



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE RETENCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO
EN BIOFILTROS A BASE DE DOS ESPECIES VEGETALES
(*MUSA PARADISIACA* Y *GUADUA ANGUSTIFOLIA*)**

AUTOR

GABRIEL IVÁN SOLORZANO CALDERÓN

TUTOR

ING. CRISTIAN ARTURO LARA BASANTES

GUAYAQUIL, ECUADOR

2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: ANÁLISIS DE RETENCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN BIOFILTROS A BASE DE DOS ESPECIES VEGETALES (*MUSA PARADISIACA* Y *GUADUA ANGUSTIFOLIA*), realizado por el estudiante SOLORZANO CALDERÓN GABRIEL IVÁN; con cédula de identidad N° 0929997740 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

CRISTIAN ARTURO LARA BASANTES

Firma del Tutor

Guayaquil, 4 de octubre del 2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE RETENCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN BIOFILTROS A BASE DE DOS ESPECIES VEGETALES (*MUSA PARADISIACA* Y *GUADUA ANGUSTIFOLIA*)”, realizado por el estudiante SOLORZANO CALDERÓN GABRIEL IVÁN, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Blgo. Jaime Santos Pinargote
PRESIDENTE

Ing. Tomas Hernández Paredes
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Luis Morocho Rosero
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Cristian Lara Basantes
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 06 de septiembre del 2024

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis está dedicado principalmente a mí, por querer y tener las fuerzas necesarias para mantener una idea firme y creer en ello, mientras todo estaba en mi contra. La espera valió la pena y con este trabajo, puedo proyectar lo que un día fue solo una idea.

Si no se cree en lo que se hace, entonces todo será en vano ya que no habrá, fe, fuerzas ni mucho menos esperanzas.

Se necesita de mucho coraje para alcanzar nuestras metas y creo que eh tenido las suficientes para no desmayar en el camino. A pesar del apoyo, las palabras, las acciones recibidas, todo eso hubiera servido para nada, **si yo no creía en mí.**

Debemos soñar, debemos ver hacia el futuro y observarnos allí.

CREE EN TI, INTENTALO, FRACASA, INTENTALO DE NUEVO DE UNA FORMA DIFERENTE Y GANA.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecerle, a mis padres por haber formado parte de cada uno de las etapas de este proyecto y a lo largo de mis años de estudio, su apoyo y dedicación fueron tan fundamentales como el haber colocado una base sólida para no rendirme ante los obstáculos que se presentaron en el camino.

A mi tutor, Ing. Cristian Lara por haber creído en este proyecto y por haber estado pendiente de mis avances para que realice todo en el menor tiempo posible, a pesar que fue muy larga la espera, estoy seguro que conseguimos un excelente trabajo, el cual, es y será de aporte significativo a lo largo de los años. Con su conocimiento y su pasión, sé que muchos más tesisistas tendrán el profesional ideal que crea en ellos y sus ideas por más ambiciosas que sean.

Así mismo, agradezco a Bryan Cabrera, Nixon Castro, y Cesar Bahamonde por el apoyo y la amistad incondicional durante muchos años y estar allí cuando más lo eh necesitado, su tan sola presencia en mi vida hace que sepa que elegí bien a mis verdaderos amigos.

Y, por último, agradezco a todos los que estuvieron en mi formación y en la de este proyecto y que hoy ya no están en este mundo, Gracias de todo corazón.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, SOLORZANO CALDERÓN GABRIEL IVÁN, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “ANÁLISIS DE RETENCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN BIOFILTROS A BASE DE DOS ESPECIES VEGETALES (*MUSA PARADISIACA* Y *GUADUA ANGUSTIFOLIA*)”, para optar el título de Ingeniero Ambiental, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, octubre 4 del 2024

SOLORZANO CALDERÓN GABRIEL IVÁN
C.I. 0929997740

RESUMEN

La contaminación atmosférica es una de las mayores causas de contaminación alrededor del mundo, los orígenes de esta son los factores naturales y sobre todo antropogénicos. En esta contaminación sobresalen los MP o materiales particulados, sus efectos más destacables se encuentra en la parte de la salud humana. Bajo estos principios, se propone analizar la capacidad de retención de material particulado en biofiltros a base de dos especies vegetales (*Musa paradisiaca* y *Guadua angustifolia*) para la aplicación de modelos cuantitativos, estos biofiltros se instalaron durante 30 días en diferentes ubicaciones de la ciudad de Guayaquil. De igual manera bajo la aplicación de modelos estadísticos, Correlación, ANOVA y PCA se logró evidenciar que las variables, actividades Antropológicas, Temperatura, Velocidad del viento, Dirección del viento, Humedad relativa, Presión Atmosférica y Precipitación, no tenían ninguna relación con la cantidad de MP retenidos en las láminas, por otra parte, el material de *G. angustifolia* si tiene relación en el aumento del peso receptado específicamente 36,57g más que *M. paradisiaca*. En síntesis, se pudo comprobar que la especie de *G. angustifolia* retiene en promedio 3,77g de MP a diferencia de *M. paradisiaca* con un 1,67g en promedio. También, mediante análisis de Microscopia Electrónica se pudieron apreciar los diversos MP retenidos en las muestras seleccionadas, constatando que las láminas si son funcionales y da paso a mejoras en el diseño de estos biofiltros.

Palabras clave: *Material Particulado, Biofiltro, Guadua angustifolia, Musa paradisiaca, Microscopio Electrónico de Scanning - Barrido*

ABSTRACT

Atmospheric pollution is one of the major causes of contamination around the world, the origins of which are natural and especially anthropogenic factors. In this contamination, PM or particulate materials stand out, and their most outstanding effects are found in the human health area. Under these principles, it is proposed to analyze the retention capacity of particulate matter in biofilters based on two plant species (*Musa paradisiaca* and *Guadua angustifolia*) for the application of quantitative models, these biofilters were installed for 30 days in different locations in the city of Guayaquil. Similarly, under the application of statistical models, Correlation, ANOVA and PCA, it was possible to demonstrate that the variables, Anthropological activities, Temperature, Wind speed, Wind direction, Relative humidity, Atmospheric pressure and Precipitation, had no relationship with the amount of PM retained in the sheets, on the other hand, the material of *G. angustifolia* does have a relationship in the increase of the weight received, specifically 36.57g more than *M. paradisiaca*. In summary, it was found that the *G. angustifolia* species retains an average of 3.77 g of PM, as opposed to *M. paradisiaca*, which retains an average of 1.67 g of PM. Also, by means of electron microscopy analysis it was possible to appreciate the different MP retained in the selected samples, confirming that the lamellae are functional and giving way to improvements in the design of these biofilters.

Keywords: *Particulate Material, Biofilter, Guadua angustifolia, Musa paradisiaca, Scanning Electron Microscope*

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	23
1.1	Antecedentes del problema.....	23
1.2	Planteamiento y formulación del problema	26
1.2.1	Planteamiento del problema	26
1.3	Justificación de la investigación	27
1.4	Delimitación de la investigación	28
1.5	Formulación del problema.....	28
1.6	Objetivo general	28
1.7	Objetivo específico	28
1.8	Hipótesis o idea a defender.....	28
2.	MARCO TEÓRICO	29
2.1	Estado del arte.....	29
2.2	Bases científicas y teóricas de la temática	33
2.2.1	Biofiltros	33
2.2.2	Biofibras	33
2.2.3	Contaminación atmosférica.....	33
2.2.4	Material particulado	33
2.2.5	Fibra orgánica	33
2.2.6	Modelo estadístico.....	34
2.2.7	Partículas.....	34
2.2.8	Calidad del aire	34
2.2.9	Monitoreo del aire	35
2.3	Marco legal	35

2.3.1 Constitución de la Republica del Ecuador - Registro Oficial 449 de 20-oct-2008.....	35
2.3.2 Código Orgánico del Ambiente - Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017.....	36
2.3.3 Código Orgánico Integral Penal - Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2014	40
2.3.4 Acuerdo Ministerial 097-A - Registro Oficial Edición Especial 387 de 04-nov.-2015.....	40
3. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1 Enfoque de la investigación	41
3.1.1. Tipo y alcance de la investigación	41
3.1.2. Diseño de investigación.....	41
3.2 Metodología.....	41
3.2.1 Variables.....	41
3.2.2 Matriz de operacionalización de variables	42
3.2.3 Tratamientos	43
3.2.4 Diseño Experimental	43
3.2.5 Recolección de datos	43
3.2.6 Análisis estadístico	58
3.3 Cronograma de actividades	60
4. RESULTADOS	61
4.1 Elaboración de seis prototipos de biofiltros a base de dos especies vegetales (tres con <i>Musa paradisiaca</i> y tres con <i>Guadua angustifolia</i>).....	61
4.1.1 Realización de láminas de fibras.....	61
4.1.2 Estructuras de biofiltros	62

4.1.3	Pesado Inicial de las láminas de fibra vegetal en el laboratorio de la Universidad Agraria del Ecuador.....	63
4.1.4	Instalación de Biofiltros en los 3 puntos establecidos	64
4.1.5	Pesado final de las láminas de fibra vegetal en el laboratorio de la Universidad Agraria del Ecuador.....	65
4.1.6	Eliminación de humedad de las láminas y comprobación de retención de material particulado	66
4.2	Evaluación de la relación del material particulado retenido en las láminas de fibra con las variables independientes a través de modelos cuantitativos	67
4.2.1	Correlación.....	69
4.2.2	Análisis de componentes principales (PCA).....	70
4.2.3	ANOVA.....	71
4.3	Análisis de la geomorfología del material particulado retenido en cada biofiltro mediante el método de Explosión Eléctrica de Hilo en el Microscopio Electrónico de Scanning – Barrido (SEM).....	75
4.3.1	Musa paradisiaca.....	75
4.3.2	Guadua angustifolia	86
4.3.3	Comparación de hallazgos	95
4.3.4	Modelo digital de mejoras del biofiltro	97
5	DISCUSIÓN	101
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
6.1	Conclusiones	104
6.2	Recomendaciones	104
	BIBLIOGRAFÍA	106

ANEXOS	114
APÉNDICES	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Matriz de Variables Independientes</i>	42
Tabla 2 <i>Matriz de Variables Dependientes</i>	42
Tabla 3 <i>Tratamiento y características de materiales de Biofiltros</i>	43
Tabla 4 <i>Peso inicial de láminas de fibra vegetal G. angustifolia y M. paradisiaca</i>	64
Tabla 5 <i>Peso final obtenido de las láminas de fibra vegetal expuestas al campo</i>	65
Tabla 6 <i>Eliminación de humedad y porcentaje de humedad</i>	67
Tabla 8 <i>Vía Daule - ESPOL Variables en 30 días con división cada 10 días</i>	68
Tabla 9 <i>Centro - NASA POWER Variables en 30 días con división cada 10 días</i>	68
Tabla 10 <i>Vía a la Costa - INOCAR Variables en 30 días con división cada 10 días</i>	69
Tabla 11 <i>Valores de significancia de variables</i>	74
Tabla 12 <i>Selección previa de 6 láminas de fibra vegetal, 2 por cada 10 días de muestreo</i>	75
Tabla 13 <i>Comparación de hallazgos por Fibra Vegetal</i>	95
Tabla 14 <i>Hallazgos en fibra de Guadua angustifolia</i>	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Dimensión de diseño (alto, ancho y altura de posición)</i>	45
Figura 2 <i>Dimensiones de diseño (ancho)</i>	45
Figura 3 <i>Componentes de diseño</i>	46
Figura 4 <i>Trayectoria de vientos (entrada y salida)</i>	46
Figura 5 <i>Componentes de diseño: 4 láminas de fibras vegetal (2 biofiltros)</i>	47
Figura 6 <i>Ubicaciones de instalación de prototipos</i>	47
Figura 7 <i>Zonas de instalación de biofiltros en la ciudad de Guayaquil</i>	48
Figura 8 <i>Cronograma de actividades para ejecución de Objetivos Específicos</i> ..	60
Figura 9 <i>Lámina de fibra vegetal de la especie M. paradisiaca, metodología exitosa</i>	61
Figura 10 <i>Lámina de fibra vegetal de la especie G. angustifolia, metodología exitosa</i>	62
Figura 11 <i>Con el segundo diseño se pudo evidenciar que era más practico sus medidas y proporción para el análisis</i>	63
Figura 12 <i>Biofiltros sujetos en poste (prueba), M. paradisiaca a la izquierda y G. angustifolia a la derecha</i>	63
Figura 13 <i>Matriz de Correlación de variables y pesos</i>	70
Figura 14 <i>Análisis de PCA de datos obtenidos</i>	71
Figura 15 <i>Prueba Boxplots para Materiales y Peso final</i>	72
Figura 16 <i>Análisis de la Distribución del Peso final por Localización y Material</i> ..	73
Figura 17 <i>Vista panorámica a 500 μm de lámina de Musa paradisiaca - centro - semana 1</i>	76
Figura 18 <i>Material Particulado encontrado en la fibra de Musa paradisiaca a 20 μm</i>	77

Figura 19 PM en Musa paradisiaca magnificado a 10 μ m.....	77
Figura 20 <i>PM encontrado a 10 μm de magnificación y 15KV para su mejor nitidez</i>	78
Figura 21 <i>Se describen los poros de formación del material vegetal M. paradisiaca</i>	78
Figura 22 <i>Poros encontrados en Fibra de M. paradisiaca</i>	79
Figura 23 <i>Cúmulos de PM en poros de láminas de material vegetal (M. paradisiaca)</i> <i>magnificación 100 μm a 10 μm</i>	79
Figura 24 <i>Línea de poros en lámina de M. paradisiaca</i>	80
Figura 25 <i>Anillos encontrados en fibras de M. paradisiaca a 20 μm</i>	80
Figura 26 <i>Se observa una fina capa compactada de material vegetal a 500 μm</i>	81
Figura 27 <i>Estructura de la muestra con características de tejido</i>	82
Figura 28 <i>Artefacto encontrado en la muestra analizada (B1.1)</i>	82
Figura 29 <i>Formación completa de anillos encontrados en la Figura 25</i>	83
Figura 30 <i>Material particulado encontrada con magnificación de 20 μm y voltaje de</i> <i>20KV</i>	83
Figura 31 <i>“Hallazgos” de partícula de diámetro 10 μm, presente en la muestra de</i> <i>lámina vegetal que será objeto de estudios posteriores debido que hasta el</i> <i>momento de la redacción no se encontró similitud con otros trabajos</i>	84
Figura 32 <i>Magnificación de 2μm para apreciar la acumulación de PM</i>	85
Figura 33 <i>Magnificación de 10 μm y muestra de acumulación de PM en las fibras</i> <i>entrelazadas</i>	85
Figura 34 <i>Se visualizan escombros de la lámina de G. angustifolia, ya que, la</i> <i>muestra debe entrar totalmente sujeta al portaobjeto en el SEM</i>	86

Figura 35 <i>Estructura de la fibra de G. angustifolia en formas de túneles inclinados</i>	87
Figura 36 <i>Se determina por su forma, el brillo de sus bordes y el tamaño que es un PM</i>	87
Figura 37 <i>Microfotografía Electrónica de Barrido panorámica a 500 μm del material G. angustifolia</i>	88
Figura 38 <i>Dos estructuras encontradas a 50 μm de magnificación y 20 KV, se encontraron más estructuras dispersas por toda la muestra</i>	89
Figura 39 <i>Con magnificación de 10μm se pudo observar la mitad interna de la estructura tomando como referencia la que esta alado</i>	89
Figura 40 <i>Se tienen hipótesis que estas estructuras sean esporas dispersas a lo largo de la muestra de G. angustifolia</i>	90
Figura 41 <i>En esta microfotografía se aprecia mejor la forma de esta supuesta espora y la "boca" que se ha formado</i>	90
Figura 42 <i>Presencia de PM a 20μm de magnificación y 20KV</i>	91
Figura 43 <i>Hallazgo de la misma estructura de la Figura 31 en material de G. angustifolia</i>	91
Figura 44 <i>Con observación más profunda se puede también apreciar la acumulación de las presuntas "esporas" y ver la estructura convexa de la fibra</i> .	92
Figura 45 <i>Conglomerado de PM en el mismo sitio a 5 μm</i>	93
Figura 46 <i>Presencia de "Espora" en muestra 3263 de G. angustifolia</i>	93
Figura 47 <i>Supervisión por parte de la Dra. Linda Diaz Cevallos, MSc.</i>	94
Figura 48 <i>Acompañamiento Técnico por parte de la Dra. Linda Diaz Cevallos, MSc y el Técnico Carlos Cepeda</i>	94
Figura 49 <i>Turbina purificadora con láminas de fibra vegetal</i>	97

Figura 50 <i>Parte posterior de "Turbinas Purificadoras", se observa en su interior las láminas de fibra vegetal</i>	98
Figura 51 <i>Sistema que replica a los tubos axial con poleas</i>	98
Figura 52 <i>Motor externo</i>	99
Figura 53 <i>Diagrama de elaboración de láminas de Guadua angustifolia</i>	115
Figura 54 <i>Diagrama de elaboración de Biofiltro de Musa paradisiaca</i>	116
Figura 55 <i>Primer diseño de las estructuras en este caso se planteaba hacerlas de aluminio</i>	117
Figura 56 <i>Diseño final de estructuras de lata, se tomó en consideración medidas más reducidas</i>	117
Figura 57 <i>Reserva del material de G.angustifolia</i>	117
Figura 58 <i>Proceso de corte con maquinaria respetando la seguridad del investigador</i>	117
Figura 59 <i>Obtención de los chips y polvo de bambú para posterior Macerado</i> ..	118
Figura 60 <i>Los chips de bambú fueron depositados en un tanque con agua hasta el punto de ser cubierto todo el material</i>	118
Figura 61 <i>En conjunto al técnico responsable en Fabrica MADE se trituró alrededor de 30 kg de material vegetal</i>	118
Figura 62 <i>Finalizado el triturado se obtuvieron las fibras de bambú como se había planteado</i>	118
Figura 63 <i>Tesista con sacos de material vegetal de G. angustifolia</i>	119
Figura 64 <i>Primer proceso de licuado del material G. angustifolia</i>	119
Figura 65 <i>Se separan los trozos completos que la trituradora no pudo romper y solo nos quedamos con las fibras sueltas</i>	119

Figura 66 <i>En el primer proceso de licuado se pudo obtener 432g de material de bambú para la realización de las láminas</i>	119
Figura 67 <i>Disolución de melaza en un litro de agua</i>	120
Figura 68 <i>Arriba, Marco sin malla para ser usado como molde y abajo, marco con malla metálica</i>	120
Figura 69 <i>Prensa para secado más rápido y compactación más eficiente de los materiales de fibra</i>	120
Figura 70 <i>Se hizo la primera lámina de fibra vegetal de G. angustifolia, a la cual se le aplicó peso para que sea lo más delgada y uniforme posible</i>	120
Figura 71 <i>Selección del tallo de M. paradisiaca el cual ya era productivo y viable para cortar</i>	121
Figura 72 <i>Cortes de 30 cm del tallo para su posterior tratamiento de limpieza y licuado</i>	121
Figura 73 <i>Materiales para correcto manejo de licuado</i>	121
Figura 74 <i>Primer proceso en el cual se obtuvo 978g de material de M. paradisiaca, mencionar que no es el total de material obtenido</i>	121
Figura 75 <i>Se introduce el tamiz a la tina para recoger la mayor cantidad de fibra y esta distribuirla a lo largo de la malla</i>	122
Figura 76 <i>Láminas tamizadas sobre tela para su secado a luz del sol</i>	122
Figura 77 <i>Permiso para la instalación de biofiltros otorgado por la Alcaldía de Guayaquil</i>	122
Figura 78 <i>Acompañamiento de representantes de CNEL EP en inspección de los postes de Vía a la costa y Vía a Daule</i>	122
Figura 79 <i>Herramientas necesarias para la instalación de los biofiltros</i>	123

Figura 80 <i>Fibra de G. angustifolia quemado después de una hora y 18 minutos en temperatura en un horno de cocina.....</i>	123
Figura 81 <i>Registro en bitácora del peso inicial y numero de lámina</i>	124
Figura 82 <i>Instalación de los dos primeros Biofiltros en el parterre central de Vía a Daule.....</i>	124
Figura 83 <i>Biofiltros de Vía a Daule colocados.....</i>	125
Figura 84 <i>Biofiltros de Vía a la Costa instalados</i>	125
Figura 85 <i>En la parte posterior se logra apreciar el IDE Business School</i>	126
Figura 86 <i>Biofiltros sujetos a poste de la regeneración urbana de la Ciudad de Guayaquil</i>	126
Figura 87 <i>Primer cambio de láminas en el punto Vía a la Costa, en la tapa del Biofiltro se aprecia residuo de polvo.....</i>	127
Figura 88 <i>36 láminas de fibra vegetal separadas y organizadas para su respectivo pesaje y almacenamiento.....</i>	127
Figura 89 <i>Acompañamiento de pesaje en los laboratorios de la Universidad Agraria del Ecuador por parte del Tutor Cristian Lara.....</i>	128
Figura 90 <i>Letreros de aviso de area de Microscopia Electrónica de Barrido</i>	128
Figura 91 <i>Mesa de trabajo, separación de láminas de fibra vegetal para su tratamiento</i>	129
Figura 92 <i>Primera muestra de fibra vegetal a analizar Musa paradisiaca ,3258 – A1.1.....</i>	129
Figura 93 <i>Proceso de recubrimiento de material pesado - oro.....</i>	130
Figura 94 <i>Recubridora de Oro con la muestra en su interior.....</i>	130
Figura 95 <i>Bomba de presión de la recubridora de Oro</i>	131

Figura 96 <i>Luz morada: indicador de que el recubrimiento de 20 segundos está en proceso</i>	131
Figura 97 <i>Muestra recubierta de Oro para su mejor contraste en el análisis de SEM</i>	132
Figura 98 <i>Microscopio Electrónico de Scanning - Barrido (INSPI)</i>	132
Figura 99 <i>Ingreso del Holder (porta muestra) al interior del SEM</i>	133
Figura 100 <i>Inicio de actividades en el software del SEM y encendido del filamento de tungsteno</i>	133
Figura 101 <i>Selección del area de la muestra para su magnificación</i>	134
Figura 102 <i>Tesista Investigador presente en cada uno de los análisis de las 6 muestras de fibra vegetal</i>	134

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 <i>Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire</i>	114
--	-----

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice N° 1 <i>Ubicación, fecha y características de los biofiltros</i>	135
Apéndice N° 2 <i>Organización de datos Pesos - Variables para su análisis....</i>	136
Apéndice N° 3 <i>Comparación por magnificación de las Fibras Vegetales.....</i>	139

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

Evidentemente la contaminación atmosférica es una de las mayores causas de contaminación alrededor del mundo, situación que somete tanto a países desarrollados como en vía de desarrollo por medio de alteraciones como el transporte, industrialización, cambios demográficos, cambios climáticos y derivados, afectando así a las personas con patologías respiratorias y cardiovasculares, también, afectando animales y plantas (Matus, 2017)

Por lo cual, es necesario que se implementen métodos o sistemas para la reducción de la contaminación en el aire y sobre todo del material particulado (PM) en el ambiente, es así que, se han diseñado diversas estructuras y sistemas los cuales aportan significativamente a la reducción de la contaminación del aire y el mejoramiento del mismo.

Shi, Giménez y del Carmen (2018) describen características de sistemas que ayudan al acondicionamiento del aire y se presenta inicialmente el gran purificador de aire en Xi'an – China, probado y diseñado por el Instituto de Medio Ambiente de la Tierra de la Academia de Ciencias de China. Basándose en principios tales como la función de un invernadero, el purificador de 2 700 m^2 , ayuda con la filtración del aire y su capacidad para hacerlo varía de acuerdo a las temporadas donde en invierno se filtran 8 millones cúbicos de aire/ día y en verano 16 millones cúbicos de aire/ día son filtrados y devueltos al ambiente. El beneficio de esta gran torre favorece a dos Kilómetros a la redonda, en cuanto a las $Pm_{2.5}$ micrones (μm) se demostró la reducción entre 11% a un 19%.

Algo semejante ocurre con City Tree o el Muro de la Vida, consiste en una estructura móvil la cual cuenta con una pared cubierta por diferentes tipos de musgos y sistema autosustentable. Esta estructura puede absorber 12.2 Kg de partículas en suspensión al año, lo mismo que equivale a 275 árboles naturales, así también, absorbe 40 g de NO_2 a temperaturas de $21^\circ C$ en un tiempo de 8 horas y con proyecciones de 240 toneladas al año de la misma (Longhurst, Capilla, Brebbia y Barnes, 2015).

En otras palabras, para que estos sistemas funcionen de manera que causen más beneficios que alteraciones al entorno, se toma como opción utilizar materiales

o residuos de productos naturales tales como plantas de diferentes especies que actúen de manera efectiva para el objetivo a alcanzar.

En el Ecuador existen pocos estudios de contaminación de aire, a pesar de este, en las tres ciudades más importantes del país: Quito, Cuenca y Guayaquil se han realizado estudios donde se han podido evidenciar los componentes para esta contaminación: Ozono (O_3), Dióxido de azufre (SO_2), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado (PM_{10} y $2.5 \mu m$), como generan un efecto negativo a la salud de las personas, su origen y como la topografía de estas ciudades juegan un rol importante (Murillo, 2018).

Murillo (2018) y la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE) menciona, como el cáncer de pulmón y enfermedades cardiopulmonares pasan de 3% al 9% de probabilidades de sufrirlas por esta contaminación y la evidencia de niveles de Pm_{10} y $Pm_{2.5} \mu m$ que sobrepasan los niveles establecidos en el Anexo IV del Acuerdo Ministerial 097-A como se observa en el Anexo N° 1, concluyendo que se producirán afectaciones a las vías respiratorias de la población que este en estrecha relación con el aumento de PM en su entorno.

Cabe resaltar que el 6 de septiembre del 2022, ciudades del sur y sureste del país fueron afectadas por una nube densa de carga particular, proveniente de la cuenca amazónica y sumándole a esta, la baja velocidad de los vientos. El Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) y (Universidad del Azuay [UDA], 2022), publicó los datos obtenidos, demostrando así una calidad de aire baja es decir poco saludable y dañina para la salud de los ecuatorianos, dando valores de 154 para Partículas finas ($Pm_{2.5}$) tomando como referencia la escala de la Environmental Protection Agency (EPA).

De igual manera, el Departamento de Gestión de Riesgo del Cantón Cuenca (GRCC, 2022) en conjunto con el Servicio Nacional de Gestión de Riesgo, respondieron de manera efectiva y rápida ante las inquietudes de la población, así mismo, dieron recomendaciones para la movilización, tal como, usar mascarillas y la reducción de las actividades que requieran de esfuerzos prolongados o intensos al aire libre.

Acerca de la ciudad de Guayaquil esta se encuentra entre unas de las tres ciudades más importantes del Ecuador debido a su alto número de habitantes y puntos estratégicos para el desarrollo económico tanto para empresas nacionales

como internacionales, por estos motivos y conociendo la situación de otros países con ciudades más grandes o iguales a Guayaquil, se aprecia el estilo de vida de las personas y su salud es comprometida por el aumento de diferentes emisores de gases y partículas generando así la posibilidad de sufrir enfermedades respiratorias (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2017).

Vale la pena decir, que Ecuador registró 7 012.244 toneladas de residuos sólidos de la planta de banano (*Musa paradisiaca*), este desecho se genera principalmente en mercados y tiendas de expendio de frutas y como esta planta es considerada como un desecho común se arroja directamente a los botaderos de basura o a los rellenos sanitarios, como lo menciona el (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2012).

Por lo tanto, si este desecho fuera sometido a un proceso de refinamiento, se podría obtener una fibra natural que permita utilizar sus propiedades, tales como, porosidad y fibras para implementarse en un filtro de aire, esto hace que la cantidad de desechos sólidos sean menores (Arrata, 2014).

Por otro lado, en el Ecuador se presenta un gran uso para la *Guadua angustifolia*, siendo símbolo como fuente de trabajo para muchas familias gracias a sus propiedades estructurales sísmo resistente, el cual se ha visto como una alternativa para la tala de árboles, debido a su rápido crecimiento y durabilidad, así mismo como su número de producción por hectáreas dando así 1 200 a 1 400 tallos por hectárea, debido a su rápida recuperación en el ambiente y su aplicación en estructuras, sería importante someter este material a un nuevo uso y evidenciar, que tan efectivo sería implementarlo en un sistema de filtración de aire (Bambusa, 2015).

Por lo mencionado anteriormente, lo que se buscaba para retener el PM era proponer un sistema que pueda hacerle frente a las mismas de una manera ecológica y eficaz, que permita su retención mediante biofiltros que cuente con un funcionamiento sustentable.

De esta misma forma, se usaron las fibras naturales de *Musa paradisiaca* y la *Guadua angustifolia*, como materiales filtrantes. Las cuales se representaron en láminas y en estas se basó la efectividad de la retención del PM, que tan efectiva era y como la lámina interactuó con el funcionamiento esperado.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Se aprecia un estilo de vida agitado en las grandes ciudades, una movilidad recurrente y masiva e industrias que operan las 24 horas del día. Si bien se observa, en algún momento deja de existir un control y el respeto hacia los demás como una comunidad que trabaje para sí mismo y para todos (Murillo, 2018).

Con respecto a la contaminación del aire, estudios han demostrado que el estar expuesto a esta contaminado es igual que el ser un fumador, dando como resultados porcentajes entre personas fumadoras, obteniendo un 52% de disfunción pulmonar, no fumadoras pero que se encuentren en ambientes más contaminados, 64% de disfunción y personas sometidas a los dos factores se encuentran con 129% de disfunciones pulmonares, por lo cual, esta contaminación es muy invasiva dependiendo del tamaño de la partícula en cuestión, provocando enfermedades respiratorias como el asma (Martínez y Díaz, 2014).

En el caso de la ciudad de Guayaquil se ha convertido en un hotspot para multinacionales y nacionales que ven una ventana para el desarrollo de industrias y empresas, el desarrollo de las mismas conlleva a estas a regirse bajo normas y leyes establecidas por el Gobierno Nacional, para que las mismas no afecten a los ciudadanos ni al ambiente (ESRI, 2017).

Al igual que las industrias, el sector automovilístico aporta a cerca del 60% de la contaminación al aire y dando como resultado 16 556 toneladas de NO_x y 52 213 toneladas de CO₂ de acuerdo con evidencias, en 2016 en la ciudad de Guayaquil la contaminación del aire se daba por el transporte en base a gasolina y gas licuado de petróleo o GLP en un 39%, también, se obtuvieron porcentajes de disposición de desechos en un 25% y el sector industrial con un 14%. De acuerdo con estos datos la contaminación no es exclusiva del transporte e industrias, si no también, de las personas con la generación de sus desechos (ESRI, 2017).

Por otro lado, Martínez y Díaz (2014) mencionan:

Se plantea que por cada 10 µg/m³ de material particulado presente en el aire que respira una comunidad, se aumenta en un 4-5% la mortalidad general, en un 6-9 % la mortalidad por enfermedades cardiorrespiratorias y en un 14 -20 % la mortalidad por cáncer de pulmón (sección de Discusión, párr. 4).

Las fuentes fijas y móviles aportan el levantamiento de estas partículas gracias a la quema de hidrocarburos o colapso y/o explosión de estructuras, es por esto que se ve la posibilidad en el presente proyecto de retener esta carga de partículas de zonas industriales, vías de alta concurrencia y sectores donde existan reformación del terreno por cargas explosivas (Amable, et al., 2017).

Con respecto a los datos anteriores, observamos que Guayaquil es una ciudad donde la contaminación del aire es un problema evidente y la cual debe ser tratada para prevenir y mitigar todo efecto negativo al ambiente y a las personas, es necesario, la implementación y el desarrollo de investigaciones en relación a esta problemática viéndolo desde un punto sostenible y viable como por ejemplo los filtros a base de fibras vegetales para la retención de la carga particular en el aire. Con el fin de recuperar un espacio idóneo para la convivencia y el avance de la sociedad como lo decreta la ley del Ecuador

1.3 Justificación de la investigación

Los proyectos de investigación o de propuestas en el aire de la ciudad de Guayaquil son pocos, pero en su mayoría se reflejan las afectaciones que existen por la contaminación del aire, presencia de material particulado sobrepasando lo establecido en el Anexo IV del Acuerdo Ministerial 097-A. Es así, como se pretende realizar esta propuesta para la aplicación de filtradores de aire teniendo como sistema de filtrado fibras naturales como *Musa paradisiaca* y *Guadua angustifolia*, la cual podría dar paso a la reducción de la carga contaminante en el aire y nuevos modelos de investigación y propuesta de materiales como lo es el uso de la fibra de bambú y el banano.

Al igual que un nuevo fin para los desechos de la *Musa paradisiaca* y recabar datos de la efectividad de la misma, también, dar un nuevo propósito a la *Guadua angustifolia* ya que su uso es solo estructural.

Se podrían replicar uno o ambos métodos para más proyectos en el área de aire ambiente. Así mismo en base a su diseño sostenible se podría realizar mejoras en este sistema dándole un nuevo propósito ,adicional la creación de proyectos inspirados en este, los cuales no afecten al ambiente, por lo tanto, el análisis a realizar da un nuevo uso a la materia prima como hasta el momento se ha utilizado, la innovación y la investigación de materiales comunes o “desechos” y darle un nuevo fin de uso a beneficio de todos.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** El estudio se desarrollará en la ciudad de Guayaquil, en donde se establecerán tres puntos de monitoreo, al noroeste, centro y norte de la ciudad, en las siguientes direcciones: Vía a la costa (diagonal a IDE Business School), Av. Machala y padre Vicente Solano Vargas, Vía a Daule (frente al Fuerte Militar Huancavilca) ,ver en Figura 7.
- **Tiempo:** Tres meses
- **Población:** Chongón 36.726 y Tarqui 1 050.826 = 1 087.552 total de población (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010).

1.5 Formulación del problema

¿Cuál es la capacidad de retención de material particulado que tiene el biofiltro a base de *Musa paradisiaca* y de *Guadua angustifolia*?

1.6 Objetivo general

Analizar la capacidad de retención de material particulado en biofiltros a base de dos especies vegetales (*Musa paradisiaca* y *Guadua angustifolia*) para la aplicación de modelos cuantitativos.

1.7 Objetivo específico

- Elaborar seis prototipos de biofiltros a base de dos especies vegetales (tres con *Musa paradisiaca* y tres con *Guadua angustifolia*).
- Evaluar la relación del material particulado retenido en las láminas de fibra con las variables independientes a través de modelos cuantitativos.
- Analizar la geomorfología del material particulado retenido en cada biofiltro mediante el método de Explosión Eléctrica de Hilo en el Microscopio Electrónico de Scanning - Barrido.

1.8 Hipótesis o idea a defender

La capacidad de retención de material particulado del biofiltro a base de *Musa paradisiaca* es un 25% mayor que el biofiltro a base de *Guadua angustifolia*.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En relación con la problemática a la que se someten las poblaciones aledañas a puntos de extracciones de materiales o canteras es notoria la evidencia de alteraciones que esta contaminación provoca. Cruz (2019) menciona:

En base a las encuestas realizadas aleatoriamente a los pobladores aledaños de las canteras de vía a la costa, se aprecia la inconformidad e impotencia por parte de las familias que en su mayoría sufren afectaciones a la salud, como: alergias en la piel, asma, bronquitis y alergias de los ojos (p.41).

Resaltando el asma y la bronquitis como principales afectaciones de contaminación atmosféricas por parte de la carga de partículas que provocan las actividades realizadas en estas industrias.

En el trabajo realizado por Dávalos y Arévalo (2019), evaluaron la calidad del aire en época seca y lluviosa, dos meses para cada una, tomando como parámetros de contaminantes a los $Pm_{2.5}$ y PM_1 , en la ciudad de Guayaquil. Mismo estudio tomo en cuenta cuatro puntos clave de la ciudad para el monitoreo de PM los cuales se definieron como Sector Industrial: Por la aglomeración de pequeñas y grandes empresas y por estar entre dos vías importantes como son Vía Perimetral y Vía Daule, Sector Cementera: Vía a la costa relacionada con mineras y producción de cemento, Sector Centro: Por la actividad comercial y picos de tránsito públicos y particulares, Sector Residencial: Alta densidad poblacional. El monitoreo se logró con un equipo gravimétrico en tiempo real marca HAZ DUST, modelo EPAM 5 000, de alta sensibilidad, a su vez, se recolectaron variables como temperatura, velocidad del viento y dirección del viento, adicionalmente se registraron los sucesos antropogénicos ocurridos en las cercanías (incendios, choques, etc.). Los resultados revelaron que para PM_1 en época lluviosas hubieron similitud para un grupo y mayor concentración el cual es Industrial – Residencial ($\bar{x} = 16.61 \mu g.m^{-3} - \bar{x} = 16.28 \mu g.m^{-3}$) y en época seca Centro – Industrial ($\bar{x} = 17.10 \mu g.m^{-3} - \bar{x} = 18.96 \mu g.m^{-3}$) se expresa que en estos puntos hubo un aumento en las actividades antropogénicas de 73% y 69% respectivamente y los resultados obtenidos para $Pm_{2.5}$ en época lluviosa también se formó un grupo con alta concentración el cual era del sector Industrial - Residencial ($\bar{x} = 18.39 \mu g.m^{-3} - \bar{x} = 16.60 \mu g.m^{-3}$) ,por otra parte, en la época seca solo el sector industrial dio valores de alta concentración en relación a los otros puntos, teniendo así ($\bar{x} =$

22.78 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), también los autores mencionan que solo en una oportunidad se sobrepasaron la normativa de calidad de aire 70 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ frente 50 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ que fue en el sector cementera, pero cinco veces si se toma en cuenta el límite permisibles de la Organización Mundial de la Salud (OMS) 25 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ en época lluviosa: dos veces en el sector cementera y una en el sector industrial, en época seca, sectores industrial y cementera.

Quintero y Acosta (2021), Realizaron el estudio de impacto ambiental de la Industria Gráfica GRAFIMPAC S.A. ubicada en el Km 10 Vía Daule, en el cual tomaron varios contaminantes para su respectivo monitoreo y registro, entre ellos, Pm_{2.5} y PM₁₀. El método para determinar si la empresa cumplía con los parámetros establecidos fue la medición por 24 horas continuas con un equipo medidor de partículas marca Met One, modelo E-FRM, en la garita de ingreso. Obteniendo como resultados que las concentraciones tanto para Pm_{2.5} y PM₁₀ eran de **18.74 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ – 32.07 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$** respectivamente, estando así por debajo de los límites máximos permisibles como lo menciona el Acuerdo Ministerial 097 A, Pm_{2.5} = 50 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ y PM₁₀ = 100 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Según el trabajo realizado por Castro (2018) se realizó evaluaciones de niveles de ozono superficial en el centro urbano de la ciudad de Guayaquil, con el objetivo de establecer recomendaciones sobre el control de este contaminante, el cual se llevó a cabo mediante tubos de difusión para un monitoreo a largo plazo. Con respecto a su función estos producen una difusión molecular, la misma que transfiere los contaminantes con una baja concentración hacia el interior y serán acumulados en la parte inferior, también, tuvieron una dimensión de 7 cm de alto y 1.4 cm de ancho. Posteriormente fueron colocados en cuatro puntos estratégicos en donde el tráfico, la alta concurrencia de personas y negocios sean significativas, después de diez días se concluyó que, malecón 2 000, calle Simón Bolívar y Av. 9 de Octubre, tuvieron resultados de 29.88 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ debido a la mayor concentración de gases contaminantes por parte de los vehículos. Determinando que las mediciones de los puntos no son tan influyentes ni perjudiciales en la salud de las personas que se encuentren permanentemente en esta zona.

Rodas (2020) en su trabajo propone un sistema de biofiltro con materiales orgánicos para restablecer la calidad del aire interior, menciona que la calidad del aire interna es afectada drásticamente por los factores como mala construcción y

contacto con la contaminación del aire exterior, a partir de los costosos valores que implica adquirir un sistema de filtración de aire, se promueve la utilización de materiales baratos y accesibles en donde el ingenio de utilizar materiales comunes y orgánicos son la mejor opción. En este caso se propuso la utilización de materiales como el policloruro de vinilo (PVC), paños de microfibra, la utilización de fibras de coco y carbón activado. Materiales cuyo total a la venta como producto final estaría alrededor de los 30 dólares, mediante una simulación de velocidad y caudal del flujo se permitió ver el comportamiento del aire al ingresar a la vivienda. Se concluye que en base a las variantes de los habitantes del domicilio y la fachada del sitio es necesario el cambio de los materiales de fibra de coco y carbón activado de dos a tres meses, para su correcto funcionamiento.

En base a la propuesta por Ponce (2021) plantea el uso de un biofiltro a base de fibra de coco en el sector Tercer Piso – Esmeraldas ,donde se realizaron muestreos para material particulado sedimentable (MPS) mediante la metodología de tubos pasivos en 30 puntos por 30 días, los cuales con un posterior análisis se revelo que los datos obtenidos estaban dentro de los rangos permisibles descritos en el Acuerdo Ministerial 097-A y la OMS. Sin embargo, el autor describe un sistema de biofiltros con base en investigaciones documentales, para su aplicación y así disminuir la carga de MPS. Para la aplicación de la fibra de coco, se tomó como referencia su porosidad, densidad y alta capacidad de retención de materia orgánica, además, plantea el uso de materiales de apoyo para el sistema como: mallas de acero inoxidable y para la construcción del contenedor en forma de cilindro con dimensiones de 15 cm se utilizaron materiales como vidrio, plástico o acero inoxidable, el cual albergará el material filtrador. Todo este sistema se propone implementarlo a una altura de 1.5 m a un costado de las ventanas y puertas de los hogares de este sector en cuestión.

Ahora bien, el estudio realizado por Dezhao, et al. (2018),mencionan el uso de polvos de poli(succinato de butileno)/bambú (PBS/BP) como fuente de carbono para aplicarlo en una red de lechos móvil o sistema de recirculación acuícola (RAS) con una duración de 8 meses con el fin de eliminar el nitrato en aguas residuales (agua dulce /marina). Cabe resaltar, que el bambú fue seleccionado por ser un material limpio y barato el cual por sus propiedades de resistencia a la tracción e impacto demostró ser fuente de carbono para la eliminación de nitratos en el tratamiento de aguas subterráneas y así poder ser

combinado con polímeros biodegradable (BDP) en este caso hablando de la parte económica el (PBS) fue el mejor gracias a su bajo costo al combinarlo con el BP. Como resultados se obtuvieron desnitrificaciones ($0,68 \pm 0,03$ y $0,83 \pm 0,11$ kg NO₃ Nm⁻³ d⁻¹) para agua dulce y salada respectivamente, concentraciones bajas de Carbono Orgánico Disuelto (DOC) en comparación con el PBS sin mezclar, la vida útil del PBS/BP se alargaba cuando se sometía a congelación lo cual liberaba con menos rapidez DOC, en contraparte, la actividad microbiana en el agua salina disminuía.

En el estudio realizado por Maldonado y Manzano (2013) mencionan las características obtenidas de la especie de *Musa paradisiaca*, dando así los valores de 16.28% de fibra, comparando con estudios similares utilizados en el trabajo se conoció que era inferior a los valores referenciales de 23.02%, 9.53% para la densidad aparente relacionándose así con una baja porosidad en su composición, concentración de celulosa de 30.1% dando datos un poco inferiores a los referenciados, 35.3% y un pH de 5.24 (ácido). En el estudio se llegó a una conclusión de que el porcentaje de la fibra obtenidas puede estar relacionada a las condiciones ecológicas y geográficas de donde se desarrolló el cultivo.

En relación con el bambú se presenta la Guía Práctica 042 realizada por el (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 1976), se compararon las características del material obtenido de *Guadua angustifolia* y se conocieron que tiene 10.3% de humedad de secado al aire, posee un peso alrededor de los 0.82 kg/dm³, límite de tensión elástica de 843 kg/cm², tensión para la rotura de 1 448 kg/cm², densidad de 800 kg/m³ y módulos de elasticidad de 176000 kg/cm². En relación con la *Bambusa tuldoidea*, estas dos especies son las que tienen mejor característica y resistencia a los insectos y mohos de todos los tipos de Bambú.

En cuanto a funcionamiento del sistema de aspirado del aire ambiente se presentan la clasificación y modelos tentativos a utilizar. Corvalán y López (2016) referencian los ventiladores de hélice, funcionales con dos o más aspas los cuales son implementados para caudales altos y labores de muy baja presión. Ventiladores de tubo axial, las estructuras de estos ventiladores se encuentran dentro de un tubo de acero en el cual no dejan mucho espacio entre las aspas y la estructura, Ventilación de paleta axial, mejorando significativamente el flujo de aire al expulsarlos gracias a las paletas guías para corregir el efecto giratorio de las aspas.

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Biofiltros

Son equipos o sistemas que usan materia orgánica o microorganismos en el cual su proceso básico es: absorción, adsorción, degradación y desorción de contaminantes en la fase gaseosa, así mismo, deben tener un sistema que humidifique el proceso de filtrado donde su nivel de efectividad dependerá de la porosidad, grado de compactación, capacidad de retención de agua y la capacidad de población del microbio huésped (Lizama, et al., 2016).

2.2.2 Biofibras

Se denomina así, a fragmentos o hebras de material que ha sido extraído de un origen natural. Este material en forma de tejido puede utilizarse para la fabricación de productos o ser implementado como complemento para alcanzar un objetivo de acuerdo a lo que se busque con estas biofibras, citando a (Sisal Tejidos Yucatán, 2020).

2.2.3 Contaminación atmosférica

Es la combinación de diferentes sólidos y gases entre ellos están la emisión por los automóviles, polvo, hollín, moho, palem, así mismo, el ozono es un gas que cuando se combina con las partículas en suspensión se considera smog. Este tipo de contaminaciones es muy letal en la salud de las personas, atacando el sistema respiratorio y el circulatorio (MedlinePlus, 2022).

2.2.4 Material particulado

Siendo parte de la contaminación atmosférica se encuentran pequeñas partículas en suspensión las cuales se pueden catalogar en PM₁₀ micrones de metro (μm) y Pm_{2.5} micrones de metro (μm), estas partículas se conforman por sustancias orgánicas e inorgánicas, solidas o liquidas, como: sulfatos, nitratos, amoniaco, polvo, minerales, cenizas, entre otros (Egas, Naulin y Préndez, 2018).

2.2.5 Fibra orgánica

Son consideradas como un refuerzo a otros materiales avanzados, comprendida por filamentos muy delgados de alta resistencia, es usada como una opción ante los materiales sintéticos de gran costo (Vasiliev y Morozov, 2018).

2.2.6 Modelo estadístico

Es un modelado de forma rápida y precisa que se basa en la información de los datos obtenidos en el campo o en base a una revisión de estudios. Se pueden usar estos modelos estadísticos para poder relacionar comportamientos o patrones de datos a analizar con fines investigativos, como señala (Internacional Business Machines [IBM], 2021).

2.2.7 Partículas

El término "partícula" tiene un significado bastante general y se define de acuerdo con las necesidades de una disciplina científica particular. En las ciencias físicas, las partículas (o cuerpos en los textos antiguos) están formados por pequeños objetos a los que se les pueden atribuir diversas propiedades físicas y químicas como el volumen y la masa. Su tamaño y número varían ampliamente, desde partículas subatómicas como electrones hasta partículas microscópicas como átomos y moléculas y partículas macroscópicas como explosivos y otros materiales granulares. Estas partículas también se pueden utilizar para crear modelos científicos de objetos dependientes de la densidad más grandes, como los que se mueven en multitudes y los que mueven cuerpos celestes (Martínez L. , 2018).

2.2.8 Calidad del aire

Los contaminantes climáticos de vida corta, como el carbono negro, son poderosos forzadores del clima con posibles consecuencias negativas sobre el calentamiento global y su impacto en la salud. Todas las personas pueden estar expuestas a la contaminación del aire. Sin embargo, se perciben grandes diferencias entre grupos de población y localidades geográficas. Por ejemplo, quienes residen cerca de carreteras o recintos industriales a menudo están expuestos a elevados niveles de contaminación ambiental exterior; o las personas que usan combustibles sólidos como fuente de energía doméstica pueden ser las más afectadas por la contaminación del aire ambiental en espacios interiores. En algunos casos, las diferencias de exposición entre los grupos de población pueden estar vinculadas con las inequidades en el desarrollo, la implementación y el

cumplimiento de las leyes, reglamentos y políticas ambientales, de acuerdo con (OMS, 2018).

2.2.9 Monitoreo del aire

La Calidad del Aire – Sistema de vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) se puede definir como un conjunto de equipos de monitoreo de los contaminantes atmosféricos, que se encuentran instalados en un lugar de interés con un propósito determinado; esta infraestructura debe estar acompañada de todas las actividades necesarias para su correcto funcionamiento, dentro de las cuales se puede mencionar la operación por personal calificado, programas de mantenimiento preventivo y correctivo, un sistema de administración de información que permita una correcta validación de los datos, entre otras. Su implementación se realiza bien sea cuando se presenta una problemática específica relacionada con la calidad del aire, o en zonas con población por encima de los cincuenta mil habitantes (Rodríguez, 2018).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la Republica del Ecuador - Registro Oficial 449 de 20-oct-2008

TÍTULO II DERECHOS Capítulo segundo-Derechos del buen vivir

Sección segunda - Ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p.24).

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. (...) Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos

genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la 25 soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional (p.24).

Capítulo séptimo - Derechos de la naturaleza

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas (p.52).

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional (p.52).

TÍTULO VII RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR Capítulo segundo-Biodiversidad y recursos naturales Sección primera-Naturaleza y ambiente

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, (...) el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas (pp.177-178).

2.3.2 Código Orgánico del Ambiente - Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017

LIBRO PRELIMINAR TITULO III RÉGIMEN DE RESPONSABILIDAD AMBIENTAL

Art. 11.- Responsabilidad objetiva. De conformidad con los principios y garantías ambientales establecidas en la Constitución, toda persona natural o

jurídica que cause daño ambiental tendrá responsabilidad objetiva, aunque no exista dolo, culpa o negligencia. Los operadores de las obras, proyectos o actividades deberán mantener un sistema de control ambiental permanente e implementarán todas las medidas necesarias para prevenir y evitar daños ambientales, especialmente en las actividades que generan mayor riesgo de causarlos (p.15).

LIBRO PRIMERO DEL RÉGIMEN INSTITUCIONAL

Capítulo II instrumentos del sistema nacional descentralizado de gestión ambiental

Art. 17.- De la investigación ambiental. El Estado deberá contar con datos científicos y técnicos sobre la biodiversidad y el ambiente, los cuales deberán ser actualizados permanentemente. La Autoridad Ambiental Nacional deberá recopilar y compilar dichos datos en articulación con las instituciones de educación superior públicas, privadas y mixtas, al igual que con otras instituciones de investigación (p.16).

LIBRO TERCERO DE LA CALIDAD AMBIENTAL

TITULO II SISTEMA ÚNICO DE MANEJO AMBIENTAL - Capítulo I del régimen institucional

Art. 161.- Criterios y normas técnicas. La Autoridad Ambiental Nacional, deberá dictar y actualizar periódicamente los criterios y normas técnicas que garanticen la calidad ambiental y de los componentes bióticos y abióticos, así como los límites permisibles; para ello coordinará con las autoridades nacionales competentes (p.48).

Art. 162.- Obligatoriedad. Todo proyecto, obra o actividad, así como toda ampliación o modificación de los mismos, que pueda causar riesgo o impacto ambiental, deberá cumplir con las disposiciones y principios que rigen al Sistema Único de Manejo Ambiental, en concordancia con lo establecido en el presente Código (p.49).

Capítulo IV de los instrumentos para la regularización ambiental

Art. 184.- De la participación ciudadana. La Autoridad Ambiental Competente deberá informar a la población que podría ser afectada de manera directa sobre la posible realización de proyectos, obras o actividades, así como de los posibles impactos socioambientales esperados y la pertinencia de las acciones a tomar. La finalidad de la participación de la población será la recolección de

sus opiniones y observaciones para incorporarlas en los Estudios Ambientales, siempre que ellas sean técnica y económicamente viables (p.53).

Capítulo V calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos

Art. 190.- De la calidad ambiental para el funcionamiento de los ecosistemas. Las actividades que causen riesgos o impactos ambientales en el territorio nacional deberán velar por la protección y conservación de los ecosistemas y sus componentes bióticos y abióticos, de tal manera que estos impactos no afecten a las dinámicas de las poblaciones y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, o que impida su restauración (pp.54-55).

Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, (...) con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción (p.55).

Art. 193.- Evaluaciones adicionales de la calidad del aire. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, según corresponda, dispondrán evaluaciones adicionales a las establecidas en la norma a los operadores o propietarios de fuentes que emitan o sean susceptibles de emitir olores ofensivos o contaminantes atmosféricos peligrosos. La norma técnica establecerá los métodos, procedimientos o técnicas para la reducción o eliminación en la fuente de emisiones de olores y de contaminantes atmosféricos peligrosos (p.55).

TITULO III CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL - Capítulo IV monitoreo y seguimiento

Art. 208.- Obligatoriedad del monitoreo. El operador será el responsable del monitoreo de sus emisiones, descargas y vertidos, con la finalidad de que estas cumplan con el parámetro definido en la normativa ambiental. La Autoridad Ambiental Competente, efectuará el seguimiento respectivo y solicitará al operador el monitoreo de las descargas, emisiones y vertidos, o de la calidad de un recurso que pueda verse afectado por su actividad. Los costos del monitoreo serán asumidos por el operador. La normativa secundaria establecerá, según la actividad, el procedimiento y plazo para la entrega, revisión y aprobación de dicho monitoreo (pp.57-58).

Art. 209.- Muestreo. La Autoridad Ambiental Nacional expedirá las normas técnicas y procedimientos que regularán el muestreo y los métodos de análisis para la caracterización de las emisiones, descargas y vertidos. Los análisis se realizarán en laboratorios públicos o privados de las universidades o institutos de educación superior acreditados por la entidad nacional de acreditación. (...) (p.58).

LIBRO CUARTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

TITULO II DE LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO - Capítulo I Disposiciones generales para las medidas de adaptación y mitigación del cambio climático

Art. 259.- Criterios de las medidas de mitigación. Para el desarrollo de las medidas de mitigación del cambio climático se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

- 1.** Promover patrones de producción y consumo que disminuyan y estabilicen las emisiones de gases de efecto invernadero;
- 2.** Contribuir a mejorar la calidad ambiental para fortalecer la protección y preservación de la biodiversidad, los ecosistemas, la salud humana y asentamientos humanos;
- 3.** Incentivar e impulsar a las empresas del sector público y privado para que reduzcan sus emisiones;
- 4.** Incentivar la implementación de medidas y acciones que permitan evitar la deforestación y degradación de los bosques naturales y degradación de ecosistemas; y,

5. Otras que determine la Autoridad Ambiental Nacional (p.68).

2.3.3 Código Orgánico Integral Penal - Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2014

Capítulo IV Delitos contra el ambiente y la naturaleza o Pacha Mama – Sección Tercera Delitos contra los recursos naturales

Art. 253.- Contaminación del aire. - La persona que, contraviniendo la normativa vigente o por no adoptar las medidas exigidas en las normas, contamine el aire, la atmósfera o demás componentes del espacio aéreo en niveles tales que resulten daños graves a los recursos naturales, biodiversidad y salud humana, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años (p.98).

2.3.4 Acuerdo Ministerial 097-A - Registro Oficial Edición Especial 387 de 04-nov.-2015

Anexo 4 del libro vi del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Norma de Calidad del Aire Ambiente

Requisitos / de los contaminantes del aire ambiente

4.1.3.2 Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire (ver en Anexo N° 1). Cada uno de los tres niveles será declarado por la Entidad Ambiental de Control cuando uno o más de los contaminantes comunes indicados exceda la concentración establecida en la siguiente tabla, o cuando las condiciones atmosféricas se espera que sean desfavorables en las próximas 24 horas (p.56).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

Esta investigación estuvo diseñada para recolectar tanto datos cualitativos como cuantitativos de la contaminación a tratar y reflejar el entorno a las áreas donde serán instalados los biofiltros, también, se llevó a cabo la recolección de datos de las variables independientes, por lo que esta investigación tuvo un enfoque Mixto.

3.1.1. Tipo y alcance de la investigación

En relación con el proyecto la investigación experimental trato de la manipulación de una o más variables para determinar los efectos causados, comportamiento, disminución o aumento de las variables observadas. De manera que las variables se encontraran en estricta relación para su interacción y poder recolectar datos de los sucedido y resultados obtenidos (Ballester, 2019).

El nivel de conocimiento en el que se basa el presente proyecto de investigación es de carácter exploratorio y explicativo. Debido a que las características y comportamientos de las partículas se verán representadas con el monitoreo instrumental, comportamiento de los biofiltros y por consiguiente el diseño del filtrador.

3.1.2. Diseño de investigación

La presente investigación se desarrolló mediante el diseño experimental debido a que se presentaran manipulación de las variables tales como el material particulado a través de los biofiltros, geomorfología, así mismo, la relación con las variables independientes y por último una propuesta digitalizada para la mejora de los prototipos.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

- Tipo de material filtrante
- Actividades Antropológicas
- Temperatura (°C)
- Velocidad del viento (km/h)

- Dirección del viento (N,S,E,O)
- Humedad relativa (%)
- Presión Atmosférica (Pa – Hpa)
- Precipitación (mm)

3.2.1.2. Variable dependiente

- Concentración de material particulado en los biofiltros

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1
Matriz de Variables Independientes

Variabes Independientes			
Variabes	Tipo	Nivel de Medida	Descripción
Tipo de material filtrante	Cualitativa	Nominal	Presencia
Actividades Antropológicas	Cualitativa	Nominal	6 meses a 3 años
Temperatura (°C)	Cuantitativa	Ordinal	< 6 meses
Velocidad del viento (km/h)	Cuantitativa	Ordinal	< 6 meses
Dirección del viento (N,S,E,O)	Cuantitativa	Ordinal	< 6 meses
Humedad relativa (%)	Cuantitativa	Ordinal	< 6 meses
Presión Atmosférica (Pa – Hpa)	Cuantitativa	Ordinal	< 6 meses
Precipitación (mm)	Cuantitativa	Ordinal	< 6 meses

Elaborado por: El autor, 2024

Tabla 2
Matriz de Variables Dependientes

Variabes Dependientes			
Variabes	Tipo	Nivel de Medida	Descripción
Concentración del material particulado en la los biofiltros	Cuantitativa	Ordinal	< 6 meses

Elaborado por: El autor, 2024

3.2.3 Tratamientos

En el presente proyecto experimental se implementó seis biofiltros en tres puntos de la ciudad de Guayaquil, donde en cada punto se instalarán uno por cada especie (dos biofiltros por punto) a investigar su retención para el material particulado.

Los tratamientos de cada sección se detallan a continuación.

Tabla 3
Tratamiento y características de materiales de Biofiltros

N°	Objeto	Unidad	Unidad final	Material	Peso aproximado(kg)	Espesor (cm)	Dimensiones (cm)	
							Alto	Ancho
1	Abrazaderas	6	6	Lata	3.016	-	-	-
2	Biofiltros	6	6	Lata	10.08	2	25	21
3	Fibra de <i>Musa paradisiaca</i>	6	18	<i>Musa paradisiaca</i>	0.674	0.2	24	20
4	fibra de <i>Guadua angustifolia</i>	6	18	<i>Guadua angustifolia</i>	4.586	0.5	24	20

Elaborado por: El autor, 2024

3.2.4 Diseño Experimental

La investigación se basó en diversos procesos los cuales tendrán la manipulación y alteración de las fibras vegetales, variables independientes y peso receptado en los biofiltros.

3.2.5 Recolección de datos

3.2.5.1 Recursos

- Libreta
- Bolígrafo
- Balanza de precisión (KERN Modelo: 440-53)

- Trituradora
- Licuadora
- Tina
- Tamiz
- Moldes
- Calculadora científica
- Corrector
- Escalera
- Estructuras de Lata
- *Musa paradisiaca*
- *Guadua angustifolia*
- Microscopio Electrónico de Scanning – Barrido- software JSM-IT500 System Backup Data MP-69010LBU. EXCS Installer MP-96040EXCS
- Google Eath
- Excel
- Estadístico R
- ArcGIS
- Autodesk Maya 3D

3.2.5.2 Métodos y Técnicas

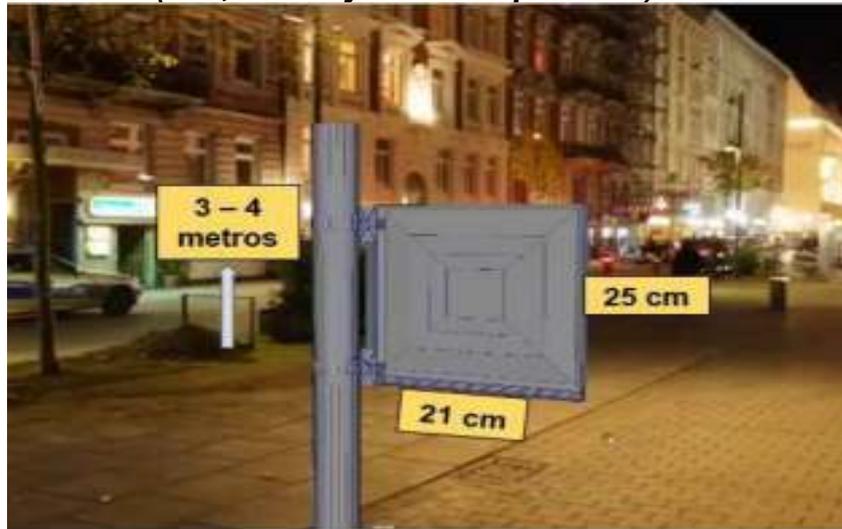
Para empezar, la investigación y realización de los pasos fueron establecidos en base a un orden que permitió la elaboración con éxito de los biofiltros y sus respectivos análisis de laboratorio, así mismo, los análisis estadísticos para determinar relaciones entre las variables en base a los datos recolectados por 30 días.

3.2.5.2.1 Especificaciones de componentes y sus dimensiones.

A continuación, se detallaron las partes que comprendieron cada biofiltro, de igual manera sus respectivas dimensiones para una apreciación más exacta del trabajo de investigación.

Figura 1

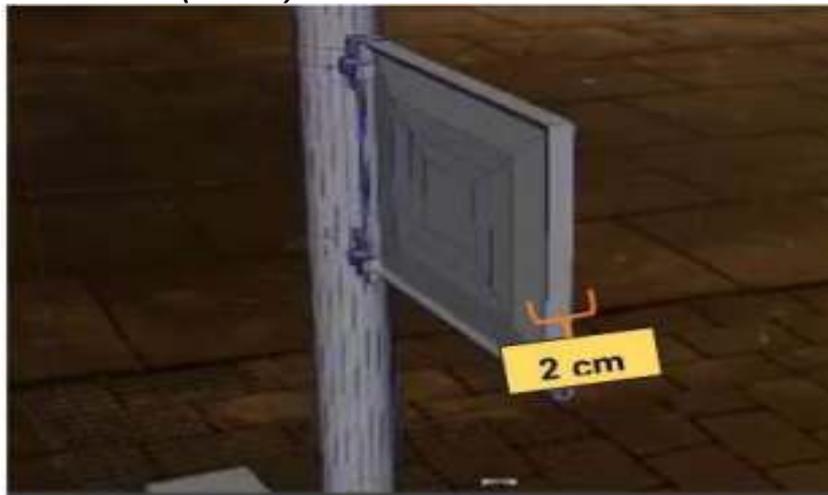
Dimensión de diseño (alto, ancho y altura de posición)



Elaborado por: El autor, 2024

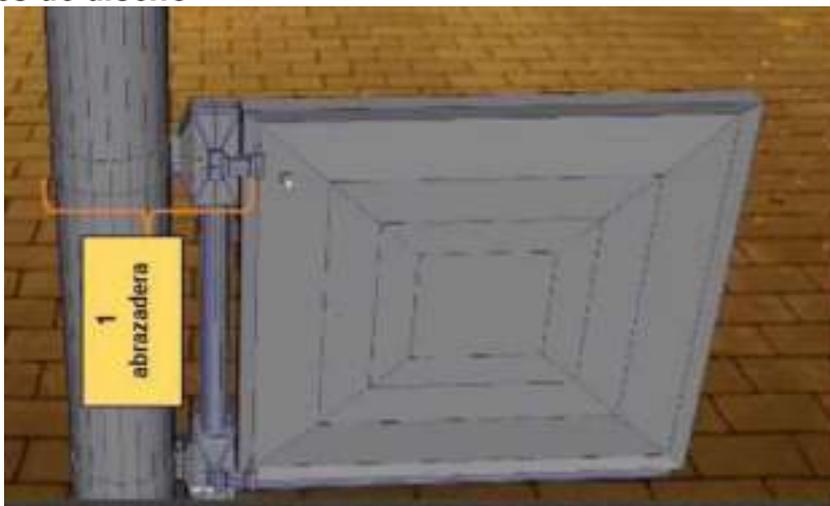
Figura 2

Dimensiones de diseño (ancho)



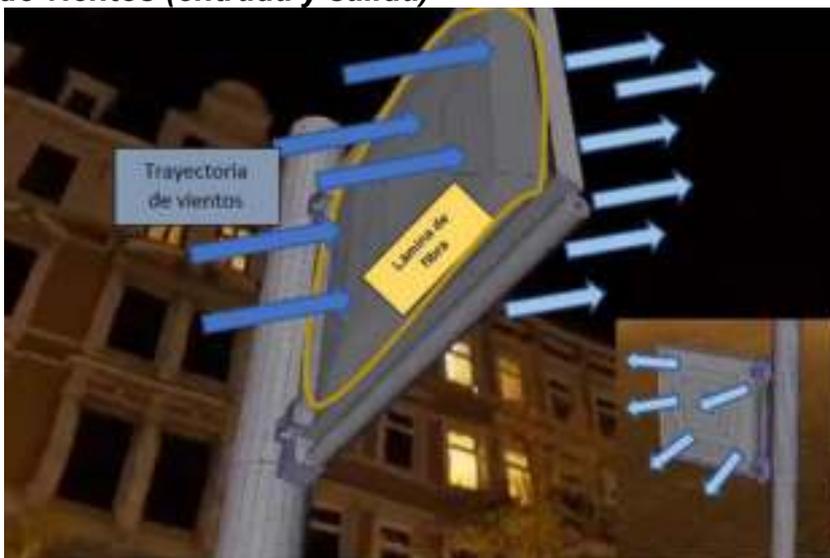
Elaborado por: El autor, 2024

Figura 3
Componentes de diseño



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 4
Trayectoria de vientos (entrada y salida)



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 5
Componentes de diseño: 4 láminas de fibras vegetal (2 biofiltros)



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 6
Ubicaciones de instalación de prototipos



Elaborado por: El autor, 2024

Estas zonas fueron seleccionadas por factores tales como: Concurrencia masiva de vehículos, Agrupación de fábricas, Mineras; y también por estudios previamente realizados en los sectores, teniendo así ah: Av. Machala y Padre Vicente Solano Vargas, Vía a Daule y Vía a la costa. De esta manera y con ayuda

del programa Google Earth ,al igual, que un software libre para la realización del mapa, se logró identificar estas zonas y georreferenciarlas.

Figura 7

Zonas de instalación de biofiltros en la ciudad de Guayaquil



Elaborado por: El autor, 2024

3.2.5.2.2 Fabricación de estructura de biofiltros

La estructura que cubriría a las láminas de fibra y que estas dos juntos formen los biofiltros, se pensaron de tal forma ,para que puedan tener una corriente de aire sin interrupción por algún objeto y que impida que el material particulado ingrese y salga de la estructura.

A causa de la finalidad del proyecto se estableció las dimensiones de la estructura, de tal manera, que sean lo suficientemente grandes para poder receptor el material particulado, tendrán dimensiones de 25 cm de altura por 21 cm de ancho.

Todo el cuerpo del biofiltro se comprendió exclusivamente de lata, por ser un material liviano y de bajo coste, todo lo contrario, al diseño inicial que era de aluminio, el mismo, que llevaría a elevar el presupuesto de fabricación como se aprecia en la Figura 55 . Adicional, las láminas de fibra también debían aumentar sus dimensiones, es así que se optó por reducir las medidas.

Continuando, en el interior de la estructura, se establecieron pequeños separadores que permitan que cada una de las dos láminas de fibra puedan quedar lo más quietas y rígidas posibles.

La razón de esto, es para que en el momento del ingreso de cada lámina de fibra tengan una sección y no interactuar de manera directa con la siguiente, de tal manera que se pueda cumplir con una parte del objetivo de conocer la retención de material particulado, otras de las razones, es para que en el momento de fuertes corrientes de aire estén lo más firmes posibles y no se precipiten al suelo.

Por otra parte, cada una de estas estructuras contó con una abrazadera soldada para que la sujete firmemente al poste correspondiente en cada punto de estudio durante las semanas y poder completar los 30 días.

Para el retiro e ingreso de las fibras, la estructura tuvo una tapa en la parte superior del mismo, así este procedimiento será fácil y rápido.

Los biofiltros se instalaron de tal forma que en cada punto tengan sus aberturas en la dirección que el viento generado por los vehículos de la zona y los vientos de temporada puedan encontrarse directamente con las fibras.

Por último, los biofiltros fueron instalados a una altura cerca de tres a cuatro metros para aprovechar que no existieran obstáculos para que el viento pueda correr a través de las láminas, también, por temas de seguridad, véase en la Figura 56.

Ocasionado por esto, se procedió a grabar en los biofiltros el nombre del tesista, número de contacto y la universidad en la cual se desarrolla el proyecto, en caso de caídas, robo o simplemente dar información relevante a alguna autoridad que no esté al tanto de la instalación.

3.2.5.2.3 Realización de filtro de *Guadua angustifolia*

Para la realización de los filtros de *Guadua angustifolia* se procedió a realizar el siguiente flujo de procesos para la obtención de la fibra y posteriormente el producto final (GreenBelt, 2019).

Cabe mencionar, que el desarrollo de estos procesos procede de análisis investigativo bibliográfico e investigación de campo por parte del tesista para alcanzar el objetivo planteado.

Selección de los bambús maduros: Se plantean técnicas establecidas por la Red Internacional de Bambú y Ratán por esta misma se procederá a seleccionar

dos bambús ya maduros con edad de tres a cuatro años (RED INTERNACIONAL DE BAMBU Y RATAN [INBAR], 2015).

Es así que, la obtención de la materia prima debe ajustarse a nuestra previa investigación y ser completada por conocedores de la especie para su selección.

Corte del tronco: El corte deberá realizarse con cuchillas o machetes limpios a una altura de 15 a 30 centímetros del suelo, teniendo en cuenta que el corte debe ser por arriba del nudo para evitar el estancamiento de agua en el tronco y este no se pudra, posteriormente el tronco volverá a brotar nuevas ramas. Una vez realizado este proceso podremos reservar nuestra materia prima como se puede observar en la Figura 57.

Corte del tronco en pequeños trozos: Los troncos obtenidos serán abiertos y cortados a tal punto que queden pequeños trozos de no más de 5 cm de largo aproximadamente, como se aprecia en las Figura 58 y Figura 59. Con este proceso también obtendremos el polvo de bambú el mismo que será necesario para crear las láminas de fibra vegetal.

Maceración: Los chips de bambú, se pasarán a un tanque grande de agua para depositar todos los trozos, este proceso tomara 20 días, con la finalidad de que puedan absorber la mayor cantidad de agua y su fibra sea más manipulable, en la Figura 60 se observa este punto.

Picadora: Pasado los 20 días en remojo, los trozos de bambú seguirán aun rígidos por lo cual es necesario utilizar maquinaria como una picadora de tallos para posterior obtener la fibra. Esta máquina previamente fue ubicada en la ciudad de Quevedo y así mismo se socializo el proyecto con “Fabrica MADE” que da el servicio de trituración de materiales vegetales, de tal manera, esta máquina eléctrica cubriría las especificaciones necesarias para tratar el material de bambú con una potencia de 5 caballos de fuerza (hp) y cuchillas de acero templado. Es así, que los trozos de bambú serian procesados y se obtendría la fibra vegetal y polvo de bambú, véase en las Figura 61 y Figura 63.

Licuadao: Continuando, en este proceso se deberá separar los trozos que no fueron triturados por la maquina y descartarlos. Quedándonos así con fibras dispersas y su polvo de bambú, todo este material se lo colocara en pocas porciones en la licuadora con aproximadamente 30ml de agua para conseguir una masa homogénea, tal como se ve en la Figura 64 y Figura 66.

Tamiz: En una tina con 1 litro de agua se vierte 50g de melaza con la finalidad de que este actúe como un aglutinante natural y una las fibras. Posteriormente se agrega la mezcla de fibras ya refinadas. Por último, se deberá introducir el tamiz para separar las fibras del agua y tan solo quede una capa de fibras uniformes en este instrumento, se observa este proceso en la Figura 67 y Figura 68.

Compactación en moldes: El resultado obtenido en el proceso anterior es pasado a moldes, los mismo que tendrán dimensiones de 23 cm de ancho y 27 cm de altura tomando en cuenta que es la medida externa. Internamente o donde hay contacto con la fibra sus medidas son 21 y 25 cm respectivamente, así mismo, para hacer que las fibras sean más delgadas se les colocara peso por encima.

Secado: Posterior a la compactación de las fibras pasaran a colocarse encima de una tela y en un lugar alto .El tiempo de secado será variado debido a las condiciones climáticas del día, así mismo, se deberá colocar peso en la parte superior no sin antes colocar tela para que las fibras no se vean afectadas, esto con la finalidad de que escurran agua de manera rápida y por otro lado que las láminas queden más delgadas y compactadas, un ejemplo claro está en la Figura 69 y Figura 70.

Colocar láminas en biofiltro: Una vez que las láminas de fibra estén totalmente secas se procederá a almacenarla, ya en el punto de muestreo seleccionado se colocaran en los biofiltros mediante sus entradas correspondientes.

3.2.5.2.4 Realización de filtro de *Musa paradisiaca*

Para la realización de los filtros de *Musa paradisiaca* se procederá a realizar el siguiente flujo de procesos para la obtención de la fibra y posteriormente el producto final (Maldonado, 2012) .

Selección de la planta de plátano: La planta a seleccionar deberá ser productiva y que anteriormente haya dado frutos y cosechado el mismo, en la Figura 71 podemos apreciar el tamaño que un espécimen de *M. paradisiaca*.

Corte del tronco: Una vez seleccionada se procederá a cortar el tronco de la planta de plátano en varias secciones, es así que la Figura 72 se aprecian cortes de 30 cm por sección, adicionalmente se puede observar las capas que la especie.

Retirar capas: Se empezará con el proceso de retirar las diferentes capas de fibras del tallo para posterior someterlas al proceso de lavado.

Lavado: Las capas obtenidas serán pasadas por un proceso de lavado con una solución de agua y 2 ml de cloro durante una hora. Proceso realizado para impedir el crecimiento de hongos en la fibra.

Enjuagado: Una vez terminado el proceso de lavado se limpian las fibras en abundante agua.

Licuadao: Las capas de plátano serán sometidas a refinado, para el cual se deberán cortar las capas de tal manera que la licuadora pueda realizar su trabajo sin inconvenientes, también, se deberá agregar 10 ml de agua para el correcto funcionamiento de la licuadora, en el resultado se obtendrá una pasta homogénea, tal como se observa en la Figura 74.

Tamiz: Una vez, obtenida la masa de fibra de *M. paradisiaca*, es momento de pasarla a una tina con 1 litro de agua y apoyarnos con un tamiz que tiene las medidas correctas para las láminas de fibra. El cual, previamente se fabricó con medidas específicas de 21 cm de ancho y 15 cm de altura tomando en cuenta que esta medida es la parte interna donde será separada la fibra del agua gracias a la malla metálica, mismo que se observa en la Figura 75.

También, se fabricó otro tamiz con las mismas medidas, pero en esta ocasión sin malla metálica, con el objetivo de sobre poner este marco por encima del otro para poder virarlo en la tela donde reposaran las fibras hasta secarse y que la forma deseada no se pierda, los marcos tuvieron medidas de 23 cm de ancho y 27 cm de altura con un grosor de 1 cm.

Compactación en moldes: El resultado obtenido en el proceso anterior es pasado a moldes, previamente, de haber agregado, 50 g de Melaza con la finalidad de que este actúe como un aglutinante y las fibras puedan quedar lo más rígidas y juntas posibles para que al momento de transportarlas y en el monitoreo no se desmoronen o sufran alguna deformación en su estructura.

Secado: Posterior a la compactación de las fibras pasaran a colocarse encima de una tela y en un lugar alto .El tiempo de secado será variado debido a las condiciones climáticas del día, también, se debe tomar en cuenta que la lámina deberá cambiar de lado para que de esa manera se seque completamente como la primera lámina de la fibra que se aprecia en la Figura 76

Colocar láminas en biofiltro: Una vez que las láminas de fibra estén lo totalmente secas se procederá a almacenarla, ya en el punto de muestreo seleccionado se colocaran en los biofiltros mediante sus entradas correspondientes.

3.2.5.2.5 Petición de permiso municipal e institucional para instalación de los biofiltros

Antes de colocar los biofiltros en los postes designados, se debió pedir permiso a las entidades correspondientes, en este caso: para el punto Centro; Av. Machala y padre Vicente Solano Vargas la petición de permiso será dirigida a la Municipalidad de Guayaquil debido a que esta zona está dentro de la regeneración urbana (postes verdes) por lo tanto se tuvo que entregar la respectiva documentación y petición, a través de la Ventanilla Universal.

Así mismo, para los puntos Vía a la costa (diagonal a IDE Business School) y Vía a Daule (frente al Fuerte Militar Huancavilca) su competencia corresponde a la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL. EP), específicamente en la Unidad de Negocios Guayaquil – Planta Norte, se debió detallar los punto de la metodología a usar con el Ing. Joffre Mieles, además, fue necesario ubicar los postes que fueron intervenidos para este proyecto los cuales serán: poste 04187699 para Vía a la costa y poste 014426 para vía Daule

Por último, el permiso de instalación y acompañamiento de parte de CNEL. EP se podrán observar en las Figura 77 y Figura 78.

3.2.5.2.6 Muestreo de 30 días con biofiltros de fibras de *Guadua angustifolia* y *Musa paradisiaca*

Los biofiltros con las fibras vegetales fueron implementados para la recolección de la muestra de material particulado en un tiempo de 30 días, cabe recalcar que, los 30 días no serán continuos debido a los procesos de pesado y traslados cada 10 días.

El máximo de láminas o filtros de fibra a colocar por punto establecido fueron cuatro, dos en cada biofiltro, es así que se colocaron 12 láminas entre los seis biofiltros a instalar, para el monitoreo del material particulado cada 10 días, en los 30 días se usaron un total de 36 láminas.

Antes de la instalación de los biofiltros se pesaron cada uno de las láminas de fibra por medio de una balanza de precisión, de esta manera se garantizaría determinar cuánto peso ganó la lámina en cada 10 días, recordar que el proceso se repite 3 veces para completar los 30 días.

Los biofiltros fueron revisados todos los viernes durante el tiempo establecido, esto para constatar que todo estaba bien y si era necesario se daría mantenimiento o reemplazo debido a cualquier tipo de alteraciones ya sea vandalismo, aves, insectos, etc.

Cada 10 días se procedió a retirar cada una de las láminas para ser trasladadas a los laboratorios de la Universidad Agraria del Ecuador, con el fin de determinar cuánto peso a receptado cada una de las láminas a lo largo del tiempo y analizar los datos en las aplicaciones correspondientes, estas laminas fueron retiradas y colocadas en una bolsa sellada, con el objetivo, de que no existan alteraciones en la muestra obtenida.

Una vez el tiempo de muestreo sea completado (30 días) se procedió a retirar los biofiltros del lugar definitivamente, tomando en cuenta las medidas a seguir para no alterar las láminas de fibra, así mismo, se pesaron las láminas en la balanza de precisión.

3.2.5.2.7 Análisis de datos obtenido con los biofiltros y datos de variables

Con respecto a los datos que se obtuvieron en los 30 días transcurridos desde la instalación de los biofiltros, estos fueron almacenados en una base de Excel donde estarán separados por fecha de muestreo, número de lámina y el lugar donde se instaló.

Al mismo tiempo, se registraron diariamente por 30 días los datos de las variables independientes como temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, humedad relativa, presión atmosférica, precipitación, estos datos se obtuvieron de diferentes fuentes como la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador (INOCAR) y la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), de tal manera, se registraron datos de las actividades antropológicas realizadas en las cercanías de los puntos, en el caso que sea necesario.

Por lo tanto, una vez concluido el tiempo establecido y la recolección de datos de manera semanal y diario se procedió al análisis de la información utilizando estadísticos como ANOVA, Análisis de componentes principales (PCA) y Correlación.

En relación con el estadístico ANOVA, es muy importante para resaltar una diferenciación entre ubicaciones, materiales y tipos en cuanto a su impacto en los pesos finales. Del mismo, se pudo realizar dos análisis que nos permita, uno, encontrar diferencias significativas en los pesos finales debido a ubicaciones, materiales y tipos, como se había mencionado y dos, ANOVA Factorial, este funcionará de tal manera que se espera encontrar interacciones entre estos factores (ubicación y material - ubicación y tipo - etc.) con estas combinaciones se esperaba que existiera un impacto diferente de los valores de cada factor individual.

Al usar PCA, permitirá obtener una imagen de dispersión de los componentes y grupos que sean analizados de esta forma podremos diferenciarlos de una manera más clara y comprensible, así mismo, la interacción de estos grupos y las variables meteorológicas y de peso.

Por otro lado, el estadístico Correlación de Pearson se utilizó junto con los datos que se obtuvieron de las variables y pesos, de esta manera se procedió a relacionar cada una de las variables con el registro de peso de las láminas de fibra del punto que corresponda, por último, determinar si existe una relación positiva, negativa o nula. En otras palabras, se determinó si hay una relación significativa de parte de estas variables con el peso final

3.2.5.2.8 Análisis de geomorfológica del material particulado retenido en las láminas de fibra mediante Microscopio Electrónico de Scanning - Barrido

Al mismo tiempo, de iniciar con el análisis estadístico se procedió a empacar y enviar una lámina de cada especie vegetal por cada semana ,las cuales fueron las que hayan obtenido un mayor peso. En total fueron 6 láminas de acuerdo a los 30 días de muestreo, para su respectivo análisis de la geomorfología en un Microscopio Electrónico de Scanning - Barrido o en sus siglas en ingles SEM (Scanning Electron Microscope), de la marca JEOL, modelo JSM-IT500LV con fabricación en Japón, con el que cuenta el laboratorio del Instituto Nacional de Investigación en Salud Publica – Dr. Leopoldo Izquieta Pérez (INSPI).

El cual permitió tomar imágenes en tres dimensiones bajo diversas magnitudes (aumentar y disminuir la distancia entre el objeto que se quiere observar) para detallar la estructura morfológica de la fibra del material vegetal y así mismo la del material particulado (PM) encontrado en ellas (Instituto Nacional de Investigación en Salud [INSPI], 2022).

Antes de iniciar con los análisis se debió entregar la petición de parte del Decano de la facultad dirigida a las autoridades del INSPI, una vez, su aprobación se debió designar un tutor de parte de la institución para su respectivo acompañamiento técnico en el cual la Dra. Linda Diaz Cevallos, MSc, Experto Técnico Responsable de Plataforma Científica de Microscopía Electrónica y Confocal – SEM, fue la encargada.

Cabe decir que, el INSPI maneja líneas de investigación de acuerdo a lo que se requiere analizar y encontrar, en el caso de este proyecto se ajusta a la línea de investigación INSPI – AMBIENTALES (EFECTOS DE LA ACTIVIDAD DEL HOMBRE EN EL AMBIENTE Y SU REPERCUSIÓN EN LA SALUD HUMANA), ya que, estas micro partículas en su mayoría son producidas por actividades antropogénicas y se consideran un potencial riesgo a la salud humana según la OMS, llegando así a causar con este contaminante problemas en vías respiratorias, enfermedades cardiopulmonares, cáncer pulmonar, disfunción pulmonar y afectaciones similares a la de un fumador.

Adicionalmente a esto, la Dra. Linda Diaz Cevallos, MSc bajo su autoría y la del Dr. Yasuji Amano Konno, PH.D. tienen el libro titulado “INTRODUCCIÓN A LA MICROSCOPIA ELECTRÓNICA PRINCIPIOS – APLICACIONES” en el cual se mencionó el tratamiento correcto de las muestras para ser analizadas en este equipo, el mismo que se detallará a continuación ya que será el proceso a usar en este análisis (Amano Konno, y Diaz Cevallos, 2015).

- Someter a un pequeño corte rectangular no mayor a 2 cm de largo y 1 cm por ancho
- Colocar la muestra sobre una placa portaobjeto, no antes sin haber adherido cinta de carbón para su ajuste en la placa. Esta cinta es exclusivamente para el uso en el SEM.
- Llevar la muestra a la máquina recubridora de oro con exposición de 20 segundos, este proceso ayuda a generar mayor contraste al momento de ser observada la muestra dentro del SEM

- Finalizado el proceso anterior, se lleva la muestra al SEM donde el técnico experto realizara los pasos correspondientes para el análisis (Amano Konno, Y Diaz Cevallos, 2015).

Con lo anteriormente dicho, fue necesaria la investigación en este espacio para determinar si el proyecto tiene o no material particulado retenido en sus fibras, también, los análisis de las muestras nos darán una visión más exacta de las fibras vegetales usadas y las partículas receptadas por las láminas, de tal forma, concluir que tan peligrosas pueden ser para la salud y la geomorfología de las partículas receptadas.

3.2.5.2.9 Modelo digital de mejoras para el uso del biofiltro

En este proceso se realizó la digitalización estructural de las mejoras y futuras aplicaciones para los biofiltros de *Guadua angustifolia* y *Musa paradisiaca*.

Se estableció una idea teórica para aprovechar todos los beneficios de los biofiltros a una escala aun mayor, estos siendo integrados a una estructura que se pueda alzar por encima de los 4 a 5 metros de altura.

La razón de estas dimensiones es debido a que la estructura contara con sistemas eléctrico, definidas por previa investigación. En base a los proyectos revisado se plantea que el sistema de ventiladores de tubo axial es la mejor opción para implementar como aspirador del aire ambiente, tanto en su diseño como en rendimiento, de manera que las ocho aspas en su interior proporcionarían un caudal de hasta 35,000 pies cúbicos por minutos o CFM en sus siglas en inglés y una presión necesaria para que las partículas puedan ser retenidas. También cabe mencionar que el motor de este sistema será un motor en función a poleas y correas, el mismo que se encontrará montado en la parte superior. Se planteó así, para que no existan alteraciones en el funcionamiento del motor por presencia de partículas que pueden llegar a acumularse y dañar el equipo, este concepto de mejoras será realizado con la aplicación Autodesk Maya 3D en colaboración con el Lic. Cesar Bahamonde Aroca.

Con este diseño se esperaba que el proyecto no tan solo quede en una investigación inicial, si no, otorgue las bases necesarias para que nuevos investigadores se propongan a desarrollar o replicar esta investigación.

3.2.6 Análisis estadístico

En la presente investigación se procedió a realizar una serie de análisis estadísticos como; media, mediana, moda, desviación estándar, correlación y dispersión de datos.

Así también, ANOVA, correlación de person y Análisis de componentes principales, teniendo como base los datos obtenidos desde la instalación de los biofiltros hasta su retiro ,transcurrida as tres semanas.

3.2.6.1 ANOVA

El análisis de Varianza o en ingles Analysis of Variance (ANOVA), ayuda específicamente en reflejar las diferencias de las medias de un grupo de datos ,las cuales, estas sean variables cuantitativas. De igual forma, ANOVA nos da resultados visualmente más concretos y entendibles debido a la distribución de sus datos y el análisis de estos, a diferencia de una regresión lineal, la cual, solo darían datos generalizados para todas las medias en cuestión (Ollé, 2019).

Por su parte, este estadístico llega ser muy útil gracias a su sencillez y rápido análisis de datos, es utilizado en diferentes áreas que se desee encontrar una diferencia o se pretenda mejorar un procedimiento de otros, aplicados en estudios de Ingeniería, medicina, fabricas, negocios e incluso para tareas diarias en nuestros hogares y entorno. Para ejemplificar, en el estadístico se debe tomar en cuenta que, los datos poblacionales deberán ser normales en distribución, de tal manera, no es de carácter obligatorio que lleven este orden, también, pueden ser asimétricas (Minitab Statistical Software, 2022).

Sin embargo, hay casos que estas reglas no llegan a cumplirse, por falta de normalidad, distribuciones sesgadas o empinadas, al igual que puede ocurrir que el grupo de datos sea muy pequeño. Si esto llega a presentarse, se puede optar por dos opciones: 1) La transformación de los datos registrados para que la distribución de estos sea normalizada o 2) Elegir una prueba no paramétrica. En última instancia, en base a la necesidad de los resultados se pueden utilizar las pruebas de ANOVA de Welch y pruebas de Games-Howell como alternativa (Matamoros y Ceballos, 2017).

3.2.6.2 Correlación de Pearson

El estadístico es muy utilizado en diversas áreas de estudios e investigaciones, debido a sus aplicaciones suelen ser mal aplicadas a la hora de representar o analizar datos debido a los extensos conceptos que involucran a este método de análisis. Por lo tanto, se recomienda para un mejor análisis abordar estos con procedimientos que cuantifiquen la distancia del centro de gravedad de los datos, de forma simultánea y tomando en cuenta el espacio vectorial en que se encuentran (Hernández, et al., 2018).

Es así, que representa una relación entre dos variables continuas, dando valores de significancia que puedan alcanzar un 95 a 99% para las variables que se quiera demostrar si efectivamente hay relaciones entre ellas o no, en el caso que no exista una relación estos resultados siguen siendo tan validos como los que representen que la significancia es positiva/ directa. De igual forma, R de Pearson da categorías para reflejar los valores obtenidos que van del -1 a 1 y estos se pueden representar como Baja, Media y Alta Relación, en el caso de 0 la relación será Nula (Morales, 2011).

3.2.6.3 Análisis componentes principales

Con relación, al Análisis de componentes Principales (PCA) se establece que es un método estadístico para el análisis de datos multivariantes el cual se utiliza para recabar un gran número de información donde se medirá la varianza total del conjunto de datos dados y este, los pueda proyectar de una manera más entendible donde un diagrama pueda ser bi o tri dimensional. Este análisis es utilizado en diversas áreas de estudio como bioestadística, sociología, marketing, etc., se puede dar varios usos a este estadístico como: el análisis y estudio de las correlaciones entre variables, obtención de datos no correlacionados y posteriormente separados para un análisis de regresiones y análisis discriminantes y como se había mencionado, la interpretación de valores en diagramas bi y tri dimensionales para identificar uniformidad o datos atípicos (Xlstat, 2018).

3.3 Cronograma de actividades

Figura 8
Cronograma de actividades para ejecución de Objetivos Específicos

SEMANAS	MES 1				MES 2				MES 3	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	
Objetivo 1: Elaborar 6 prototipos de biofiltros a base de dos especies vegetales (tres con <i>Musa paradisiaca</i> y tres con <i>Guadua angustifolia</i>).										
Realización de diagrama de componentes y materiales										
Elaboración de láminas de fibras										
Construcción de las seis estructuras de biofiltros										
Transporte y colocación de biofiltros en puntos establecidos										
Monitoreos e inspección semanales a filtros										
Filtro de láminas una vez por semana para pesado en los Laboratorios de la Universidad Agraria del Ecuador										
Obtención de datos diarios de variables (Temperatura, Velocidad del Viento, Presión Atmosférica, Precipitaciones)										
Filtro final de los prototipos de los puntos de muestreo										
Objetivo 2: Evaluar la relación del material particulado retenido en las láminas de fibra con las variables independientes a través de modelos cuantitativos.										
Recopilación de datos en bitácora de variables										
Análisis de resultados obtenidos mediante pruebas estadísticas ANOVA, Correlación de Pearson y Diagrama de componentes principales										
Objetivo 3: Analizar la geomorfología del material particulado retenido en cada biofiltro mediante el método de Explosión Eléctrica de Hilo en el Microscopio Electrónico de Barrido.										
Transporte de filtros al Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSP) en la ciudad de Guayaquil para análisis de geomorfología y composición química del material particulado retenido										

Elaborado por: El autor, 2024

4. RESULTADOS

4.1 Elaboración de seis prototipos de biofiltros a base de dos especies vegetales (tres con *Musa paradisiaca* y tres con *Guadua angustifolia*)

4.1.1 Realización de láminas de fibras

Ante todo, en el proceso de las láminas de fibra se consiguieron los resultados precisos para alcanzar el objetivo planteado.

En referencia a las láminas de *M. paradisiaca* la metodología planteada dio resultados favorables, tales como aproximaciones en el tiempo de secado completo de las láminas de 4 horas con temperatura ambiente promedio de 30 a 31°C. En la característica física sobresale la rigidez del material, así mismo, no se desmorona con los movimientos, su grosor es muy delgado, las fibras mantienen poco espacio libre entre ellas y puede encajar con facilidad en las dimensiones de la estructura de lata.

Figura 9

Lámina de fibra vegetal de la especie *M. paradisiaca*, metodología exitosa



Elaborado por: El autor, 2024

Al igual que el proceso anterior, con la fibra de *G. angustifolia* también se considera un resultado exitoso, como puntos relevante se menciona que el secado a temperatura ambiente, en este caso, se demoró un par de horas más, ya que la lámina es mucho más gruesa que la del anterior material, debido a que la fibra es más dispersa y se necesita de más material para cubrir los espacios libres que

quedan en el tamiz, lo cual no sucede con la fibra de *M. paradisiaca* por ser más larga y su propia estructura se entrelaza una con otra.

Con respecto al secado se experimentó a través de un horno a baja temperatura, pero los resultados fueron fallidos, como lo muestra la Figura 80, ya que, como se habla de un material de madera en constante calor este es inestable. El tiempo y temperatura son dos factores que deben ser exactos para el secado, además, se asume que el tiempo de secado sería aun mayor agregando esta variable en el proceso.

Para un mejor resultado se optó por seguir la metodología original, pero con esta observación se puede dejar el tema abierto para una futura replica.

Figura 10

Lámina de fibra vegetal de la especie G. angustifolia, metodología exitosa.



Elaborado por: El autor, 2024

4.1.2 Estructuras de biofiltros

Anteriormente, observado el comportamiento y la estabilidad de las láminas de fibra se comprobó que el diseño propuesto sería efectivo, sobre todo, para la delicadeza que conlleva las láminas de *G. angustifolia*.

Como se podrá observar en la siguiente imagen, las estructuras fabricadas cuentan con solo una abrazadera para sujetarla en el poste, ya que, su peso no fue tan significativo, una tapa la cual se pueda remover para el ingreso y retiro de las láminas de fibras y los separadores para las dos láminas en cada una de las estructuras.

Figura 11

Con el segundo diseño se pudo evidenciar que era más práctico sus medidas y proporción para el análisis



Elaborado por: El autor, 2024

Por otra parte, las láminas de fibra tienen un tamaño indicado como se venía planteando a lo largo de la metodología y se ajustan perfecto al diseño final de las estructuras.

Figura 12

Biofiltros sujetos en poste (prueba), *M. paradisiaca* a la izquierda y *G. angustifolia* a la derecha



Elaborado por: El autor, 2024

Con este proceso las 6 estructuras necesarias para el monitoreo estarían listas y sin necesidad de rectificar el diseño, por lo cual, se considera exitosa la fabricación de las estructuras.

4.1.3 Pesado Inicial de las láminas de fibra vegetal en el laboratorio de la Universidad Agraria del Ecuador

Antes de enviar las láminas de fibra vegetal hasta los puntos determinados, estas tuvieron que ser pesadas para saber la diferencia entre peso inicial y final, así se pudo tener una perspectiva más específica de cómo se desenvuelven estas láminas en campo.

Por lo tanto, el pesado se realizó en una Balanza de precisión KERN Modelo 440-53 con un campo de pesaje Max de 6kg. Se procedió a pesar en gramos (g) cada lámina de las dos especies

Tabla 4
Peso inicial de láminas de fibra vegetal *G. angustifolia* y *M. paradisiaca*

PESO 1 (g)		
N.º	<i>G. angustifolia</i>	<i>M. paradisiaca</i>
1	21.50	6.64
2	24.84	7.60
3	28.67	6.49
4	27.47	6.18
5	29.79	7.21
6	34.15	6.25
7	62.67	8.40
8	57.34	7.88
9	83.14	9.34
10	67.26	8.78
11	30.40	6.78
12	31.75	6.56
13	52.88	6.03
14	57.82	5.09
15	55.06	4.42
16	54.26	4.85
17	52.22	5.24
18	54.30	7.50

Elaborado por: El autor, 2024
Este proceso se lo puede apreciar en la

4.1.4 Instalación de Biofiltros en los 3 puntos establecidos

Con relación a la instalación, se debe mencionar que los 6 biofiltros fueron colocados en los 3 puntos establecidos, de forma que se mantuvo la correcta protección de seguridad para este proceso, con la ayuda del equipo de instalación conformados por el Ing. Bryan Cabrera Martínez y el Lic. Steven Castro Bajaña.

Al mismo tiempo, se socializó con la comunidad cercana para dar información del proyecto y su colaboración para el desarrollo del mismo, la cual sería dar su rápido aviso en casos de que exista algún inconveniente con los biofiltros.

Exitosamente, el monitoreo se desarrolló de forma normal durante los 30 días en campo, sin mayores novedades, observar en las Figura 82 al Figura 87 el proceso realizado.

4.1.5 Pesado final de las láminas de fibra vegetal en el laboratorio de la Universidad Agraria del Ecuador

Finalizando con este tópico, cumplido los 30 días de monitoreo en los cuales se cambiaron las fibras vegetales cada 10 días, se puede trasladar todas las fibras al laboratorio para su respectivo pesaje, como se observa en la Figura 88 y Figura 89.

Tabla 5
Peso final obtenido de las láminas de fibra vegetal expuestas al campo

N.º	PESO 2 (g)	
	<i>G. angustifolia</i>	<i>M. paradisiaca</i>
1	25.47	10.30
2	24.26	8.13
3	35.10	7.61
4	28.13	7.87
5	29.30	7.96
6	29.05	8.91
7	51.77	9.14
8	49.82	8.56
9	53.03	10.22
10	70.93	10.90
11	28.19	7.69
12	28.70	6.86
13	56.75	6.52
14	58.54	5.92

15	62.31	6.49
16	58.36	12.16
17	57.70	6.40
18	55.80	9.60

Elaborado por: El autor, 2024

En base al formato de la bitácora llenado por el tesista los pesos quedarían mejor organizados y más específicos en el Apéndice N° 1 en la cual se podrá observar las fechas exactas de cada cambio, la diferencia de peso inicial y final, adicional, se colocó en color rojo las láminas de fibras vegetales que tuvieron mayor peso en cada semana, tomando en consideración 1 por fibra vegetal.

Con respecto a los datos recabados, será necesario someterlos a análisis estadísticos para así determinar su interacción con las variables meteorológicas del lugar en las que fueron instaladas para su monitoreo.

4.1.6 Eliminación de humedad de las láminas y comprobación de retención de material particulado

Al tener materiales vegetales en uso como biofiltros y determinar nuestra retención final, es necesario someter las muestras al horno para eliminar la humedad ya que esta generaría valores erróneos de retención.

Por lo cual, las láminas fueron colocadas en el horno del laboratorio de Suelo, Plantas y Agua de la Universidad Agraria del Ecuador, a una temperatura constante de 50° C por 24 horas.

También se usó la fórmula para determinar el porcentaje de humedad por especie vegetal, donde

Ph= Peso húmedo

Ps= Peso seco

$$\frac{Ph * Ps}{Ph} * 100\%$$

Tabla 6
Eliminación de humedad y porcentaje de humedad

RETIRO DE HUMEDAD peso 2 (g)		% PORCENTAJE DE HUMEDAD	
G.a	M.p	G.a	M.p
22,47	9,80	24,6	9,3
21,26	7,63	23,4	7,2
32,10	7,11	34,2	6,7
25,13	7,37	27,2	6,9
26,30	7,46	28,4	7,0
26,05	8,41	28,2	8,0
48,77	8,64	50,8	8,2
46,82	8,06	48,9	7,6
50,03	9,72	52,1	9,3
67,93	10,40	70,0	9,9
25,19	7,19	27,3	6,8
25,70	6,36	27,8	5,9
53,75	6,02	55,8	5,6
55,54	5,42	57,6	5,0
59,31	5,99	61,4	5,6
55,36	11,66	57,4	11,2
54,70	5,90	56,8	5,5
52,80	9,10	54,9	8,7

Elaborado por: El autor, 2024

En promedio de humedad retenida por especie vegetal se comprobó que *Guadua angustifolia* tiene un 43,7% de humedad en su fibra y *Musa paradisiaca* un 7,5%. De igual manera una vez eliminado la humedad podemos determinar de manera precisa la retención de PM que tiene cada especie vegetal, por lo cual, *Guadua angustifolia* tiene 3,77g en promedio de retención gracias a las características de sus fibras y *Musa paradisiaca* 1,67g de retención.

4.2 Evaluación de la relación del material particulado retenido en las láminas de fibra con las variables independientes a través de modelos cuantitativos

Para empezar con los análisis estadísticos se tuvo que recolectar toda la información meteorológica necesaria y previamente especificada, para cada uno de los puntos, de manera diaria desde el día 26 de mayo de 2023 al 24 de junio de 2023.

De tal manera, para el Punto Vía Daule, se utilizaron datos provenientes de ESPOL, Punto Centro, se pudieron descargar los datos a través de la página NASA POWER y Punto Vía a la Costa, se logró obtener la información deseada desde INOCAR.

Es así que, gracias al registro de las variables meteorológicas diarias y por horas de los 30 días de muestreo en campo. Se concluyó en este punto que se deberían promediar el día de todas las variables que fueron registradas por horas, y los días, promediados a 10 días para así alcanzar 30 días que fue el máximo de monitoreo con los biofiltros. Por último, obtendríamos un único valor de monitoreo de 10 días para cada cambio de fibras y sus variables respectivamente.

Tabla 7
Vía Daule - ESPOL Variables en 30 días con división cada 10 días

VÍA A DAULE - ESPOL					
TEMPERATURA	VELOCIDAD	DIRECCIÓN	HUMEDAD	P.	PRECIPITACIÓN
(°C)	VIENTO	DEL	RELATIVA	ATMOSFÉRICA	(mm)
	(m/s)	VIENTO	(%)	(Pa – Hpa)	
26.64	177.5	S -SO	88.65	1017.3	0
26.36	174	OE – NO	89.34	1018	0
26.02	203.6	S	86.19	1016.5	0

Elaborado por: El autor, 2024

Tabla 8
Centro - NASA POWER Variables en 30 días con división cada 10 días

CENTRO – NASA POWER					
TEMPERATURA	VELOCIDAD	DIRECCIÓN	HUMEDAD	P.	PRECIPITACIÓN
(°C)	VIENTO	DEL	RELATIVA	ATMOSFÉRICA	(mm)
	(m/s)	VIENTO	(%)	(Pa – Hpa)	
25.92	2.2	SO	87.74	1008.7	193.74

25.82	2.43	SO	87.72	1009.8	137.49
26.02	2.19	SO	85.05	1002.6	48.58

Elaborado por: El autor, 2024

Tabla 9
Vía a la Costa - INOCAR Variables en 30 días con división cada 10 días

VÍA A LA COSTA - INOCAR

TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD VIENTO (m/s)	DIRECCIÓN DEL VIENTO	HUMEDAD RELATIVA (%)	P. ATMOSFÉRICA (Pa – Hpa)	PRECIPITACIÓN (mm)
28.3	1.6	SO	69.2	1010.5	2.756
28	1.6	SO	68.4	1011	88.622
27.5	1.8	SO	65.2	1009.8	0.014

Elaborado por: El autor, 2024

Después, de obtener los datos de peso inicial y final con su respectiva división en el Apéndice N° 1 y los datos de las variables establecidas en un periodo de 30 días, comenzaría la realización de los análisis estadísticos correspondientes.

Principalmente es importante el ajuste de los datos para el análisis, deben estar organizados de tal forma que el programa R pueda reconocerlos sin problema alguno.

Es por esto que se clasifican los datos de la siguiente manera en el Apéndice N° 2.

4.2.1 Correlación

Mediante la organización de los datos de variables y pesos tanto inicial como final, a continuación, se nos muestra en la Figura 13 la matriz de correlación en la cual nos indica que tanta correlación tienen las variables con otras e incluso con los pesos iniciales y finales.

Figura 13
Matriz de Correlación de variables y pesos



Elaborado por: El autor, 2024

Primero, podemos observar que existe una fuerte correlación positiva (0.97) en peso inicial (initial_w) y peso final (final_w) lo que sugiere que pesos iniciales más altos generalmente corresponden a pesos finales más altos.

Por el contrario, la temperatura muestra una correlación negativa moderada (-0.47) con la precipitación, indicando que temperaturas más altas tienden a ocurrir con menor precipitación.

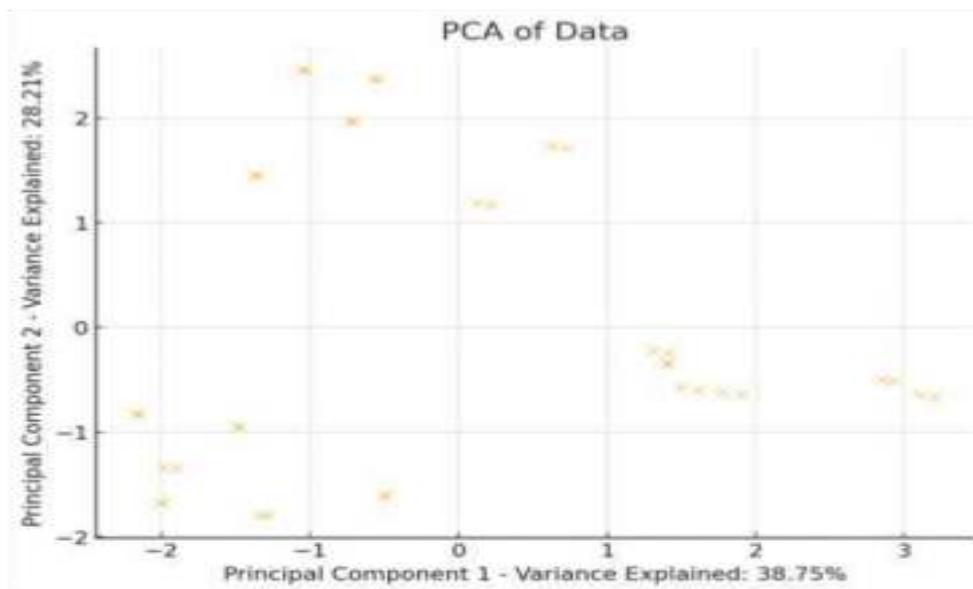
Por otra parte, la humedad relativa (rh) está positivamente correlacionada con la precipitación (prec) (0.47), lo cual es esperado ya que una mayor humedad a menudo acompaña o precede a la lluvia.

Nuevamente, observamos una correlación negativa moderada (-0.51) esta vez, entre la temperatura (temp) y la velocidad del viento (ws), sugiere que temperaturas más altas pueden estar asociadas con velocidades de viento más bajas.

4.2.2 Análisis de componentes principales (PCA)

El PCA resulta en dos componentes principales que explican aproximadamente el 38.75% y el 28.21% de la varianza, respectivamente, sumando alrededor del 66.96%. Esto sugiere que estos dos componentes capturan una parte significativa de la información en el conjunto de datos.

Figura 14
Análisis de PCA de datos obtenidos



Elaborado por: El autor, 2024

En el gráfico anterior de dispersión de los dos componentes principales nos muestra grupos distintos, lo que indica que el conjunto de datos no tiene grupos claramente separables basados únicamente en estos componentes. Sin embargo, estos componentes ayudan a reducir la dimensionalidad y podrían resaltar los patrones subyacentes cuando se combinan con otros análisis.

4.2.3 ANOVA

4.2.3.1 ANOVA

UBICACIÓN:

Estadístico F: 0.912, valor-p: 0.412

El valor-p indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en los pesos finales entre las diferentes ubicaciones.

MATERIAL:

Estadístico F: 66.96, valor-p: 1.52e-09

Hay diferencias estadísticamente significativas en los pesos finales entre los diferentes materiales utilizados. Esto sugiere que el tipo de material tiene un impacto sustancial en el peso final.

TIPO:

Estadístico F: 0.00068, valor-p: 0.979

No hay diferencias estadísticamente significativas en los pesos finales entre los dos tipos de materiales laminados.

4.2.3.2 ANOVA FACTORIAL

Efectos Principales:

Ubicación: No significativo (valor-p: 0.128), consistente con el ANOVA individual.

Material: Altamente significativo (valor-p: 8.81e-08), confirmando el impacto sustancial del material en el peso final observado anteriormente.

Tipo: No significativo (valor-p: 0.967), también consistente con los resultados individuales.

Efectos de Interacción:

Ubicación y Material: No significativo (valor-p: 0.852).

Ubicación y Tipo: No significativo (valor-p: 0.986).

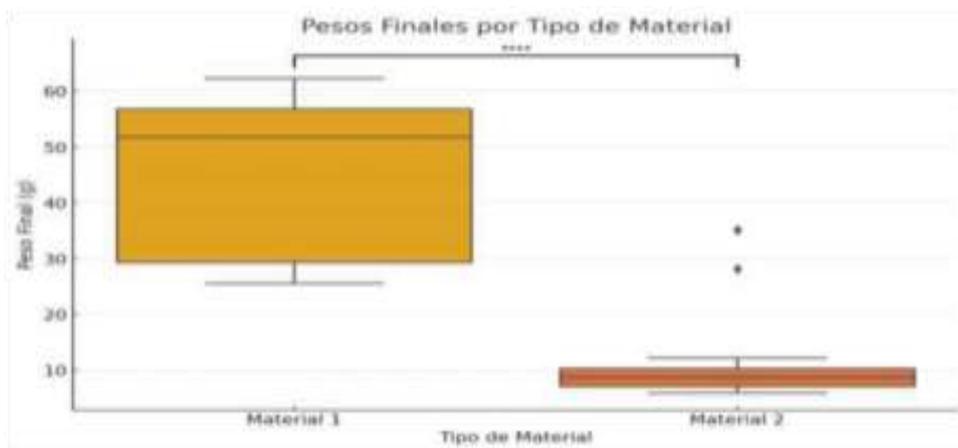
Material y Tipo: No significativo (valor-p: 0.954).

Ubicación, Material y Tipo: No significativo (valor-p: 0.982).

El análisis de varianza (ANOVA) factorial realizada en los datos de peso final muestra que el material tiene un impacto altamente significativo en el peso final (**p-valor-p: 8.81e-08**). Esto se confirma a través de la prueba post-hoc de Tukey, que revela una diferencia significativa en el peso final entre los dos materiales analizados Material 1 (G.a) y Material 2 (M.p) , con un p-valor ajustado de 0.0001.

Figura 15

Prueba Boxplots para Materiales y Peso final



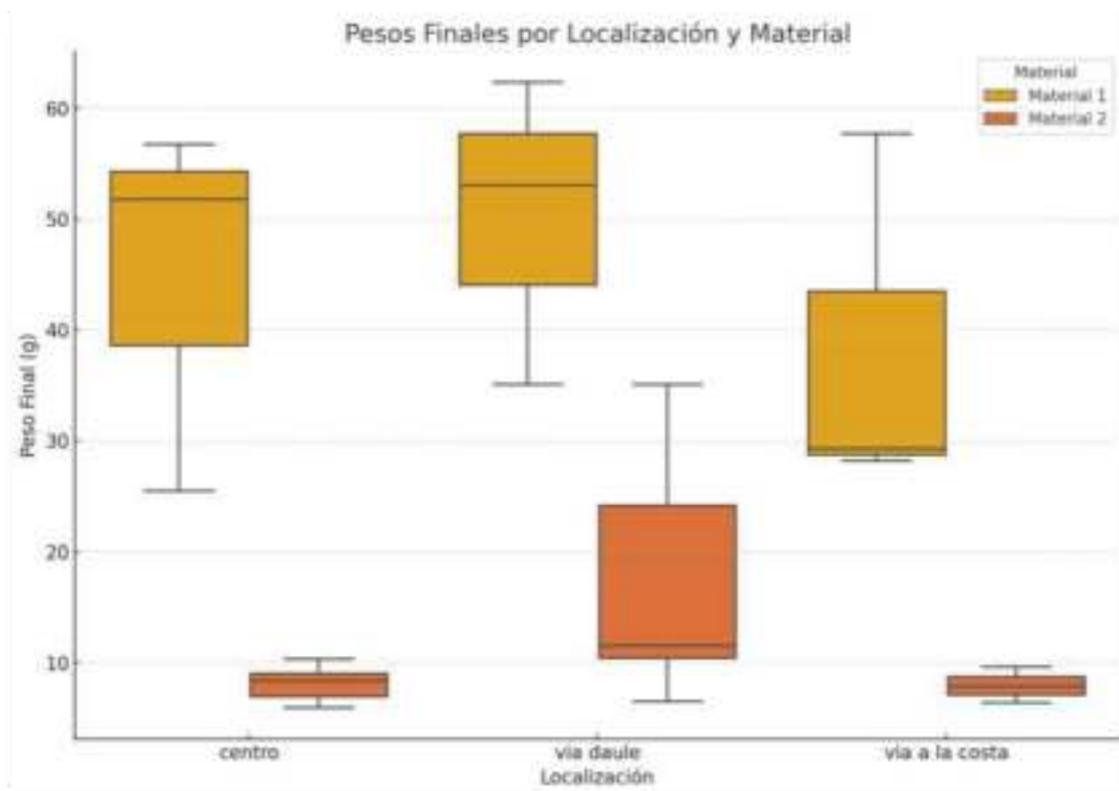
Elaborado por: El autor, 2024

La figura de Boxplots ilustra visualmente esta diferencia, donde los pesos finales de Material 1 y Material 2 son significativamente distintos, destacando la importancia del material en el peso final del objeto medido.

De la misma forma, fue necesario que estos resultados sean comparados con la distribución de los pesos finales entre diferentes localizaciones para cada tipo de material. Es así que se hace uso de una Prueba **Chi- Cuadrado** para la asociación entre material y localización.

Figura 16

Análisis de la Distribución del Peso final por Localización y Material



Elaborado por: El autor, 2024

Los resultados indicaron que no hay una asociación significativa entre la elección del material y la localización ($p\text{-valor}=1$). Esto sugiere que la elección del material no depende de la localización.

Por otra parte, **Modelo de Regresión** con Interacción entre el Material y Localización para evaluar si el efecto del material en el peso final varía según la localización.

Resultados del Modelo

- R-cuadrado: 0.810 (El 81.0% de la variabilidad del peso final es explicada por las variables del modelo).
- Prob (F-statistic): 0.0003970 (Muy significativo).

Coefficientes del Modelo

Tabla 10
Valores de significancia de variables

Variables	Valor	Significancia	P-valor
Intercepto (β_0)	-3846.78	No significativo	0.262p
Temperatura (β_1):	22.31	No significativo	0.371
Velocidad del Viento (β_2):	-0.25	No significativo	0.470
Humedad Relativa (β_3):	-7.33	No significativo	0.214
Presión (β_4):	3.93	No significativo	0.235
Precipitación (β_5):	-0.05	No significativo	0.477
Material "Material 2" (β_6):	-36.56	Altamente significativo	0.000
Localización "Vía a la Costa" (β_7):	-211.18	No significativo	0.215
Localización "Vía Daule" (β_8):	3.97	No significativo	0.958
Interacción Material "Material 2" y Localización "Vía a la Costa" (β_9):	6.07	No significativo	0.573
Interacción Material "Material 2" y Localización "Vía Daule" (β_{10}):	3.58	No significativo	0.738

Elaborado por: El autor, 2024

Interpretación del Modelo

1. "Material 2": Es el único predictor significativo en el modelo. El peso final promedio para el "Material 2" es 36.57 gramos menos que el del "Material 1", manteniendo constantes todas las demás variables.
2. Las interacciones entre el material y la localización no son significativas, lo que sugiere que el efecto del material en el peso final no varía significativamente según la localización.

3. Ninguna de las variables meteorológicas resultó ser significativa en la predicción del peso final.

4.3 Análisis de la geomorfología del material particulado retenido en cada biofiltro mediante el método de Explosión Eléctrica de Hilo en el Microscopio Electrónico de Scanning – Barrido (SEM)

Comenzando con la recepción de las láminas y su organización en base a códigos para su mejor almacenamiento en el laboratorio de Microscopía Electrónica de Scanning – Barrido, se tomaron en consideración las láminas que obtuvieron mayor peso final. Como se detalló en el Apéndice N° 1.

Tabla 11

Selección previa de 6 láminas de fibra vegetal, 2 por cada 10 días de muestreo

N.º	Muestreo (cada 10 días)	Origen de muestra	Material	N.º de muestra	N.º de lámina	Código	N.º de muestra INSPI
1	1	Centro	<i>Musa paradisiaca</i>	1	1	A1.1	3258
2		Vía Daule	<i>Guadua angustifolia</i>	1	1	A1.2	3259
3	2	Vía Daule	<i>Musa paradisiaca</i>	1	2	B1.1	3260
4		Vía Daule	<i>Guadua angustifolia</i>	1	2	B1.2	3261
5	3	Vía Daule	<i>Musa paradisiaca</i>	1	2	C1.1	3262
6		Vía Daule	<i>Guadua angustifolia</i>	1	1	C1.2	3263

Elaborado por: El autor, 2024

A continuación, se detallan los resultados de los hallazgos obtenidos del análisis-investigación con la caracterización morfológica estructural de las láminas de material vegetal.

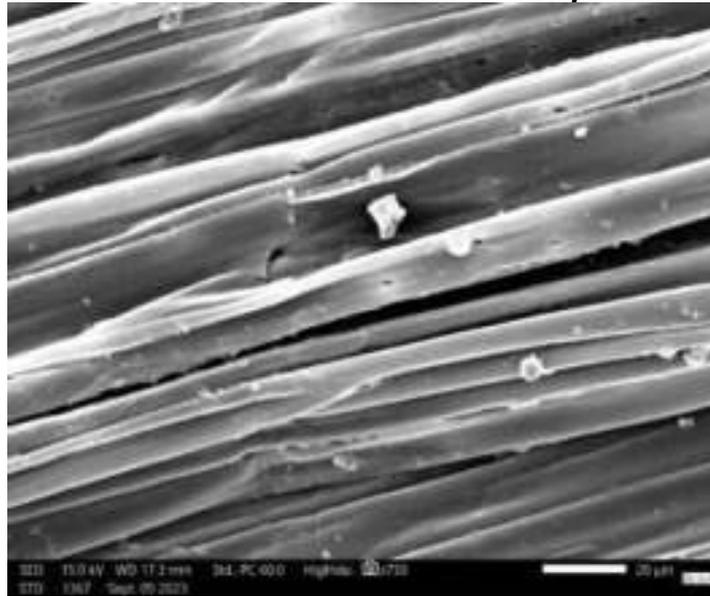
Para comenzar, se preparó la primera muestra correspondiente al Grupo **A1.1 (3258)** *Musa paradisiaca* con origen del centro de la ciudad de Guayaquil en la semana 1 de muestreo.

Todo el proceso desarrollado se puede verificar en la Figura 90 y Figura 102.

4.3.1 Musa paradisiaca

Figura 18

Material Particulado encontrado en la fibra de *Musa paradisiaca* a 20 μm

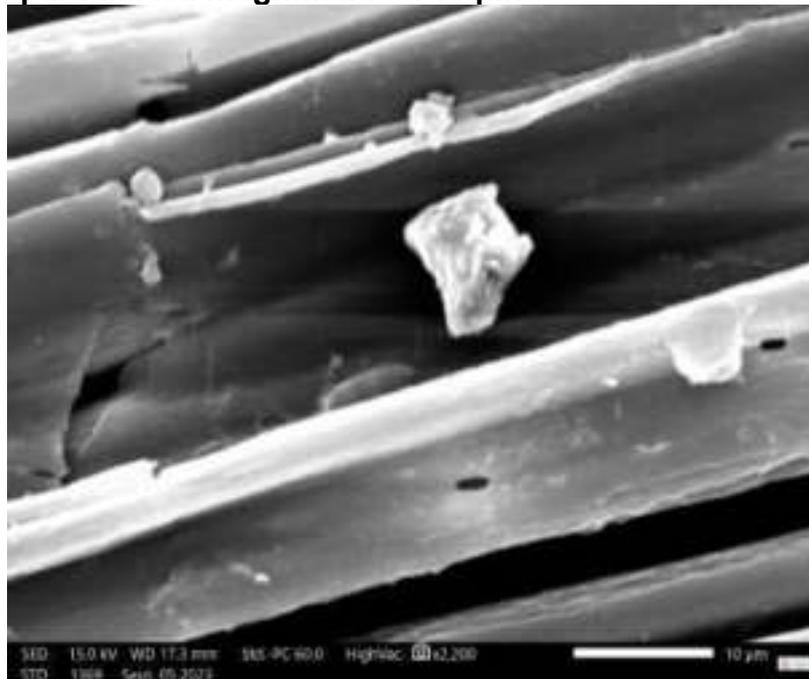


Elaborado por: El autor, 2024

Como el objetivo del análisis es encontrar material particulado es necesario llegar hasta 10 μm o incluso más para comprobar la hipótesis del proyecto. Es evidencia clara que este tipo de PM en el caso de ingresar al sistema respiratorio de una persona ya estaría provocando una severa afectación a su sistema y efectos a largo plazo que pueden y llegaran a ser perjudiciales para esta.

Figura 19

PM en *Musa paradisiaca* magnificado a 10 μm

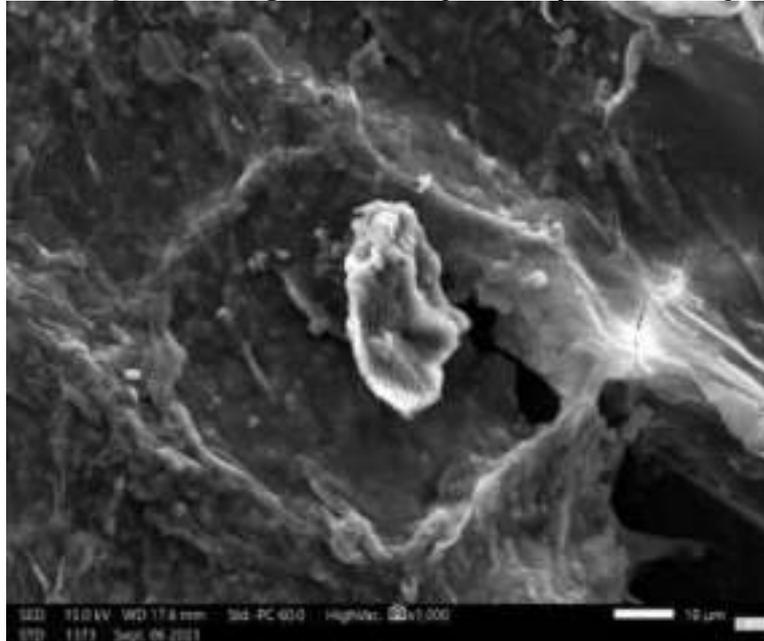


Elaborado por: El autor, 2024

De este modo, se analizó varias zonas de la muestra encontrando más de una formación de PM y la aglomeración de estas, adicional, se pudieron observar estructuras de la fibra que se presume que al momento de retener el PM sería mucho más fácil gracias a su morfología en poros y anillos.

Figura 20

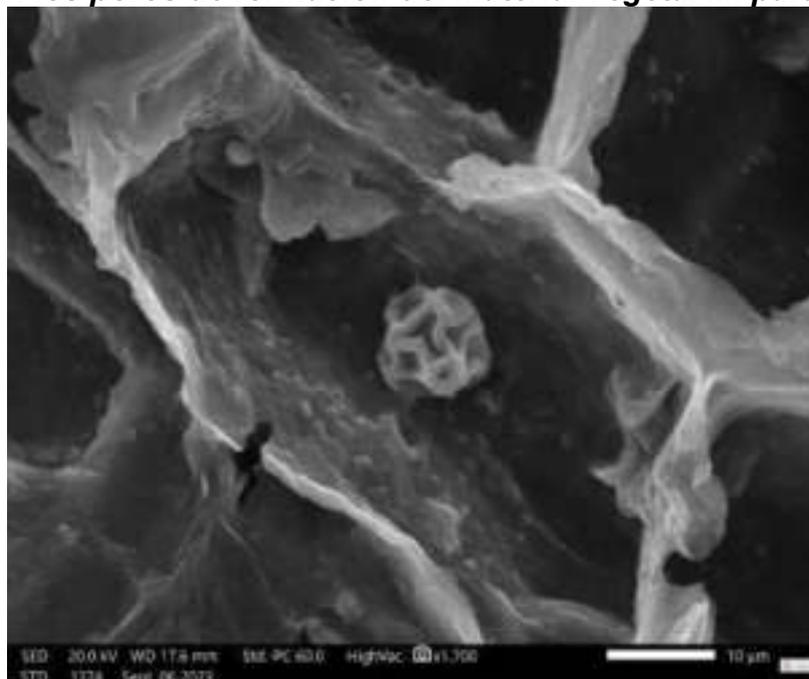
PM encontrado a 10 μm de magnificación y 15KV para su mejor nitidez



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 21

Se describen los poros de formación del material vegetal *M. paradisiaca*

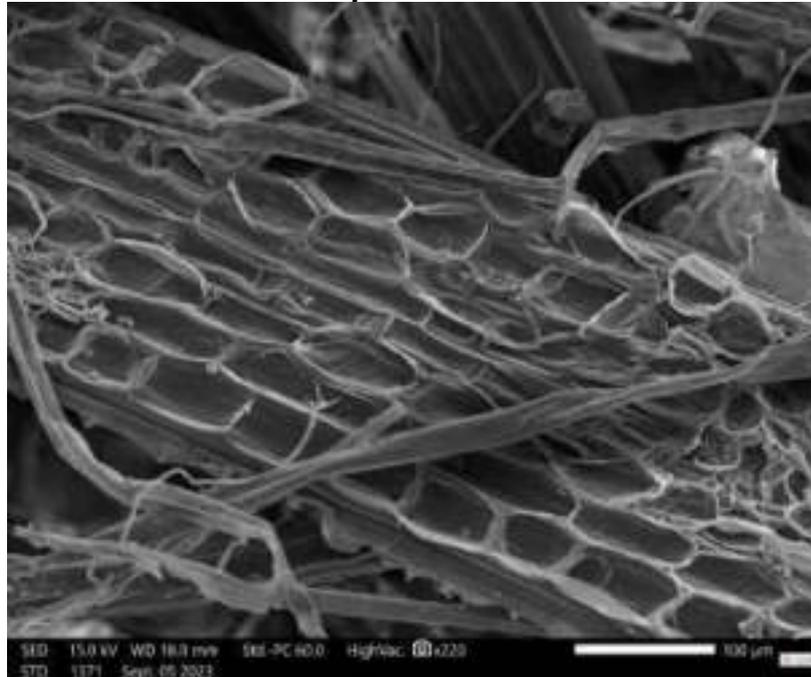


Elaborado por: El autor, 2024

En una mejor observación de los poros mencionados, en esta sección se los puede apreciar y a su vez la magnificación de 100 μm hasta un cumulo de PM encontrado en ellos a 10 μm .

Figura 22

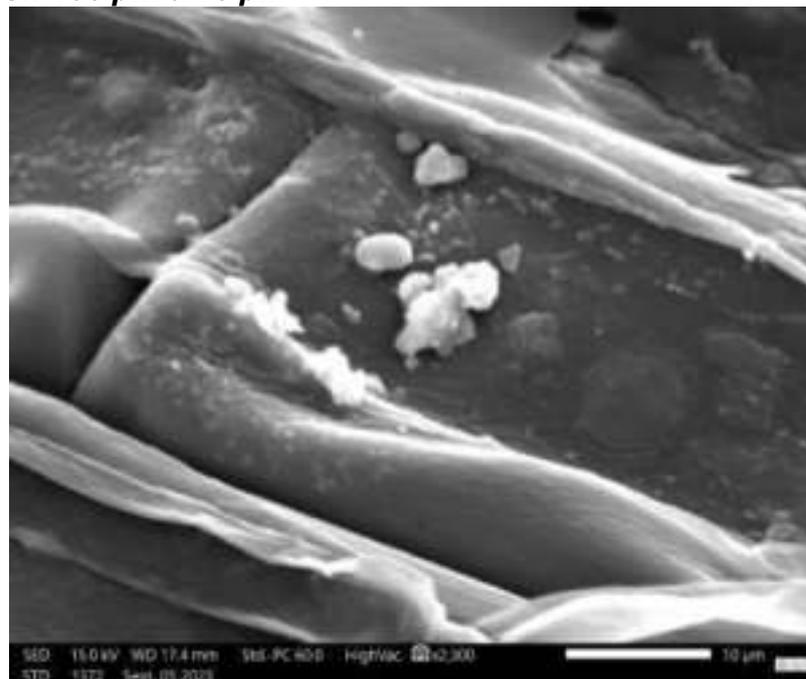
Poros encontrados en Fibra de *M. paradisiaca*



Elaborado por: El autor, 2024

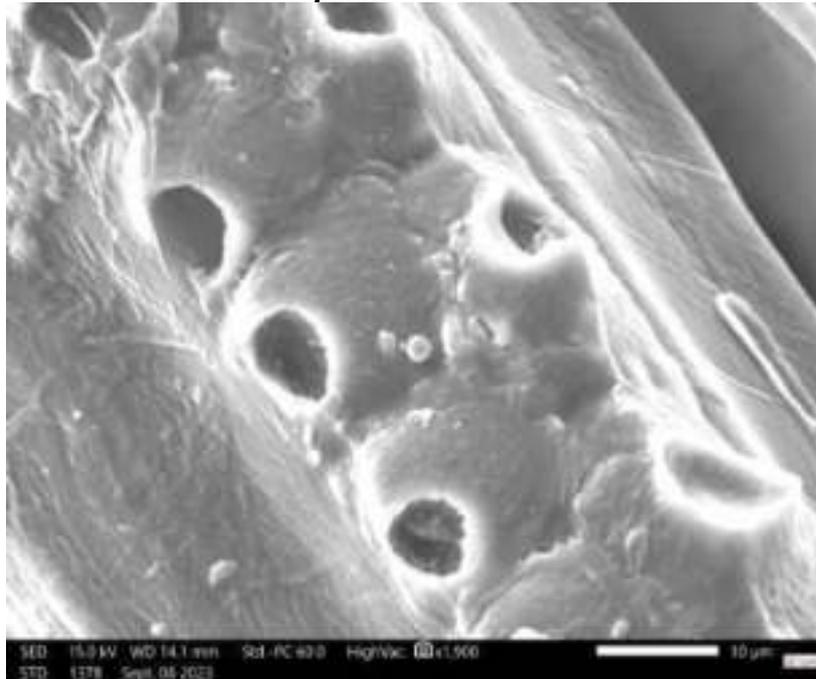
Figura 23

Cúmulos de PM en poros de láminas de material vegetal (*M. paradisiaca*) magnificación 100 μm a 10 μm



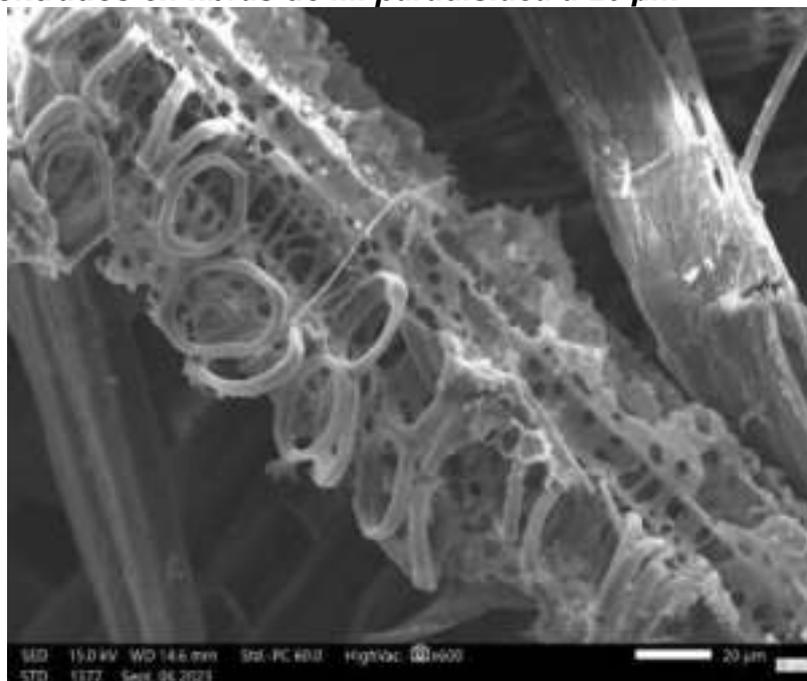
Elaborado por: El autor, 2024

Figura 24
Línea de poros en lámina de *M. paradisiaca*



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 25
Anillos encontrados en fibras de *M. paradisiaca* a 20 μm



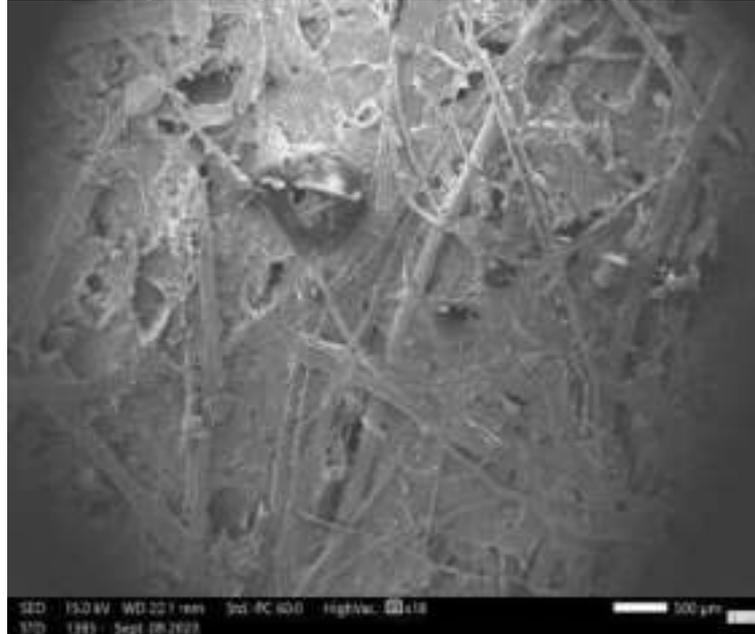
Elaborado por: El autor, 2024

En referencia a las siguientes muestras de *M. paradisiaca*, se analizó el Grupo **B1.1 (3260)** con origen de Vía a Daule en la ciudad de guayaquil correspondiente a la semana dos de muestreo.

Con la diferencia que esta lámina presentaba una capa fina de material vegetal compuesto con las mismas estructuras anteriormente descritas, pero con hallazgos relevantes.

Figura 26

Se observa una fina capa compactada de material vegetal a 500 μm



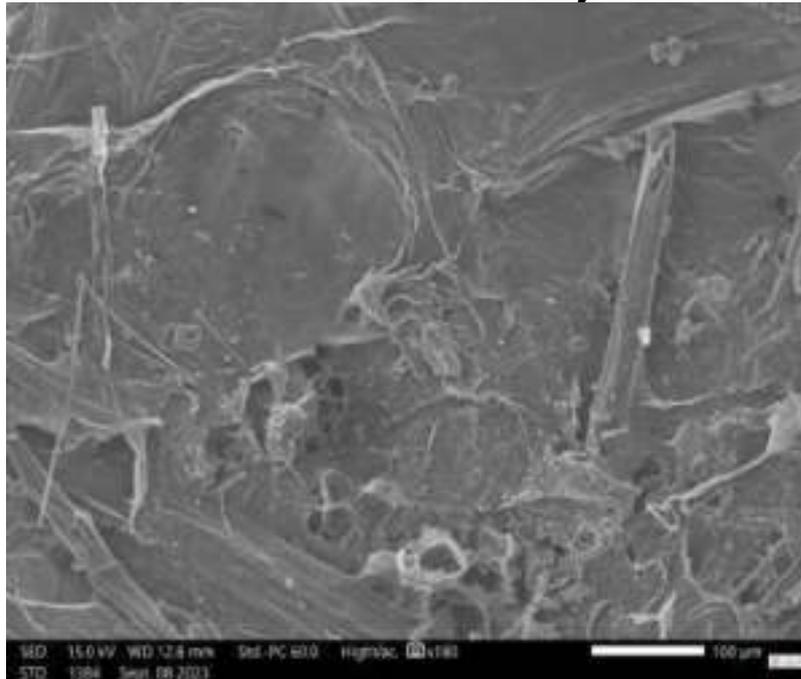
Elaborado por: El autor, 2024

A diferencia de la primera muestra, esta presenta mayor compactación, pero no dejando de lado la porosidad de su fibra, aquí se pudo apreciar la recepción de PM y artefactos (pequeña basura en general).

Adicionalmente, se encontró la estructura de anillos observada en la Figura 25 pero esta vez completa, dándonos a entender mejor su naturaleza y diseño.

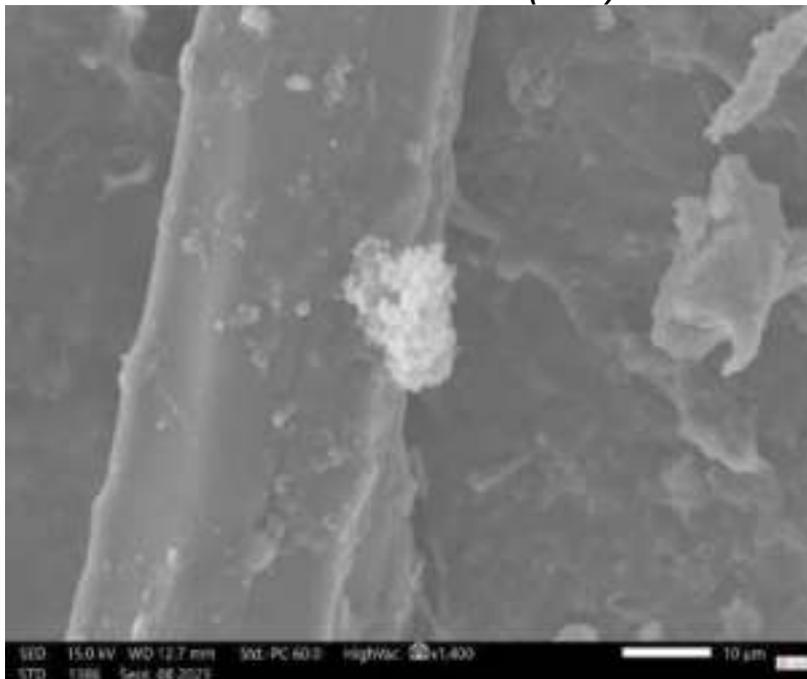
Por otra parte, el hallazgo de una formación parecida a un “huevo con escamas” se podría mencionar como uno de los tópicos de este análisis en preciso, ya que, no se pudo encontrar mayor información de esta estructura hallada en las fibras, lo que sí se puede mencionar es que había más formaciones parecidas a esta por toda la muestra con una magnificación de 10 μm .

Figura 27
Estructura de la muestra con características de tejido



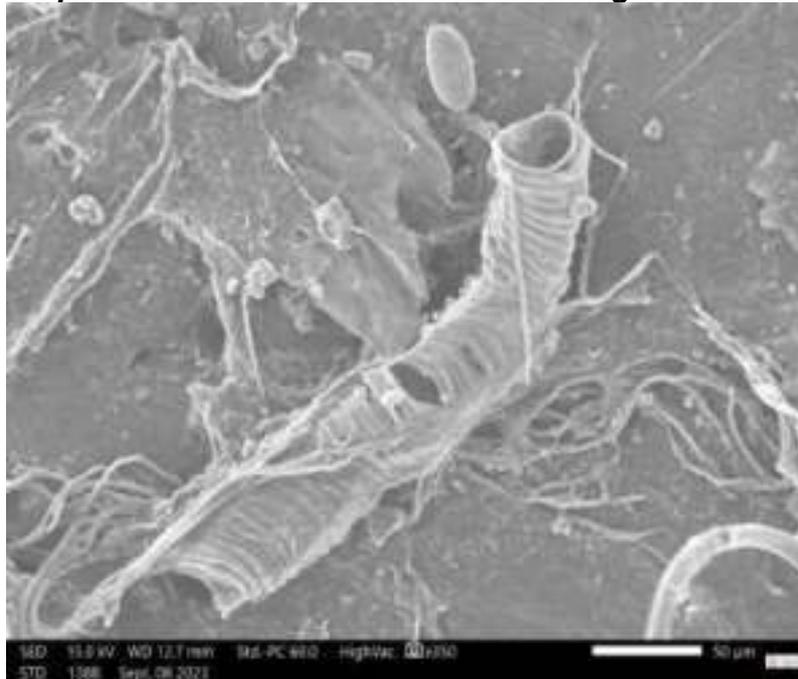
Elaborado por: El autor, 2024

Figura 28
Artefacto encontrado en la muestra analizada (B1.1)



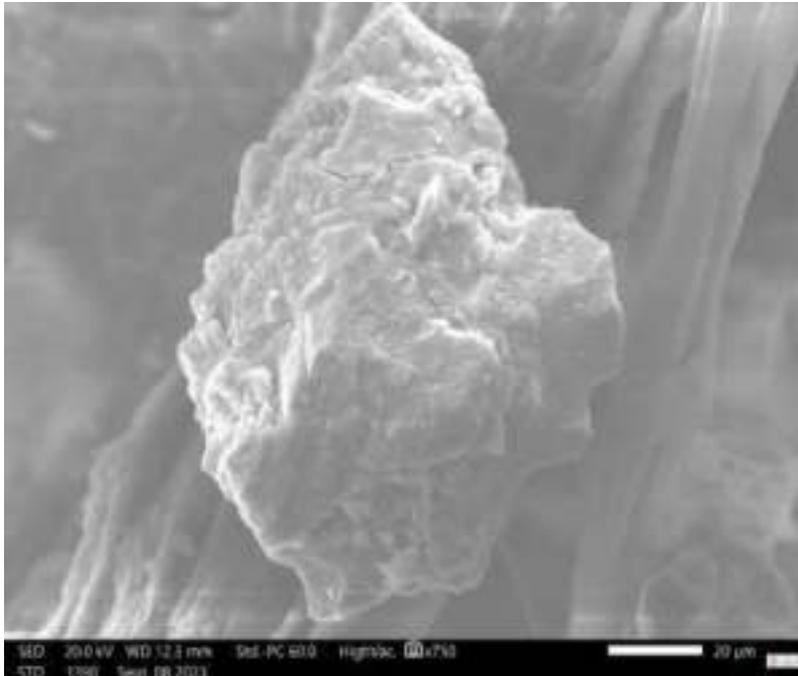
Elaborado por: El autor, 2024

Figura 29
Formación completa de anillos encontrados en la Figura 25



Elaborado por: El autor, 2024

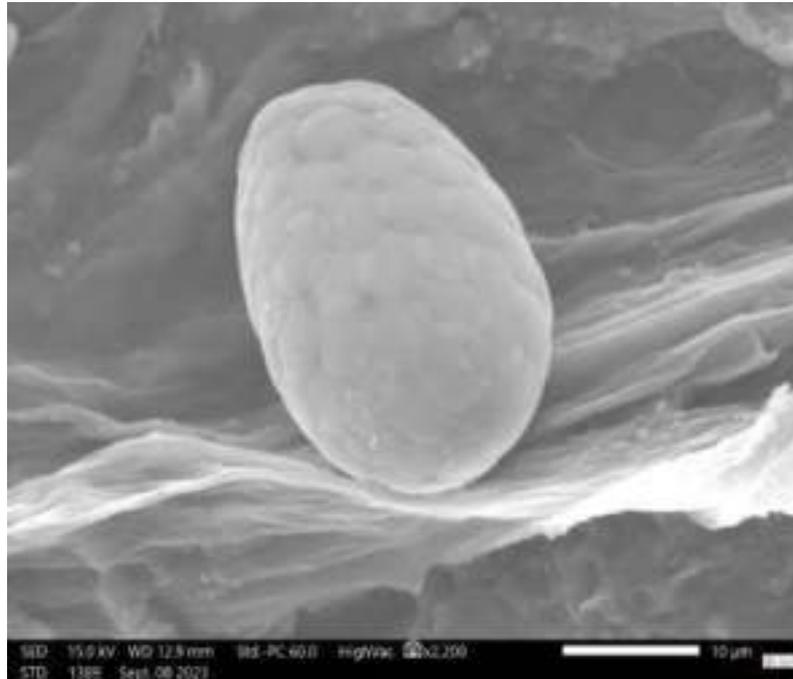
Figura 30
Material particulado encontrada con magnificación de 20 μm y voltaje de 20KV



Elaborado por: El autor, 2024

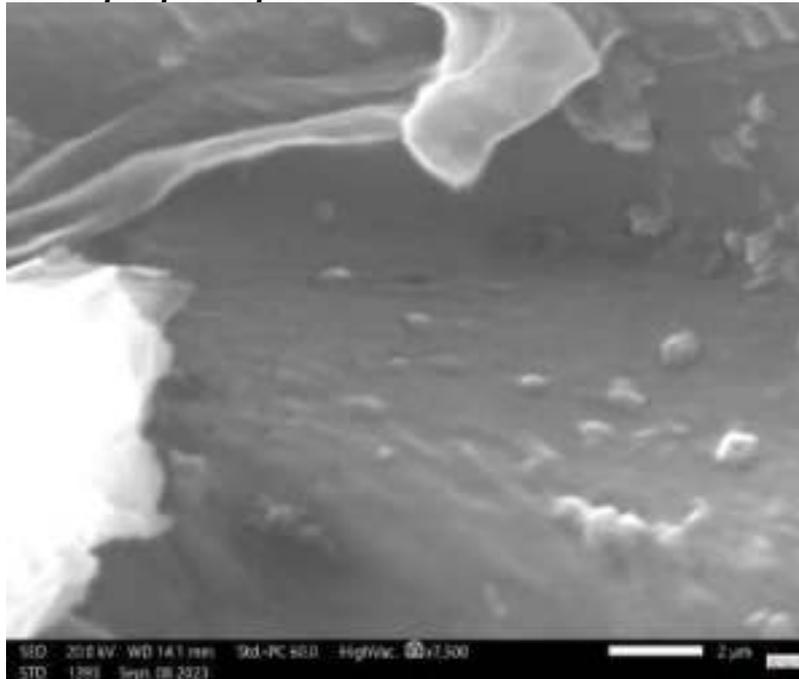
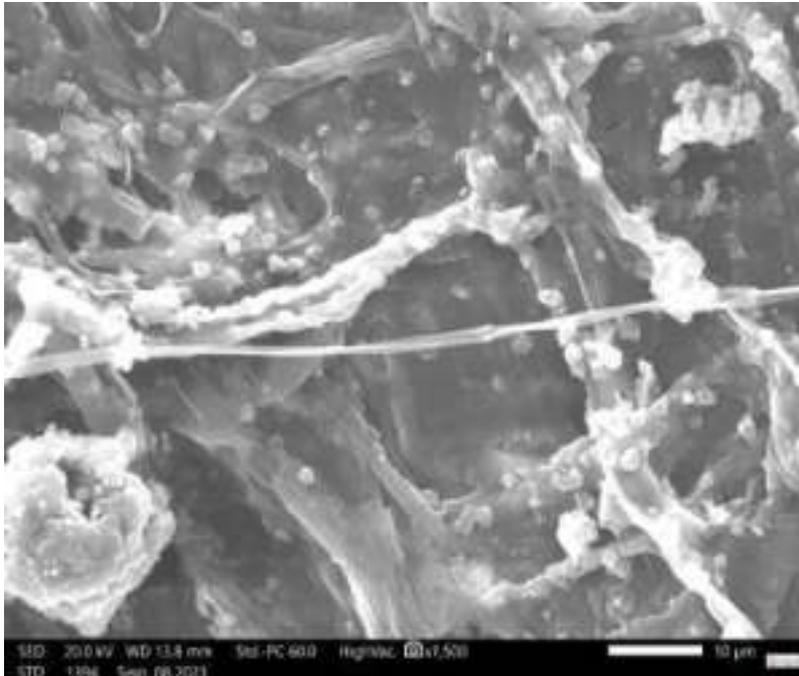
Figura 31

“Hallazgos” de partícula de diámetro 10 μm , presente en la muestra de lámina vegetal que será objeto de estudios posteriores debido que hasta el momento de la redacción no se encontró similitud con otros trabajos



Elaborado por: El autor, 2024

Continuando con la última muestra de *M. paradisiaca*, se analizó el Grupo **C1.1 (3262)** con origen de Vía a Daule en la ciudad de guayaquil correspondiente a la semana 3 de muestreo. Destacando en este análisis la formación y acumulación de los PM a una magnificación de 2 μm distancia donde se encuentran los PM más invasivos en el sistema respiratorio.

Figura 32***Magnificación de 2 μ m para apreciar la acumulación de PM*****Elaborado por: El autor, 2024****Figura 33*****Magnificación de 10 μ m y muestra de acumulación de PM en las fibras entrelazadas*****Elaborado por: El autor, 2024**

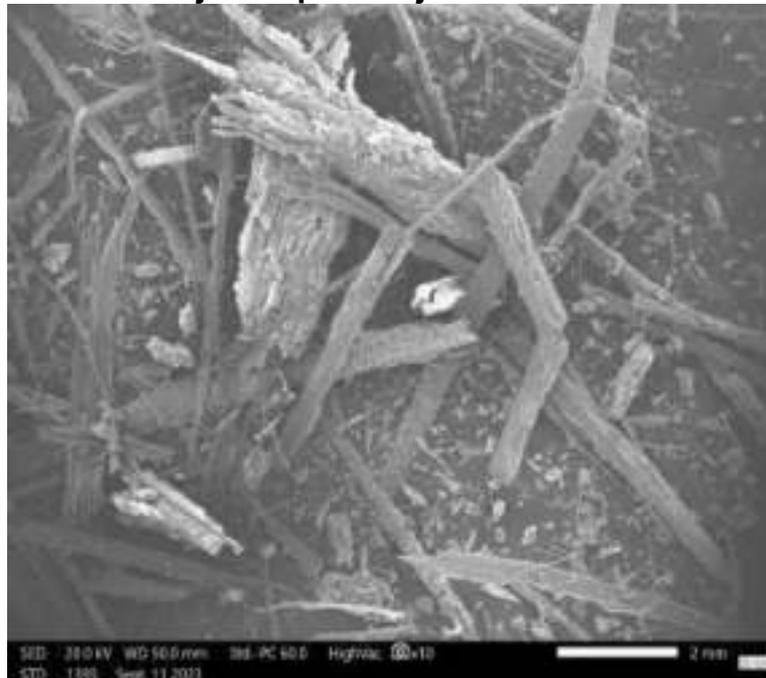
4.3.2 *Guadua angustifolia*

En igual forma, se analizó las muestras de *G. angustifolia*, comenzando por el Grupo **A1.2 (3259)** con origen de Vía a Daule en la ciudad de Guayaquil correspondiente a la semana 1 de muestreo. En esta ocasión mediante microfotografía se observa como la estructura de la lámina de este biofiltro están sobrepuestas una de otra y no entrelazadas como la *M. paradisiaca*.

Por esto, la lámina del presente material una vez que se rompe en proporciones pequeñas, su estructura comienza a deshacerse hasta solo quedar el material que pudo adherirse a la cinta de carbono.

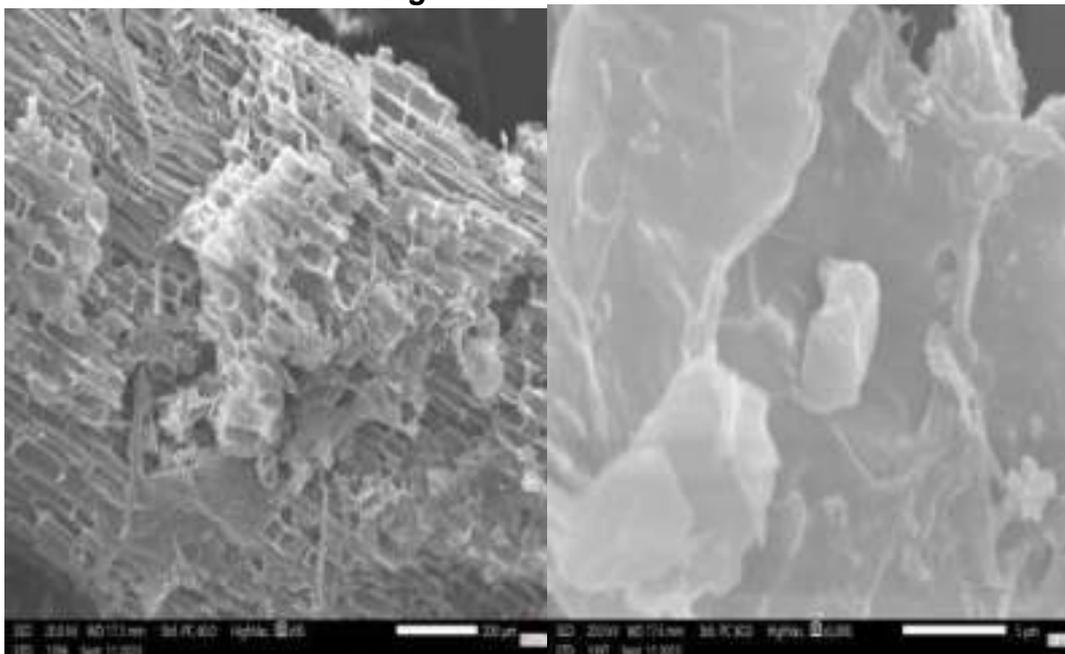
Figura 34

Se visualizan escombros de la lámina de *G. angustifolia*, ya que, la muestra debe entrar totalmente sujeta al portaobjeto en el SEM

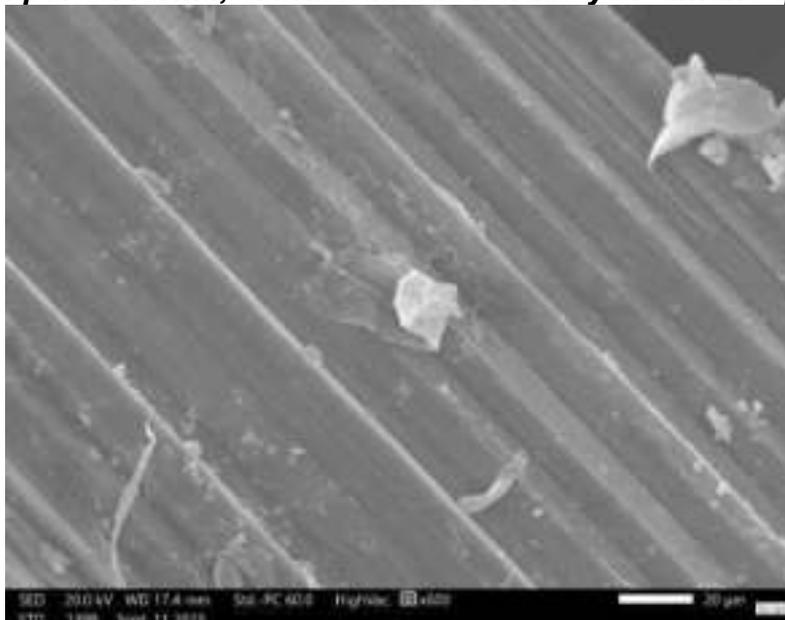


Elaborado por: El autor, 2024

También, se observó la estructura superficial de las fibras, como la *G. angustifolia* es madera tiene características de la mismas y se puede apreciar sus arrugas en cada astilla encontrada, esto le permite a la lámina del material poder retener el PM del ambiente.

Figura 35***Estructura de la fibra de *G. angustifolia* en formas de túneles inclinados*****Elaborado por: El autor, 2024**

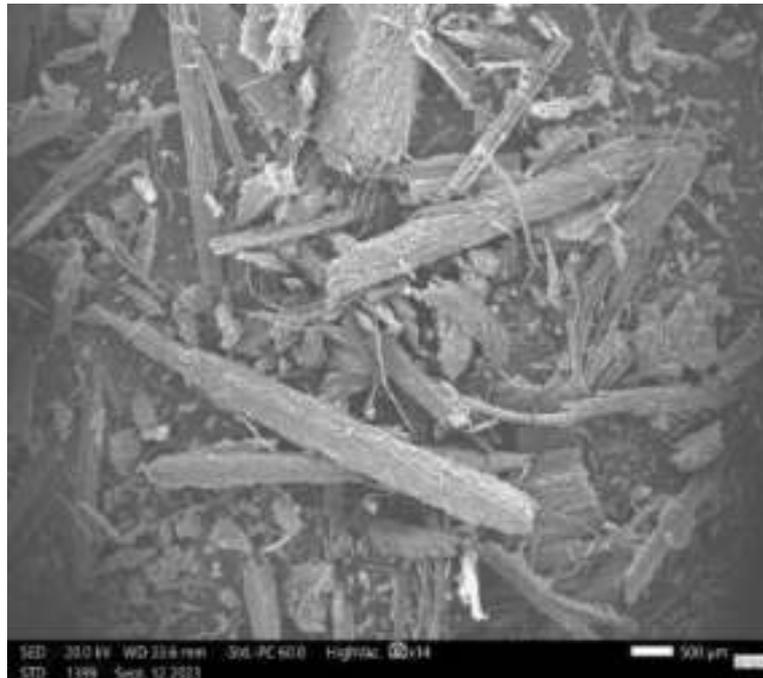
Cabe recalcar, que en el presente análisis como hallazgo adicional se evidenciaron PM el cual se considera perjudicial para la salud. Con las especificaciones de voltaje de 20KV a 20 μ m se obtuvo la siguiente imagen:

Figura 36***Se determina por su forma, el brillo de sus bordes y el tamaño que es un PM*****Elaborado por: El autor, 2024**

En esta ocasión, se analizó la muestra de *G. angustifolia* del Grupo **B1.2 (3261)** con origen de Vía a Daule en la ciudad de Guayaquil correspondiente a la

semana 2 de muestreo. Nuevamente aquí podemos capturar una imagen panorámica de las fibras del material en cuestión, cabe destacar, que todos los escombros observados fueron dispersados de la forma original de la lámina para tener mayor seguridad al momento de analizarlo en el SEM.

Figura 37
Microfotografía Electrónica de Barrido panorámica a 500 µm del material G. angustifolia



Elaborado por: El autor, 2024

En este análisis se pudo recaudar mucha información debido a las estructuras encontradas en estas fibras y su relación con otras, la misma que servirá para posteriores investigaciones debido a que hasta el momento de la redacción no se pudo encontrar información de dichas estructuras, sin embargo, por su morfología se puede concluir que se tratarían de microorganismos.

Figura 38

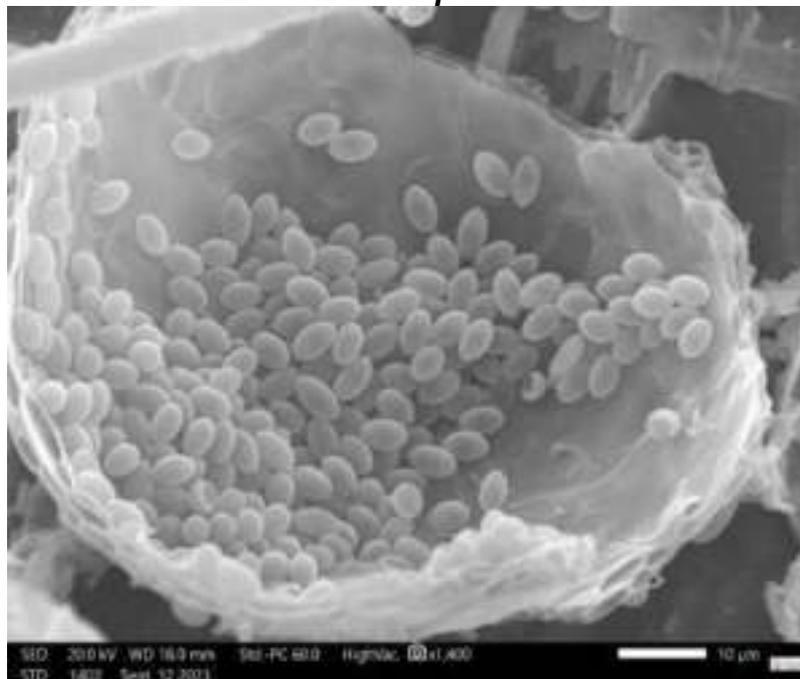
Dos estructuras encontradas a 50 μm de magnificación y 20 KV, se encontraron más estructuras dispersas por toda la muestra



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 39

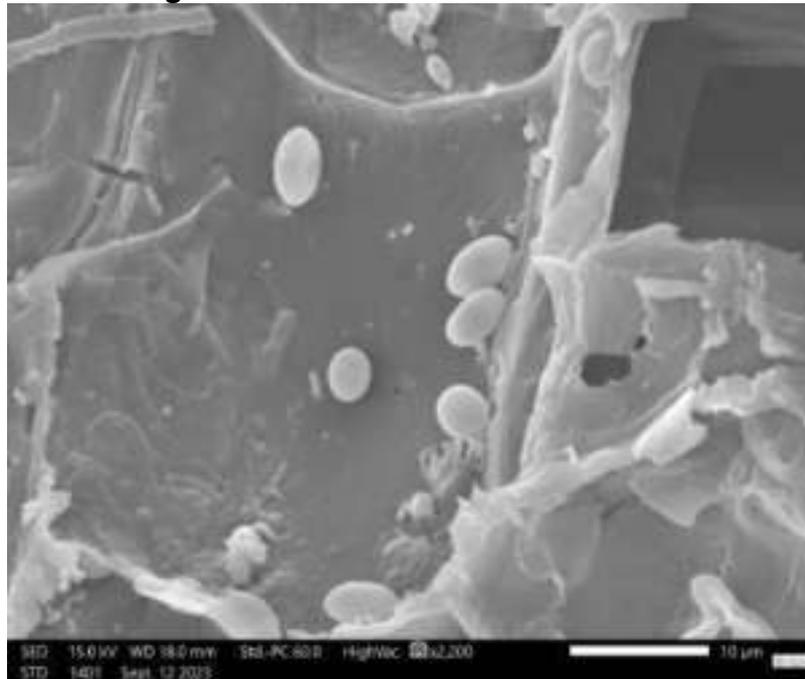
Con magnificación de 10 μm se pudo observar la mitad interna de la estructura tomando como referencia la que esta alado



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 40

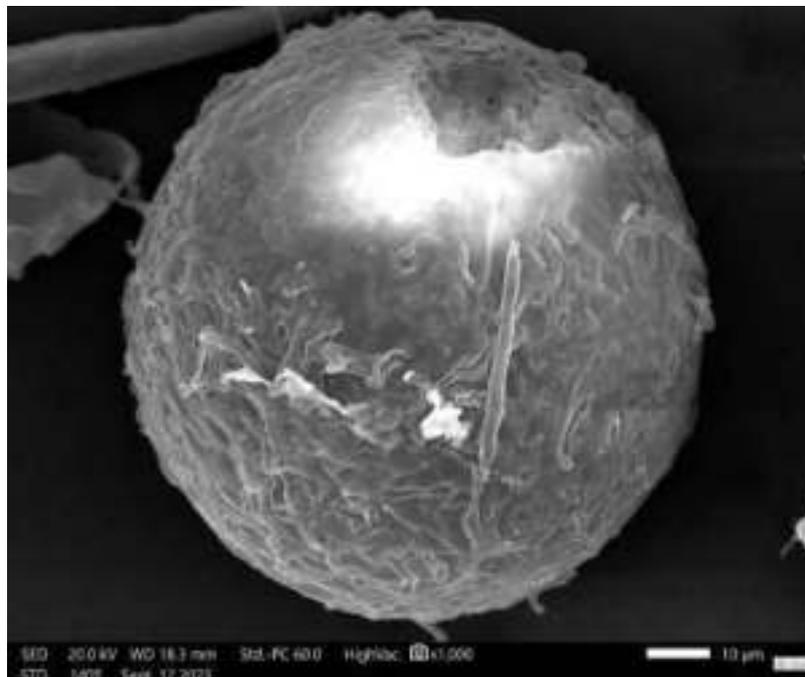
Se tienen hipótesis que estas estructuras sean esporas dispersas a lo largo de la muestra de *G. angustifolia*



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 41

En esta microfotografía se aprecia mejor la forma de esta supuesta espora y la "boca" que se ha formado



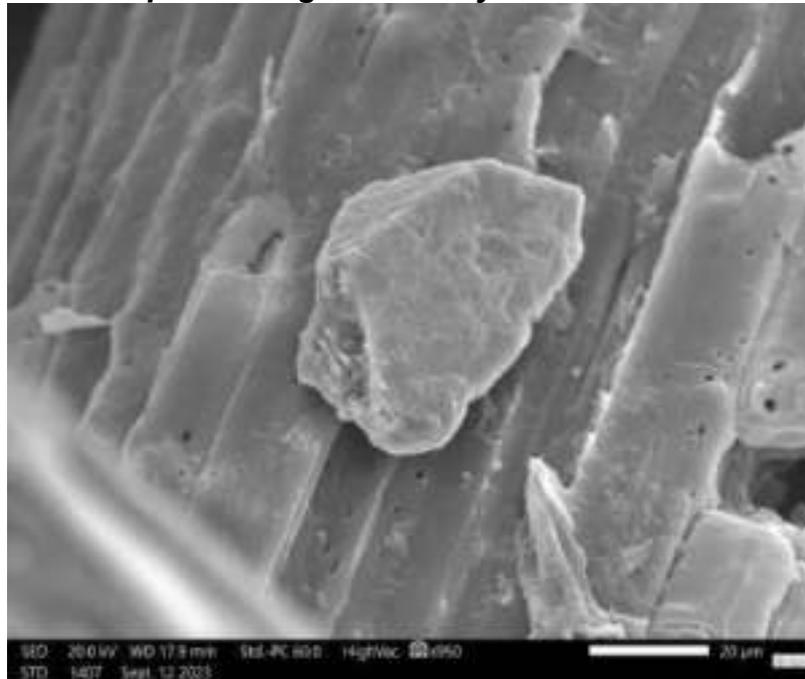
Elaborado por: El autor, 2024

Por otra parte, la presencia de PM no puede faltar, sin duda encontrar la presencia de este material adherido a la fibra en cuestión, verifica las hipótesis de

la tesis en desarrollo, así mismo, con los demás hallazgos se puede continuar los análisis y abrir nuevos temas de investigación.

Figura 42

Presencia de PM a 20 μ m de magnificación y 20KV

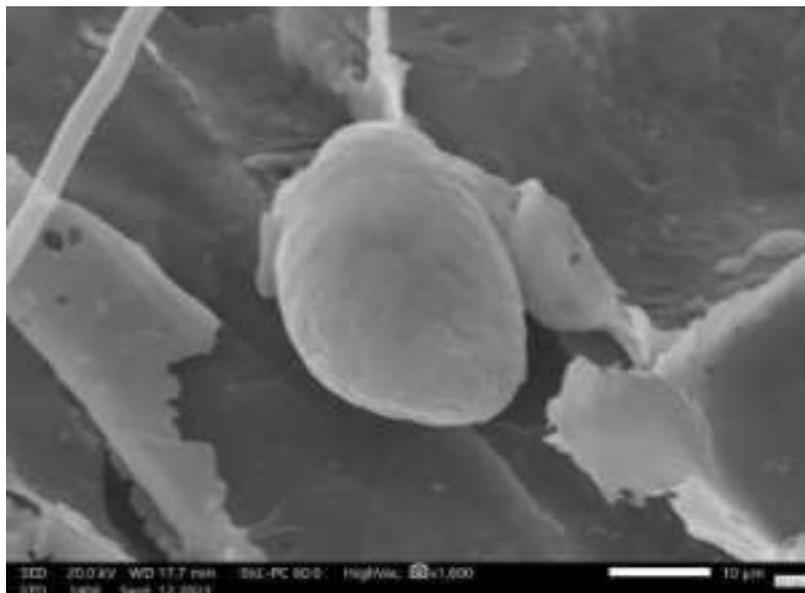


Elaborado por: El autor, 2024

Por último, en esta imagen encontramos la misma estructura anteriormente vista en la **Figura 31** esta formación aparentemente tiene una estructura más grande, por evidencia fotográfica se presume esto.

Figura 43

Hallazgo de la misma estructura de la Figura 31 en material de *G. angustifolia*

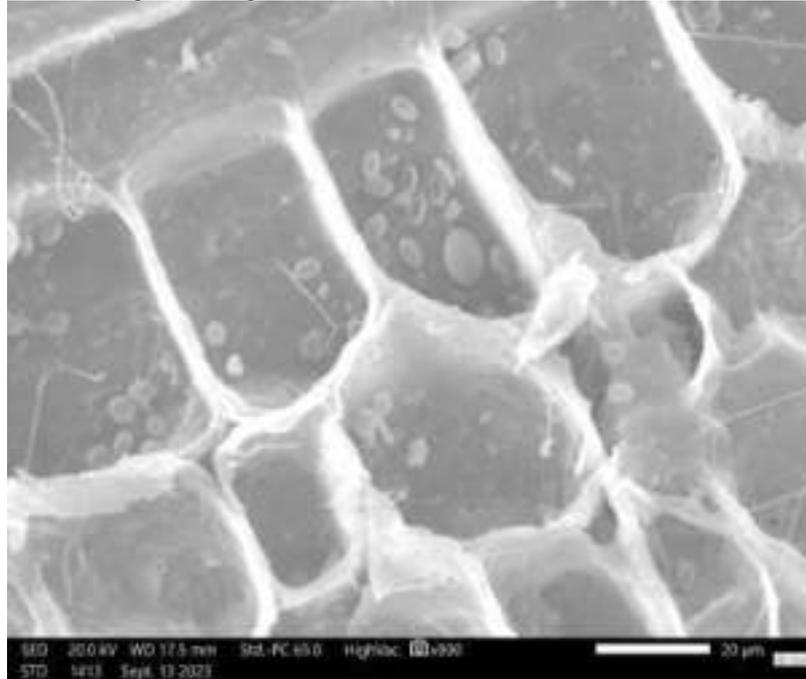


Elaborado por: El autor, 2024

Finalizando con los análisis se presentan las microfotografías de la muestra de *G. angustifolia* del Grupo **C1.2 (3263)** con origen de Vía a Daule en la ciudad de Guayaquil correspondiente a la semana 3 de muestreo. Aquí podemos capturar una imagen panorámica de las fibras del material en cuestión con magnificación más profunda de 20 μm .

Figura 44

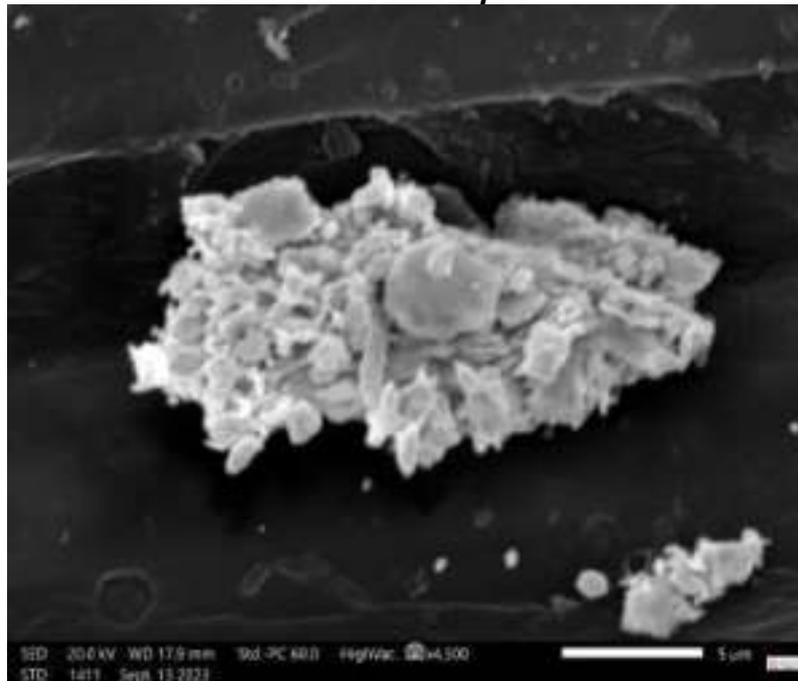
Con observación más profunda se puede también apreciar la acumulación de las presuntas "esporas" y ver la estructura convexa de la fibra



Elaborado por: El autor, 2024

Ahora bien, en la siguiente microfotografía se puede apreciar la acumulación de PM en un mismo conglomerado y la estructura que esta toma.

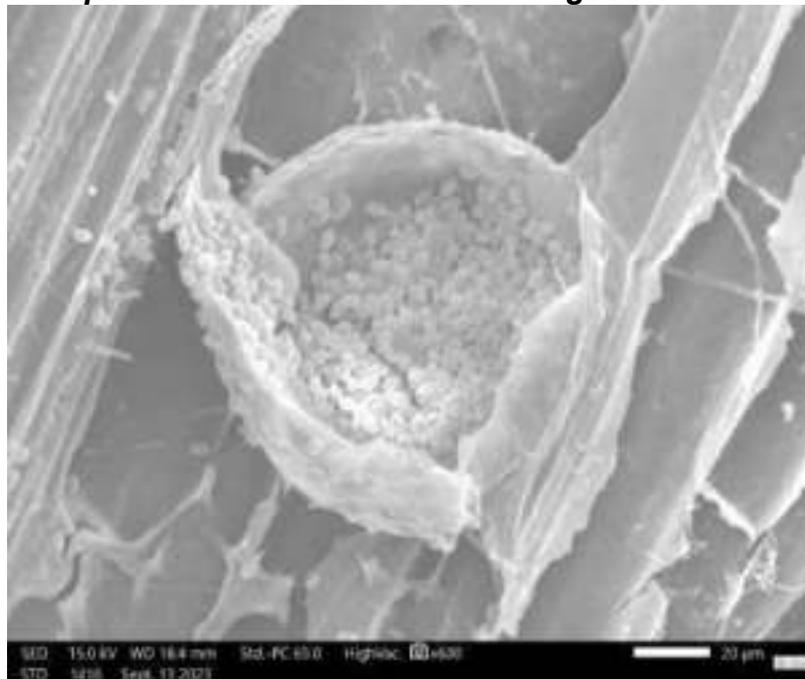
Figura 45
Conglomerado de PM en el mismo sitio a 5 µm



Elaborado por: El autor, 2024

Por último, se encontró con la misma estructura “esporas” en la muestra de esta lámina. En revisión bibliográfica para determinar su origen.

Figura 46
Presencia de "Espora" en muestra 3263 de G. angustifolia



Elaborado por: El autor, 2024

Todo el proceso y capturas de las imágenes anteriormente observadas fueron supervisada por la Dra. Linda Diaz Cevallos, MSc, gracias al trabajo que se

realizó se puede concluir que las fibras vegetales tanto de *Guadua angustifolia* y *Musa paradisiaca* pueden retener material particulado, pero la fibra *M. paradisiaca* es mejor al momento de transportarla y manipularla, a diferencia de la otra fibra que puede llegar a desmoronarse por secciones.

Figura 47

Supervisión por parte de la Dra. Linda Diaz Cevallos, MSc.



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 48

Acompañamiento Técnico por parte de la Dra. Linda Diaz Cevallos, MSc y el Técnico Carlos Cepeda



Elaborado por: El autor, 2024

4.3.3 Comparación de hallazgos

En primera instancia en el Apéndice N° 3, se realizó las comparaciones tanto en magnificación como en características de las fibras.

Posteriormente y a continuación se aprecian las comparaciones por hallazgos obtenidos.

Tabla 12

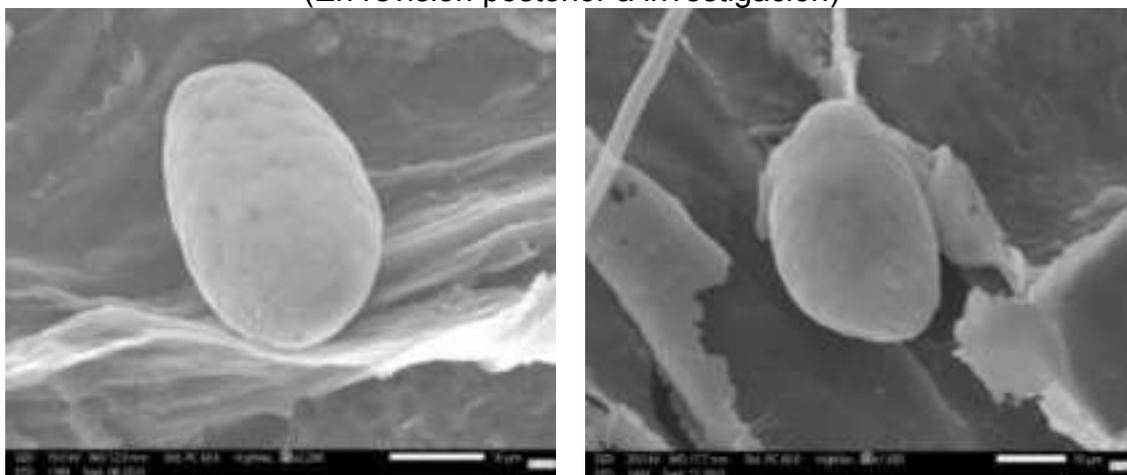
Comparación de hallazgos por Fibra Vegetal

Musa paradisiaca

Guadua angustifolia

Hallazgos a 10 μ m

(En revisión posterior a investigación)



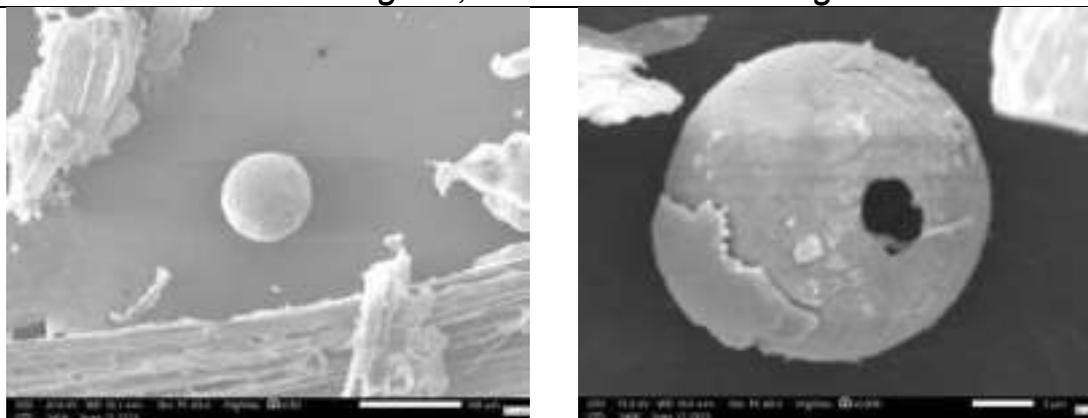
Elaborado por: El autor, 2024

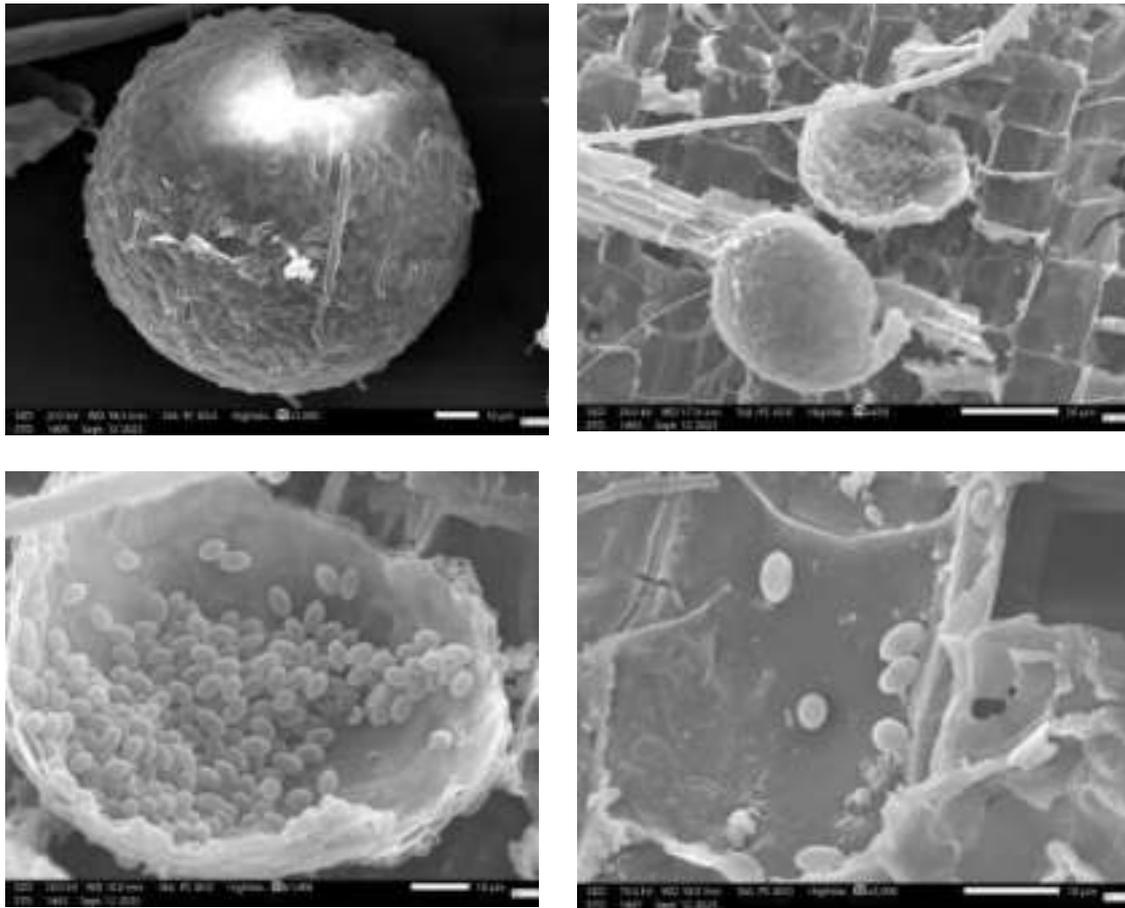
Tabla 13

Hallazgos en fibra de *Guadua angustifolia*

Guadua angustifolia

Esferas que presuntamente serian esporas encontradas en esta fibra vegetal, se desconoce su origen.





Elaborado por: El autor, 2024

En definitiva, se pudo observar mediante todas las evidencias que las láminas de fibra vegetal *Musa paradisiaca* y *Guadua angustifolia* fueron exitosamente funcionales para retener el Material Particulado del aire ambiente de las ubicaciones donde se encontraban, así mismo, este objetivo da un gran aporte a nuevas investigaciones y da un panorama más detallado del comportamiento de estas fibras a la tarea que se las ha sometido en el tiempo establecido.

También, es de extrema importancia resaltar, todos y cada uno de los hallazgos en estas fibras, su estructura y su capacidad de retener P.M.

A su vez, la contribución en beneficio de la Salud Pública mediante esta investigación colocaría una vez más a los P.M. en un tema de asunto ambiental y sanitario, y en nuevas soluciones como implementar materiales poco convencionales para limpiar el ambiente, con esto, se podrán plasmar sobre indagaciones científicas.

4.3.4 Modelo digital de mejoras del biofiltro

Por último, se detalla en esta sección, las mejoras del proyecto inicial como se lo mencionaba en el ítem “

Modelo digital de mejoras para el uso del biofiltro”.

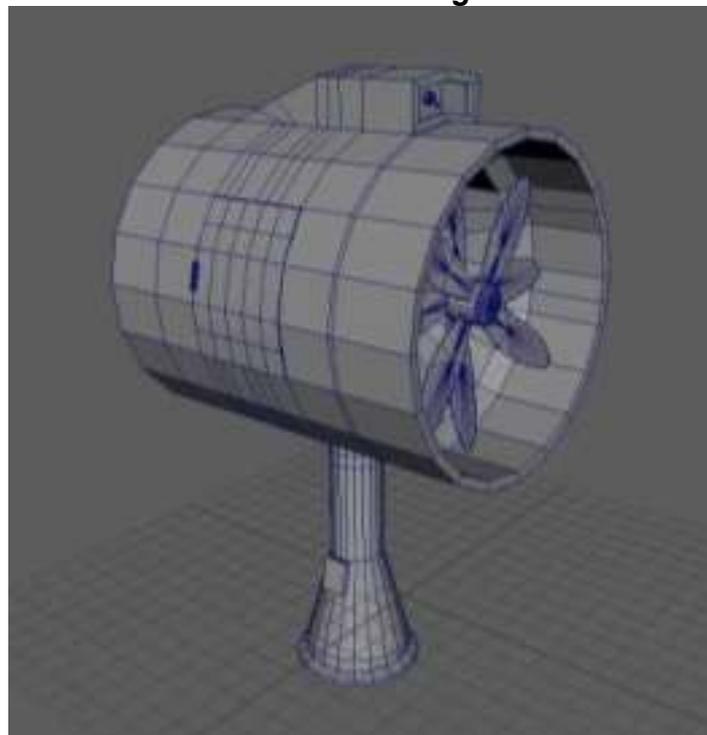
Una vez realizado, analizado, demostrado el funcionamiento y sus resultados en el campo ,de los biofiltros, las mejoras del proyecto se pueden presentar con las bases necesarias de su efectividad.

Por lo cual, se detalla a continuación un nuevo sistema de absorción de aire ambiente en conjunto con las láminas de fibra vegetales que se usaron en este proyecto para que su funcionamiento y objetivo esencial, mejore exponencialmente en el campo.

A este concepto de mejora del proyecto se le bautizo como “Turbina Purificadora”. Con este diseño se plantea nuevas posibilidades para que ciudades que tienen problemas con la contaminación específicamente de material particulado y otros puedan disminuir estos con la implementación de las “Turbinas Purificadoras”.

Figura 49

Turbina purificadora con láminas de fibra vegetal

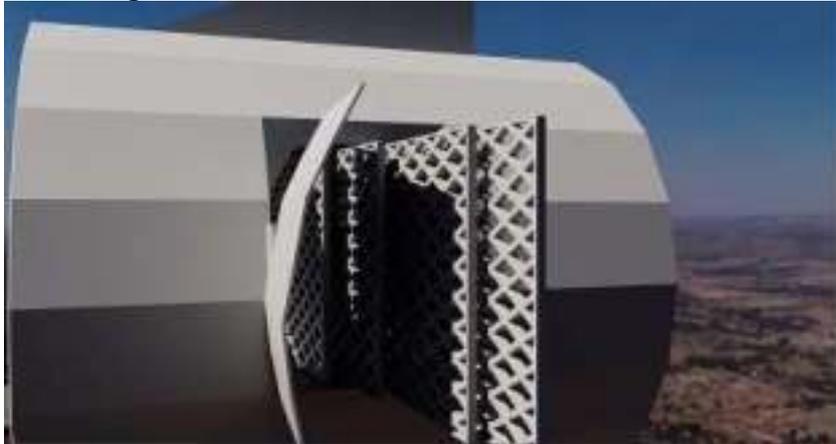


Elaborado por: El autor, 2024

En un principio se planteó que el sistema pueda tener una altura entre 4 a 5 metros, con esta característica podría brindar seguridad a la población y mantener su operatividad sin ningún factor que la detenga.

Figura 50

Parte posterior de "Turbinas Purificadoras", se observa en su interior las láminas de fibra vegetal

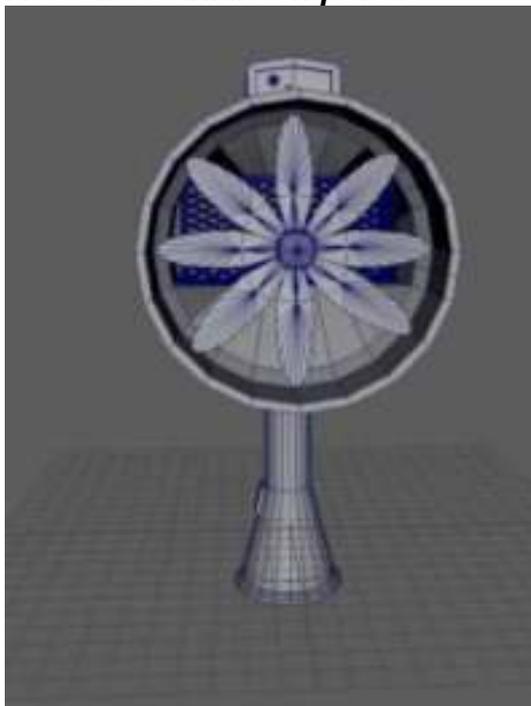


Elaborado por: El autor, 2024

Se pretende, que el sistema cuente con 3 cajas de fibras vegetales en las cuales puedan realizar el trabajo de retener el material particulado y así mismo estas puedan tener una larga duración dentro de la turbina. Cabe mencionar que las mismas serían ingresadas por una compuerta en el costado de la estructura.

Figura 51

Sistema que replica a los tubos axial con poleas

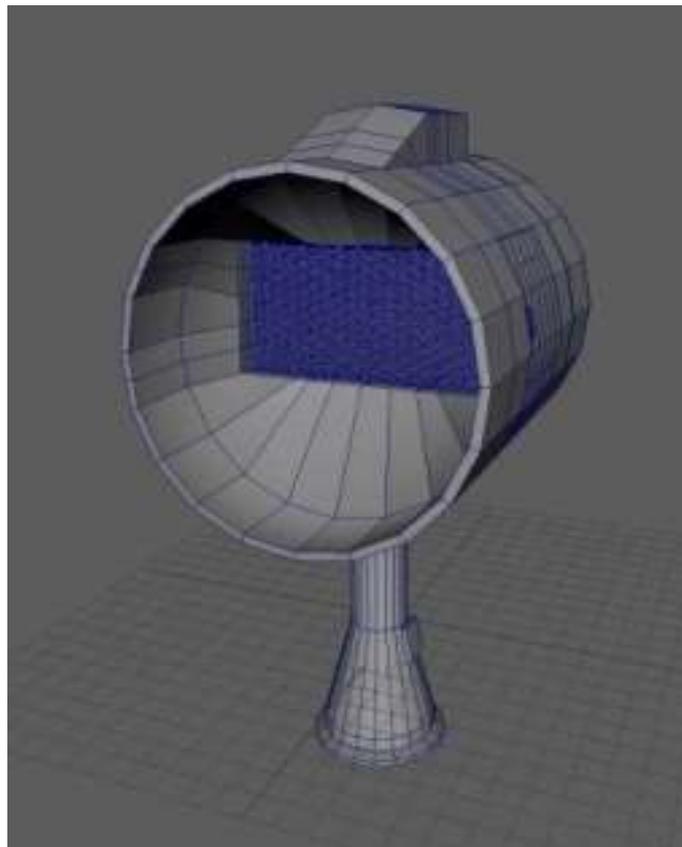


Elaborado por: El autor, 2024

Es necesario, especificar el funcionamiento y el porqué del diseño de tubo axial.

En primera instancia, se pensó de tal manera ya que al momento de absorber el aire ambiente este pueda ser atraído por las 8 aspas y dirigir el aire directo a las láminas, sin obstáculo alguno. De esta manera el motor eléctrico permanecería fuera de la estructura sin interferir con el funcionamiento o interrupción en el caudal del aire.

Figura 52
Motor externo



Elaborado por: El autor, 2024

Se estima que el sistema de filtración por láminas de fibras vegetales pueda filtrar aire con un caudal aproximado de 35.000 pies cúbicos por minuto, de esta manera muchas personas serian beneficiadas gracias al trabajo realizado por la o las turbinas en el caso de ser instaladas en diversos sectores de una misma ciudad, esto podría ser una alternativa viable para purificar el aire de las grandes ciudades o valles como en la sierra ecuatoriana en las cuales suele acumularse la contaminación en el aire y no pueda desplazarse.

Con respecto al acopio de las láminas de fibra vegetales posteriormente a su vida útil o tiempo de exposición dentro de la estructura, hay muchas

posibilidades para su acumulación, en este caso por ser un material que es realizado con aglutinante naturales y fibras vegetales no presenta un peligro para el ambiente y pueden ser depositados en huertos, compostaje o en fines más rápidos, el depósito en botaderos municipales.

Para ilustrar de una mejor manera el sistema de las “Turbinas Purificadoras” se realizó una animación en base a los diseños previamente presentados y se pueden apreciar en el siguiente enlace: [TURBINA FILTRADORA GABRIEL IVAN SOLORZANO CALDERON 2024.mp4 - Google Drive](#)

5 DISCUSIÓN

En base al primer punto, que fue la realización de cero de las láminas de fibra tanto de *M. paradisiaca* y *G. angustifolia* se pudieron observar las características que estos dos materiales mantenían al momento de someterlos a los diversos procesos de tratamiento, con respecto a *G. angustifolia* si bien se alcanzó el resultado esperado y que fue satisfactorio para la investigación, el material en sí mismo fue el que más dificultad dio para procesarlo a una lámina funcional, excluyendo, la delicadeza en su transportación y colocación en los biofiltros. Así mismo, el proceso de tratamientos utilizado, se le podrían sustituir o eliminar pasos en los cuales no se haya podido concretar grandes avances con este material, para futuras investigaciones. Ahora bien, con lo que respecta a las estructuras de los biofiltros fue muy satisfactorio el resultado, ya que, se buscaban dos cosas en este punto: economía y funcionalidad, está claro que, pueden existir materiales más económicos que el implementado en este proyecto, pero así mismo, lo que se busca es que pueda ser funcional durante el tiempo que se lo requiera en el campo para evitar contratiempos, en este caso el material de lata fue la mejor opción.

Tomando en referencia los trabajos de (INEN, 1976) y Maldonado y Manzano (2013), se pudo constatar las características tanto de *G. angustifolia* y *M. paradisiaca*, respectivamente, ya que, estos dos materiales tenían diversas estructuras y rigurosidad para tratarlas. Así mismo la delicadeza de transportación que estas necesitaban, también era un factor que es necesario aclarar, tomando en cuenta que se está tratando un material que es similar a la madera en el caso de la *G. angustifolia* y en el proyecto no se usó ningún componente químico que nos garantice un mejor resultado.

Al igual, es necesario tomar ejemplos como lo realizo (Ponce, 2021), en el cual se usaron materiales como vidrio, plástico y acero inoxidable. Claro está, que el costo de estos materiales varía de acuerdo a la cantidad a usar en el proyecto. Por eso, era necesario buscar la forma más económica de realizar las estructuras.

Significa, que mediante estos procedimientos se pudo garantizar la efectividad de la retención del material particulado en las fibras, en primer análisis por el aumento del peso en comparación con el inicial y en fibras puntuales el aumento significativo de este.

Al mismo tiempo, se comprobó mediante análisis estadísticos si existía relación entre las variables meteorológicas correspondientes al sector donde se habían colocado los biofiltros y el peso final. Se comprobó que los datos meteorológicos no mantenían una relación que implicara el aumento del peso en los biofiltros, pero, el material es un factor crítico que afecta los pesos finales, diferenciando significativamente los resultados. El tipo de material laminado (tipo) y la Ubicación no influyen de manera significativa o interactiva en los pesos finales. No hay efectos de interacción significativos, lo que sugiere que la influencia del material en los pesos finales es consistente en diferentes ubicaciones y tipos. Por lo cual el material de *G. angustifolia* es el que mantiene una relación de peso más alta que el de la segunda fibra *M. paradisiaca* el cual se mantiene 36.57 gramos menos, manteniendo constantes todas las demás variables.

De esta manera, podemos evidenciar que la hipótesis que se mencionaba en este proyecto “ la capacidad de retención de material particulado del biofiltro a base de *M. paradisiaca* es un 25% mayor que el biofiltro a base de *G. angustifolia*” es falsa, ya que el biofiltro que más obtuvo peso fue el de *G. angustifolia*.

Por otra parte, estos resultados obtenidos pudieron haber cambiado en cierta medida si se hubieran incluido más variables o a su vez un mayor tiempo de muestreo en campo, al igual, si se cambiara la época de instalación.

Por el contrario, Ponce (2021), mantenía una similitud en los días de monitoreo, pero en este caso solo se referencian las horas puntuales en que cada una de las variables aumentan, mas no una interacción de las mismas con la acumulación de Material Particulado.

Cabe destacar, el análisis realizado a las fibras vegetales con mayor aumento de peso, mediante Microscopia Electrónica de Scanning – Barrido en el INSPI, estas fueron sometidas al tratamiento específico para su observación. Por lo consiguiente, las fotografías capturadas en las fibras vegetales nos dieron valiosa información tanto de su estructura y enlace de fibras como el material particulado retenido en la misma. De igual forma, se encontraron diversos hallazgos en las fibras, los mismo que hasta la presente redacción no se pudieron encontrar similitudes en otros trabajos. Este análisis sirvió más que todo para dar bases sólidas y verificables de la retención del material particulado en las fibras vegetales utilizadas, así mismo, aporta significativamente a futuras investigaciones, tal como podría ser, una réplica con otras especies vegetales en conjunto con las analizadas

en este proyecto para determinar cuál sería mejor captadora de PM o si una combinación de estas dos especies en una misma lámina podría ser más eficiente para su procesamiento.

Por lo cual, el avance del proyecto para un futuro desarrollo y aun mejor funcionamiento es necesario. Es así que, se presenta el modelo conceptual de un sistema de absorción de aire ambiente para poder filtrar de forma más acelerada del contaminante de P. M en espacios como las ubicaciones en la cual se desarrolló este proyecto. El mismo que sería encargado de limpiar áreas mucho más extensas de una localidad en un menor tiempo posible, respetando los conceptos principales del proyecto y su objetivo. En este concepto se usa de igual manera los principios de los biofiltros, sin interacción directa que pueda obstaculizar el paso del aire hacia las láminas de fibra, además, la utilización de un motor axial eléctrico de 8 aspas para la absorción del aire hacia el interior del prototipo.

En el caso del trabajo realizado por Rodas (2020), se basan también en la utilización de material vegetal y con la diferencia de usar también materiales procesados en un diseño adaptable para su instalación en hogares.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En primera, la realización de láminas de fibras vegetales de *Musa paradisiaca* y *Guadua angustifolia*, realizadas desde cero y bajo experimentación, fue un éxito demostrando que usar materiales vegetales pueden tener un nuevo uso y sobre todo de gran importancia para la retención de PM.

Por otra parte, los análisis estadísticos de las variables meteorológicas y peso, verificaron que estas variables no tenían un mayor impacto en el aumento del peso final, no obstante, se pudo comprobar que el tipo de material *Guadua angustifolia* obtiene un peso total mayor de 36.57g en ubicaciones como Vía Daule, detallando que esta fibra vegetal pudo retener más peso al contrario de *Musa paradisiaca*, en promedio se logró determinar que la especie de *G. angustifolia* retiene 3.77g de MP a diferencia de *M. paradisiaca* con un 1.67g de MP.

Sobre todo, la anterior afirmación se comprobó mediante el análisis de laboratorio en el Microscopio Electrónica de Scanning – Barrido en el cual se pudo apreciar y fotografiar diversas formaciones afiladas, contrastadas y diferenciadas por distancia de 500 a 2 micrómetros del PM retenido en esta, también la interacción de las fibras vegetales y demostrando que *Musa paradisiaca* es mucho más compacta que la lámina de *Guadua angustifolia* esto por las fibras entrelazadas.

6.2 Recomendaciones

Las dos fibras vegetales implementadas en este proyecto, en base a sus características y propiedades se las podría someter a un nuevo tratamiento como unir estas dos en una misma lámina y detallar que tan efectiva puede ser para la retención de MP, ya que, se comprobó que las dos especies vegetales pueden retener MP.

Si bien, el tiempo de monitoreo en los puntos establecidos fueron de 30 días, este mismo proyecto puede ser replicado con un tiempo de exposición mayor. Con la finalidad de poder obtener otro tipo de resultados tanto en la parte estadística de relación variables – peso.

También, la observación de las fibras vegetales utilizadas por medio del Microscopio Electrónica de Scanning – Barrido aporta significativamente a la comunidad científica y debería ser más usado para temas relacionados con los PM

y tipo de caracterización de materiales, por que aporta confiabilidad y comprobación al proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Amable, I., Méndez Martínez, J., Bello Rodríguez, B., Benítez Fuentes, B., Escobar Blanco, L., y Zamora Monzón, R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *SciELO*, 39(5), 1. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000500017, ISSN: 1684-1824.
- Amano Konno,, Y., y Diaz Cevallos, L. (2015). *Introducción a la Microscopia Electrónica Principios – Aplicaciones* (tercera ed.). Guayaquil: s.e. <https://es.scribd.com/document/432863613/libro-microscopia-electronica-pdf>
- Arrata, K. A. (2014). *Utilización del raquis de banano como materia prima*. Utilización del raquis de banano como materia prima: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3875/1/UNACH-EC-ING-AMB-2017-0004.pdf>
- Ballester, L. (2019). Bases metodológicas de la investigación educativa. *ResearchGate*, 56. <http://arodi.yolasite.com/resources/BasesmetodologicasdelainvestigacioneducativaLIBROCOMPLETO2.pdf>
- Bambusa. (31 de enero de 2015). *Guadua angustifolia kunth*. <https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/bambu-guadua/>
- Castro, S. G. (12 de septiembre de 2018). *Repositorio Digital UCSG - Universidad Católica Santiago de Guayaquil*. Evaluación de niveles de ozono en el centro urbano de la ciudad de Guayaquil, para formular recomendaciones sobre el control de este contaminante.: <http://201.159.223.180/handle/3317/11238>

- Código Orgánico del Ambiente. (12 de Abril de 2017). En A. Nacional, *Código Orgánico del Ambiente* (pág. 15). Quito. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Código Orgánico Integral Penal. (2014). *SECCIÓN TERCERA Delitos contra los recursos naturales*. Quito. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/COIP_act_feb-2021.pdf
- Constitucion de la Republica del Ecuador. (2008). Título II Derechos Capítulo segundo-Derechos del buen vivir. En *Constitucion de la Republica del Ecuador* (pág. 24). Quito. <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Constitucion.pdf>
- Corvalan Rubilar, M., y Lopez Jimenez, D. M. (2016). *Metodología de ventilación auxiliar para desarrollos ciegos*. Universidad Tecnica Federico Santa Maria: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/40758/3560901063635.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz, M. F. (abril de 2019). *Efectos ambientales por las canteras ubicadas en la vía a la costa*. Retrieved 13 de octubre de 2021, from repositorio ug: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/40752/1/T-FIGUEROA%20CRUZ%20%20MONICA%20LUCIA.pdf>
- Dávalos Piloza, F. M., y Arévalo Suárez, S. A. (2019). *Evaluación de calidad del aire a través de PM_{2,5} y PM₁ de la ciudad de Guayaquil en período de lluvia y sequía*. DSpace ESPOL: <https://dspace.espol.edu.ec/retrieve/134070/DCD110093.pdf>
- Dezhao , L., Jiawei, L., Changwei, L., Yale, D., Zeqing, Z., Zhangying, Y., y Songming, Z. (19 de Febrero de 2018). Poly(butylene succinate)/bamboo

powder blends as solid-phase carbon source and biofilm carrier for denitrifying biofilters treating wastewater from recirculating aquaculture system. *nature*, <https://www.nature.com/articles/s41598-018-21702-5>.
<https://www.nature.com/articles/s41598-018-21702-5>

Egas, C., Naulin, P. I., y Préndez, M. (5 de Agosto de 2018). Contaminación Urbana por Material Particulado y su Efecto sobre las Características Morfo-Anatómicas de Cuatro Especies Arbóreas de Santiago de Chile. *SciELO*, 29. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400111>

ESRI. (2017). *Contaminación del aire en Guayaquil - Guayas*. <https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=e87782aef5fe4204ac4669ac44236a74#detail>

Gestión de Riesgo Cuenca. (6 de Septiembre de 2022). *Calidad del aire*. <https://www.cuenca.gob.ec/tema/gestion-de-riesgos>

GreenBelt. (2019). *GreenBelt*. ¿Cómo se obtiene la fibra de bambú?: <https://greenbeltcentury.com/home-de-fibras-bambu/el-bambu-2/el-tejido-de-fibra-de-bambu/>

Hernández, J. D., Espinosa Castro, J. F., Peñaloza Tarazona, M. E., Rodríguez, J. E., Chacón Rangel, J. G., Toloza Sierra, C. A., Arenas Torrado, M. K., Carrillo Sierra, S. M., y Bermudez Pirela, V. J. (2018). *Revista AVFT Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*. Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones: https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft_5_2018/25sobre_uso_adecuado_coeficiente.pdf

- IBM. (17 de Agosto de 2021). *Modelos estadístico*.
<https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=nodes-statistical-models>
- INEC. (2012). *INEC*. INEC: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- INEN. (1976). *guia de practica - 042*. BAMBU CAÑA GUADUA recomendaciones para el uso en la construccion:
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/GPE-42.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Asi es Guayaquil cifra a cifra*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Infografias-INEC/2012/asi_esGuayaquil_cifra_a_cifra.pdf
- Instituto Nacional de Investigación en Salud. (14 de Marzo de 2022). Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública-INSPI- Dr. Leopoldo Izquieta Pérez. Guayaquil, Guayas, Ecuador. ECUADOR FORTALECE SU CAPACIDAD TÉCNICA Y CIENTÍFICA CON LOS MICROSCOPIOS MÁS MODERNOS DE SUDAMÉRICA: <http://www.investigacionsalud.gob.ec/la-agencia-de-cooperacion-internacional-del-japon-jica-realiza-donacion-de-dos-microscopios-electronicos-al-instituto-nacional-de-investigacion-en-salud-publica-inspi-dr-leopoldo-izquie/>
- Lizama, B. E., Santoyo Ordoñez, E. L., Vazquez Moreno, F., Vazquez Arriaga, O., Luna Carbajal, P. C., y Arredondo Huitron, S. (16 de Febrero de 2016). *Degradación de Xileno y estireno en aire por medio de Biofiltración*.
https://www.researchgate.net/profile/Perla-Luna/publication/255633685_DEGRADACION_DE_XILENO_Y_ESTIRENO_EN_AIRE_POR_MEDIO_DE_BIOFILTRACION/links/56c3628608aee3d

cd4165422/DEGRADACION-DE-XILENO-Y-ESTIRENO-EN-AIRE-POR-MEDIO-DE-BIOFILTRACION.pdf

Longhurst, J., Capilla, C., Brebbia, C., y Barnes, J. (2015). Air Pollution XXIII. En J. Longhurst, C. Capilla, C. Brebbia, y J. Barnes, *Air Pollution XXIII* (págs. 295 - 297). Boston: WITPRESS. The CityTree: a vertical plant wall: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ldKrcQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA295&dq=city+tree+&ots=LDHorJ91mh&sig=Y9cPdAAoWs5guFDDnxk4XdnIlyM#v=onepage&q=city%20tree&f=false>

Maldonado, L. (2012). *Proceso Artesanal de extracción, manejo y secado de las fibras naturales de banano (Musa paradisiaca) en la parroquia El Retiro de la provincia de El Oro*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte: <http://revistas.ulvr.edu.ec/index.php/yachana/article/view/175/135>

Maldonado, L., y Manzano, P. (2013). Caracterización Físico- Químicas De La Fibras Obtenidas Del Pseudotallo De La Planta De Banano (Musa Paradisiaca), Procedente Del Canton El Guabo De La Provincia De El Oro. *YACHANA*, 18 -19. <https://doi.org/10.1234/yach.v2i1.190>

Martínez, E., y Díaz, P. (diciembre de 2014). Respirar aire contaminado es tan nocivo como fumar cigarrillo. *SciELO*. <https://doi.org/10.15446/rsap.v17n3.38428>

Martínez, L. (13 de Septiembre de 2018). *Determinación del tamaño de partícula mediante difracción de rayos X*. Repositorio Abierto de la Universidad de Cantabria: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15651/Martinez%20Goyeneche%20Lucia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Matamoros, R. A., y Ceballos, A. (2017). Errores conceptuales de estadística más comunes en publicaciones científicas. *redalyc.org*, 12(3), 211-229. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.12.3.4>
- Matus, P. (enero de 2017). *SciELO*. 145(1). <https://doi.org/10.4067/S0034-98872017000100001>
- MedlinePlus. (6 de Enero de 2022). *MedlinePlus*. Contaminacion del aire: <https://medlineplus.gov/spanish/airpollution.html>
- Ministerio del Ambiente. (4 de Noviembre de 2015). *Registro Oficial Edición Especial 387 de 04-nov.-2015*. Quito. NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISIÓN LIBRO VI ANEXO 4: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Minitab Statistical Software. (2022). *¿Qué es ANOVA?* <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/>
- Morales, P. (2011). *El coeficiente de correlación*. https://ice.unizar.es/sites/ice.unizar.es/files/users/leteo/materiales/01._documento_1_correlaciones.pdf
- Murillo, M. S. (2 de Febrero de 2018). Impacto de la contaminación atmosférica de dos principales ciudades del Ecuador. *SciELO*, 10(2), 1. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202018000200289&script=sci_arttext&tlng=en
- Ollé, J. (5 de Diciembre de 2019). *Conceptos claros*. ¿COMO ENTENDER Y APLICAR EL ANALISIS DE LA VARIANZA ANOVA?: <https://conceptosclaros.com/analisis-varianza-anova/>

Organización Mundial de la Salud. (2 de mayo de 2018). *Calidad del aire y salud.*

Datos y cifras: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Ponce, J. C. (2021). *1library*. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIOFILTRO COMO

ALTERNATIVA PARA MEDIR MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL BARRIO TERCER PISO-ESMERALDAS:

<https://1library.co/document/ydk1r11q-universidad-agraria-ecuador-facultad-ciencias-agrarias-ingenier%C3%ADa-ambiental.html>

Quintero, L., y Acosta, M. (Junio de 2021). *GRAFIMPAC S.A.* Estudio de Impacto

Ambiental: <https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/Participacion%20Social/2022%20EIA%20Grafimpac%20S.A.%20C.pdf>

Red Internacional de Bambu y Ratan. (abril de 2015). *Estudio de la cadena desde*

la producción al consumo de Bambú en Ecuador con énfasis en la especie Guadua angustifolia. Cortar el bambú en etapa de madurez:

<https://bambuecuador.files.wordpress.com/2018/01/2015-estudio-de-la-cadena-desde-la-produccioc81n-al-consumo-del-bmabucc81-en-ecuador.pdf>

Rodas, D. L. (2020). *Repository UGC*. Sistema de biofiltro con materiales orgánicos

para restablecer la calidad del aire interior: <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5686>

Rodriguez, H. R. (16 de noviembre de 2018). *Monitoreo de calidad del aire y su uso*

en la toma de decisiones en salud. Organización Mundial de la Salud: http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/DISE/RRIA_2018_presentaciones/4.3%20RIOJAS%20nov.pdf

- Shi, M., Gimenez, y del Carmen, M. (2018). *EVALUACION DE LA CONTAMINACION DE LAS PARTICULAS EN SUSPENSION EN CHINA*.
http://oa.upm.es/52064/1/TFG_2017_Shi_Minmin.pdf
- Sisal Tejidos Yucatán. (2020). *Biofibras para tejer un futuro sostenible*. <https://sisal-tejidos.com/por-que-biofibras/>
- Universidad del Azuay. (6 de Septiembre de 2022). *Índice de la calidad del aire*. EN TIEMPO REAL: <https://ierse.uazuay.edu.ec/>
- Vasiliev, V., y Morozov, E. (2018). Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures. *ScienceDirect, 018*. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04497-2>
- Xlstat. (2018). *Xlstat*. Análisis de componentes principales (ACP): <https://www.xlstat.com/es/soluciones/funciones/analisis-de-componentes-principales-acp>

ANEXOS

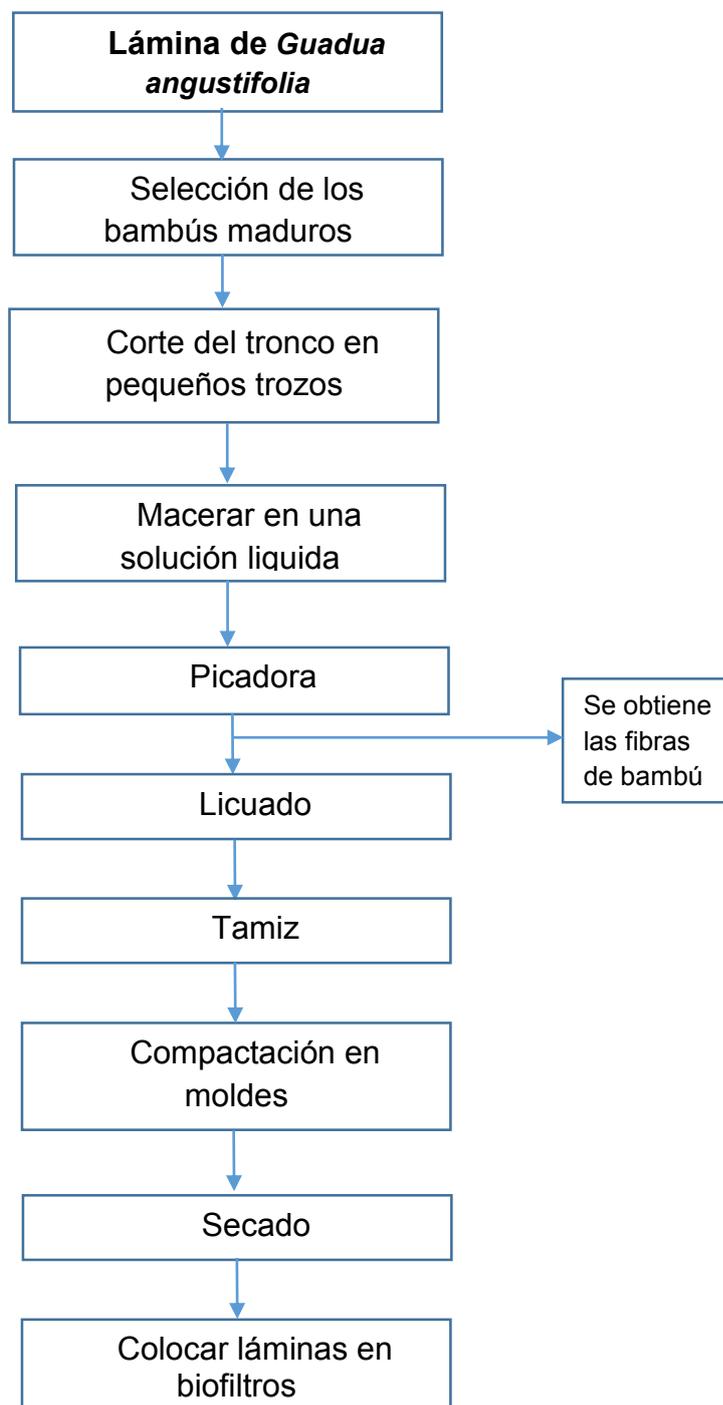
Anexo N° 1

Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire

CONTAMINANTE Y PERÍODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas	15 000	30 000	40 000
Oxidantes Fotoquímicos, expresados como ozono. Concentración promedio en una hora	300	600	800
Óxidos de Nitrógeno, como NO ₂ Concentración promedio en una hora	1 200	2 300	3 000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas	800	1 600	2 100
Material Particulado PM ₁₀ Concentración en veinticuatro horas	250	400	500
Material Particulado Pm _{2.5} Concentración en veinticuatro horas	150	250	350

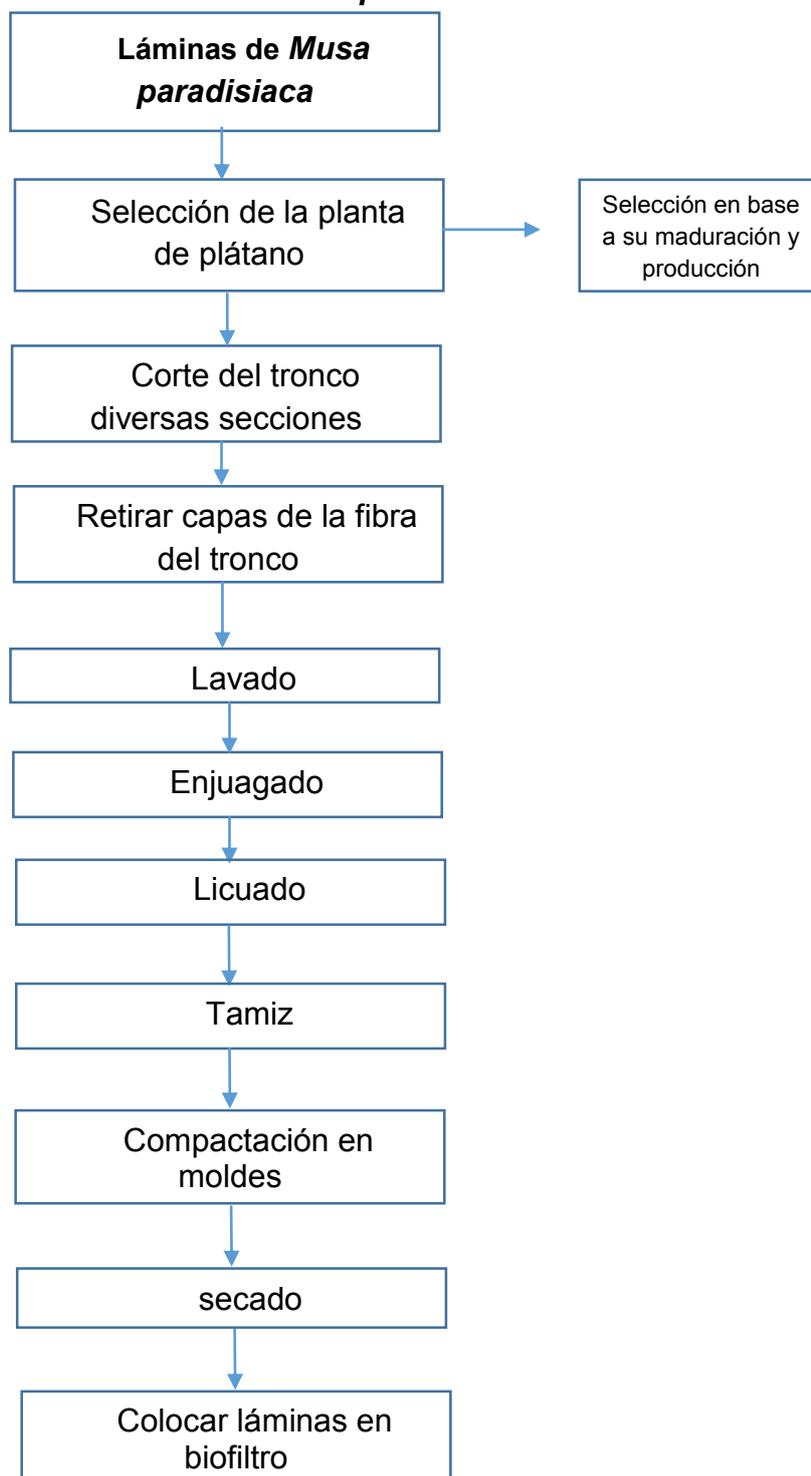
Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

Figura 53
Diagrama de elaboración de láminas de *Guadua angustifolia*



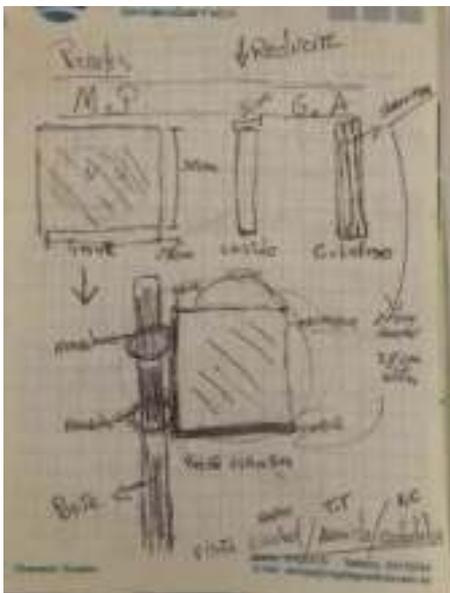
Fuente: (GreenBelt, 2019)

Figura 54
Diagrama de elaboración de Biofiltro de *Musa paradisiaca*



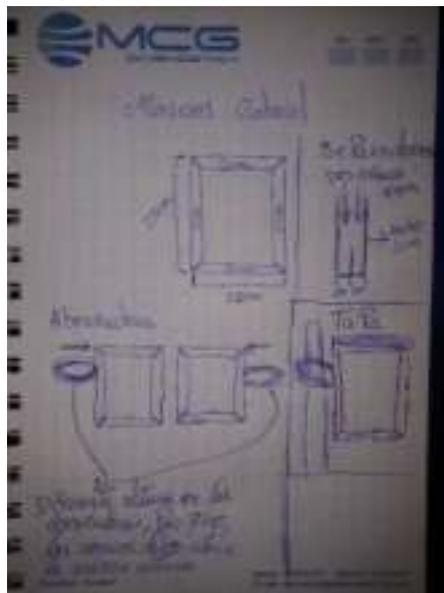
Fuente: (Maldonado, 2012)

Figura 55
Primer diseño de las estructuras
 en este caso se planteaba hacerlas
 de aluminio



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 56
Diseño final de estructuras de lata,
 se tomó en consideración medidas
 más reducidas



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 57
Reserva del material de
G.angustifolia



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 58
Proceso de corte con maquinaria
 respetando la seguridad del
 investigador



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 59
Obtención de los chips y polvo de bambú para posterior Macerado.



Figura 60
Los chips de bambú fueron depositados en un tanque con agua hasta el punto de ser cubierto todo el material



Elaborado por: El autor, 2024
Figura 61
En conjunto al técnico responsable en Fabrica MADE se trituro alrededor de 30 kg de material vegetal.



Elaborado por: El autor, 2024

Elaborado por: El autor, 2024
Figura 62
Finalizado el triturado se obtuvieron las fibras de bambú como se había planteado.



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 63
Tesista con sacos de material vegetal de *G. angustifolia*



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 64
Primer proceso de licuado del material *G. angustifolia*



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 65
Se separan los trozos completos que la trituradora no pudo romper y solo nos quedamos con las fibras sueltas



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 66
En el primer proceso de licuado se pudo obtener 432g de material de bambú para la realización de las láminas



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 67
Disolución de melaza en un litro de agua



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 68
Arriba, Marco sin malla para ser usado como molde y abajo, marco con malla metálica



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 69
Prensa para secado más rápido y compactación más eficiente de los materiales de fibra.



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 70
*Se hizo la primera lámina de fibra vegetal de *G. angustifolia*, a la cual se le aplicó peso para que sea lo más delgada y uniforme posible*



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 71
Selección del tallo de *M. paradisiaca* el cual ya era productivo y viable para cortar.



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 72
Cortes de 30 cm del tallo para su posterior tratamiento de limpieza y licuado.



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 73
Materiales para correcto manejo de licuado



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 74
Primer proceso en el cual se obtuvo 978g de material de *M. paradisiaca*, mencionar que no es el total de material obtenido.



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 75
Se introduce el tamiz a la tina para recoger la mayor cantidad de fibra y esta distribuirla a lo largo de la malla



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 76
Láminas tamizadas sobre tela para su secado a luz del sol



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 77
Permiso para la instalación de biofiltros otorgado por la Alcaldía de Guayaquil



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 78
Acompañamiento de representantes de CNEL EP en inspección de los postes de Vía a la costa y Vía a Daule.



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 79

Herramientas necesarias para la instalación de los biofiltros



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 80

Fibra de *G. angustifolia* quemado después de una hora y 18 minutos en temperatura en un horno de cocina



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 81***Registro en bitácora del peso inicial y número de lámina*****Elaborado por: El autor, 2024****Figura 82*****Instalación de los dos primeros Biofiltros en el parterre central de Vía a Daule*****Elaborado por: El autor, 2024**

Figura 83
Biofiltros de Vía a Daule colocados



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 84
Biofiltros de Vía a la Costa instalados



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 85

En la parte posterior se logra apreciar el IDE Business School



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 86

Biofiltros sujetos a poste de la regeneración urbana de la Ciudad de Guayaquil



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 87

Primer cambio de láminas en el punto Vía a la Costa, en la tapa del Biofiltro se aprecia residuo de polvo



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 88

36 láminas de fibra vegetal separadas y organizadas para su respectivo pesaje y almacenamiento



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 89

Acompañamiento de pesaje en los laboratorios de la Universidad Agraria del Ecuador por parte del Tutor Cristian Lara



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 90

Letreros de aviso de area de Microscopía Electrónica de Barrido



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 91

Mesa de trabajo, separación de láminas de fibra vegetal para su tratamiento



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 92

Primera muestra de fibra vegetal a analizar Musa paradisiaca ,3258 – A1.1



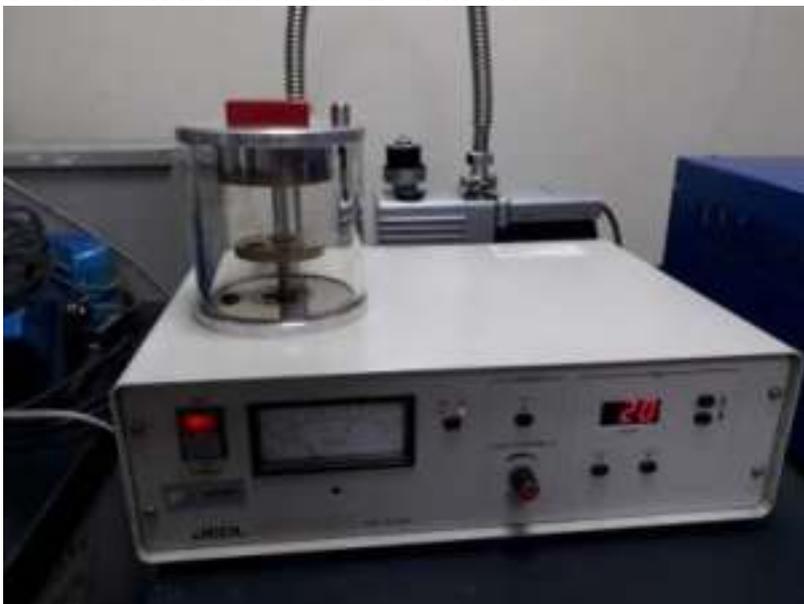
Elaborado por: El autor, 2024

Figura 93
Proceso de recubrimiento de material pesado - oro



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 94
Recubridora de Oro con la muestra en su interior



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 95
Bomba de presión de la recubridora de Oro



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 96
Luz morada: indicador de que el recubrimiento de 20 segundos está en proceso



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 97***Muestra recubierta de Oro para su mejor contraste en el análisis de SEM***

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 98***Microscopio Electrónico de Scanning - Barrido (INSPI)***

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 99
Ingreso del Holder (porta muestra) al interior del SEM



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 100
Inicio de actividades en el software del SEM y encendido del filamento de tungsteno



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 101
Selección del área de la muestra para su magnificación



Elaborado por: El autor, 2024

Figura 102
Tesista Investigador presente en cada uno de los análisis de las 6 muestras de fibra vegetal



Elaborado por: El autor, 2024

APÉNDICES

Apéndice N° 1

Ubicación, fecha y características de los biofiltros

MES	SEMANAS	UBICACIÓN	PUNTO	FILTRO	FECHA DE PESO INSTALACIÓN	PESO 1 (g)		FECHA DE PESO DE RETIRO	PESO 2 (g)	
						G.a ¹	M.p ²		G.a	M.p
1	1	CENTRO	1	1	viernes, 26 de mayo de 2023	21.50	6.64	lunes, 5 de junio de 2023	25.47	10.30
				2		24.84	7.60		24.26	8.13
		VÍA DAULE	2	1		28.67	6.49		35.10	7.61
				2		27.47	6.18		28.13	7.87
		VÍA A LA COSTA	3	1		29.79	7.21		29.30	7.96
				2		34.15	6.25		29.05	8.91
	2	CENTRO	1	1	Lunes, 5 de junio de 2023	62.67	8.40	jueves, 15 de junio de 2023	51.77	9.14
				2		57.34	7.88		49.82	8.56
		VÍA DAULE	2	1		83.14	9.34		53.03	10.22
				2		67.26	8.78		70.93	10.90
		VÍA A LA COSTA	3	1		30.40	6.78		28.19	7.69
				2		31.75	6.56		28.70	6.86
3	CENTRO	1	1	Jueves, 15 de junio de 2023	52.88	6.03	sábado, 24 de junio de 2023	56.75	6.52	
			2		57.82	5.09		58.54	5.92	
	VÍA DAULE	2	1		55.06	4.42		62.31	6.49	
			2		54.26	4.85		58.36	12.16	
	VÍA A LA COSTA	3	1		52.22	5.24		57.70	6.40	
			2		54.30	7.50		55.80	9.60	

Elaborado por: El autor, 2024

¹ G.a: *Guadua angustifolia*² M.p: *Musa paradisiaca*

Apéndice N° 2

Organización de datos Pesos - Variables para su análisis

week	location	material	type	initial _w	final _w	temp	ws	w d	rh	p	prec
1	centro	G.a	1	21.50	25,4 7	25.92	2.2	S O	87.7 4	1008.7	193.74
1	centro	G.a	2	24.84	24.2 6	25.92	2.2	S O	87.7 4	1008.7	193.74
1	centro	M.p	1	6.64	10.3 0	25.92	2.2	S O	87.7 4	1008.7	193.74
1	centro	M.p	2	7.60	8.13	25.92	2.2	S O	87.7 4	1008.7	193.74
1	vía Daule	G.a	1	28.67	35.1 0	26.64	177.5	S	88.6 5	1017.3	0
1	vía Daule	G.a	2	27.47	28.1 3	26.64	177.5	S	88.6 5	1017.3	0
1	vía Daule	M.p	1	6.49	7.61	26.64	177.5	S	88.6 5	1017.3	0
1	vía Daule	M.p	2	6.18	7.87	26.64	177.5	S	88.6 5	1017.3	0
1	vía a la Costa	G.a	1	29.79	29.3 0	28.3	1.6	S O	69.2	1010.5	2.756
1	vía a la Costa	G.a	2	34.15	29.0 5	28.3	1.6	S O	69.2	1010.5	2.756
1	vía a la Costa	M.p	1	7.21	7.96	28.3	1.6	S O	69.2	1010.5	2.756
1	vía a la Costa	M.p	2	6.25	8.91	28.3	1.6	S O	69.2	1010.5	2.756

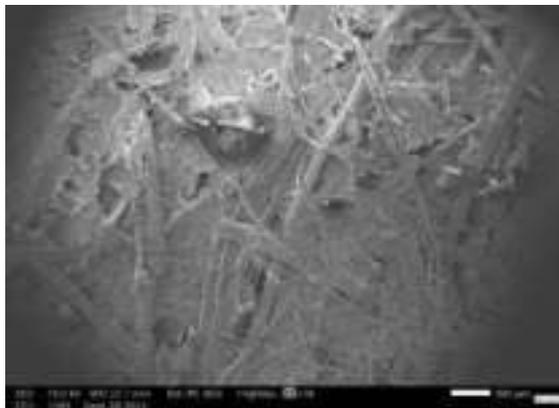
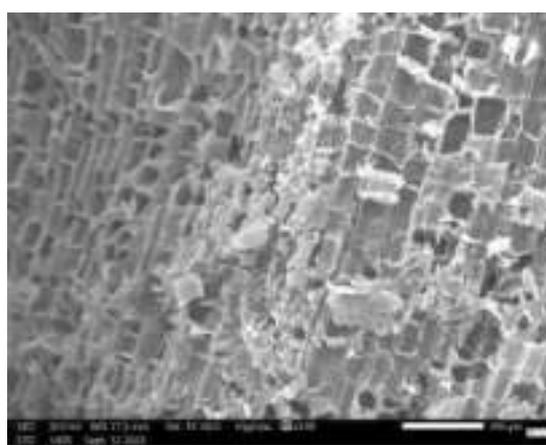
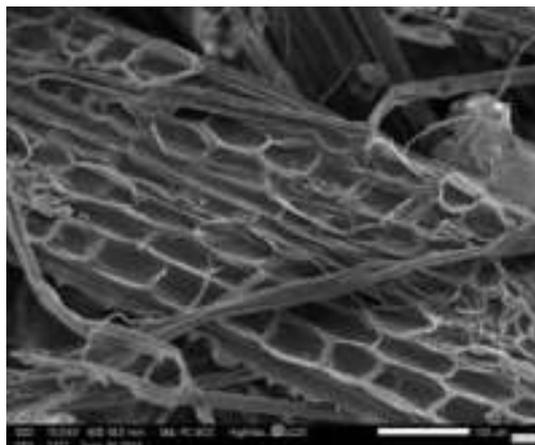
week	location	material	type	initial _w	final _w	temp	ws	w d	rh	p	prec
2	centro	G.a	1	62.67	51.7 7	25.82	2.43	S O	87.7 2	1009.8	137.49
2	centro	G.a	2	57.34	49.8 2	25.82	2.43	S O	87.7 2	1009.8	137.49
2	centro	M.p	1	8.40	9.14	25.82	2.43	S O	87.7 2	1009.8	137.49
2	centro	M.p	2	7.88	8.56	25.82	2.43	S O	87.7 2	1009.8	137.49
2	vía Daule	G.a	1	83.14	53.0 3	26.36	174	O	89.3 4	1018	0
2	vía Daule	G.a	2	67.26	70.9 3	26.36	174	O	89.3 4	1018	0
2	vía Daule	M.p	1	9.34	10.2 2	26.36	174	O	89.3 4	1018	0
2	vía Daule	M.p	2	8.78	10.9 0	26.36	174	O	89.3 4	1018	0
2	vía a la Costa	G.a	1	30.40	28.1 9	28	1.6	S O	68.4	1011	88.622
2	vía a la Costa	G.a	2	31.75	28.7 0	28	1.6	S O	68.4	1011	88.622
2	vía a la Costa	M.p	1	6.78	7.69	28	1.6	S O	68.4	1011	88.622
2	vía a la Costa	M.p	2	6.56	6.86	28	1.6	S O	68.4	1011	88.622
3	centro	G.a	1	52.88	56.7 5	26.02	2.19	S O	85.0 5	1002.6	48.58

week	location	material	type	initial _w	final _w	temp	ws	w d	rh	p	prec
3	centro	G.a	2	57.82	58.5 4	26.02	2.19	S O	85.0 5	1002.6	48.58
3	centro	M.p	1	6.03	6.52	26.02	2.19	S O	85.0 5	1002.6	48.58
3	centro	M.p	2	5.09	5.92	26.02	2.19	S O	85.0 5	1002.6	48.58
3	vía Daule	G.a	1	55.06	62.3 1	26.02	203.6	S	86.1 9	1016.5	0
3	vía Daule	G.a	2	54.26	58.3 6	26.02	203.6	S	86.1 9	1016.5	0
3	vía Daule	M.p	1	4.42	6.49	26.02	203.6	S	86.1 9	1016.5	0
3	vía Daule	M.p	2	4.85	12.1 6	26.02	203.6	S	86.1 9	1016.5	0
3	vía a la Costa	G.a	1	52.22	57.7 0	27.5	1.8	S O	65.2	1009.8	0.014
3	vía a la Costa	G.a	2	54.30	55.8 0	27.5	1.8	S O	65.2	1009.8	0.014

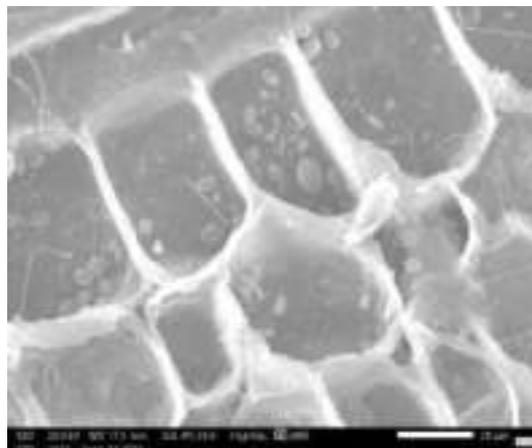
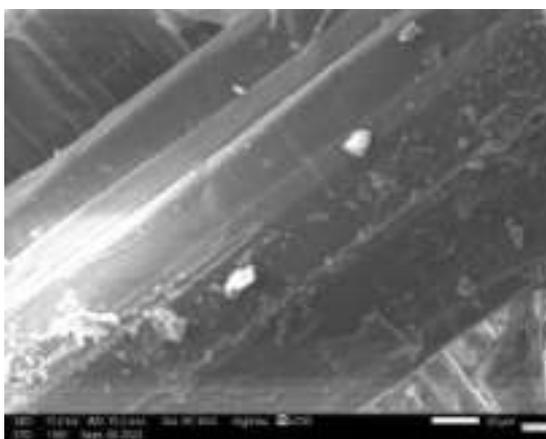
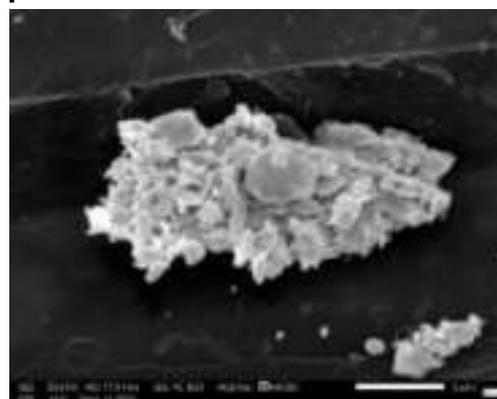
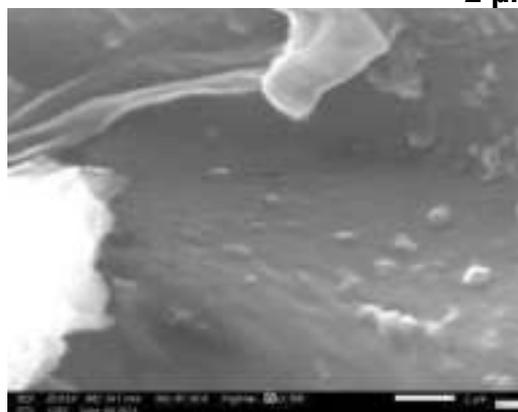
Elaborado por: El autor, 2024

Apéndice N° 3

Comparación por magnificación de las Fibras Vegetales

*Musa paradisiaca**Guadua angustifolia*Magnificación a 500 μm Magnificación a 100 μm Magnificación a 50 μm 

*Musa paradisiaca**Guadua angustifolia*

Magnificación a 20 μm Magnificación a 10 μm Magnificación a
2 μm - 5 μm 

Elaborado por: El autor, 2024