar dos aspectos diferentes dentro de la misma: sonido como fenómeno físico, que es la perturbación producida por un cuerpo en vibración dentro de un medio, dando lugar a un determinado tipo de onda sonora y el sonido como fenómeno fisiológico que es la perturbación de un medio produciendo sensaciones auditivas al alcanzar el oído.

Ruido es un conjunto de sonidos no deseados que causan molestia o perturbación. (Sistemas de Insonorización para la Industria y Medio Ambiente) Como una mezcla compleja de sonidos con frecuencias diferentes. Existen diferentes tipos de ruido los cuales define la (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2011) como: Ruido continuo, se presenta cuando la presión sonora es constante durante determinado tiempo, ruido intermitente el cual se produce cuando hay caídas bruscas del nivel de presión sonora de forma intermitente hasta

alcanzar el nivel superior y el ruido de impacto se produce por el choque o rozamiento, ejemplo un martillo, taconeo o movimiento por arrastre de muebles u objetos.

Dependiendo del tipo de exposición ambiental, el ruido puede generar efectos crónicos sobre los vasos sanguíneos y capilares además de pérdidas temporales y permanentes de la audición y otras afecciones físicas y mentales como trastornos cardiacos, estomacales, nerviosos, irritabilidad, erosión de las arterias coronarias y baja del libido; este tipo de daños fisiológicos pueden evitarse teniendo un control sobre los niveles permitidos del ruido ver **Figura 6** mediante el diseño de las instalaciones, selección de materiales y uso de aislamientos acústicos.

Variación de Intensidad (KPa)	Ejemplo de Ruido	DB
1	Umbral de audición 0	0
10	Muy silencioso 10	10
100	Susurro 20	20
1.000	Ruido muy suave 30	30
10.000	Interior de una recamara en silencio 40	40
100.000	Conversación en voz baja 50	50
1.000.000	Aparato de aire acondicionado 60	60
10.000.000	Oficina. Tienda. 70	70
100.000.000	Lavadora. Calle con tráfico intenso. 80	80
1.000.000.000	Esmeril. 90	90
10.000.000.000.	Martillo neumático. Industria textil. 100	100
100.000.000.000	Remachadora. Concierto de rock. 110	110
1.000.000.000.000	Juegos Artificiales. 120	120
10.000.000.000.000	Avión Reactor despegado. 130	130

Figura 6. Valores Intensidad sonora

Fuente: (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2011)

Debido a los diferentes niveles de intensidad sonora en el entorno como lo muestra la **Figura 6**, actualmente a nivel normativo en Bogotá existen tres resoluciones aplicables a la problemática del ruido en la ciudad (Secretaria Distrital de Ambiente Bogota, s.f.)

- Resolución No. 627/06 MAVDT: se adopta la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental (parámetros permisibles, procedimientos técnicos y metodológicos para la medición de ruido, presentación de informes, y otras disposiciones).
- Resolución DAMA No. 185/99: establece condiciones generales para la obtención de permisos de perifoneo en el Distrito Capital.
- Resolución DAMA No. 832/00: establece la clasificación empresarial por impacto sonoro UCR que permite valorar las industrias y establecimientos, respecto a su nivel de generación de ruido.

Ruido aéreo Compresiones o depresiones (expansiones) del aire, al incidir en una pared o piso hacen que ésta comience a vibrar, transmitiendo sus deformaciones al aire del espacio adyacente, convirtiéndose a su vez en una fuente de producción del sonido (nuevas reflexiones). Las vías de transmisión pueden ser directas o indirectas (Sanchez Delgado , Dujovne Guzman, & Poo Barrera)

Aislamiento acústico Se define como la capacidad de un elemento o solución constructiva para atenuar el paso del sonido de un recinto a otro. Este tipo de solución esta especificada para elementos horizontales, verticales o inclinados. Existen tres tipos de propiedades físicas que inciden en el aislamiento de los elementos constructivos: (Sánchez Delgado, Dujovne Guzman, & Poo Barrera, 2006)

Masa El aislamiento acústico depende de la masa del elemento divisorio. La ley física de masa indica que existe una mejora de 6 dB en el aislamiento al duplicar la masa (Harris M. Cyril 1995). Esto es válido para elementos macizos como muros y entrepisos. En el caso de elementos con cámara de aire interior, la masa también influirá positivamente en el aislamiento.

Rigidez Es una medida de la elasticidad de los cuerpos. En el caso del aislamiento acústico, el análisis de esta propiedad va directamente relacionado con la velocidad de transmisión del sonido y la frecuencia. En algunos casos convendrá disminuir la rigidez del sistema en una solución constructiva como estructuras soportantes de tabiques. En otros casos, será necesario aumentarla, como por ejemplo en los revestimientos.

Amortiguación Es conveniente que los elementos constructivos sean capaces, de disipar energía sonora, siendo la amortiguación una medida de esto. A mayor amortiguación habrá mayor disipación.

Ley de masas Prevé que cuanto más ligera y rígida sea la pared menor será su aislamiento. También establece que el aislamiento se incrementa en 6 dB al doblar la masa por una frecuencia fija. En la realidad esto se cumple sólo en el intervalo entre 500 y 1000 Hz y hasta los 45 dB. La ley de masa no deja de ser una ley teórica y no considera otros parámetros que afectan el aislamiento como la frecuencia de resonancia f_0 y la frecuencia crítica f_c . (Tecsound, 2003)

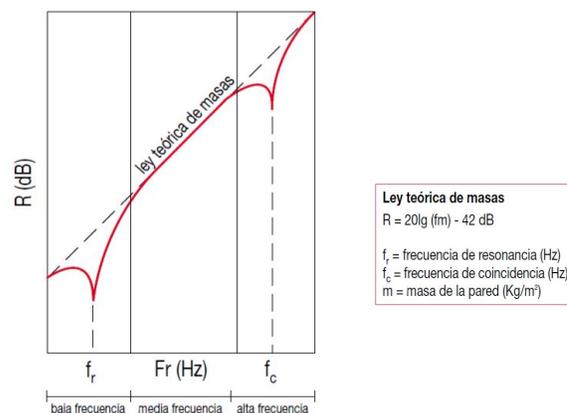


Figura 7: Ley teoría de masas.

Fuente: (Tecsound, 2003)

Paredes dobles El aislamiento acústico se puede incrementar utilizando paredes dobles.

Esto puede hacerse en el caso de paredes ligeras ya cuanto más pesada, mejor será el aislamiento y cuanto más ligera, nos costará más aislarla. La solución pasa por construir dos paredes simples y separarlas a una cierta distancia. Este conjunto proporcionará un aislamiento mayor que el de una pared simple de masa equivalente y representa un sistema masa – resorte – masa. Los factores que disminuyen el aislamiento en este sistema son:

- La Frecuencia de resonancia de la pared doble f_0 propia del conjunto. Depende de la masa de cada una de las paredes y de la distancia de separación entre éstas, siendo más baja a masas y/o distancias elevadas.

- Frecuencias críticas de las dos paredes. Éste término indica la relación de la rigidez de cada una de las paredes y su vibración propia (todos los materiales tienen una vibración propia en una frecuencia específica)

- Ondas estacionarias en la cámara de aire que originan el efecto “caja de guitarra” o “tambor”. (Tecsound, 2003) El

Acústica arquitectónica Es el estudio de los fenómenos vinculados con una propagación funcional del sonido en un recinto, donde se involucra el problema acústico (Miraya, 2016), por cualidades acústicas de un recinto se entienden una serie de propiedades relacionadas con el comportamiento del sonido:

Eco El fenómeno más sencillo que tiene lugar en un ambiente con superficies reflectoras del sonido es el eco, consistente en una única reflexión que retorna al punto donde se encuentra la fuente unos 100 ms (o más) después de emitido el sonido.

Reflexiones tempranas Cuando la fuente sonora está rodeada por varias superficies reflectantes (piso, paredes, techo) un oyente recibirá el sonido directo y además el sonido reflejado en cada pared. Las primeras reflexiones recibidas, se encuentran bastante separadas en el tiempo las cuales se denominan reflexiones tempranas. Esta situación se ilustra en la

Figura 8.

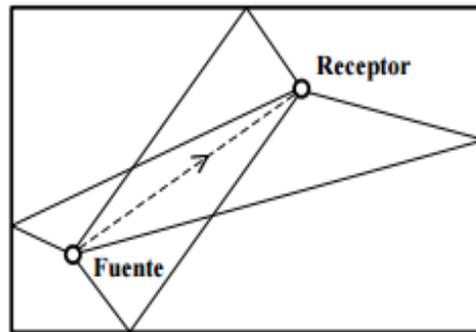


Figura 8 En línea de puntos, el sonido directo. En líneas llenas, algunas de las primeras reflexiones o reflexiones tempranas.

Fuente: (Miraya, 2016).

Ambiencia Sensación que permite al oyente identificar auditivamente el espacio en el que se encuentra. Arquitectónicamente, el control de la ambiencia se puede lograr mediante un cuidadoso diseño que involucra trazar, sobre un plano de la sala, “rayos” acústicos similares a los de la **Figura 8**, medir cuidadosamente sus recorridos y de allí determinar los tiempos de llegada de las correspondientes reflexiones, que pueden ser controladas mediante sistemas y materiales que acondicionen el espacio sonoramente. Hoy en día este trabajo se realiza con el auxilio de computadoras digitales y programas adecuados.

Absorción sonora Las superficies de un espacio específico reflejan sólo parcialmente el sonido que incide sobre ellas el resto es absorbido. Según el tipo de material o revestimiento de una pared (su capacidad de porosidad y elasticidad), ésta podrá absorber más o menos el

sonido, esta capacidad se mide mediante el coeficiente de absorción de un material. En

general, los materiales duros, como el hormigón, el vidrio o el mármol, son muy reflectantes y por lo tanto poco absorbentes del sonido y en cambio los materiales blandos y porosos, como la lana de vidrio o las fibras, son poco reflectantes y por consiguiente muy absorbentes.

Resonador de resonador de Helmholtz Un Resonador de Helmholtz es un volumen de aire contenido en una cavidad con al menos una abertura, también puede ser denominado un resonador de cavidad simple, donde principalmente se encontrarán una pared rígida, un cuello y una cavidad. (Ojer, 2013)

El aire que se encuentra en el cuello se comporta similar a una masa y el aire que está en la cavidad se comporta como un muelle los cuales unidos dan lugar a un sistema resonante el cual permitirá presentar una absorción de una frecuencia de resonancia. Este principio responde al comportamiento del sonido en paredes dobles.

Impedancia La impedancia se puede describir como la propiedad de un material de impedir el paso de la energía acústica, tomándola en dos partes: una real donde se describe la disipación de la energía y una imaginaria que sería la relación de la energía almacenada. Puede definirse mediante la siguiente formula: $z = \frac{p(0)}{v(0)}$ donde z es la impedancia, p es la presión y v la velocidad. (Soto, 2016)

Admitancia Éste término describe la propiedad de los materiales de permitir el paso de la energía acústica incidente sobre el mismo y es reciproco a la impedancia. Puede definirse mediante la siguiente formula: $\beta = \frac{1}{z}$ donde β es la admitancia y z la impedancia. (Soto, 2016)

Tiempo de reverberación Después del periodo de las reflexiones tempranas, comienzan a aparecer las reflexiones de las reflexiones de forma sucesiva, dando origen a una situación muy compleja en la cual las reflexiones se densifican cada vez más. Esta permanencia del sonido aún después de interrumpida la fuente se denomina reverberación. En la siguiente **Tabla 3** se presenta como se estructura la información en coeficientes de absorción de los materiales por frecuencias los cuales representan la capacidad de atenuación de la reverberación a modo de ejemplo, el tiempo de reverberación depende de cuán absorbentes sean las superficies (Miraya, 2016), si las paredes son muy reflectantes (es decir que reflejan la mayor parte del sonido que llega a ellas), se necesitarán muchas reflexiones para que se extinga el sonido y entonces T será grande. Si en cambio son muy absorbentes, en cada reflexión se absorberá una proporción muy alta del sonido, por lo tanto en unas pocas reflexiones el sonido será prácticamente inaudible, y el TR (tiempo de reverberación) será menor.

Tabla 3 coeficientes de absorción de diversos materiales en función de la frecuencia

Fuente: (Miraya, 2016)

material	coeficiente de absorción ~ a la frecuencia					
	125	250	500	1000	2000	4000
Madera en paneles (a 5cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Alfombra de lana 1,2 kg/m2	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 kg/m2	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Asiento de madera (0,8 m2 /asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08

Como se observa en la **Tabla 3** (Miraya, 2016) podemos observar que las fibras naturales en la seis frecuencias analizadas presentan una buena absorción sonora en comparación de otros tipos de aislantes que requieren más procesos para su elaboración.

[Materiales absorbentes acústicos](#) Podemos encontrar materiales de construcción y revestimientos los cuales tienen propiedades absorbentes muy variables, dando como respuesta una solución a una problemática acústica, (Miraya, 2016) existen varios tipos de materiales de esta clase como el poli estireno expandido, drywall, paneles de eterboart y el más económico es fibra de vidrio, que se presenta en dos formas: como fieltro, y como panel rígido. La absorción aumenta con el espesor, y también con la densidad. Permite absorciones sonoras muy altas. El inconveniente es que debe ser separada del ambiente acústico mediante paneles protectores cuya finalidad es doble: proteger la lana de vidrio de las personas, y a las personas de la lana de vidrio (ya que las partículas que se podrían desprender no sólo lastiman la piel sino que al ser respiradas se acumulan irreversiblemente en los pulmones corriendo peligro la salud).

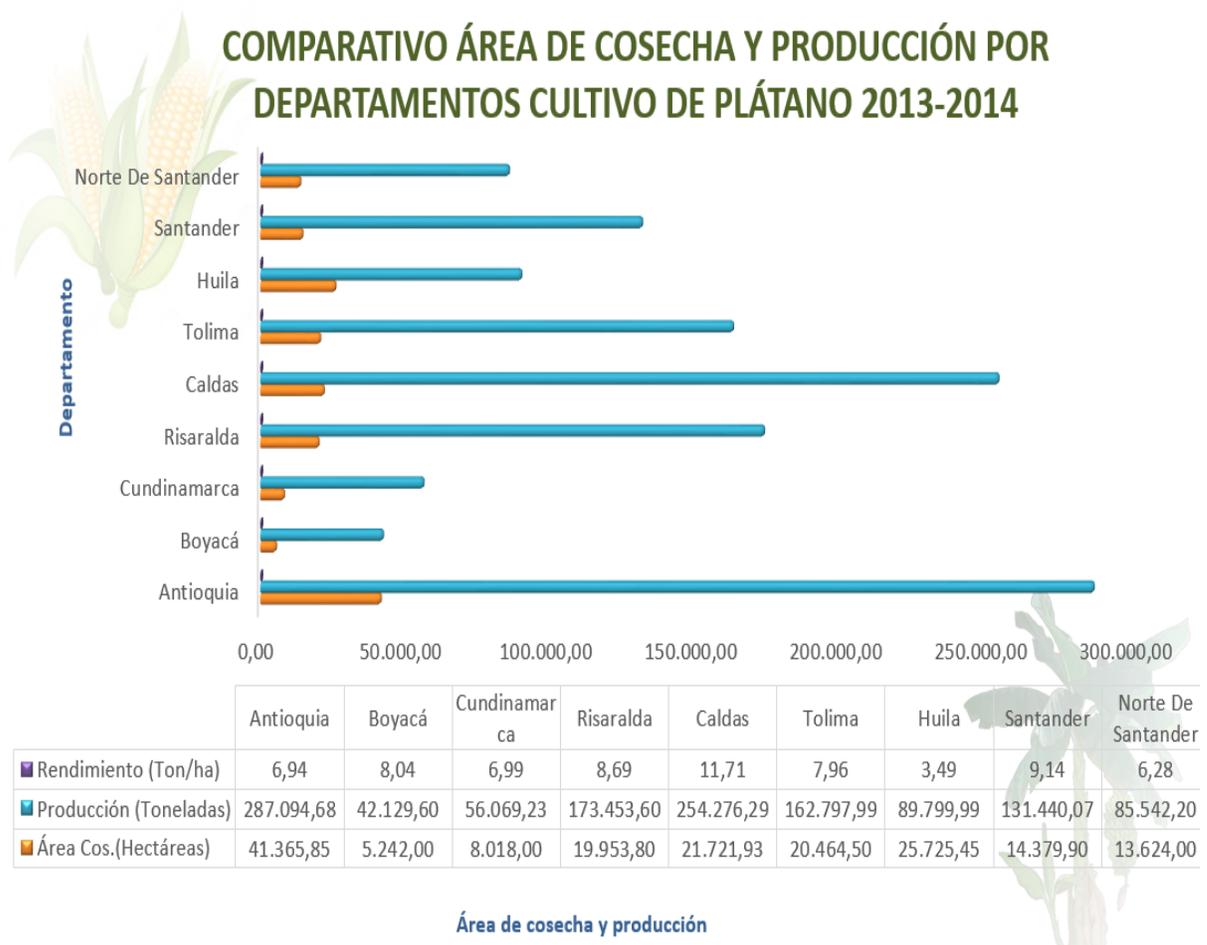
[Musa x paradisiaca \(planta de plátano\)](#) Según (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2014) el plátano es una planta herbácea monocotiledónea, de la familia Musáceae, originaria del sudeste asiático y traída a nuestro país por los españoles en el siglo XVI, Las variedades de plátano cultivadas en Colombia son: dominico-hartón, dominico, hartón, peli pita, morado, cachaco, popocho, pompo, maqueño, guineo y trucho. Algunas condiciones agroecológicas para el cultivo del plátano son: altitud 2000msnm, temperatura factor que determina que el periodo vegetativo de la planta sea más largo o más corto, vientos se recomienda que no sean superiores a 20km/hora pues causarían daño a las hojas como doblamiento ruptura afectando la producción, la humedad relativa debe estar entre el 75% y el 80% , luminosidad el contar con buena luminosidad ayuda a que las plantas se desarrollen

adecuadamente de lo contrario esto afecta la calidad del fruto y retrasa la producción, y

finalmente el suelo tienen que ser suelos fértiles y con buena cantidad orgánica (franco arenoso – arcilloso – arenoso).

Tabla 4 Cosecha y producción por departamentos de la región del área andina de plátano

Fuente: información (*Ministerio de agricultura, 2014*) análisis propio.



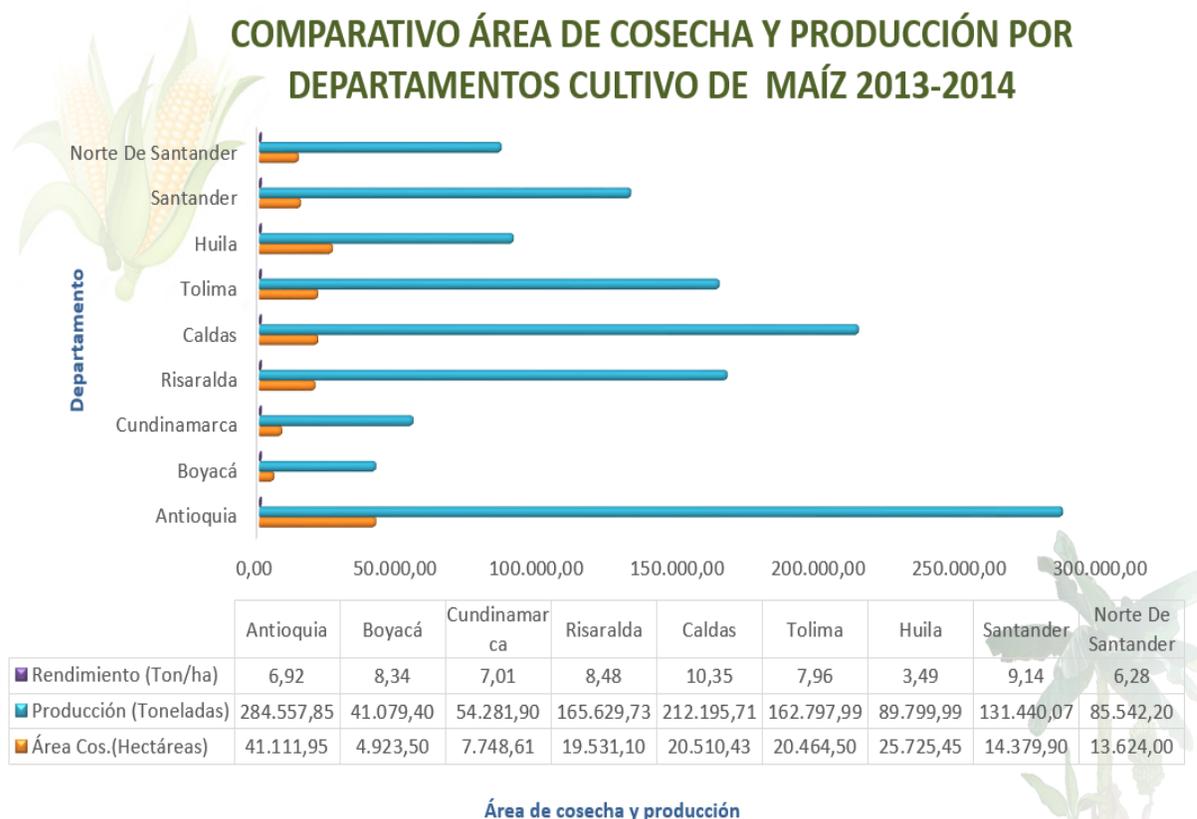
En la **Tabla 4** se puede observar un comparativo de los departamentos de la región del área andina donde se analizan el área de cosecha en hectáreas de plátano, la producción en toneladas y el rendimiento del mismo es decir cantidad de toneladas producidas sobre

hectárea, observando que el nivel de producción en esta región es mayor a el área de cosecha y donde se demuestra que tiene un buen rendimiento en el sentido de la producción.

[Zea mays \(planta de Maíz\)](#) El cultivo del maíz produce una gran cantidad de biomasa, de la cual el hombre cosecha apenas cerca del 50% en forma de grano. El resto, corresponde a diversas estructuras de la planta tales como caña, hoja, limbos y mazorca entre otros.

Tabla 5 Cosecha y producción por departamentos de la región del área andina de maíz

Fuente: información (Ministerio de agricultura, 2014) análisis propio.



Con los comparativos anteriores podemos concluir que unos de los principales productores de maíz y plátano son el departamento de Antioquia, Caldas y Tolima y los departamentos donde las producciones son menores significativamente son los de Boyacá, Cundinamarca y Huila.

Marco legal

Para el desarrollo de este proyecto sobre la elaboración de un panel resonador de absorción acústica a partir del uso de las fibras del culmo de *Zea mays* (maíz) y hojas de *Musa x paradisiaca* (plátano) se tuvieron en cuenta una serie de normativas enfocadas hacia el desarrollo acústico de materiales.

NTC 5626

La normativa rige los asuntos esenciales que permiten determinar los valores mínimos de control y seguridad en cuanto a emisión de ruido se refiere. Por medio del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se promulgó la Resolución 0627 del 2006 (Colombia, 2006), la cual estipula la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. La **Tabla 7** resume los estándares máximos permitidos para la emisión de ruido y niveles de ruido en decibelios ponderados dB(A)

Zonas respectivas	Nivel de presión sonora dB (A)	
	Periodo diurno	Periodo nocturno
Zona residencial	65	45
Zona comercial	70	60
Zona industrial	75	75
Zona de tranquilidad	45	45

Figura 9: niveles sonoros máximos permisibles en Colombia

Fuente: NTC 5626 Colombia (1983)

Tabla 6 Estándares máximos permisibles de niveles de ruidos expresados en decibeles

Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá, s.f.)

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.	80	75
Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.			
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

La NTC 5626 (ICONTEC, 2008), a modo de ejemplo, reúne términos esenciales en el campo de la medición de nivel de ruido, como lo son las Ecuaciones 2, 3, 4, y 5. Así como en la En la NTC 4795 se puede apreciar información tanto de la obtención del nivel de presión sonora promedio como el de la Ecuación 2, como el nivel de potencia acústica de la Ecuación

$$L = \log 10 \left(\frac{\sum_{i=1}^n 10^{0,1 \times l_i}}{n} \right) dB \quad (Ec.2)$$

De la ecuación 2, se obtiene el nivel de presión sonora promedio. Donde es el nivel de presión sonora en las diferentes posiciones del micrófono. Nivel de presión sonora ponderado en A para frecuencias de 63Hz hasta 8KHz.

$$L_A = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1(l_i+c_i)} dB \quad (Ec.3)$$

Nivel de presión sonora ponderado en C para frecuencias de 31,5Hz hasta 8KHz Nivel de presión sonora ponderado en C para frecuencias de 31,5Hz hasta 8KHz.

$$L_A = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1(l_i+A_i)} dB \quad (Ec.4)$$

Tanto para la Ecuación 3, como para la Ecuación 4, el valor de L_i es el nivel de presión sonora en la banda de octava respectiva: para la Ecuación 3 es la banda de octava, para la Ecuación 4 es la banda de octava i y C_i . (ICONTEC, 2008). Nivel de exposición sonora.

$$L_E = 10 \log \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P^2}{P_0^2} dt dB \quad (Ec.5)$$

En donde:

- $P_2(t)$ es la presión acústica instantánea.
- t_1 y t_2 son intervalos de tiempo con duración suficiente como para abarcar eventos sonoros considerables.

- P_0 es la presión acústica de referencia, igual a $20\mu\text{Pa}$.
- t_0 es el tiempo de referencia, igual a 1 segundo.

DB-HR documento básico protección frente al ruido

Procedimiento de verificación:

- Alcanzar valores límites de aislamiento acústico a ruido aéreo no superar valores de límite de ruido de impacto.
- No superar límites de tiempo de reverberación
- Cumplir los referentes de ruido y vibraciones

Para la correcta aplicación:

- a. Cumplimiento de condiciones de diseño y dimensionamiento verificar a través de:
 -  Opción simplificada - solución de aislamiento
 -  Opción general - calculo según tipos de ruido especificados
- b. Cumplimiento tiempo de reverberación
- c. Cumplimiento frente a ruido y vibraciones de las instalaciones
- d. Cumplimiento de condiciones relativas
- e. Cumplimiento condiciones de construcción
- f. Cumplimiento condiciones de mantenimiento y conservación

Caracterización y cuantificación de las exigencias

1. Exigencias básicas contempladas en el art 14 condiciones a elementos constructivos
2. Ley 37 del 2003 de 13 de noviembre de ruido y desarrollos reglamentarios

Valores límites de aislamiento – aislamiento de ruido aéreo

- Índice global de reducción acústica no menos a 33 dB.
- Índice de reducción acústica recinto protegido no menor a 50 dB.
- Recinto protegido, de instalaciones o actividad no menor a 50 dB.

Diseño y dimensionamiento- aislamiento acústico a ruido aéreo.

- Diseño y dimensionamiento de los elementos constructivos pueden elegirse de opción general o simplificada.
- Para elementos que aíslan de ruido aéreo.
 - Valor masa por unidad de superficie.
 - Índice de reducción global.

Solución de aislamiento opción simplificada

- Proporciona soluciones de aislamiento que dan conformidad a exigencias de aislamiento de ruido aéreo y ruido de impacto.
- Aislamiento conjunto de elementos constructivos que conforman un recinto (elementos de separación vertical, horizontal, tabiquería, medianeras, fachadas y cubiertas) y que influyen en la transmisión de ruido y de vibraciones entre recintos adyacentes.

Condiciones de aplicación – opción simplificada

- Valido para edificios de cualquier uso en caso de vivienda unifamiliar y adosada.

- Valido para edificios con estructura horizontal resistente formada por forjados de hormigón macizos o aligerados, mixtos en hormigón y chapa de acero.

Parámetros acústicos de elementos constructivos:

1. Separación vertical :

m: masa por unidad de superficie de elemento base kg/m^2

R_A : Índice global de reducción ponderado A del elemento base dBA

ΔR_A : Mejora del índice global reducción acústica

2. Separación horizontal:

m: masa por unidad de superficie de elemento base kg/m^2

R_A : Índice global de reducción ponderado A del elemento base dBA

ΔL_W : Reducción del nivel global de presión de ruido de impactos, suelo flotante

ΔR_A : Mejora del índice global reducción acústica dBA suelo flotante o techo suspendido.

Método de cálculo de aislamiento acústico

- Calculo basado en el modelo simplificado para la transmisión acústica estructural UNE EN 12354 PARTE 1,2 y 3
 - Calculo de ruido aéreo acústico aparente R' (o índice de reducción acústica aparente) que se considera en su forma global R_A'

Metodología

En el desarrollo de este proyecto se tiene en cuenta un enfoque cuantitativo, el cual se caracteriza por un protocolo de ensayos que permiten comprobar la capacidad de aislamiento acústico de los dos prototipos de panel. Los resultados de los ensayos serán interpretados en gráficas y posteriormente analizados.

Objetivo 1: Realizar la caracterización física de las fibras del peciolo de las hojas y del vástago *Musa x paradisiaca* (planta de plátano) y del culmo de *Zea mays* (planta de Maíz) a fin de identificar su comportamiento frente a los requerimientos de desarrollo de un panel en cuanto a sus condiciones físicas como su, dimensionamiento, espesor, peso, densidad; y otras como la absorción de humedad y comportamiento frente al sonido, para el desarrollo de este objetivo necesitamos:

A. Pruebas físicas a los materiales

- ✓ Recolección del material para los procesos de obtención de las fibras mediante suspensión de la materia prima en ácido sulfúrico al 1% según parámetros de la **ASTM D1106 – 07** y soda caustica al 72%.
- ✓ elaboración de probetas según **ASTM D 1037**
- ✓ Prueba y análisis de la absorción de agua siguiendo los parámetros de la **ASTM D 1037**.
- ✓ Prueba y análisis de humedad en horno temperatura entre 105° - 115° siguiendo los parámetros de la **ASTM D 4442 – 07**.
- ✓ analizar el contenido de humedad de las fibras según la **ASTM D 5229**.

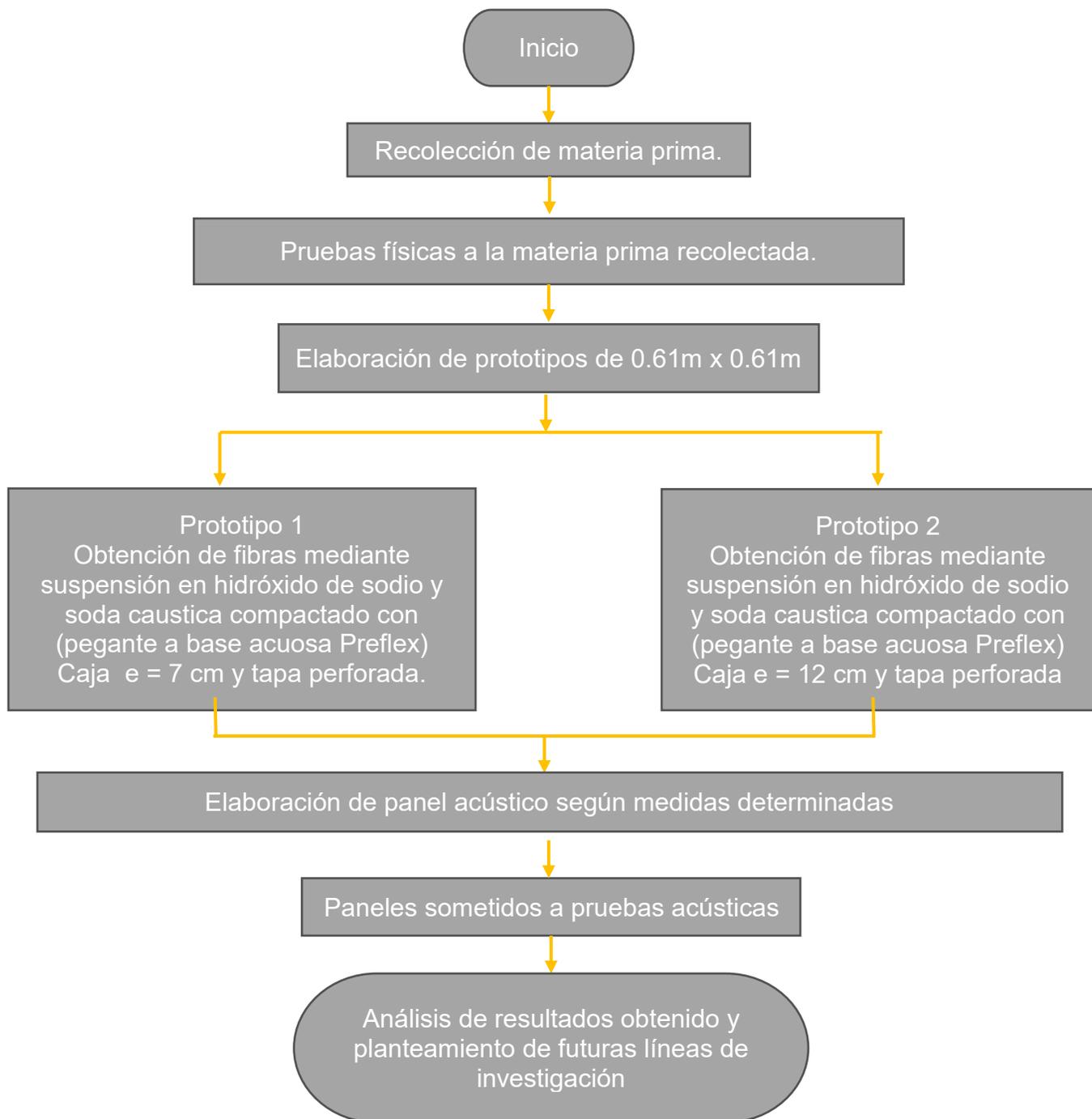
- B.** Análisis e interpretación de datos.
- C.** Conclusiones de acuerdo a los ensayos realizados.

Objetivo 2: Aplicar la metodología para evaluación de capacidad de atenuación de las ondas sonoras,

- A.** prueba acústica con sonómetro.
 - ✓ Elaboración de los dos prototipos de panel teniendo en cuenta los diseños a elaborar, las medidas y la ubicación de las fibras en cada prototipo llevando un diario de campo de la elaboración de cada prototipo.
 - ✓ Someter a ensayos de aislamiento acústico los dos prototipos de panel y un panel de un material utilizado con frecuencia (drywall y Frescasa).
- B.** Interpretación y análisis de los datos.
- C.** Conclusiones de acuerdo a los ensayos realizados mencionando cuál de los prototipos tiene viabilidad como aislamiento acústico teniendo en cuenta la variabilidad en su espesor.

Objetivo 3: Plantear lineamientos para la fabricación eficiente del panel e implementación.

- A.** Realizar detalles con especificaciones técnicas de construcción del panel.
- B.** Conclusiones y recomendaciones del sistema.



Capítulo 2

Caracterización del material y asociaciones físicas.

Lo primordial antes de realizar la caracterización de los insumos a utilizar en este caso de fibras de culmo de *Zea mays* (maíz) y hojas de *Musa x paradisiaca* (plátano) es la obtención de estas fibras, dicho procedimiento de obtención de fibras se realizara bajo los lineamientos establecidos en la norma **ASTM D 1106-07** donde trataremos nuestros insumos leñosos con ácidos fuertes del Bo hidratos, hidratos los cuales son hidrolizados, dejando un residuo insoluble que se determina como la lignina. Dado que algunos de los extractos de madera (aceites, resinas, grasas, ceras, taninos, gomas y almidón) seguirían siendo insoluble con la lignina, estos son eliminados en primer lugar por los disolventes adecuado. (El método del ácido sulfúrico libera el 72% de lignina). (ASTM international, 2001) Donde inmediatamente después de la liberación de la lignina y componentes orgánicos procedemos a encontrarnos directamente con la fibra la cual es lavada adecuadamente y después sometida a un tiempo de secado al ambiente.

Ya obtenidas la fibras de culmo de *Zea mays* (maíz) y hojas de *Musa x paradisiaca* (plátano) estas se dispondrán para realizar dos pruebas físicas donde se analizara su capacidad absorbente de agua y se determinara su contenido de humedad; para analizar su capacidad absorbente de agua nos regiremos bajo los lineamientos de la **ASTM D 1037** donde se deben realizar una serie de probetas de 4.5cm *4cm y 0.5 cm de espesor, estas se tienen que pesar antes que sumergirlas, después sumergirlas por un periodo de 2 y 24 horas, posterior a esto se sacan y se escurren dejándolas al aire por 5 minutos para volver a pesarlas y de esta manera halla la cantidad de agua absorbida por cada probeta (ASTM international, 2003)y para analizar su capacidad de contenido de humedad nos regimos bajo los lineamientos

de la **ASTM D 4442-07** donde los métodos de ensayo cubren la determinación del contenido de humedad (MC) de la madera maciza, chapa, y otros materiales de madera y de base, incluyendo los que contienen adhesivos y aditivos químicos. Los métodos de ensayo siguientes describen primaria (A) y secundaria (B a D) procedimientos para medir el contenido de humedad:

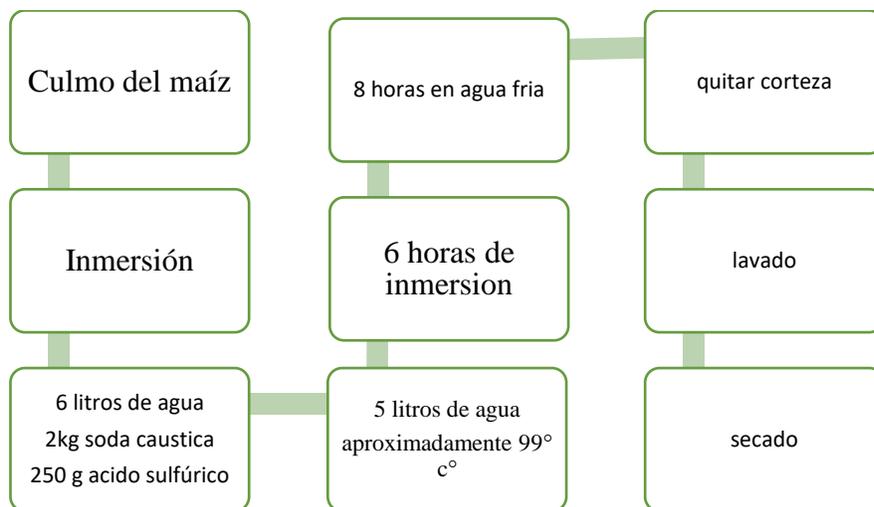
Método A-primaria de secado en horno Método B-secundaria de secado en horno
Método C-Destilación (Secundaria) Método D Otro Métodos secundarios.

El método del horno de secado primaria (Método A) está pensado como el método primario único. Está estructurado para fines de investigación donde se necesita la máxima precisión o el grado de precisión. (ASTM international) Esta última realizándose con el fin de saber cómo va a funcionar con pegante en este caso de base acuosa y para determinar con el ambiente si es más o menos estable.

Como se mencionaba anteriormente se empezara por la obtención de las fibras de culmo de *Zea mays* (maíz) y hojas de *Musa x paradisiaca* (plátano) donde se realizaron los siguientes procedimientos.

Obtención de las fibras

Zea mays (maíz).



Fuente: Elaboración propia

A. Inmersión ácidos



B. Inmersión agua fría



C. Inmersión agua fría



D. Lavado



E. Lavado



F. Secado



Figura 10 proceso de obtención de fibras del culmo de *Zea mays* (maíz)

Fuente: imágenes de fuente propia

Luego de obtener la materia prima en estado natural en este caso el culmo de *Zea mays* (MAÍZ) se procede a limpiarlas quitandoles la ligula, lamina, y la vaina según la orientación de la **Figura 11** partes del entrenudo del culmo del maiz dejando solo los culmos los cuales son nuestra materia prima a utilizar.

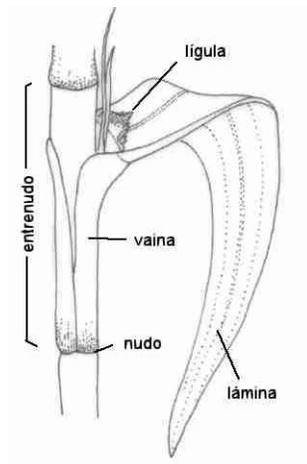


Figura 11 partes del entrenudo del culmo del maíz

Fuente : <http://www.efn.unc.edu.ar/departamentos/biologia/intrbiol/planta2.htm> recuperado el 4 de marzo del 2017

Despues de tener los culmos sin otro material orgánico procedemos a limpiarlo con trapo humedo con el fin de retirar contenido de tierra y otros que se puedan encontrar; como se muestra en la **Figura 10.A.** disponemos a ubicar los culmos en un tanque donde despues les proporcionaremos 6 litros de agua fria 2kg de soda caustica y 250g de acido sulfurico, añadimos 5 litros de agua aproximadamente a 99°c° dejando los culmos durante 6 horas en un periodo de inmersión despues de esto como se muestra en la **Figura 10.B.C.** sacamos los culmos del tanque y seguido a esto seran ubicados en tinas con agua fria con el fin de catalizar el efecto de los quimicos añadidos anteriormente, estas dejandolas durante un periodo de 8 horas, posteriormente se dispondra ah quitar las cortezas de los culmos y se prepararan para el lavado como se muestra en la **Figura 10.D.E.** donde para eso se utilizara un detergente común y corriente y bastante agua con el fin de eliminar todo contenido del acido sulfurico y soda

caustica utilizada anteriormente, y por ultimo en la **Figura10.F.** se muestra como quedan las fibras despúes del proceso de lavado y se disponen para el secado al medio ambiente.

Musa x paradisiaca (plátano).



Fuente: Elaboración propia

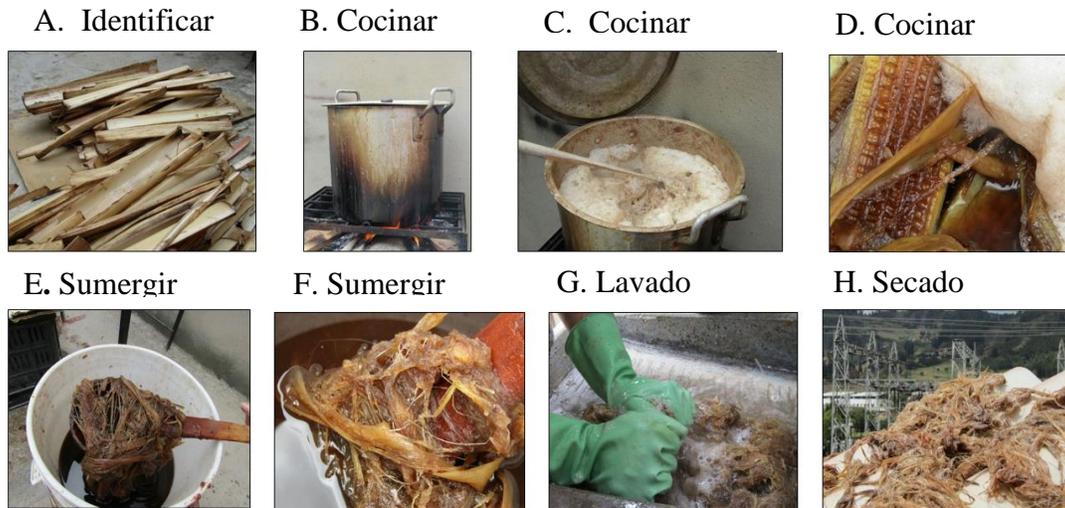


Figura 12 proceso de obtención de fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano)

Fuente: Imágenes de fuente propia.

Al igual que para obtener las fibras del culmo del maíz en este caso después de ya recolectada la materia prima en este caso hojas de la planta de plátano y capas de vástago procede a limpiarlos y cortarlos como lo se puede evidenciar en la **Figura.12.A.** Donde se identificara que los vástagos cortados no tengan ningún tipo de daño o pudrimiento, posteriormente se ubicaran los vástagos en la olla donde se adicionaran 10 litros de agua 750g de soda caustica y 250g de ácido sulfúrico los cuales se pondrán a cocinar durante un periodo de 3 horas como se evidencia en la **Figura.12.B.C.D.** Seguidamente se sacaran las fibras de la olla con agua caliente y serán depositadas en un balde con agua fría como se muestra en la **Figura.12.E.F.** Donde luego serán sacadas y dispuestas al lavado hasta obtener la pureza del agua de las fibras lo cual asegura que ya han eliminado su lignina, aceites y demás compuestos orgánicos como se muestra en la **Figura.12.G** finalmente escurriremos las fibras y las dispondremos a secar con el ambiente de manera natural como lo muestra en la **Figura.12.H.**

Capacidad absorbente de agua

Con el fin de identificar la capacidad absorbente de agua de las fibras de *Zea mays* (maíz) y *Musa x paradisiaca* (plátano) siguiendo los lineamientos planteados en el protocolo según la ASTM D 1037 se dio inicio a la prueba a las 4:03 pm del 15 de marzo del 2017 donde se inició tomando los pesos iniciales en gramos de cada una de las probetas teniendo en cuenta que la normativa pide 4 probetas de 4.5cm largo x 4cm ancho x 0.5 cm de espesor posterior, se llena un recipiente con agua potable donde se procede a sumergirlas en este caso con ayuda de pequeñas rocas debido a que por su bajo peso flotaban, a la hora de sumergir las probetas.



Figura 13: procedimiento realización prueba absorción de agua según ASTM D 1037

Fuente: Imágenes de fuente propia

E. Registro a 1 hora

F. Pesar probetas a las

G. Registro a las

H. Sacar probetas



Figura 14: Procedimiento para desarrollo prueba absorción de agua según ASTM D 1037

Fuente: Imágenes de fuente propia.

Análisis fibras de *Zea mays* (maíz).

Durante el procedimiento se obtuvieron los siguientes datos inicialmente. El tiempo máximo de la prueba fue de 3.55h debido a que el aglomerante no cumplió condiciones de 24 h de inmersión.

Tabla 7: Tabla peso inicial y peso durante el periodo de inmersión en 4 probetas de fibra de culmo de *Zea mays* (maíz) i: peso inicial 2h: tiempo 2 horas 3.55h: tiempo 3 horas 55 minutos

Fuente Elaboración propia.

peso (g)	Tiempo		
	i (g)	2h (g)	3.55h(g)
probeta 1	1,8	6,2	8,39
probeta 2	1,5	5,1	6,82
probeta 3	1,9	6,4	9,78
probeta 4	1,8	7,2	8,96
\bar{x}	18	6,2	8,5

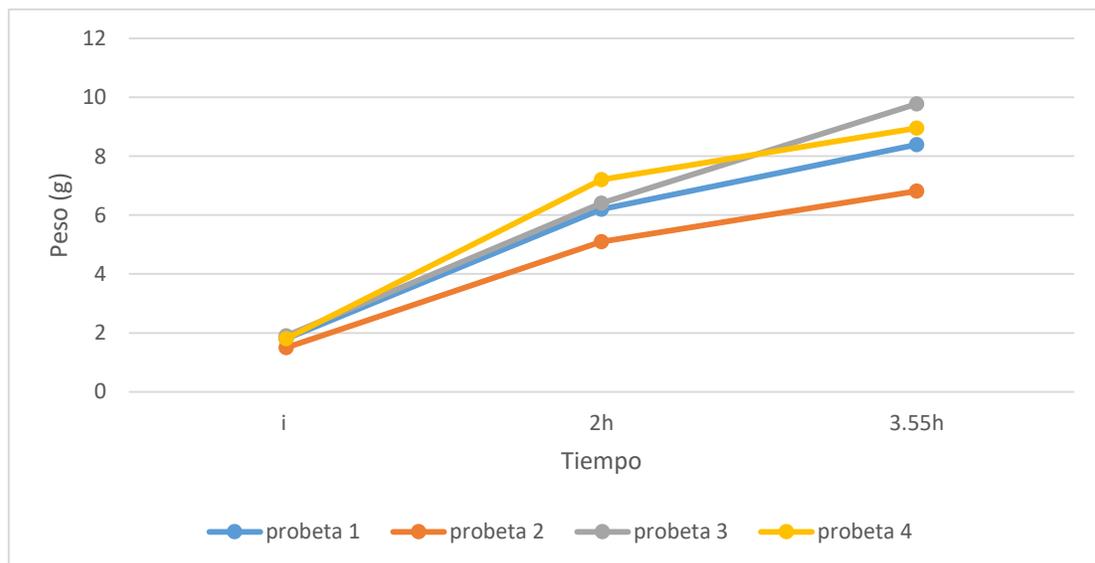


Figura 15: diagrama de dispersión peso/tiempo 4 probetas de fibra de culmo de *Zea mays* (maíz)

Fuente propia.

Posteriormente después de tabulados los primeros datos de peso en los tres tiempos establecidos para las probetas de *Zea mays* (maíz) como se muestra en la **Tabla 8** se puede notar como inicialmente sus pesos estaban entre un rango de 1,5(g) y 1,9(g) siendo el promedio de estos pesos 1,8 (g), donde posteriormente en el segundo tiempo identificado a las 2 h sus pesos aumentaron entre unos rangos de 5,1(g) y 7,2(g) siendo el peso promedio de estos 6,2(g) de los cuales se observa un aumento de peso tres veces mayor al inicial y finalmente para las 3.55 h se identifica que los pesos estaban en un rango entre los 6,82(g) y los 9,78(g) donde el peso promedio estaba en los 8,5(g) identificando que periodo de tiempo las probetas ya absorbieron menor cantidad de agua.

Figura 15 diagrama de dispersión se puede observar como de acuerdo a los datos tabulados el peso de las probetas aumenta manteniéndose en unos intervalos de peso y aumentan progresivamente hasta finalizada la prueba.

Después de analizados los pesos durante el periodo de inmersión de las probetas proseguimos a hallar el porcentaje de absorción de agua de las probetas donde identificamos los siguientes datos:

Tabla 8: tabla porcentajes de absorción de agua en los tiempos estimulados 4 probetas de fibra de culmo de *Zea mays* (maíz) Aa: absorción de agua

Fuente: Elaboración propia.

Tiempo	% Absorción de agua	
	Aa 2 h	Aa 3.55h
probeta 1	244,44%	366,11%
probeta 2	240,00%	354,67%
probeta 3	236,84%	414,74%
probeta 4	300,00%	397,78%
\bar{x}	255,32%	383,33%

En la **Tabla 9** se identifica que el promedio de absorción de agua a las 2h es de 258,95% encontrando los datos de las cuatro probetas analizadas entre intervalos de 240% y 300% y consecuentemente para las 3.55H se identificó que el promedio de absorción de agua es del 383,33% donde los datos de las cuatro probetas analizadas se encontraban entre intervalos de 366,11% y 414,74% encontrando una diferencia de porcentaje de absorción de 124,38% en promedio.

En la **Figura 16** se puede observar claramente como fue el proceso de absorción de agua de las probetas y se muestra como su aumento de absorción de agua es directamente proporcional en las probetas 1,2 y 4 y como la probeta 3 tiene un aumento un poco más alto de las otras probetas.

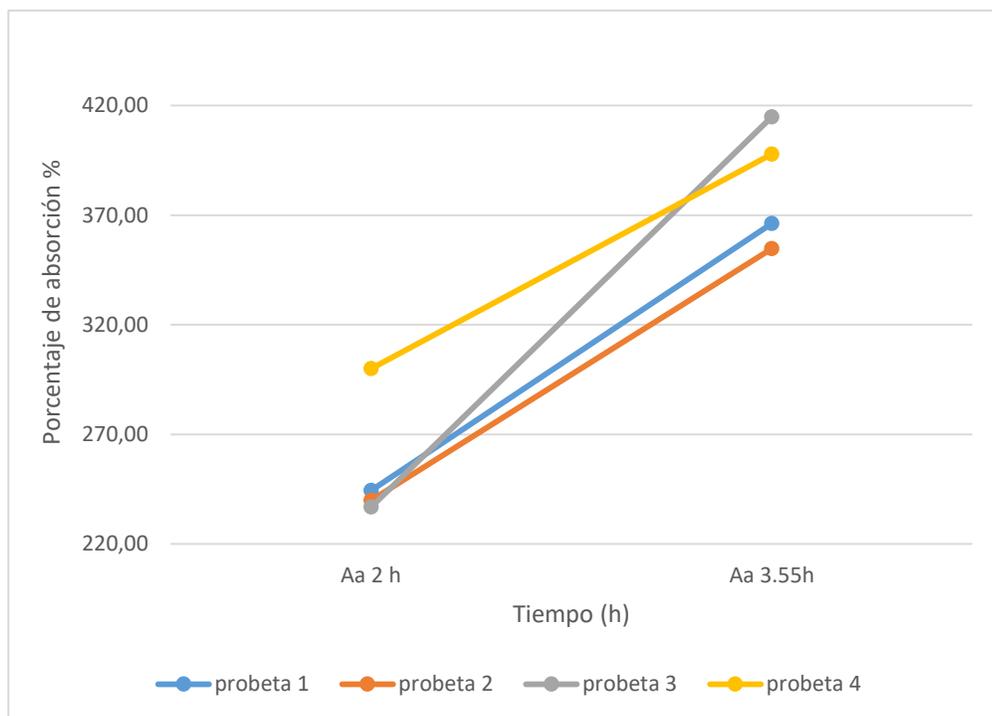


Figura 16: diagrama de dispersión porcentaje de absorción / tiempo (h) 4 probetas de fibra culmo de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia

Consecuentemente se sometieron las probetas a una temperatura de 55°C por un periodo de 21h comenzando a las 7:58 pm. Donde registraron los datos que aparecen a continuación en la **Tabla 10**.

Tabla 9: Tabla peso durante el periodo de calor de horno a 55°C en 4 probetas de fibra de culmo de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia.

peso	Tiempo			
	W 3.55h (g)	15,32h Δ	20,30h Δ	21,00h
probeta 1	8,39	1,237	1,236	1,251
probeta 2	6,82	1,057	1,055	1,073
probeta 3	9,78	1,261	1,259	1,275
probeta 4	8,96	1,078	1,077	1,096
\bar{x}	8,488	1,158	1,157	1,174

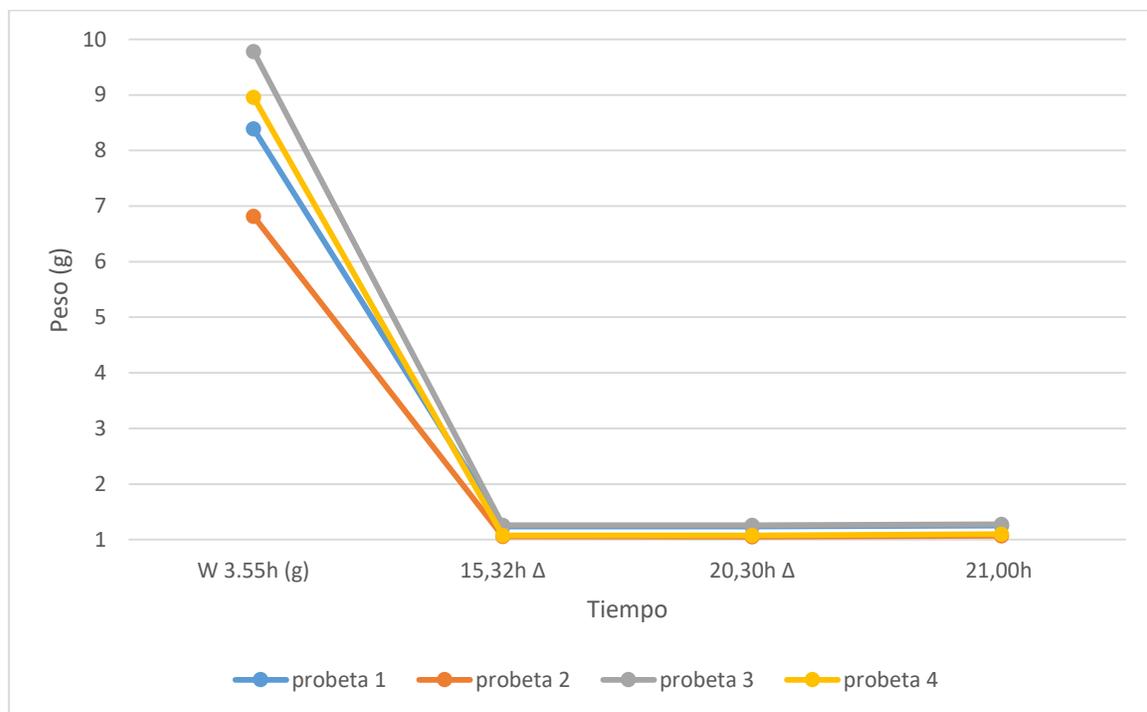


Figura 17: diagrama de dispersión peso/tiempo durante 20h de calor a 4 probetas de fibra de culmo de *Zea Mays* (maíz).

Fuente Elaboración propia.

En la **Figura 17** se puede analizar cómo después de la inmersión los pesos estaban en un rango entre los 6,82(g) y los 9,78(g) y después de durar un periodo de 15.32h en el horno

el peso de las probetas estaba en un rango 1.078(g) y 1.261(g) lo que significó una gran pérdida de humedad de las probetas, posteriormente a las 20.30h de estar en el horno el cambio de peso de las probetas no fue muy notorio, seguidamente de este peso de sacaron las probetas y se dejaron a la temperatura ambiente del laboratorio la cual era 18.7°C lo que después a las 21.00 de las prueba es decir media hora después del último peso identificado de las probetas en el horno estas se volvieron a pesar y se observó que las probetas habían aumentado su peso lo que llevo a la conclusión que las fibras de *Zea mays* (maíz) tienen una capacidad higroscópica.

Análisis fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Simultáneamente se realizó el mismo proceso con 4 probetas de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Tabla 10: Tabla peso inicial y peso durante el periodo de inmersión en 4 probetas de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Fuente Elaboración propia.

peso	Tiempo		
	i (g)	2h (g)	3.55h (g)
probeta 1	4,4	15,7	16,99
probeta 2	3,7	13	14,75
probeta 3	4,5	16,6	15,96
probeta 4	4,4	15,3	15,19
\bar{x}	4,3	15,2	15,7

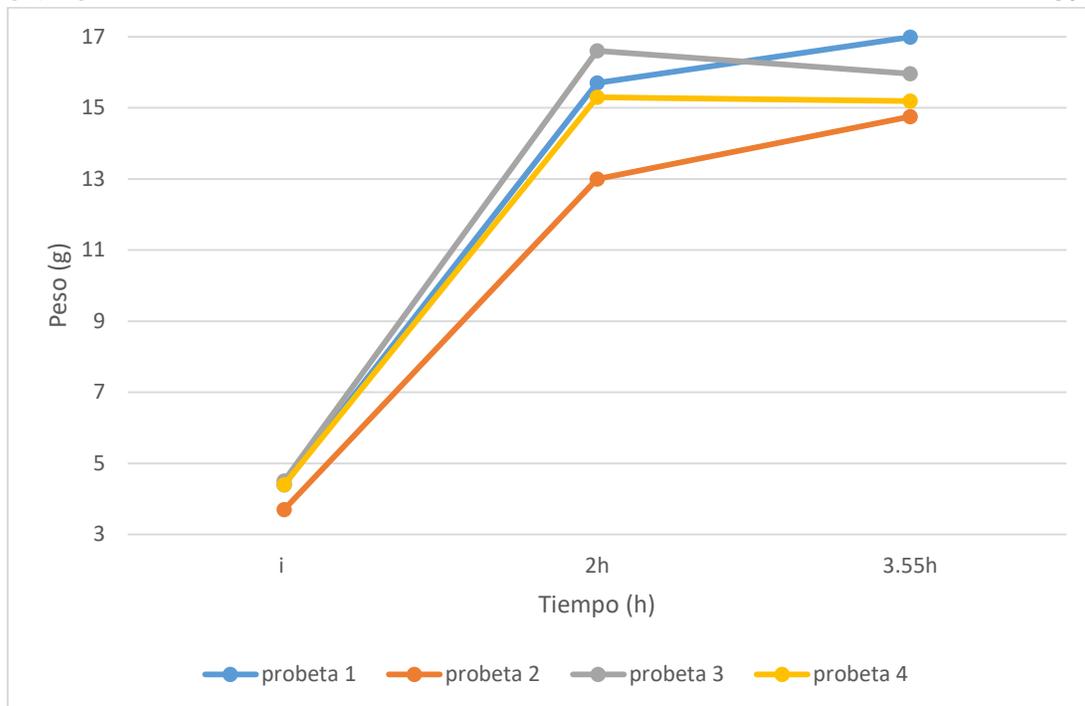


Figura 18 diagrama de dispersión peso/tiempo 4 probetas de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Fuente Elaboración propia.

Posteriormente después de tabulados los primeros datos de peso en los tres tiempos establecidos para las probetas de *Zea mays* (maíz) como se muestra en la **Tabla 11** se puede notar como inicialmente sus pesos estaban entre un rango de 3.7(g) y 4.5(g) siendo el promedio de estos pesos 4.3 (g), donde posteriormente en el segundo tiempo identificado a las 2 h sus pesos aumentaron entre unos rangos de 13(g) y 16.6(g) siendo el peso promedio de estos 15.2(g) de los cuales se observa un aumento de peso tres veces mayor al inicial y finalmente para las 3.55 h se identifica que los pesos estaban en un rango entre los 14.75(g) y los 16.99(g) donde el peso promedio estaba en los 15.7(g) identificando que antes periodo de tiempo las probetas ya absorbieron menor cantidad de agua. **Figura 18** diagrama de dispersión se puede observar como de acuerdo a los datos tabulados el peso de las probetas aumenta manteniéndose en unos intervalos de peso y aumentan progresivamente hasta finalizada la prueba.

Después de analizados los pesos durante el periodo de inmersión de las probetas proseguimos a hallar el porcentaje de absorción de agua de las probetas donde identificamos los siguientes datos

Tabla 11: tabla porcentajes de absorción de agua en los tiempos estimulados 4 probetas de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Fuente Elaboración propia

Tiempo	% Absorción de agua	
	Aa 2 h	Aa 3.55h
probeta 1	256,82%	286,14%
probeta 2	251,35%	298,65%
probeta 3	268,89%	276,89%
probeta 4	247,73%	252.05%
\bar{x}	256,20%	278,43%

En la **Tabla 12** se identifica que el promedio de absorción de agua a las 2h es de 256.20% encontrando los datos de las cuatro probetas analizadas entre intervalos de 247.73% y 268.89% y consecuentemente para las 3.55H se identificó que el promedio de absorción de agua es del 271.30% donde los datos de las cuatro probetas analizadas se encontraban entre intervalos de 245.73% y 298.65% encontrando una diferencia de porcentaje de absorción de 271.30% en promedio. Identificamos que las probetas 2 y 4 tuvieron un menor porcentaje de absorción de agua a las dos horas lo cual a las tres horas y cincuenta y cinco minutos vario pues se observó que las probetas que tuvieron menor porcentaje de absorción fueron las probetas 1 y 4.

En la **Figura 19** se puede observar claramente como fue el proceso de absorción de agua de las probetas y se muestra como su aumento de absorción de agua es directamente proporcional en las probetas 1, 2,3y 4.

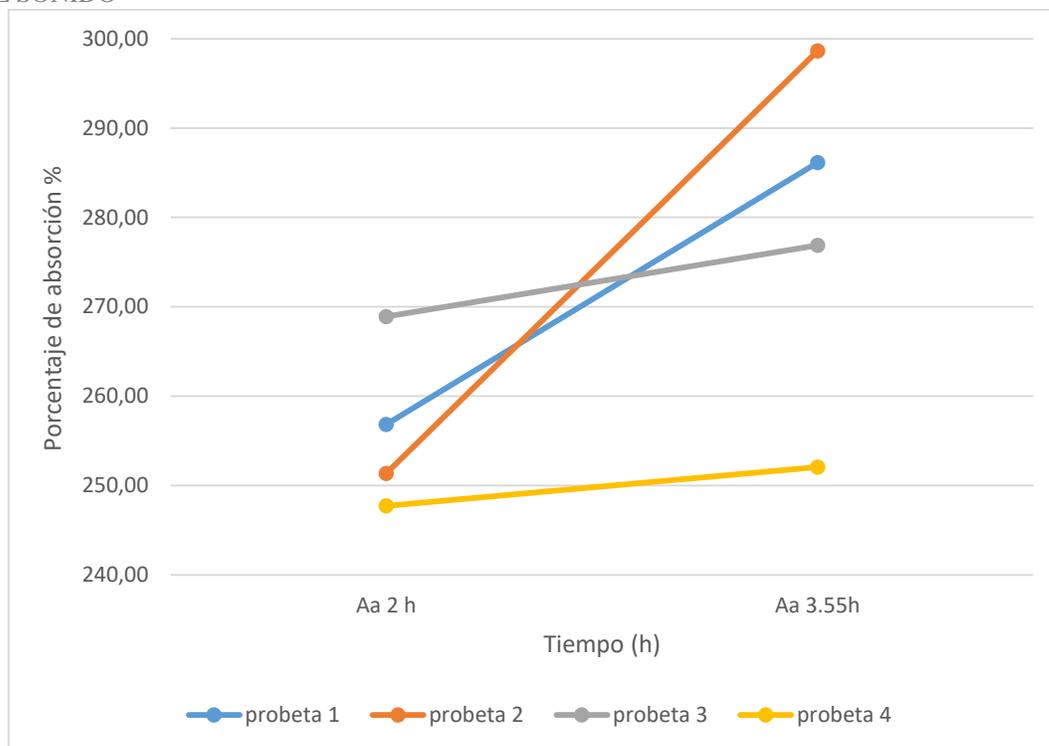


Figura 19: diagrama de dispersión porcentaje de absorción / tiempo (h) 4 probetas de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano)

Fuente Elaboración propia.

Consecuentemente se sometieron las probetas a una temperatura de 55°C por un periodo de 21h comenzando a las 7:58 pm. Donde registraron los datos que aparecen a continuación en la **Tabla 13**.

Tabla 12: Tabla peso durante el periodo de calor de horno a 55°C en 4 probetas de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano)

Fuente Elaboración propia.

peso (g)	Tiempo			
	3.55h (g)	15,32h Δ(g)	20,30h Δ(g)	21,00h (g)
probeta 1	16,99	3,630	3,630	3,692
probeta 2	14,75	3,143	3,140	3,419
probeta 3	15,96	3,851	3,849	3,909
probeta 4	15,19	3,779	3,779	3,800
\bar{x}	15,723	3,601	3,600	3,705

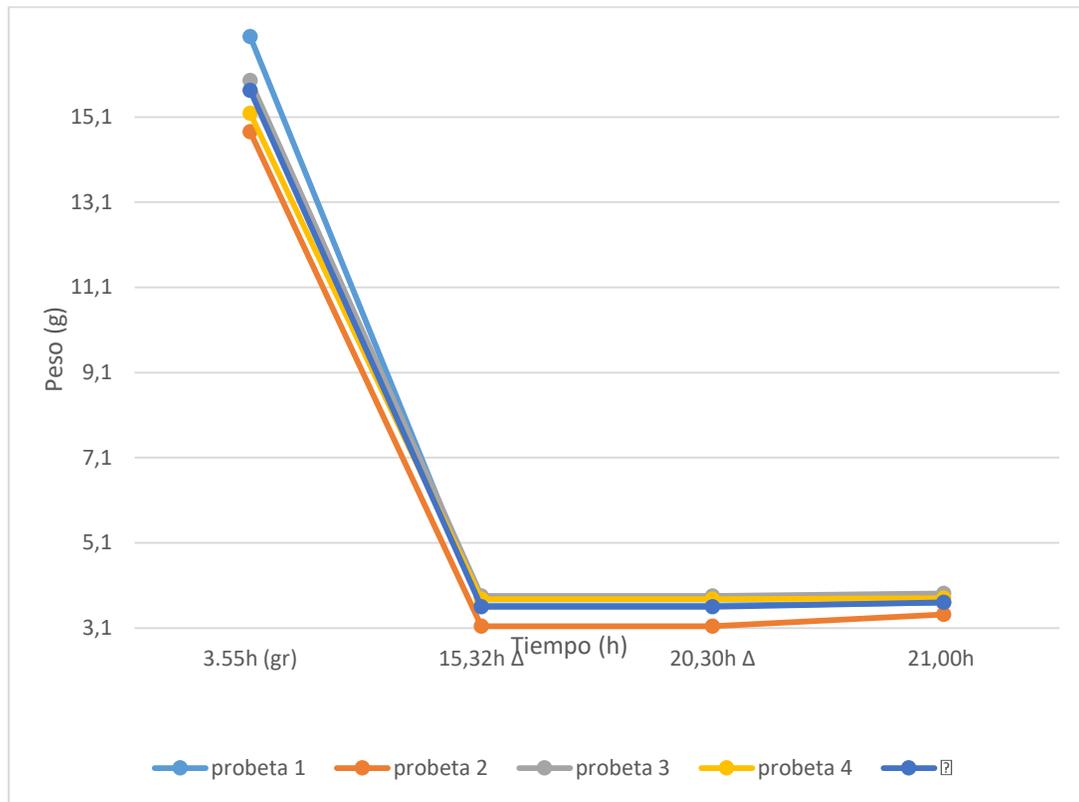


Figura 20: diagrama de dispersión peso/tiempo durante 20h de calor a 4 probetas de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano)

Fuente Elaboración propia.

En la **Figura 20** se puede analizar cómo después de la inmersión los pesos estaban en un rango entre los 14.75(g) y los 16.99(g) y después de durar un periodo de 15.32h en el horno el peso de las probetas estaba en un rango 3.146(g) y 3.851(g) lo que significó una gran pérdida de humedad de las probetas, posteriormente a las 20.30h de estar en el horno el cambio de peso de las probetas no fue muy notorio, seguidamente de este peso de sacaron las probetas y se dejaron a la temperatura ambiente del laboratorio la cual era 18.7°C lo que después a las 21.00 de las prueba es decir media hora después del último peso identificado de las probetas en el horno estas se volvieron a pesar y se observó que las probetas habían

aumentado su peso lo que llevo a la conclusión que las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) tienen una capacidad higroscópica.

Dando por finalizada la prueba podemos concluir que en el momento que se toma el tercer peso pues debido al aglomerante utilizado se presentó pérdida de consistencia de las probetas por pérdida del pegamento, ablandamiento y humedecimiento, lo que dio a entender que es necesario el cambio de aglomerante para que pueda resistir la prueba de absorción de agua a la as 24 h

Hora de inicio de la prueba 4:03 pm del 15 de marzo del 2017
Se dejan en temperatura de 55° c desde las 7:58pm del 15 de marzo del 2017
Se toma peso a las 11:30 am del 16 de marzo del 2017 registrando los siguientes datos (W 15.32h)
Posteriormente se registran datos (W20,30h) donde ya se aplica calor de 55°c
Finalmente se registran datos (w21h) donde ha pasado 30 minutos después de sacarlas probetas del horno

Porcentaje de contenido De humedad de las fibras

Con el fin de identificar el % de contenido de humedad de las fibras de *Zea mays* (*maíz*) y *Musa x paradisiaca* (plátano) siguiendo los lineamientos planteados en el protocolo según la ASTM D 4442-07 se dio inicio a la prueba a las 3.43 pm del 16 de marzo del 2017 donde se inició tomando los pesos iniciales en gramos de cada una de las probetas teniendo en cuenta que la normativa pide 4 probetas de 4.5cm largo x 4cm ancho x 0.5 cm de espesor, posteriormente procedemos a organizar nuestras probetas en el horno el cual estará a una temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por un periodo de tres horas y finalmente los sacaremos y tomaremos nuevamente su peso.

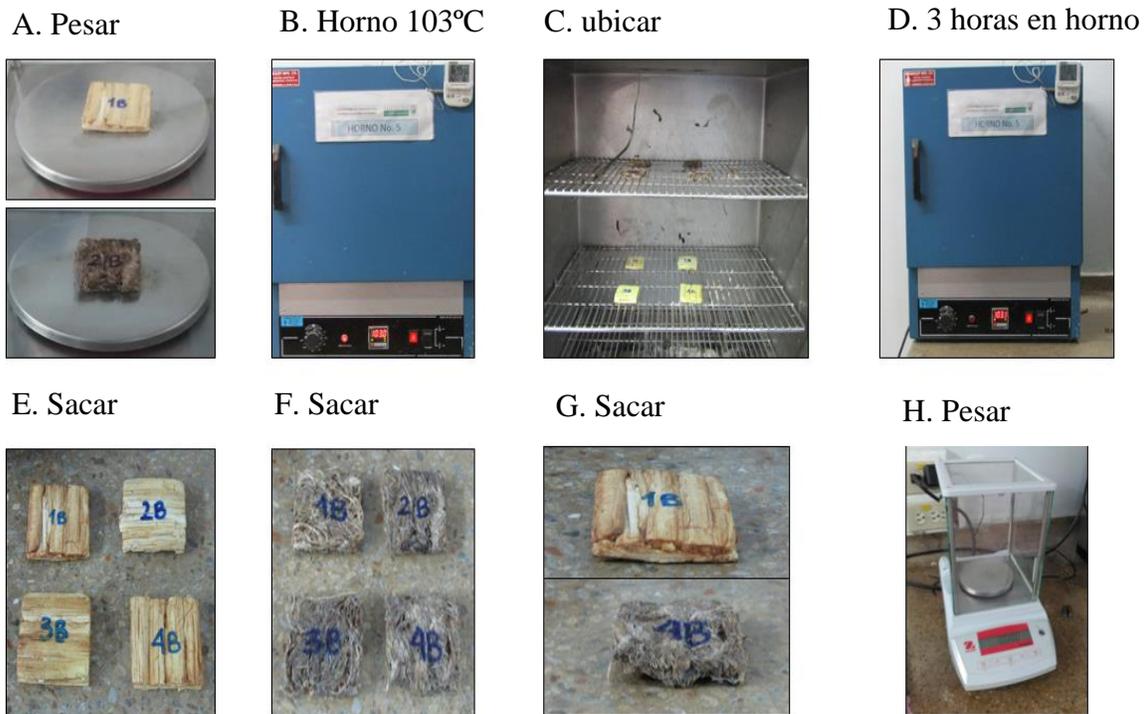


Figura 21: Proceso realización prueba de contenido de humedad de las fibras según las ASTM D 4442-07.

Fuente Elaboración propia.

Análisis fibras de *Zea mays* (maíz)

Inicialmente para cada uno de las fibras se empezó tabulando los datos del peso inicial que en este caso corresponden al peso húmedo y seguido de esto tras pasar las tres horas se volvió a tomar el peso. Como aparece en la **Tabla 13**, para el caso de las fibras de plátano.

Tabla 13: Tabla de peso húmedo (wm) y peso seco (Ws) de la fibra de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia

Zea mays (maíz)	Wm (g)	Ws(g)
probeta 1	1,742	1,464
probeta 2	1,183	0,991
probeta 3	1,538	1,289
probeta 4	2,103	1,74

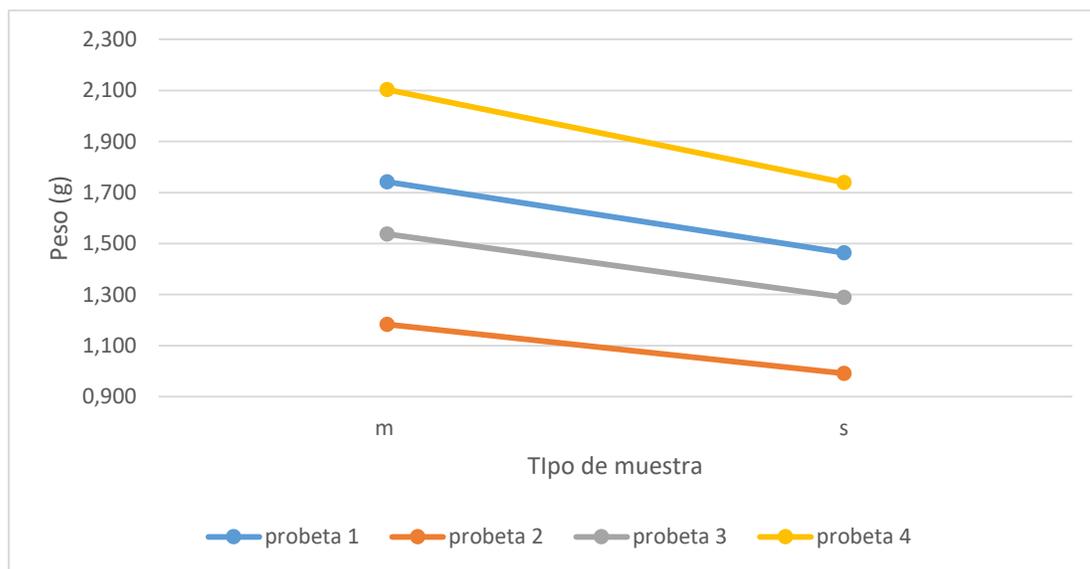


Figura 22: diagrama de dispersión peso/tipo de muestra mojada y seca 4 probetas de fibra de culmo de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia.

En la **Figura 22** se puede observar como las en las fibras de maíz se presenta una disminución de peso en las probetas las cual se observó que es inversamente proporcional en relación de peso y tiempo de duración en el horno es donde se nota como después de tres horas en el horno pierde una quinta parte de su peso pasando de estar en un rango de 3.916(g) y 4.494(g) a un rango de 3,547(g) y 4,095(g)

Análisis fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Inicialmente para cada uno de las fibras se empezó tabulando los datos del peso inicial que en este caso corresponden al peso húmedo y seguido de esto tras pasar las tres horas se volvió a tomar el peso. Como aparece en la **Tabla 14**, para el caso de las fibras de plátano.

Tabla 14: Tabla de peso mojado (wm) y peso seco (Ws) de la fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano)

Fuente Elaboración propia

Musa x paradisiaca(plátano)	Wm (g)	Ws(g)
probeta 1	4,546	4,095
probeta 2	3,916	3,547
probeta 3	4,494	4,067
probeta 4	4,028	3,637

Igualmente en la **Figura 23** también podemos observar como las fibras de plátano tienen el mismo comportamiento inversamente proporcional en relación del peso y el tiempo de duración en el horno en donde igualmente se presenta una disminución del peso de una

quinta parte del peso inicial (peso mojado) pasando de estar en un rango de 1.183(g) 2.103(g) a un rango de 0.991(g) y 1.74 (g).

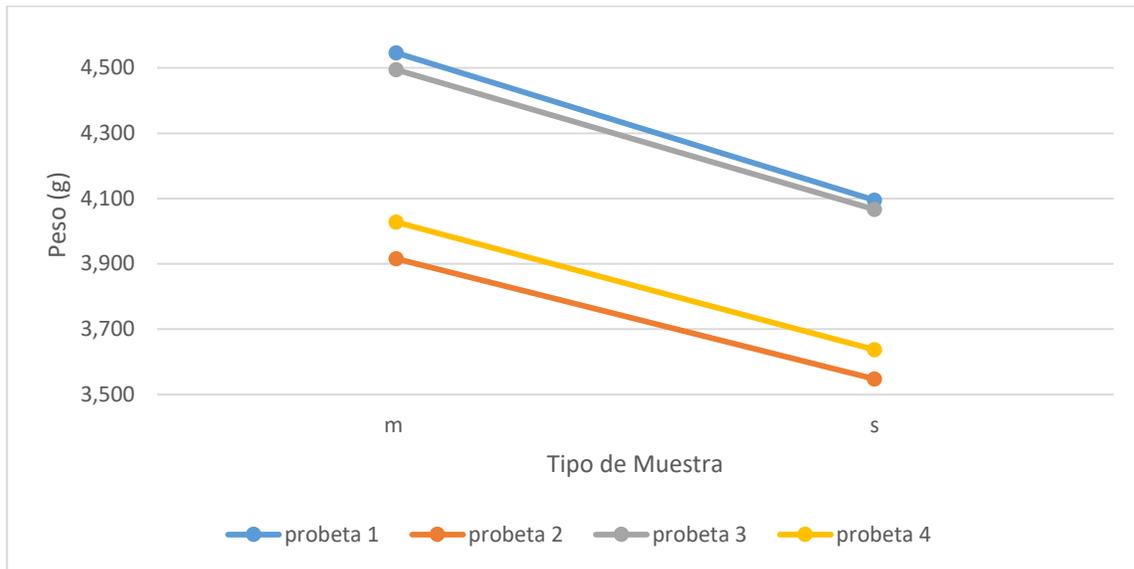


Figura 23: diagrama de dispersión peso/tipo de muestra mojada y seca 4 probetas de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano)

Fuente Elaboración propia

Igualmente en la **Figura 23** también podemos observar como las fibras de plátano tienen el mismo comportamiento inversamente proporcional en relación del peso y el tiempo de duración en el horno en donde igualmente se presenta una disminución del peso de una quinta parte del peso inicial (peso mojado) pasando de estar en un rango de 1.183(g) 2.103(g) a un rango de 0.991(g) y 1.74 (g).

Seguidamente con estos datos se procede a hallar el porcentaje de contenido de humedad para los dos tipos de fibras con la siguiente fórmula establecida.

$$CH = \frac{W \text{ mojada} - W \text{ seca}}{W \text{ seca}} \times 100$$

Los datos del contenido de humedad para los dos tipos de fibras se muestran a

continuación en la **Tabla 16**.

Tabla 15: Tabla de porcentaje de contenido de humedad de la fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano) y culmo de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia

	% contenido de humedad	
	<i>Zea mays</i> (maíz)	<i>Musa x paradisiaca</i> (plátano)
probeta 1	18,989%	11,013%
probeta 2	19,374%	10,403%
probeta 3	19,317%	10,499%
probeta 4	20,862%	10,751%
\bar{x}	19,636%	10,667%

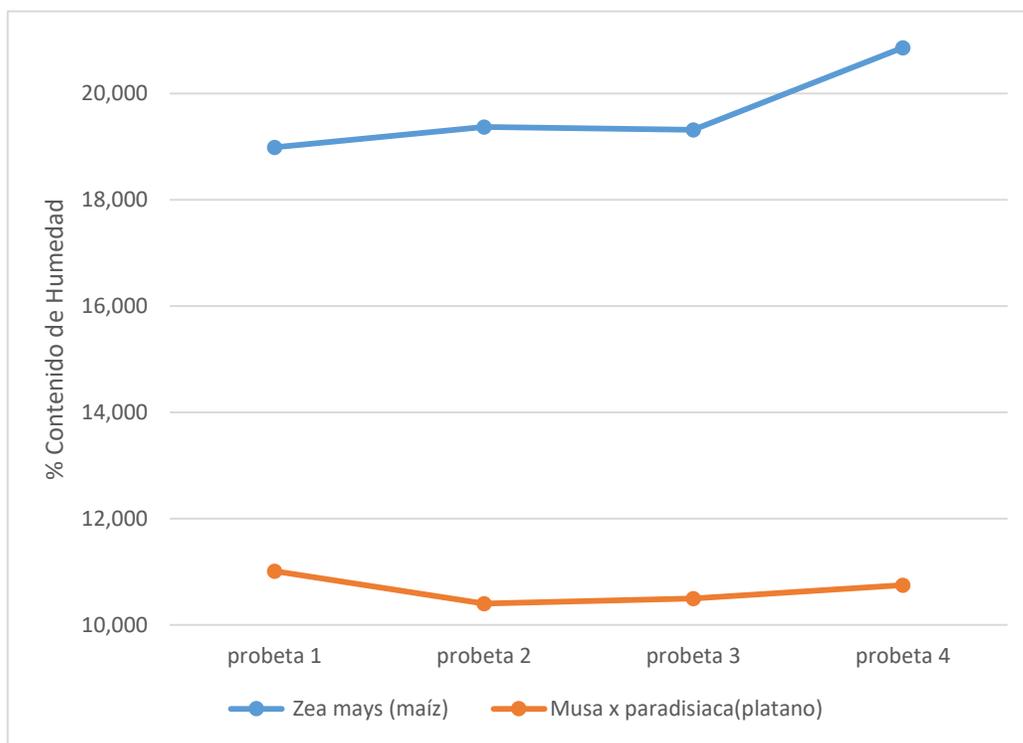


Figura 24: diagrama de dispersión de porcentaje de contenido de humedad por probeta en 4 probetas de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano) y 4 probetas de culmo de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia

En la **Figura 24** se puede observar gráficamente un comparativo entre el contenido de humedad de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano) y de culmo de *Zea mays* (maíz) donde podemos concluir que las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) tienen menos porcentaje contenido de humedad lo cual significa que es menos higroscópica y se ubican en un rango de 10.403% y 11.013% en comparación con las fibras de culmo de *Zea mays* (maíz) las cuales se encuentran en un rango más elevado de porcentaje de contenido de humedad como lo es de 18.989% y 20.862% identificándolo como un material más higroscópico.

hora de inicio de la prueba 3.43 pm del 16 de marzo del 2017
hora de finalización de la prueba 7,14 pm del 16 de marzo del 2017
tiempo en el horno 3,31 horas
temperatura 103°C

Absorción de humedad

Con el fin de analizar la absorción de humedad de las fibras de *Zea mays* (maíz) y *Musa x paradisiaca* (plátano) siguiendo los lineamientos planteados en el protocolo según la ASTM D 5229 se dio inicio a la prueba a las 5.53 pm del 15 de marzo del 2017 donde se inició tomando los pesos iniciales en gramos de cada una de las probetas teniendo en cuenta que la normativa pide 4 probetas de 4.5cm largo x 4cm ancho x 0.5 cm de espesor, posteriormente procedemos a organizar nuestras probetas en el horno el cual estará a una temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por un periodo de dos horas donde cada intervalo de 10 minutos se tomara su peso y finalmente los sacaremos y tomaremos nuevamente su peso.

Inicialmente se empezó tabulando los datos obtenidos del peso de las probetas en los intervalos de tiempo cada 10 minutos durante un periodo de 2 horas a 25°C y posteriormente se tomó el peso de las probetas sometidas a una temperatura de 55°C desde las 7.58 pm del 15 de marzo hasta las 3.38pm del 16 de marzo y finalmente se tomó un peso a la media hora después de sacar las probetas del horno.

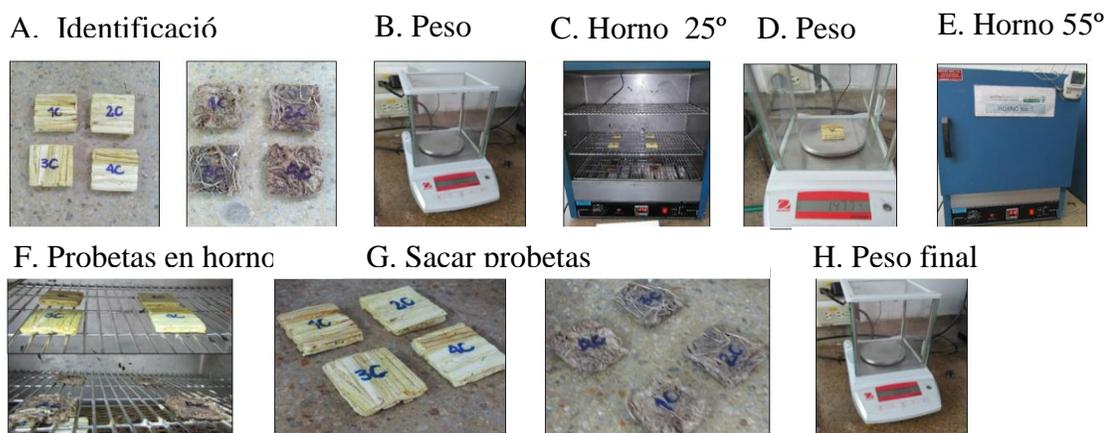


Figura 25: Proceso realización prueba de absorción de humedad de las fibras según las ASTM D 5229.

Fuente Elaboración propia

Análisis fibras de *Zea mays* (maíz)

Tabla 16: Peso de las probetas durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de *Zea mays* (maíz) a 25°C

Fuente Elaboración propia.

% Absorción de humedad <i>Zea mays</i> (maíz)													
peso	W b (g)	10' (g)	20' (g)	30' (g)	40' (g)	50' (g)	60' (g)	70' (g)	80' (g)	90' (g)	100' (g)	110' (g)	120' (g)
Probeta 1	1,72	1,70	1,69	1,69	1,68	1,68	1,67	1,67	1,67	1,67	1,66	1,66	1,66
Probeta 2	1,56	1,54	1,54	1,53	1,53	1,53	1,52	1,52	1,52	1,52	1,51	1,51	1,51
Probeta 3	1,47	1,45	1,45	1,45	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,43	1,43	1,43	1,43
Probeta 4	1,32	1,30	1,30	1,30	1,30	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,28	1,28	1,28

Tabla 17: Peso de las probetas sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de ultimo peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia.

% Absorción de humedad <i>Zea mays</i> (maíz)				
peso	15,32h Δ(g)	18,02h Δ(g)	19,23h Δ(g)	18,02h (g)
probeta 1	1,48	1,47	1,47	1,48
probeta 2	1,37	1,36	1,36	1,38
probeta 3	1,31	1,30	1,30	1,31
probeta 4	1,14	1,13	1,13	1,14

Una vez obtenidos y tabulados procedemos a calcular el porcentaje de cambio de masa donde aplicaremos la siguiente formula:

$$CM = \frac{W_i - W_b}{W_b} \times 100$$

Donde:

CM: cambio de masa en porcentaje

W i: peso de la probeta durante los intervalos de tiempo en el horno en gramos

W b: peso de la probeta antes de ingresarlas al horno en gramos

Tabla 18: Porcentaje cambio de masa (CM) durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de *Zea mays* (maíz) a 25°C

Fuente Elaboración propia

% cambio de masa (CM) <i>Zea mays</i> (maíz)												
Zea mays (maíz)	10' Δ	20' Δ	30' Δ	40' Δ	50' Δ	60' Δ	70' Δ	80' Δ	90' Δ	100' Δ	110' Δ	120' Δ
probeta 1	-1,28	-1,46	-1,86	-2,10	-2,33	-2,50	-2,68	-2,85	-2,91	-3,15	-3,20	-3,44
probeta 2	-1,22	-1,35	-1,67	-1,86	-2,06	-2,18	-2,38	-2,44	-2,57	-2,76	-2,83	-2,95
probeta 3	-1,29	-1,36	-1,63	-1,77	-1,91	-2,04	-2,18	-2,25	-2,45	-2,59	-2,59	-2,72
probeta 4	-1,29	-1,36	-1,67	-1,82	-2,12	-2,20	-2,35	-2,57	-2,73	-2,95	-2,95	-3,10

Tabla 19: Porcentaje cambio de masa (CM) sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de último peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia

% cambio de masa (CM) <i>Zea mays</i> (maíz)				
peso	15,32h Δ	18,02h Δ	19,23h Δ	18,02h
probeta 1	-14,04	-14,15	-14,21	-13,57
probeta 2	-12,27	-12,40	-12,46	-11,62
probeta 3	-11,16	-11,37	-11,44	-10,89
probeta 4	-14,00	-14,38	-14,46	-14,08

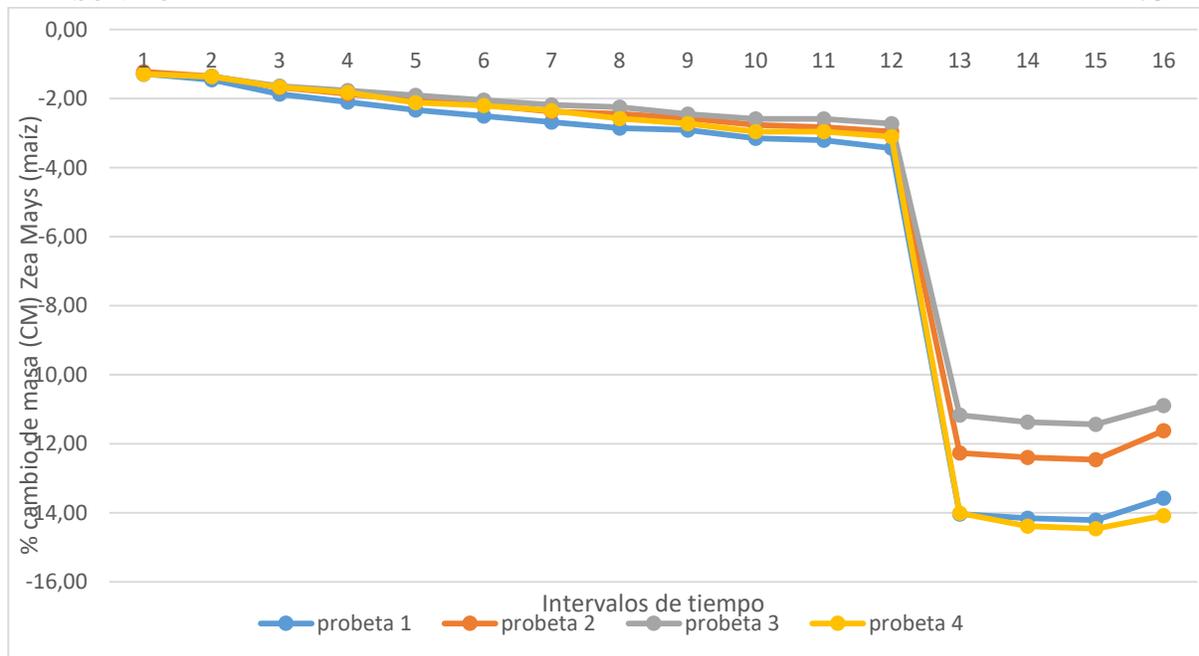


Figura 26: diagrama de dispersión porcentaje cambio de masa durante los intervalos de tiempo de la prueba completa con probetas de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia.

En la **Figura 26** se observa como la pérdida de masa es directamente proporcional al tiempo durante el cual se le aplica calor en el horno durante las 2 horas del ensayo principales, luego observamos un gran descenso pues es un periodo de tiempo más largo con un aumento de 30°C luego se sigue observando un pequeño descenso hasta el momento que se sacan las probetas y se dejan a temperatura ambiente por 30 minutos en este caso la temperatura ambiente es de 18.7°C en el cual a las 1.02h se evidencia como aumenta la masa debido a que las fibras son higroscópicas.

Posteriormente con los pesos obtenidos durante los intervalos se continuó identificando el contenido de humedad de las fibras de *Zea mays* (maíz). Donde aplicamos la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{W_i - W_{seca}}{W_{seca}} \times 100$$

Donde:

CH: contenido de humedad en porcentaje

W i: peso de la probeta durante los intervalos de tiempo en el horno en gramos

W seca: peso de la probeta después de sacarla del horno en gramos

Tabla 20: Porcentaje contenido de humedad (CH) durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de *Zea mays* (maíz) a 25°C

Fuente Elaboración propia

% contenido de humedad (CH) <i>Zea mays</i> (maíz)												
<i>Zea mays</i> (maíz)	10'	20'	30'	40'	50'	60'	70'	80'	90'	100'	110'	120'
probeta 1	15,07	14,87	14,39	14,12	13,85	13,65	13,44	13,24	13,17	12,90	12,83	12,56
probeta 2	12,84	12,69	12,33	12,11	11,89	11,74	11,52	11,45	11,30	11,08	11,01	10,86
probeta 3	11,45	11,38	11,07	10,91	10,76	10,61	10,45	10,38	10,15	9,99	9,99	9,84
probeta 4	15,40	15,31	14,96	14,78	14,42	14,34	14,16	13,89	13,72	13,45	13,45	13,27

Tabla 21: Porcentaje contenido de humedad (CH) sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de ultimo peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia

% contenido de humedad (CH) <i>Zea mays</i> (maíz)				
<i>Zea mays</i> (maíz)	15,32h Δ	18,02h Δ	19,23h Δ	18,02h
probeta 1	0,204	0,068	0,000	0,747
probeta 2	0,220	0,073	0,000	0,954
probeta 3	0,307	0,077	0,000	0,615
probeta 4	0,531	0,088	0,000	0,442

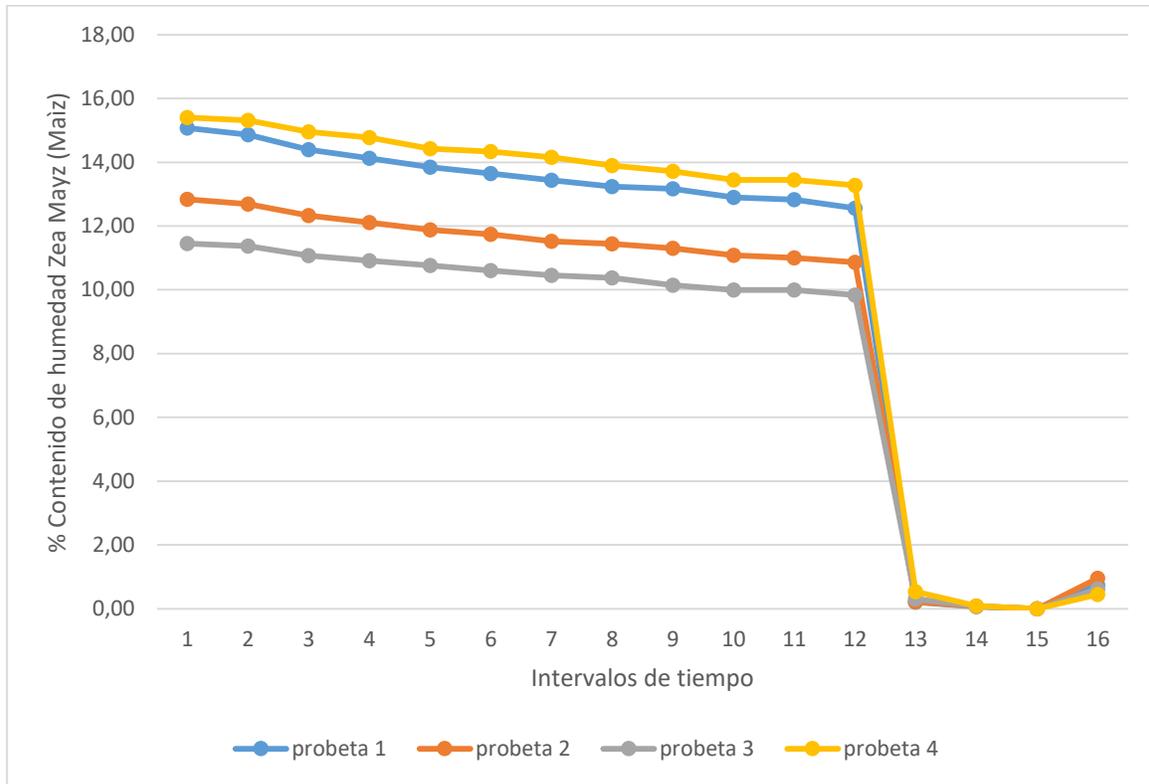


Figura 27: diagrama de dispersión porcentaje contenido de humedad durante los intervalos de tiempo de la prueba completa con probetas de *Zea mays* (maíz)

Fuente Elaboración propia.

En la **Figura 27** se observa como la pérdida de contenido de humedad es inversamente proporcional en relación del porcentaje de humedad al periodo de duración de las probetas en horno en el horno durante las 2 horas del ensayo principales, luego observamos un gran descenso pues es un periodo de tiempo más largo con un aumento de 30°C luego se sigue observando un pequeño descenso hasta el momento que se sacan las probetas y se dejan a temperatura ambiente por 30 minutos en este caso la temperatura ambiente es de 18.7°C en el cual a las 1.02h se evidencia como aumenta la masa debido a que las fibras con higroscópicas.

Análisis fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Alternamente se empezó tabulando los datos obtenidos del peso de las probetas en los intervalos de tiempo cada 10 minutos durante un periodo de 2 horas a 25°C y posteriormente se tomó el peso de las probetas sometidas a una temperatura de 55°C desde las 7.58 pm del 15 de marzo hasta las 3.38pm del 16 de marzo y finalmente se tomó un peso a la media hora después de sacar las probetas del horno elaboradas con las fibras de las *Musa x paradisiaca* (plátano).

Tabla 22: Peso de las probetas durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de *Musa x paradisiaca* (plátano) a 25°C

Fuente Elaboración propia.

% Absorción de humedad <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano)													
peso	W b (g)	10' (g)	20' (g)	30' (g)	40' (g)	50' (g)	60' (g)	70' (g)	80' (g)	90' (g)	100' (g)	110' (g)	120' (g)
probeta 1	4,52	4,49	4,49	4,48	4,48	4,48	4,47	4,47	4,47	4,46	4,46	4,46	4,46
probeta 2	4,76	4,75	4,74	4,73	4,73	4,73	4,73	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,71
probeta 3	4,37	4,35	4,34	4,34	4,34	4,33	4,33	4,33	4,33	4,32	4,32	4,32	4,31
probeta 4	3,61	3,59	3,59	3,59	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,57	3,57	3,57	3,57

Tabla 23: Peso de las probetas sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de ultimo peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Fuente Elaboración propia.

% Absorción de humedad <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano)				
peso	15,32h Δ(g)	18,02h Δ(g)	19,23h Δ(g)	18,02h (g)
probeta 1	4,186	4,183	4,182	4,224
probeta 2	4,424	4,421	4,420	4,458
probeta 3	4,029	4,026	4,025	4,057
probeta 4	3,353	3,351	3,350	3,390

Una vez obtenidos y tabulados procedemos a calcular el porcentaje de cambio de masa

donde aplicaremos la siguiente formula:

$$CM = \frac{W_i - W_b}{W_b} \times 100$$

Donde:

CM: cambio de masa en porcentaje

W_i: peso de la probeta durante los intervalos de tiempo en el horno en gramos

W_b: peso de la probeta antes de ingresarlas al horno en gramos

En la **tabla 25** se puede observar que el cambio de masa de las probetas durante los intervalos de tiempo de 10 minutos cada vez fue mayor como se demuestra en la tabla a continuación donde se hace un seguimiento hasta los 120 minutos.

Tabla 24: Porcentaje cambio de masa (CM) durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de *Musa x paradisiaca* (plátano) a 25°C.

Fuente Elaboración propia.

% cambio de masa (CM) <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano)												
Zea mays (maíz)	10'	20'	30'	40'	50'	60'	70'	80'	90'	100'	110'	120'
probeta 1	-0,55	-0,64	-0,75	-0,80	-0,89	-1,00	-1,04	-1,09	-1,15	-1,20	-1,24	-1,31
probeta 2	-0,38	-0,42	-0,61	-0,65	-0,69	-0,73	-0,82	-0,86	-0,92	-0,97	-1,01	-1,07
probeta 3	-0,53	-0,57	-0,69	-0,76	-0,82	-0,89	-0,94	-1,01	-1,08	-1,14	-1,19	-1,26
probeta 4	-0,53	-0,55	-0,69	-0,78	-0,80	-0,86	-0,94	-0,97	-1,02	-1,05	-1,11	-1,11

Tabla 25: Porcentaje cambio de masa (CM) sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de último peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Fuente Elaboración propia

% cambio de masa (CM) <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano)				
peso	15,32h Δ)	18,02h Δ	19,23h Δ	18,02h Δ
probeta 1	-7,29	-7,35	-7,38	-6,45
probeta 2	-7,12	-7,18	-7,20	-6,40
probeta 3	-7,78	-7,85	-7,87	-7,14
probeta 4	-7,12	-7,17	-7,20	-6,09

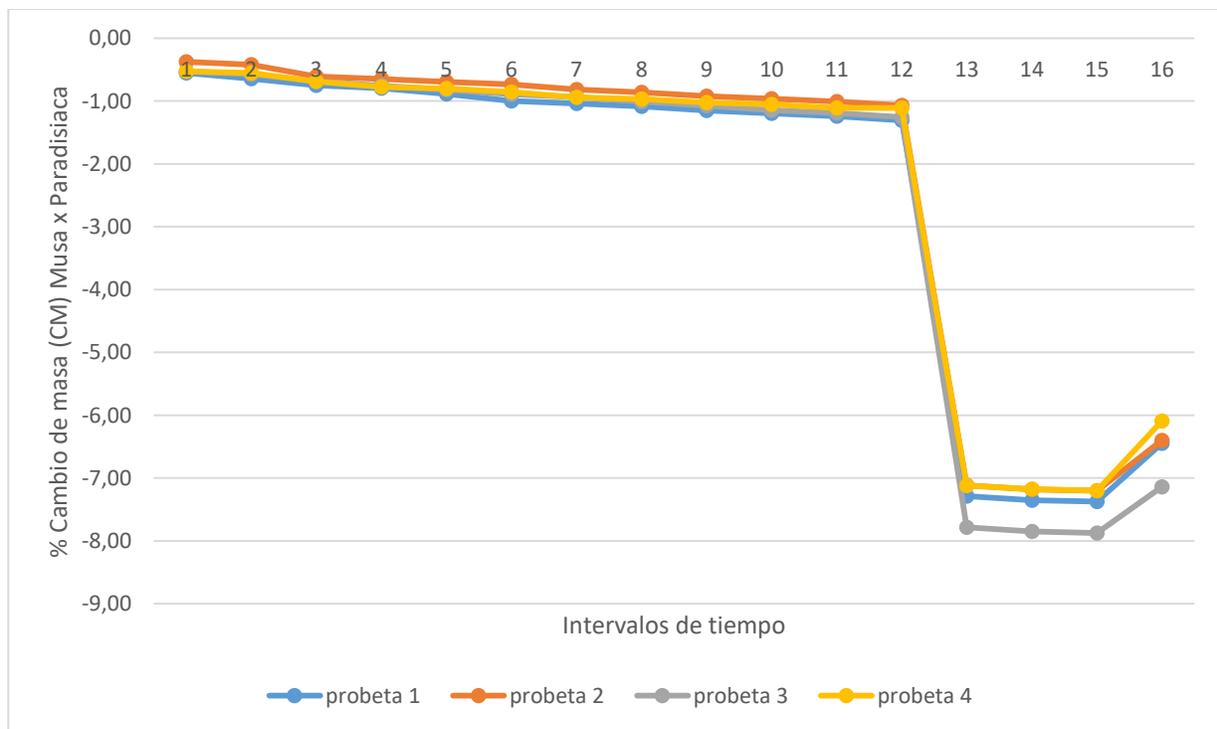


Figura 28 diagrama de dispersión porcentaje cambio de masa durante los intervalos de tiempo de la prueba completa con probetas de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Fuente Elaboración propia.

En la **Figura 28** se observa como la pérdida de masa es inversamente proporcional en relación de cambio de masa y tiempo de duración en el horno durante las 2 horas del ensayo principales, luego observamos un gran descenso pues es un periodo de tiempo más largo con un aumento de 30°C luego se sigue observando un pequeño descenso hasta el momento que se sacan las probetas y se dejan a temperatura ambiente por 30 minutos en este caso la temperatura ambiente es de 18.7°C en el cual a las 1.02h se evidencia como aumenta la masa debido a que las fibras son higroscópicas.

Siguientemente con los pesos obtenidos durante los intervalos se continuó identificando el contenido de humedad de las fibras de *Zea mays* (maíz).

Donde aplicamos la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{W_i - W_{seca}}{W_{seca}} \times 100$$

Donde:

CH: contenido de humedad en porcentaje

W_i: peso de la probeta durante los intervalos de tiempo en el horno en gramos

W_{seca}: peso de la probeta después de sacarla del horno en gramos

En la **tabla 26** se puede identificar el porcentaje de contenido de humedad de las cuatro probetas durante intervalos de diez minutos inicialmente durante un periodo de dos horas

Tabla 26: Porcentaje contenido de humedad (CH) durante los intervalos de tiempo cada 10 minutos por 2 horas de *Musa x paradisiaca* (plátano) a 25°C

Fuente Elaboración propia

% contenido de humedad (CH) <i>Musa x Paradisiaca</i> (plátano)												
	10'	20'	30'	40'	50'	60'	70'	80'	90'	100'	110'	120'
probeta 1	7,36	7,27	7,15	7,10	7,01	6,89	6,84	6,79	6,72	6,67	6,62	6,55
probeta 2	7,35	7,31	7,10	7,06	7,01	6,97	6,88	6,83	6,76	6,72	6,67	6,61
probeta 3	7,98	7,93	7,80	7,73	7,65	7,58	7,53	7,45	7,38	7,30	7,25	7,18
probeta 4	7,19	7,16	7,01	6,93	6,90	6,84	6,75	6,72	6,66	6,63	6,57	6,57

Tabla 27: Porcentaje contenido de humedad (CH) sometidas a temperatura de 55°C desde las 7.58pm hasta las 3.38pm y toma de ultimo peso expuesto al ambiente por 30 minutos de fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Fuente Elaboración propia

% Contenido de humedad (CH) <i>Musa x paradisiaca</i> (plátano)				
	15,32h Δ	18,02h Δ	19,23h Δ	18,02h
probeta 1	0,096	0,024	0,000	1,004
probeta 2	0,090	0,023	0,000	0,860
probeta 3	0,099	0,025	0,000	0,795
probeta 4	0,090	0,030	0,000	1,194

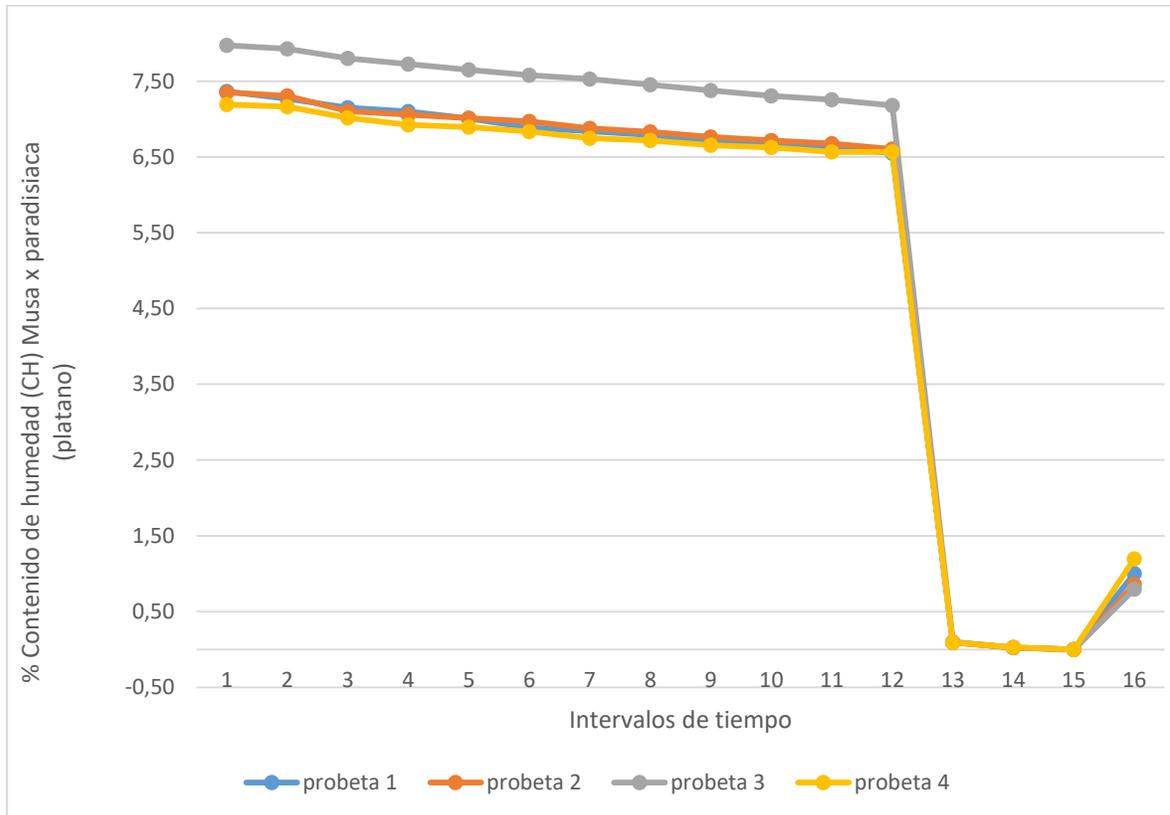


Figura 29: diagrama de dispersión porcentaje contenido de humedad durante los intervalos de tiempo de la prueba completa con probetas de *Musa x paradisiaca* (plátano).

Fuente Elaboración propia.

En la **Figura 29** se observa como la pérdida de contenido de humedad es inversamente proporcional durante las 2 horas del ensayo principales, luego observamos un gran descenso pues es un periodo de tiempo más largo con un aumento de 30°C luego se sigue observando un pequeño descenso hasta el momento que se sacan las probetas y se dejan a temperatura ambiente por 30 minutos en este caso la temperatura ambiente es de 18.7°C en el cual a las 1.02h se evidencia como aumenta la masa debido a que las fibras son higroscópicas.

En conclusión respecto a la pérdida de masa y contenido de humedad tenemos que al someter las probetas a calor durante un periodo de 2 horas principalmente luego retomando los datos a las 15.32 horas hasta las 19.23 horas y finalmente a las 18.02 horas se observa como

entre más tiempo pierden más masa y humedad y como finalmente los últimos datos tomados a las 18.02 que hacen referencia a media hora después de sacarlas del horno aumenta tanto la masa como el contenido de humedad lo que hace que identifiquemos que las fibras de *Zea mays* (maíz) y hojas de *Musa x paradisiaca* (plátano) tienen una higroscopicidad muy alta.

horno a temperatura entre 25°C y 26°C
hora de inicio del ensayo 5.53pm del 15 de marzo del 2017
después del peso a los 120 minutos se deja a una temperatura de 55°C
temperatura ambiente 18.7°C
Se dejan probetas a temperatura de 55 °C desde las 7.58pm
finalización prueba 3.58pm del 16 de marzo del 2017

Densidad

Para identificar las densidades de las fibras de culmo de *Zea mays* (maíz) y hojas de *Musa x paradisiaca* (plátano) se realizó con la información identificada en las pruebas realizadas anteriormente y haciendo uso de la formula $D = \frac{m}{v}$ (densidad es igual a masa sobre la cantidad de volumen)

Con el procedimiento anterior se con eso obtuvimos los datos relacionados en la **Tabla 29** donde se compara los resultados obtenidos de las dos fibras como aparecen a continuación.

Tabla 28: tabla de densidades de acuerdo a las probetas realizadas para el análisis en el laboratorio.

Fuente Elaboración propia.

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA			
Densidad (g/cm ³) de las fibras analizadas			
	nombre	<i>Zea mays</i> (maíz)	<i>Musa x paradisiaca</i> (plátano)
Probetas A	probeta 1	0,20	0,49
	probeta 2	0,17	0,41
	probeta 3	0,21	0,50
	probeta 4	0,20	0,49
Probetas B	probeta 1	0,19	0,49
	probeta 2	0,13	0,41
	probeta 3	0,17	0,50
	probeta 4	0,23	0,49
Probetas c	probeta 1	0,19	0,50
	probeta 2	0,17	0,52
	probeta 3	0,16	0,48
	probeta 4	0,14	0,40
\bar{x}		0,18	0,47

Para identificar la densidad de las fibras de *Zea mays* (maíz) de las fibras de la *Musa x paradisiaca* (plátano) se tomó la media de las densidades identificadas de cada una de las probetas lo que llevo a concluir de este modo que la densidad de las fibras de *Zea mays* (maíz)

es **0.18g/cm³** y que la densidad de las fibras de la *Musa x paradisiaca* (plátano) es de **0.47 g/cm³**.

A continuación se muestra en comparativo la densidad de las fibras de culmo de *Zea mays* (maíz) de las fibras de la *Musa x paradisiaca* (plátano) con otros materiales usados con mayor frecuencia en cuanto a temas de aislamiento acústico.

Tabla 29: tabla de densidades materiales comerciales y fibra de *Musa x paradisiaca*.

Fuente Elaboración propia.

Marca comercial	Producto	Densidad
Rockwool	Roulrock Kraft	0,023 g/cm ³
	Rockmur Kraft	0,03 g/cm ³
	Labelrock	0,08 g/cm ³
	Ventirock contorno	0,145 g/cm ³
	Rockcalm	0,04 g/cm ³
	Rock plus Kraft	0,05 g/cm ³
Frescasa	Frescasa sin papel	0,012 g/cm ³
<i>Musa x paradisiaca</i>	fibras	0,47 g/cm ³

Tabla 30 tabla de densidades materiales comerciales y fibra de *Zea mays*.

Fuente Elaboración propia

	producto	Densidad
ikoportex	icopor	0,016 g/cm ³
	icopor	0,008 g/cm ³
<i>Zea mays</i>	fibras	0,18 g/cm³

En la **Tabla 30** y **Tabla 31** se puede identificar como las fibras de *Zea mays* (maíz) de las fibras de la *Musa x paradisiaca* (plátano) tienen una mayor densidad lo cual al momento de realizar un absorbente acústico como lo es este caso es muy favorable pues como pudimos observar según (Owens Corning, 2012) la resistencia de flujo de aire e sonido es un factor que contribuye a la pérdida de transmisión depende tanto del diámetro como de la densidad, en este caso de la densidad pues dice que al poseer una mayor densidad la absorción sonora es mejor.

Conclusiones

Principalmente se identificó el porcentaje de absorción de agua donde de las pruebas realizadas se analizó que el promedio de absorción de agua a las 2h es de 256.20% encontrando los datos de las cuatro probetas analizadas entre intervalos de 247.73% y 268.89% y consecuentemente para las 3.55H se identificó que el promedio de absorción de agua es del 271.30% donde los datos de las cuatro probetas analizadas se encontraban entre intervalos de 245.73% y 298.65% encontrando una diferencia de porcentaje de absorción de 271.30% en promedio el tiempo máximo de inmersión en este caso fue de 3.55h pues se desarmaron las probetas realizadas con fibras *Musa x paradisiaca* (plátano) y fibras de culmo *Zea mays* (maíz) debido al uso del pegante base acuosa, seguido al análisis de los datos de observo que las fibras tienen propiedades higroscópicas muy altas .

Posteriormente se identificó el contenido de humedad de fibra de *Musa x paradisiaca* (plátano) y de culmo de *Zea mays* (maíz) donde podemos concluir que las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) tienen menos porcentaje contenido de humedad respecto a las fibras de *Zea mays* (maíz) lo cual significa que es menos higroscópica y se ubican en un rango de 10.403% y 11.013% en comparación con las fibras de culmo de *Zea mays* (maíz) las cuales se encuentran en un rango más elevado de porcentaje de contenido de humedad como lo es de 18.989% y 20.862% identificándolo como un material más higroscópico.

Seguidamente respecto a la pérdida de masa y contenido de humedad tenemos que al someter las probetas a calor durante un periodo de 2 horas principalmente luego retomando los datos a las 15.32 horas hasta las 19.23 horas y finalmente a las 18.02 horas se observa como entre más tiempo pierden más masa y humedad y como finalmente los últimos datos tomados a las 18.02 que hacen referencia a media hora después de sacarlas del horno aumenta tanto la

masa como el contenido de humedad lo que hace que identifiquemos que las fibras de *Zea mays* (maíz) y hojas de *Musa x paradisiaca* (plátano) tienen una higroscopicidad muy alta.

Finalmente puede identificar como las fibras de *Zea mays* (maíz) $0,18 \text{ g/cm}^3$ de las fibras de la *Musa x paradisiaca* (plátano) $0,47 \text{ g/cm}^3$ tienen una mayor densidad lo cual al momento de realizar un absorbente acústico como lo es este caso es muy favorable pues como pudimos observar según (Owens Corning, 2012) la resistencia de flujo de aire e sonido es un factor que contribuye a la pérdida de transmisión depende tanto del diámetro como de la densidad, en este caso de la densidad pues dice que al poseer una mayor densidad la absorción sonora es mejor.

Lo anterior estudiado y analizado con el fin de estudiar la estabilidad de las fibras de culmo de *Zea mays* (maíz) y fibras del peciolo y vástago de la *Musa x paradisiaca* (plátano) identificando las propiedades de porcentaje de contenido de humedad, porcentaje de absorción de agua, porcentaje de absorción de humedad, porcentaje de cambio de masa y secado.

Importantes para la realización del panel puesto que al identificar las propiedades físicas mencionadas anteriormente se puede dar una mejor orientación y ubicación de las fibras estudiadas.

Capítulo 3

Metodología de evaluación de capacidad de atenuación de ondas.

Elaboración de los prototipos.

Lo primordial antes de establecer la metodología para el análisis de las propiedades acústicas de las fibras de culmo de *Zea mays* (maíz) y *Musa x paradisiaca* (plátano) es la elaboración de los prototipos a probar, dicha elaboración inicio el día 28 de marzo a las 2 de la tarde donde se elaboró la primera capa de los dos prototipos inicialmente disponiendo las fibras del culmo de *Zea mays* (maíz) en una sola dirección posteriormente se aplicó una capa de aglomerante tipo acuoso para madera (preflex) se procedió a ubicar una capa de fibras de culmo de maíz procedentes de la corteza de culmo hasta llenar el molde el cual al finalizar se tapara y se someterá a un peso para una mejor compactación. Como se muestra acontinuacion en la **Figura 30**.



Figura 30: proceso de elaboración primera capa absorbente acústica de la caja reverberante.

Fuente Elaboración propia.

Posteriormente se ubican las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) las cuales se untan con una capa de pegante para que entre ellas se vayan adhiriendo ubicándolas inicialmente sobre un molde de 1.5 cm de altura, al finalizar se tapa e igual que la capa de maíz se somete a peso para una mejor compactación, elaborando así la capa que se ubicara finalmente en la caja reverberante. Como se muestra a continuación en la **Figura 31**.



Figura 31: primer proceso de elaboración última capa absorbente acústica de la caja reverberante.

Fuente Elaboración propia.

Inmediatamente se pasan las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) anteriormente compactadas en bandejas de 1.5 cm a bandejas de 3 cm donde se acomodaran y se verterá agua sobre ella hasta alcanzar la altura de los 3 cm aprovechando la capacidad absorbente de las fibras, para de este modo ganar volumen y hacer que las fibras ganen porosidad entre sí. Seguidamente para quitar la humedad de las fibras se dispondrá al horno durante un periodo de 24 horas con el fin de quitar la humedad lo mayor posible y secar las fibras para finalmente

ubicarlas como capa final de la caja reverberante. Como se muestra a continuación en la

Figura 32.



Figura 32: último proceso de elaboración última capa absorbente acústica de la caja reverberante.

Fuente Elaboración propia.

Seguidamente se elaboraron las otras tres capas faltantes para para elaboración de la caja reverberante de 11cm la cuales tienen espesores de 2cm, 1.5 cm y 1.5cm elaboradas con fibras del culmo de *Zea mays* (maíz) las cuales se untan con una capa de pegante para que entre ellas se vayan adhiriendo ubicándolas inicialmente sobre un molde de 2cm, 1.5 cm y 1.5cm altura, al finalizar se tapa e igual que la capa de maíz se somete a peso para una mejor compactación. Como se muestra a continuación en la **Figura 33.**



Figura 33 : proceso de elaboración tres capas faltantes absorbentes acústicas de la caja reverberante.

Fuente Elaboración propia.

Posteriormente seguida la elaboración de cada una de las capas de la caja reverberante se procede a ubicarlas en las cajas elaboradas con anterioridad las cuales tiene de base 61 cm x 61 cm teniendo dos alturas diferente una de 6cm y otra de 11 cm.

Caja reverberante de 6cm de altura como se muestra en la **Figura 34**:

- Capa de fibras del culmo de *Zea mays* (maíz) 3cm
- Capa de las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) 3cm



Figura 34: Proceso de armado caja reverberante de 6 cm.

Fuente Elaboración propia.

Caja reverberante de 11 cm de altura como se muestra en la **Figura 35**:

- Capa de fibras del culmo de *Zea mays* (maíz) 3cm
- Capa de las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) 2cm
- Capa de las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) 1.5 cm
- Capa de las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) 1.5 cm
- Capa de las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) 3cm



Figura 35: Proceso de armado caja reverberante de 11 cm.

Fuente Elaboración propia.

Evaluación de capacidad de atenuación de las ondas.

Para la realización de la prueba acústica se utilizara el método creado anteriormente con la ayuda del ingeniero Alberto Bañuelos (Director de AAC Acústica y lumínica) y la arquitecta Andrea Niampira Daza, donde se planteó un espacio aproximadamente de 0.36m^3 de volumen, con un lado descubierto destinado para la colocación de los prototipos de 0.60m^2 a fin de la realización de las pruebas de medición acústica.

Se plantearon los siguientes requerimientos:

1. Entre la fuente de sonido y el sonómetro no debe existir ningún espacio de aire por donde se pueda transmitir el sonido.
2. La fuente de sonido debe generar un nivel sonoro que sobrepase por lo menos 40dB sobre el ruido de fondo.
3. se utilizó un Ruido rosa como fuente de sonido, el cual se caracteriza por descender 3dB por octava, es decir que no tiene el mismo nivel en todas las frecuencias, pero si tiene un nivel constante en todas las octavas

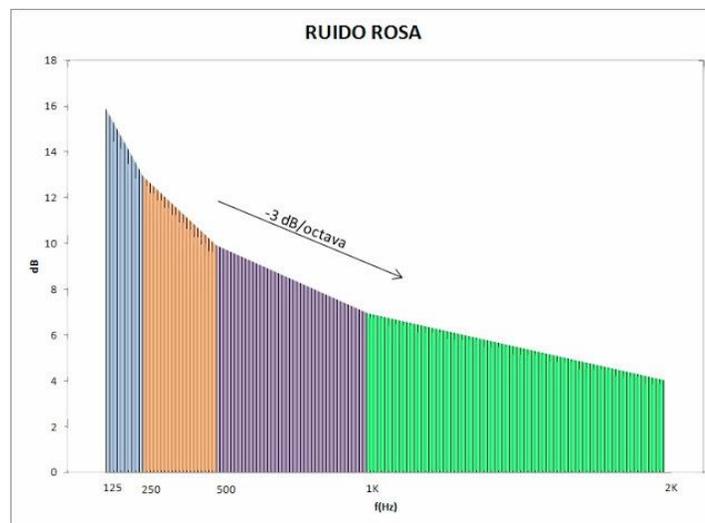


Figura 36: Ruido rosa, con una distribución de energía que decae 3 dB/octava

Fuente: Sonen ingeniería acústica (2013)

4. Para el correcto funcionamiento de este espacio es necesario plantearlo en un lugar tranquilo y alejado de cualquier ruido posible, por lo que indica que el lugar más apropiado es un espacio rural.

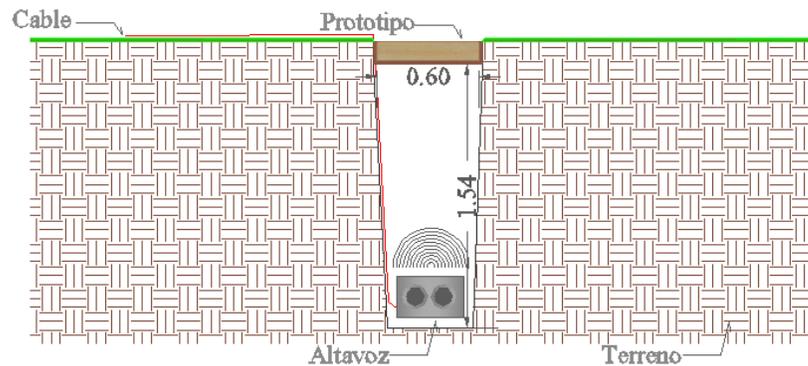


Figura 37: Esquema de planteamiento de un m³ de volumen

Fuente: elaboración de fuente propia

Para emitir la fuente sonora en las mediciones se utilizó un mini componente Panasonic-SA Ak240.

Características Generales

- Sistema de 200 Watts (RMS)
- 2 speakers de 2 vías (woofer 16 cm)
- Cambiador de 5 Cd's
- H. Bass para refuerzo de graves
- Bi Amp con 4 amplificadores independientes
- Reproduce MP3, CD-R/CD-RW
- FM/AM (15 memorias para cada frecuencia)
- 6 modos de ecualización programada
- Dimmer para control de iluminación de display
- Mic Mix para entrada de micrófono.



Figura 38: mini componente Panasonic-SA Ak240

Fuente: tomado de Panasonic

Se utilizó también un sonómetro, medidor de presión sonora instantánea Extech HD600 clase 2.



HD600: Medidor de nivel sonoro con registrador de datos
Almacena hasta 20.000 registros con la marca de hora y fecha real

Características:

- Alcance de 30 a 130 dB con una precisión de 1.4 dB
 - Cumple con las normas del ANSI y IEC61672-1 tipo 2
 - Capacidad de registro de datos de hasta 20.000 registros a una frecuencia de intervalo que va de 1 a 59 segundos
 - Captura hasta 10 lecturas/s cuando se lo conecta a una PC
 - Lecturas MINIMAS Y MÁXIMAS, registro de datos y apagado automático
 - Puerto USB incorporado, carcasa de doble molde con soporte incorporado
 - Completo con adaptador CA, software compatible con Windows®, cable USB, cubierta para el viento, trípode, batería de 9 V y estuche rígido
- Para conocer todas las especificaciones, descargue la hoja de datos del producto (no disponible para algunos accesorios)



Figura 39: sonómetro Extech HD600 clase 2

Fuente: tomado de <http://www.extech.com.es/instruments/product.asp?catid=18&prodid=230>

Desarrollo de la metodología para la prueba de aislamiento acústico.

Inicialmente se hizo la excavación de 1m de profundidad donde todos los lados tenían 60 cm para la ubicación del marco y del prototipo como se muestra a continuación den la **Figura 40** y el montaje del marco demostrado también en la **Figura 40**



Figura 40: Excavación 1m de profundidad, montaje del marcó

Fuente: elaboración de fuente propia

Se procedió a llenar los espacios que quedaron alrededor del marco con tierra procurando que quedara lo mejor sellado posible y continuamente se ubicó el bafle en el fondo de la excavación como se muestra en la **Figura 41**.



Figura 41: Sellado del marco, ubicación del bafle.

Fuente: elaboración de fuente propia

Inicialmente se realizó una grabación del ruido del fondo tomado desde las cuatro esquinas del marco y desde el punto central como se muestra a continuación en la **Figura 42**.



Figura 42: Grabación ruido de fondo cuatro puntos

Fuente: elaboración de fuente propia

Seguidamente se realizó la grabación del ruido rosa en sus cinco puntos como se muestra en la **Figura 43**.



Figura 43: Grabación ruido rosa cinco puntos

Fuente: elaboración de fuente propia

Posteriormente se realizaron las pruebas a un panel de drywall con doble cara con un espesor de 8 cm con un aislamiento en Frescasa con Foil de 6 cm de espesor y un perfil IP, también en los cinco puntos como se realizaron las mediciones del ruido rosa como se puede observar en la **Figura 44**.

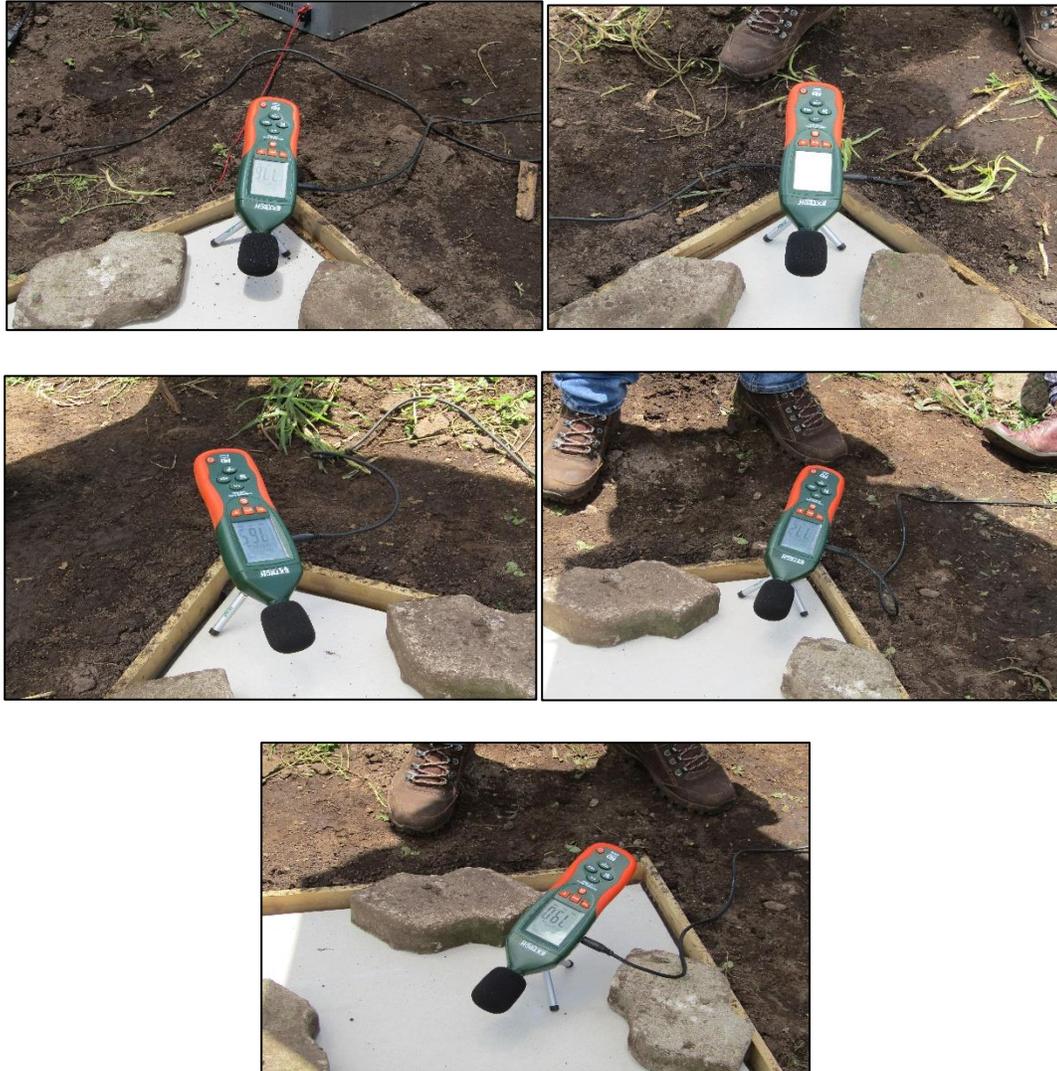


Figura 44: Grabación drywall con Frescasa foil de 8cm cinco puntos.

Fuente: elaboración de fuente propia

Del mismo modo como se realizó la prueba con el panel de drywall con Frescasa se procedió a probar el prototipo de 7 cm de espesor como se muestra en la **Figura 45** y el de 12 cm de espesor como se muestra en la **Figura 46**, haciendo mediciones previas del ruido rosa.

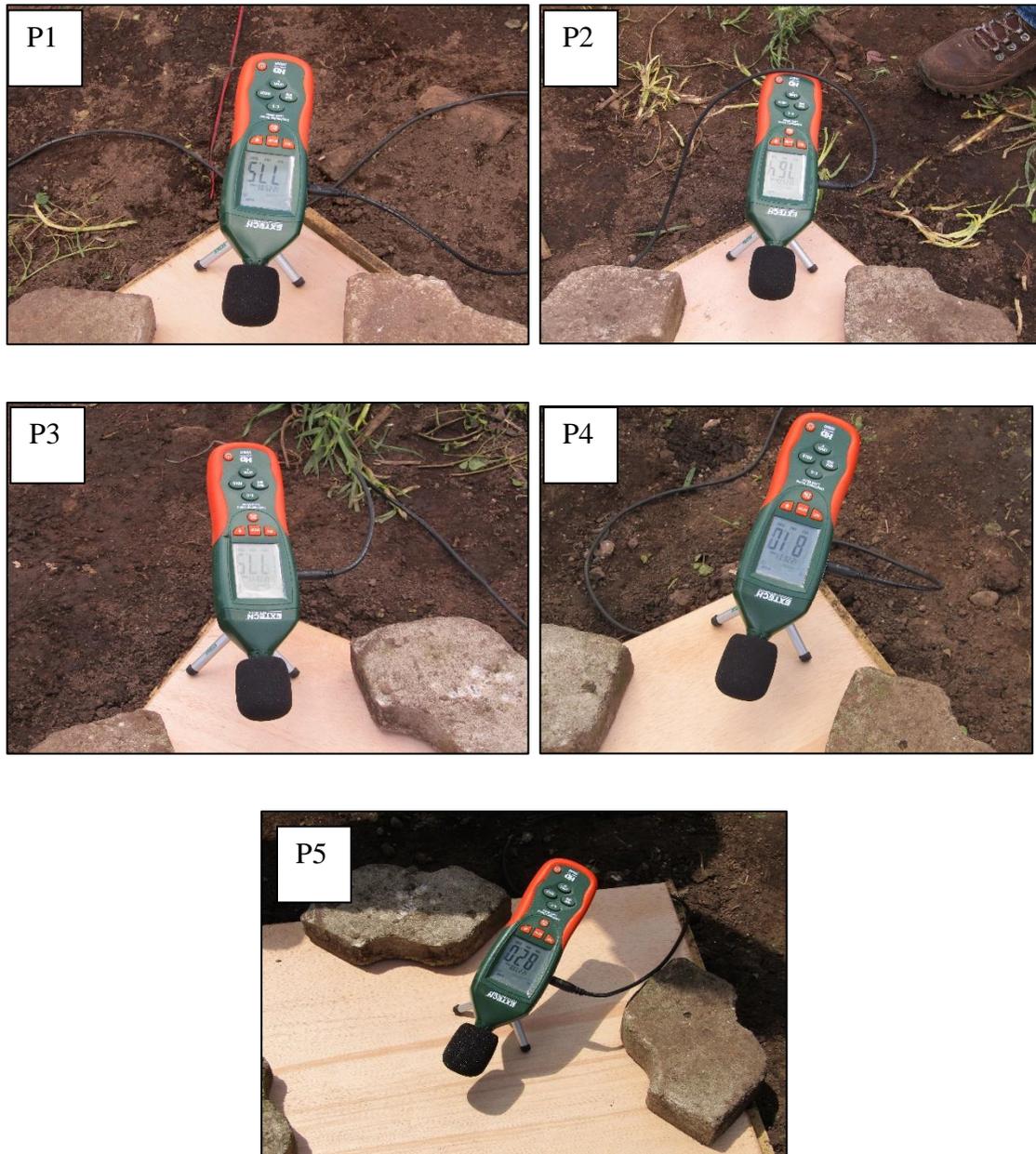


Figura 45: Grabación prototipo 7 cm cinco puntos

Fuente: elaboración de fuente propia

Imágenes de la muestra 1 durante la realización de las mediciones, donde se observan los 5 puntos de medición registrados (la letra P en la imagen indica el punto de medición). El sonómetro se ubicó aproximadamente a 5cm de muestra, a fin de obtener mejor captación del sonido.

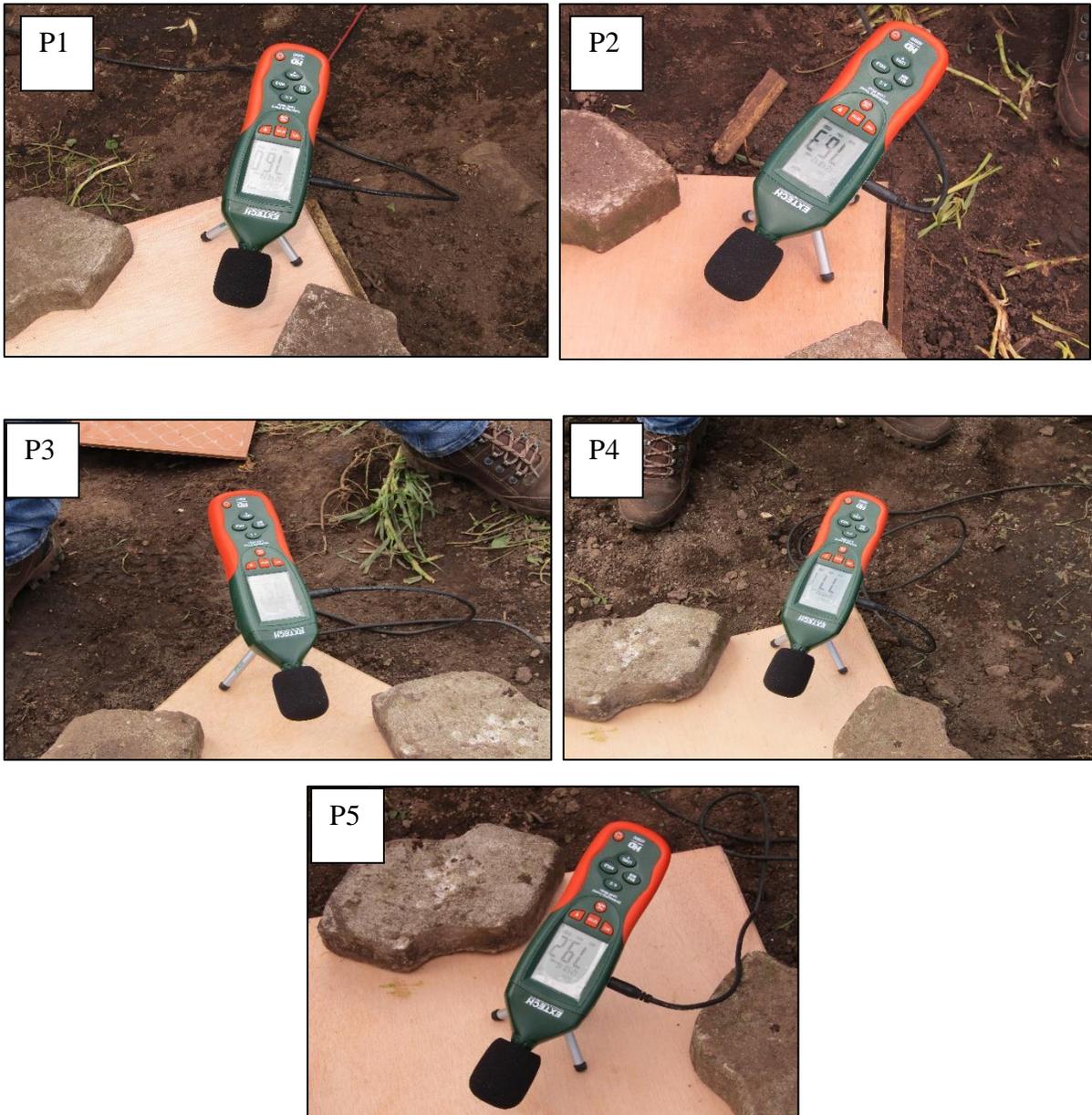


Figura 46: Grabación prototipo 12cm cinco puntos

Fuente: elaboración de fuente propia

Resultado de las pruebas de aislamiento acústico.

Para calcular el ruido de fondo o ambiental inicialmente se identificó el Nivel Leq' el cual se obtiene a partir de los registros realizados los durante 10 minutos en el lugar de las mediciones acústicas.

El Nivel Leq' o nivel sonoro continuo equivalente: según (Monroy, 2017) Es el nivel en dBA de un ruido constante hipotético correspondiente a la misma cantidad de energía acústica que el ruido real considerado, en un punto determinado durante un período de tiempo T. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\text{Leq} = 10 \log \left(\frac{\sum t_i \cdot 10^{Li/10}}{T} \right) \text{ dBA}$$

Donde:

t_i = tiempo de registro

L_i = nivel sonora $\pm 2,5$ dBA.

En la **Tabla 31** se observan los primeros 5 valores de 331 valores registrados del ruido ambiental (el instrumento de medición capta registros por segundo), en la primera columna se encuentra la numeración de muestras, en la segunda columna los niveles de presión sonora registrados en dBA, en la tercera columna, cuarta columna y quinta columna los datos obtenidos con la aplicación de la respectiva fórmula en cada caso y finalmente en la sexta columna el nivel equivalente.

Tabla 31: 5 primeros valores registrados ruido ambiental

Fuente: Elaboración de fuente propia

Muestras	Nivel	Intensidad	Suma	Media Int	Nivel Equiv
i	Li (dBA)	$10^{Li/10}$	$\sum ti \cdot 10^{Li/10}$	$(\sum ti \cdot 10^{Li/10})/T$	Leq (dBA)
1	49,7	93325	93325	93325	49,7
2	49,1	81283	174608	87304	49,4
3	48,6	72444	247052	82351	49,2
4	48,2	66069	313121	78280	48,9
5	47,7	58884	372006	74401	48,7

Tabla 32: Total nivel sonoro ruido ambiental

Fuente: Elaboración de fuente propia

Nivel de presión sonora equivalente del ruido de fondo	
Leq (dBA)	46,6

Para realizar los cálculos de aislamiento acústico se tienen en cuenta los siguientes datos:

Donde:

En la **Tabla 33** se puede identificar el promedio de L1 y L2 de las tres muestras analizadas:

Muestra 1 panel de 61 cm x 61 cm con doble lámina de drywall y 6cm de espesor de Frescasa Foil,

Muestra 2 panel de 61 cm x 61 cm de 7cm de espesor con fibras de culmo de maíz y fibras del peciolo y vástago del plátano.

Muestra 3 panel de 61 cm x 61 cm de 12 cm de espesor con fibras de culmo de maíz y fibras del peciolo y vástago del plátano.

Tabla 33: Resultado niveles de presión sonora L1 y L2

Fuente: Elaboración de fuente propia de acuerdo a los resultados obtenidos en la medición

Muestra	L1	L2
muestra 1 Fresca Foil doble placa de drywall	91,1	74,7
muestra 2 panel 7cm Fibras de plátano y maíz	93,6	81
muestra 3 panel 12cm Fibras de plátano y maíz	93,4	76,2

Las mediciones acústicas se realizaron el día 23 de abril desde las 11:00 am hasta las 3:00 pm

A continuación en las siguientes imágenes se muestran los valores de niveles de presión sonora obtenidos L1 durante las mediciones. El tiempo de registro en cada medición se realizó de más o menos 30seg en cada punto de medición. En la **Tabla 33** Se observa el valor promedio de 91dB para la primera muestra.

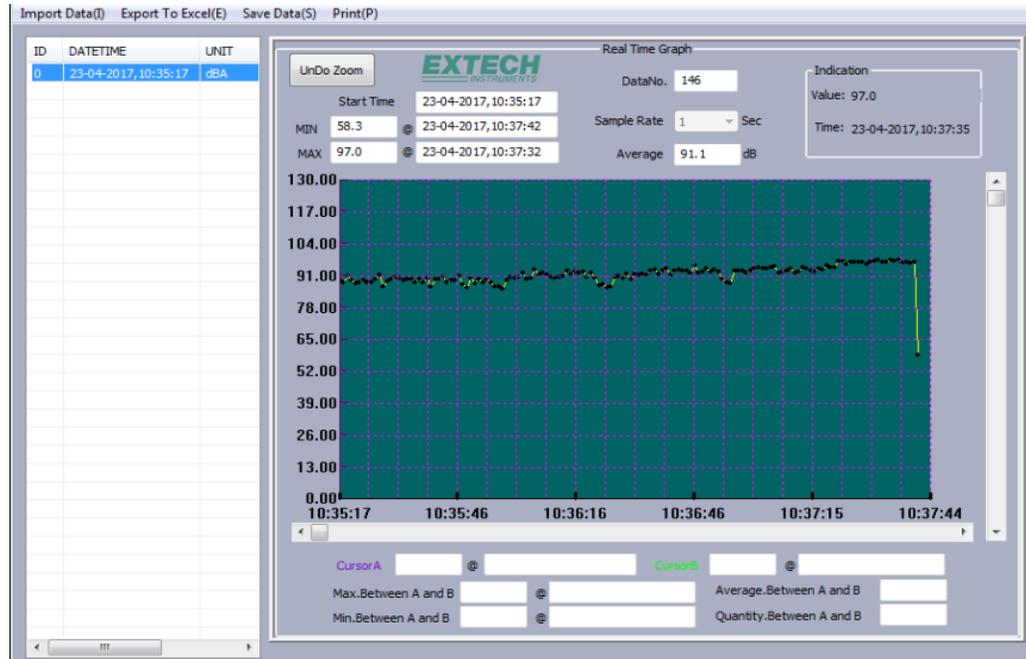


Figura 47: Ruido rosa fuente sonora muestra 1

Fuente: Elaboración de fuente propia

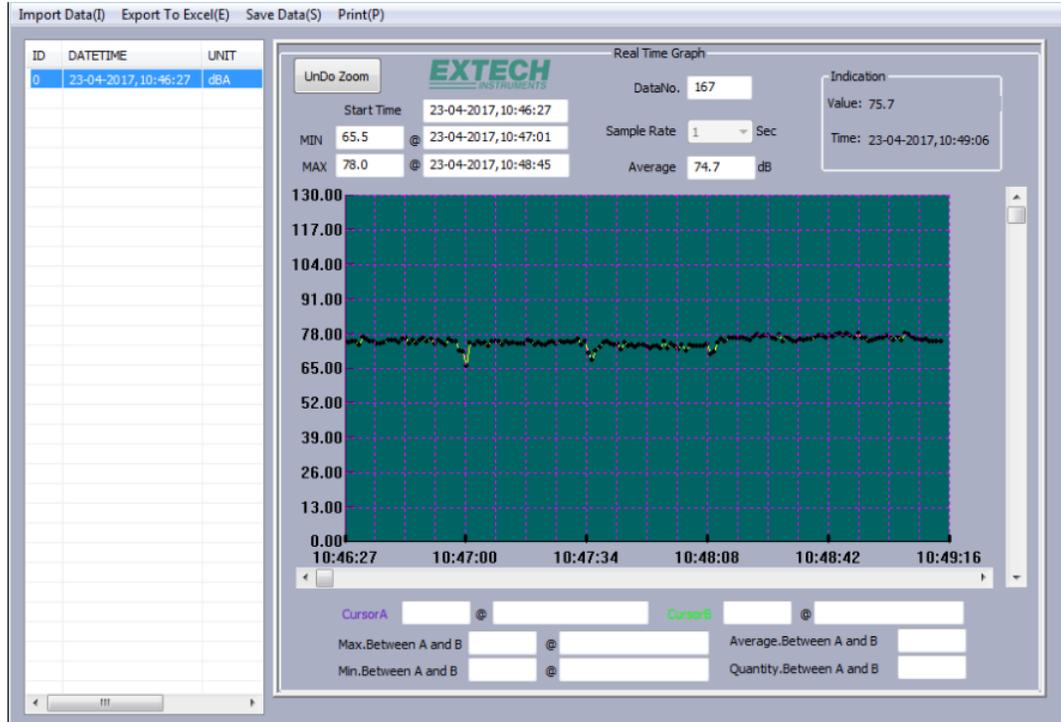


Figura 48: Ruido muestra 1

Fuente: Elaboración de fuente propia

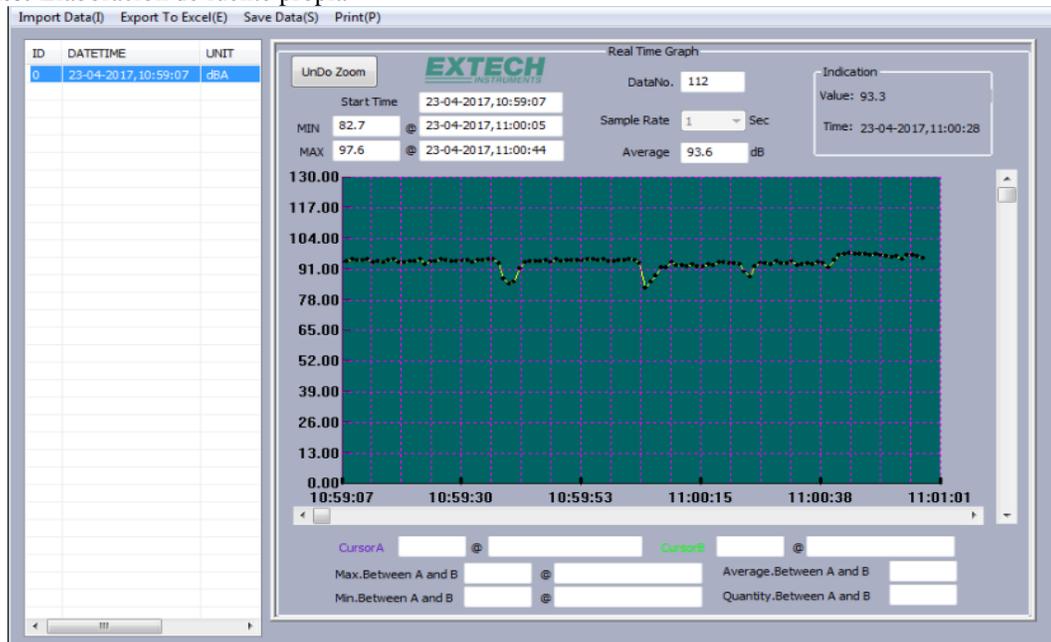


Figura 49. Ruido rosa fuente sonora muestra 2

Fuente: Elaboración de fuente propia

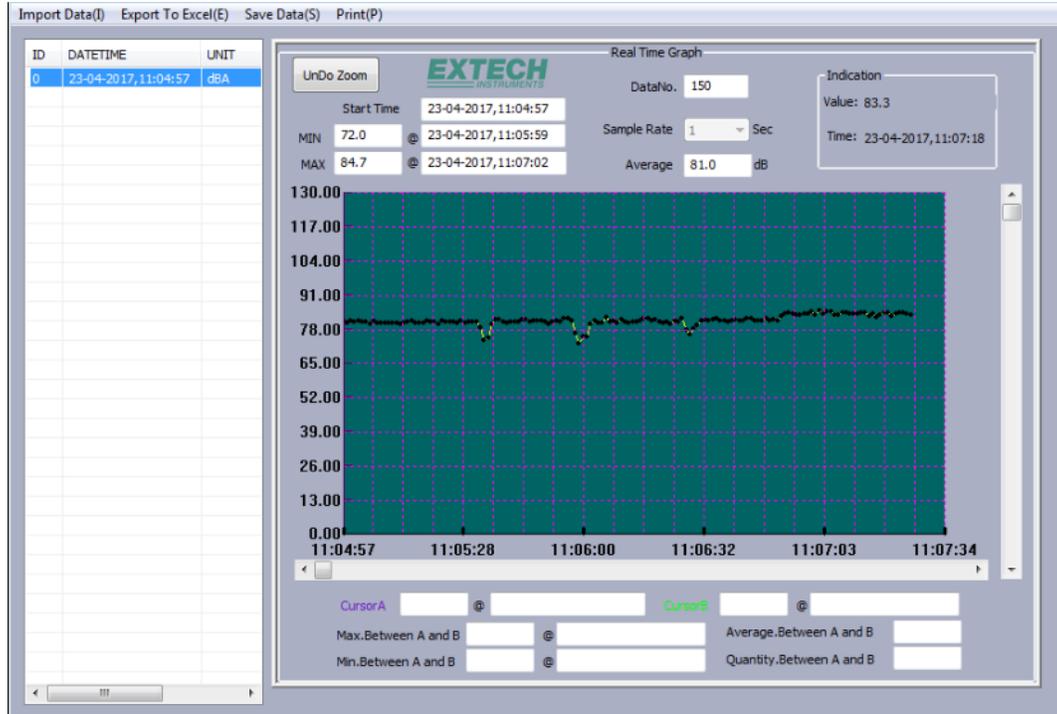


Figura 50: Ruido muestra 2

Fuente: Elaboración de fuente propia

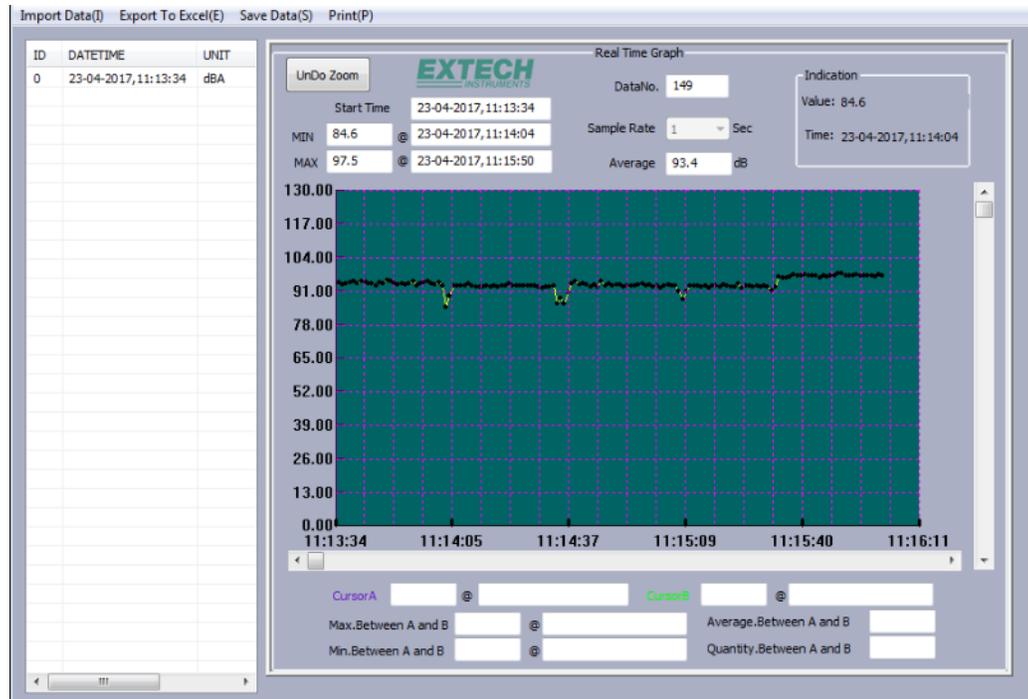


Figura 51: Ruido rosa fuente sonora muestra 3

Fuente: Elaboración de fuente propia

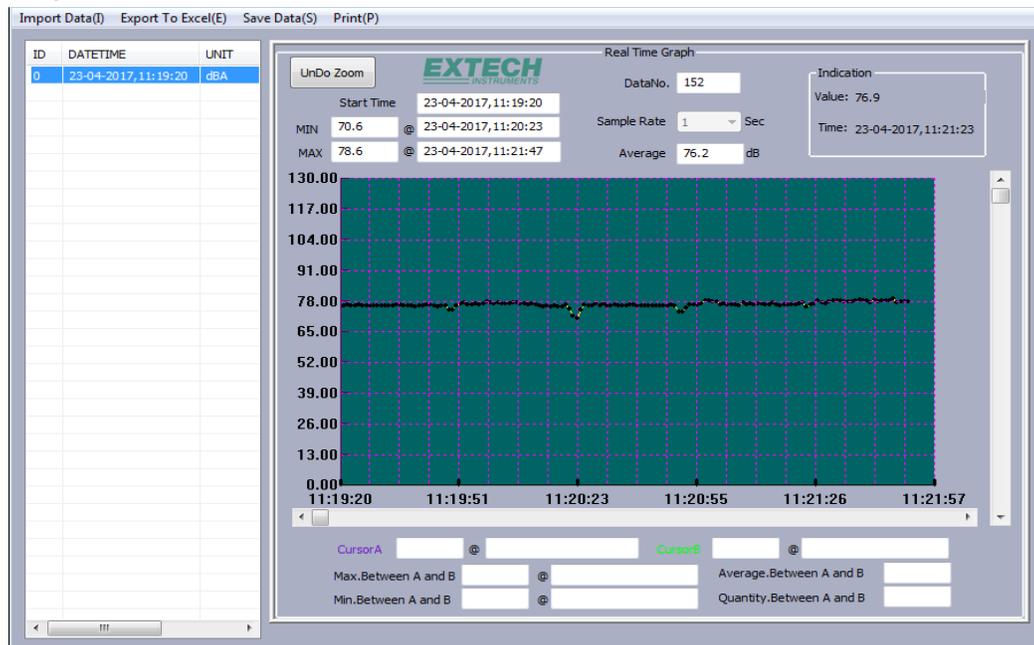


Figura 52: Ruido muestra 3

Fuente: Elaboración de fuente propia

Luego de obtener los registros L1 y L2 en dBA de cada muestra, se aplicó la fórmula de obtención del índice de reducción acústica R en dBA (eq. 2)

Por ultimo en la **Tabla 34** se identificó el índice de reducción acústica R una vez aplicada la formula.

$$\text{Fórmula} \quad R = L1 - L2 + 10 \log S/A \quad (\text{eq. 2})$$

S = 0,6 m2 Área de la muestra

A = 2,76 m2 Área de absorción del recinto de medición

L1 = Nivel de presión sonora promedio de la energía emitida en dB

L2 = Nivel de presión sonora promedio de la energía en el recinto receptor en dB

Teniendo en cuenta la integración del ruido de fondo Leq TA

A partir de la aplicación de la fórmula (eq. 2) se obtuvieron los siguientes resultados en cada una de las muestras ensayadas.

Muestra 1: panel de Frescasa Foil doble placa de drywall		
	Leq (dBA)	R dBA
	46,6	25,7

muestra 2: panel 7cm Fibras de plátano y maíz		
	Leq (dBA)	R dBA
	46,6	21,9

muestra 3: panel 12cm Fibras de plátano y maíz		
	Leq (dBA)	R dBA
	46,6	26,5

Tabla 34: Índices de reducción.

Fuente: Elaboración de fuente propia

L1-L2	10Log	S/A	R dBA
16,4	9,3	0,217391	25,7
12,6	9,3	0,217391	21,9
17,2	9,3	0,217391	26,5

Conclusiones.

En los análisis acústicos realizados se obtuvo una diferencia entre el panel de doble cara de drywall con relleno de fracasa Foil y los dos prototipos propuestos tipo resonador acústico.

Inicialmente se identificó que el prototipo tipo resonador acústico de 7 cm de espesor obtuvo una reducción de menor de 3.8 dBA en comparación con el panel de doble cara de drywall con relleno de Frescasa Foil de 6 cm de espesor, igualmente al realizar el comparativo del prototipo tipo resonador de 12 cm de espesor se obtuvo una reducción mayor de 0.8 dBA en comparación con el panel de doble cara de drywall con relleno de Frescasa Foil de 6 cm de espesor.

Posteriormente al momento de realizar las pruebas de reducción de dBA al ubicar el sonómetro, este fue ubicado a una altura de 5 cm sobre el panel en cada uno de los 5 puntos con tal de que el ruido rosa fuera detectado correctamente por el sonómetro.

Finalmente cabe resaltar que al momento de realizar la prueba de reducción de dBA de la muestra de panel de doble cara de drywall con relleno de fracasa Foil y los dos prototipos tipo resonador planteados, se realizó una debida medición del ruido rosa de la fuente de sonido con el fin de tener márgenes de error mínimos.

Capítulo 4

Lineamientos para la fabricación eficiente del panel e implementación

Elementos absorbentes selectivos resonadores.

Los materiales absorbentes según (Isbert, 1998) de espesor estándar instalados sobre una pared rígida presentan una pobre absorción acústica a bajas frecuencias, al separarlos de la pared se produce una mejora de absorción en dichas frecuencias.

Para obtener una gran absorción a bajas frecuencias con objeto de reducir los tiempos de reverberación, Es indicado hacer uso de absorbentes selectivos o resonadores. Puesto que son elementos que presentan una curva de absorción con un valor máximo a determinada frecuencia; dicha frecuencia depende de las características tanto físicas como geométricas del resonador.

Los resonadores pueden usarse tanto de manera independiente o complemento de materiales absorbentes; existen varios tipos de resonadores dentro de los cuales encontramos:

- De membrana o diafragmático.
- Simple cavidad (Helmholtz).
- Múltiple cavidad (Helmholtz) a base de paneles perforados, ranurados o a base de listones.

Los resonadores de Helmholtz de cavidad múltiple que son los que se van a tratar están formados por un material no poroso y rígido en el cual se elabora una serie de perforaciones circulares o ranuras.

Para la elaboración de paneles perforados o ranurados, las perforaciones deben estar distribuidas uniformemente sobre el panel.

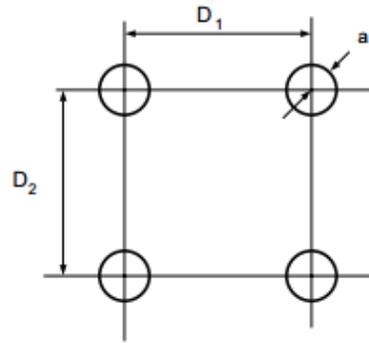


Figura 53: Detalle de un tramo unitario de un panel perforado con indicación de sus dimensiones características

Fuente: tomado de (Isbert, 1998)

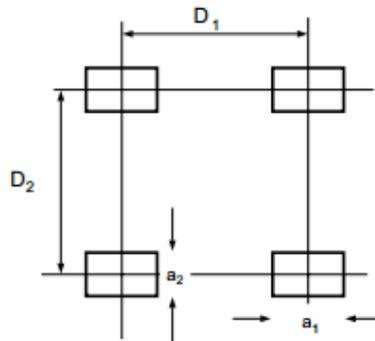


Figura 54: Detalle de un tramo unitario de un panel ranurado con indicación de sus dimensiones características

Fuente: tomado de (Isbert, 1998)

Este tipo de resonador es menos selectivo que el resonador simple pues la curva de absorción en función a las frecuencias es mayor, en cuanto a la capacidad de absorción al rellenar la cavidad parcial o totalmente con un material absorbente esta aumenta.

Siempre que se pretenda obtener una curva de absorción menos selectiva es perceptivo colocar el material justo detrás del panel perforado.

Los paneles perforados o ranurados integrantes de los resonadores múltiples de cavidad suelen ser de alguno de los siguientes materiales:

- madera
- cartón-yeso
- chapa metálica
- ladrillo

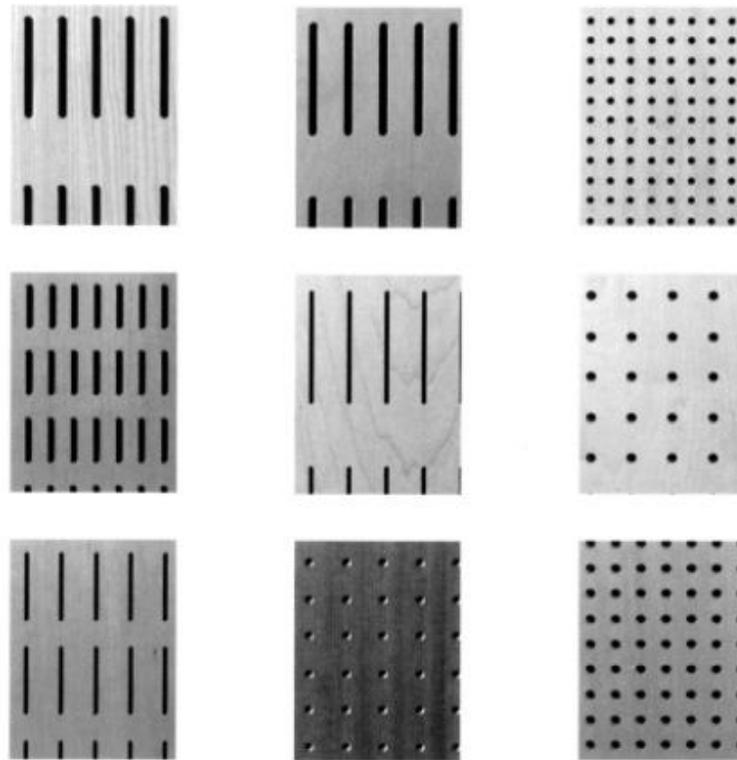


Figura 55: Resonadores a base de paneles de madera perforados y ranurados (paneles Obersound, distribuidos por C.i.C.S. Cortines i Control Solar, S.L.)

Fuente: tomado de (Isbert, 1998)

Montaje

Para la implementación del absorbente selectivo (resonador de cavidad múltiple perforado) se hará uso de un perfilaría de auto ensamble Domino utilizada con frecuencia para montaje de láminas de equilibrio acústico, tapas de inspección, bandejas metálicas micro perforadas, fibra mineral andina, y fibra mineral Armstrong.

El sistema de perfiles de auto-ensamble cuenta con:

Perfil principal

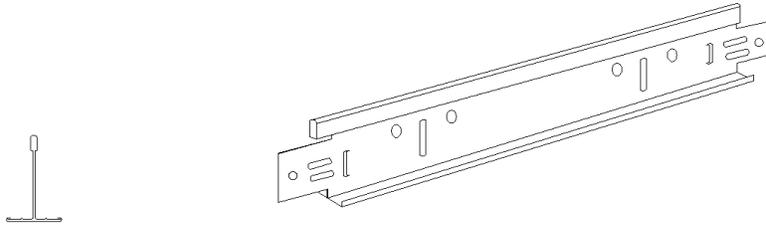


Figura 56: Perfil principal Domino 15/16''

Fuente: Elaboración propia

Fabricado con cobertura de acero galvanizado y pre pintado en blanco, con acople en las punteras, troquelado cada 6'' (15.24cm) para auto ensamble perpendicular de los perfiles secundarios.

Perfil secundario

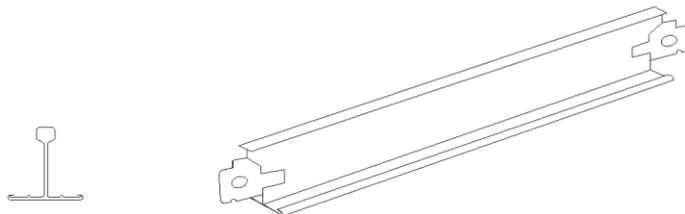


Figura 57: Perfil Secundario 15/16''

Fuente: Elaboración propia

Perfil secundario de 1,22m en forma de T con extremos de auto-ensamble automático, troquelados cada 0,61m para permitir el ensamble perpendicular de los perfiles secundarios de 0,61m.

Angulo perimetral

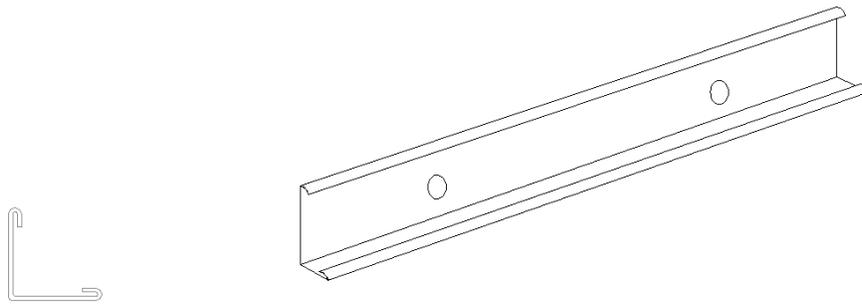


Figura 58 : Angulo perimetral 15/16”

Fuente: tomado de <http://multiobras.com/angulo-perimetral-2/>

Angulo fabricado en acero galvanizado con los más altos estándares de calidad, se instala en el perímetro del cielo raso.

Para su instalación:

1. Se marca el nivel del cielo raso.



Figura 59: proceso instalación perfilaría auto ensamble

Fuente: Tomado de <http://multiobras.com/wp-content/uploads/2015/04/instalacionperfileria.jpg>

2. Corte de ángulos perimetrales a 45° en los extremos.

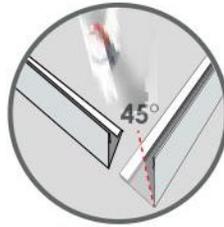


Figura 60: proceso instalación perfilaría auto ensamble

Fuente: tomado de <http://multiobras.com/wp-content/uploads/2015/04/instalacionperfileria.jpg>

3. Ensamble de los perfiles.

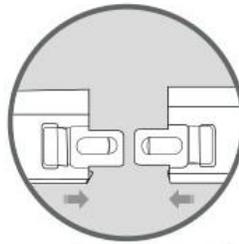


Figura 61 proceso instalación perfilaría auto ensamble.

Fuente: tomado de <http://multiobras.com/wp-content/uploads/2015/04/instalacionperfileria.jpg>

4. Instalación de los paneles en forma inclinada.



Figura 62 proceso instalación perfilaría auto ensamble.

Fuente: tomado de <http://multiobras.com/wp-content/uploads/2015/04/instalacionperfileria.jpg>

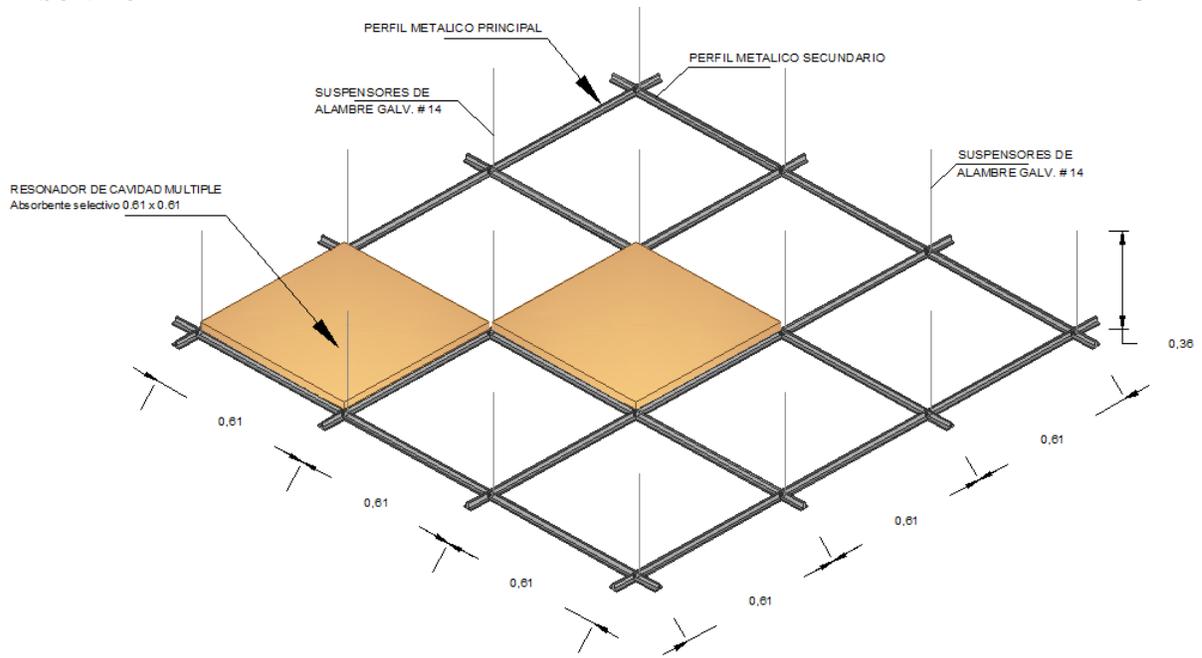


Figura 63: vista superior cielo raso

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

El proyecto realizado permitió identificar algunas características físicas de las fibras del culmo de *Zea mays* (maíz) y fibras del peciolo y vástago de *Musa x paradisiaca* (plátano) de las cuales inicialmente podemos concluir que el promedio de absorción de agua de las fibras a las **2h = 256.20%** y a las **3.55h = 271.30%** encontrando una diferencia de porcentaje de absorción de **15.1%**.

Posteriormente identificamos el porcentaje contenido de humedad *Musa x paradisiaca* (plátano) entre un rango de **18.98%** y **20.86%** y *Zea mays* (maíz) entre un rango de **10.40%** y **11.01%**, lo anterior nos permitió identificar que las propiedades físicas analizadas anteriormente, permiten obtener una mejor disposición y ubicación de las fibras estudiadas. Pues se identificó que las dos fibras tienen capacidades higroscópicas muy altas, de las cuales las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) tienen más alto contenido de humedad que las de *Zea mays* (maíz).

Seguidamente al realizar la caracterización física de las fibras se identificó la densidad de las fibras de *Musa x paradisiaca* (plátano) y *Zea mays* (maíz) concluyendo que tienen una densidad más alta que otros materiales de aislamiento acústico del mercado.

Finalmente en cuanto a la realización de pruebas acústicas se identificó que el prototipo de 7cm obtuvo una reducción menor de 3.8 dBA en comparación a la reducción del prototipo de drywall de doble cara con Frescasa Foil y el prototipo de 12 cm obtuvo una reducción mayor de 0.8 dBA en comparación con el panel de doble cara de drywall con relleno de Frescasa Foil, demostrando así la efectividad acústica del material y de los prototipos.

Recomendaciones

- Realizar pruebas de aglomerantes para analizar variaciones en pesos y propiedades de los paneles.
- Analizar la capacidad de absorción al sonido teniendo en cuenta que las pruebas realizadas hasta ahora están relacionadas con el aislamiento acústico.
- Analizar las propiedades de resistencia mecánica, durabilidad, comportamiento al ataque de microorganismos y comportamiento frente al fuego.
- Comportamiento térmico.

Bibliografía

- AISLA HOME. (2016). Aislamiento con celulosa. España. Recuperado el 8 de Abril de 2017, de <http://aislahome.es/aislamiento-con-celulosa>
- ASTM international. (2001). Designación: D 1106-96 (revisada en 2001). *Método de prueba estándar para insoluble en ácido, 2*. Estados Unidos. Recuperado el 07 de febrero de 2017
- ASTM international. (2003). ASTM D 1037 absorción de agua. Estados Unidos. Recuperado el 8 de febrero de 2017
- ASTM international. (s.f.). ASTM D 4442-07 determinación contenido de humedad en maderas. 15. Estados Unidos. Recuperado el 09 de febrero de 2017
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (abril de 2014). *Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. Recuperado el 1 de noviembre de 2016, de El cultivo del plátano (*Musa paradisiaca*), un importante alimento para el mundo:
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_abr_2014.pdf
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (Enero de 2011). *Laboratorio de Condiciones de Trabajo*. Recuperado el 29 de Octubre de 2016, de Ergonomía :
http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7863_ruido.pdf
- Guerrero, L. M. (7 de agosto de 2015). Ponencia proyecto estudio y aplicación de las fibras naturales de banano para la elaboración de recubrimiento para paredes. Guayaquil - provincia de Guayas, Ecuador. Recuperado el 1 de Noviembre de 2016

Isbert, A. C. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL. Recuperado el 13 de Abril de 2017

Jaramillo, Á. M. (12 de febrero de 2011). Residuos del plátano, renta para productores. *UN Periódico* (No. 141). Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/residuos-del-platano-renta-para-productores-1.html>

laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica de arquitectura, Leet. (2008-2009).

Paneles generados apartir de residuos de la agroindustria platanera. Recuperado el 18 de Octubre de 2016

Ministerio de agricultura. (2014). *Agronet*. Obtenido de <http://www.agronet.gov.co/>

Miraya, F. (1 de agosto de 2016). *Acustica y Sistemas de sonido* . 164.

Monroy, M. (09 de Mayo de 2017). Obtenido de <http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/4-%20RUIDO/Software/>

Ojer, L. (22 de Febrero de 2013). *Acústica Fácil*. Recuperado el 23 de Marzo de 2017, de Ingeniería acústica para profesionales: <http://www.ingenieriaacusticafacil.com/ingenieria-acustica-los-resonadores-como-absorbentes-acusticos/>

Owens Corning. (Noviembre de 2012). Fundamentos de acústica. *Control de ruido y calidad de sonido*. Recuperado el 02 de Abril de 2017, de <http://owenscorning.com.br/pdf/FundamentosdeacusticaES.pdf>

Palacios. (2003). *Monografía de apoyo didáctico para el curso de estructuras anatómicas de materiales fibrosos para la maestría de productos forestales*. Guadalajara. Recuperado el 25 de octubre de 2016

Pasturas de américa. (s.f.). *Residuos del cultivo de maíz*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de <http://www.pasturasdeamerica.com/utilizacion-forrajes/residuos-agricolas/maiz/>

Prado- Martinez, M. J.-H.-A.-J.-R. (19 de enero de 2012). *Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de pulpa celulósica mixta*. Recuperado el 26 de Octubre de 2016

Rodriguez, L. J. (21 de agosto de 2013). Fibra de plátano competirá con las de vidrio y cartón.

Sanchez Delgado , C., Dujovne Guzman, L., & Poo Barrera, C. (s.f.). Manual de aplicación reglamentación acústica Ordenanza general de urbanismo y construcciones. *Ordenanza general de urbanismo y construcciones articulo 1.4.6.(325), 2006, 29*. Chile: Gobierno de Chile MINVU. Recuperado el 15 de 02 de 2015

Sánchez Delgado, C., Dujovne Guzman, L., & Poo Barrera, C. (2006). *Manual de Aplicación Reglamentación Acústica*. (D. T. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ed.) Recuperado el 29 de Octubre de 2016, de www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb_cod...acustica.pdf

Secretaria Distrital de Ambiente Bogota. (s.f.). *Información general sobre la problemática de ruido*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de Legislación aplicable a la problemática de ruido en la ciudad: <http://ambientebogota.gov.co/ruido>

Sistemas de Insonorización para la Industria y Medio Ambiente. (s.f.). *SINTEC*. Recuperado el

29 de Octubre de 2016, de El Sonido:

www.sintecinsonorizacion.com/classes/descargar.php?doc...0-1.pdf

Soto, D. A. (2016). Caracterización de las propiedades de absorción acústica de la fibra de la

guadua. Bogota, Colombia. Recuperado el 10 de Marzo de 2017

Tecsound. (Marzo de 2003). Sistemas de aislamiento acústico para obra nueva y

rehabilitación. *sexta*. España: Texsa. Recuperado el 15 de 02 de 2017

Anexos

Protocolo ensayo según norma ASTM D 1037

Para el desarrollo del protocolo vamos a seguir los parámetros establecidos en la ASTM 1037 con el fin de analizar la capacidad absorbente de agua.

Probetas: las probetas de ensayo serán de 4cm de ancho por 4.5cm de largo por 0.5 cm de espesor; número de probetas por ensayo 5

Para el análisis de las probetas necesitaremos:

- Para determinación de longitud, ancho y espesor ; Instrumento de medición calibrador o metro (lo más exacto posible preferiblemente aproximación de 0,01 mm)
- Para determinación de masa utilizar balanza que permita lecturas de 0.01gr

Procedimiento:

1. Marcar e identificar las probetas
2. Determinación del espesor (previo a la inmersión)
3. Determinación de la longitud y ancho, realizarlo sin aplicar exceso de presión y preferiblemente con una inclinación de 45° (previo a la inmersión)
4. Determinación de masa. (previo en la inmersión)
5. Sumergir en recipientes verticales que contengan agua limpia y que su temperatura sea entre 1°C a 15°C
6. Dos horas después de inmersión tomar nuevamente datos de espesor, longitud, ancho y peso

7. A las 24 horas volver a realizar toma de datos de espesor, longitud, ancho y peso

Cálculos:

Absorción de agua: la absorción de agua se calcula con la siguiente formula:

$$Aa = \frac{P1 - P0}{P0} \times 100$$

Donde:

Aa: absorción de agua en porcentaje

P1: peso de la probeta después de la inmersión en gramos

P0: peso de la probeta antes de la inmersión en gramos

El resultado se expresará con una aproximación del 1%. La absorción del agua por probeta será la media aritmética de la absorción de agua de las probetas obtenidas.

Protocolo ensayo según norma ASTM D 4442-07

Para el desarrollo del protocolo vamos a seguir los parámetros establecidos en la ASTM D 4442-07 con el fin de analizar el contenido de humedad.

De la normativa se basara los requerimientos ya planteados en el método A de la norma ASTM D 4442-07

Probetas: las probetas de ensayo serán de 4cm de ancho por 4.5cm de largo por 0.5 cm de espesor; número de probetas por ensayo 4 por material en cada bandeja.

Para el análisis de las probetas necesitaremos:

- Horno: se requiere que este permita alcanzar la temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante el tiempo requerido para que las muestras sequen completamente.
- Balanza: la masa de la muestra se debe tomar con una balanza de precisión del 1%.

Procedimiento:

1. Marcar e identificar las probetas
2. Poner las probetas en un ambiente estable donde no absorban ni expulsen humedad.
3. Pesar las probetas húmedas en la balanza previamente y se registrar el valor del (W_{mojada})
4. Las probetas se localizan en el horno a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 3 horas aproximadamente o hasta que se presente un cambio de peso menor a dos veces la precisión de la balanza.
5. Se pesan las probetas secas (W_{seco})

Protocolo ensayo según norma ASTM D 5229

Para el desarrollo del protocolo vamos a seguir los parámetros establecidos en la ASTM D 5229 con el fin de analizar la absorción de humedad.

De la normativa se basara los requerimientos ya planteados en el método D de la norma ASTM D 5229

Probetas: las probetas de ensayo serán de 4cm de ancho por 4.5cm de largo por 0.5 cm de espesor; número de probetas por ensayo 4 por material en cada bandeja.

Para el análisis de las probetas necesitaremos:

- Horno: se requiere que este permita alcanzar la temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante el tiempo requerido para que las muestras sequen completamente.
- Balanza: la masa de la muestra se debe tomar con una balanza de precisión del 1%.

Procedimiento:

1. Marcar e identificar las probetas
2. Estabilizar a temperatura de 25°C el horno, mantener la temperatura durante el periodo de ensayo
3. Antes de poner las probetas dentro del horno se pesa y se registra el peso base (W_b)
4. determinar un intervalo de tiempo para pesar la muestra varias veces (W_i) (no demorar más de 5 minutos pues afecta el comportamiento de la muestra respecto a la humedad

Cálculos:

Cambio de masa: El cambio de masa se calcula con la siguiente formula:

$$CM = \frac{W_i - W_b}{W_b} \times 100$$

Donde:

CM: cambio de masa en porcentaje

W i: peso de la probeta durante los intervalos de tiempo en el horno en gramos

W b: peso de la probeta antes de ingresarlas al horno en gramos

Contenido de humedad: el contenido de humedad se calcula con la siguiente formula:

$$CH = \frac{W_i - W_{seca}}{W_{seca}} \times 100$$

Donde:

CH: contenido de humedad en porcentaje

W i: peso de la probeta durante los intervalos de tiempo en el horno en gramos

W seca: peso de la probeta después de sacarla del horno en gramos

[Anexo detalles](#)

Ver [pdf](#)