

CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA DE LA FIBRA DE FIQUE (*Furcraea andina*)
PARA USO EN OBRAS DE BIOINGENIERIA

MARTHA DAYANNA CAMARGO LÓPEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2022

CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA DE LA FIBRA DE FIQUE PARA USO EN
OBRAS DE BIOINGENIERIA

Trabajo de Investigación como requisito parcial
para optar al título de ingeniero civil

MARTHA DAYANNA CAMARGO LÓPEZ

Director: (c) PhD. Juan Ricardo Pérez Cuervo

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2022

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Al PhD. Juan Ricardo Pérez Cuervo quien con su amabilidad y paciencia brindó su apoyo como director y experiencia para culminar este proyecto. A los docentes de pregrados por enfundar diversos conocimientos a lo largo de la carrera.

Y la universidad Santo Tomás Seccional Tunja por apoyar el emprendimiento investigativo y a la unidad de investigación por el financiamiento recibido.

A mi hermano Jhoan Miguel Camargo por tener la paciencia y dedicación para solucionar dudas en conocimiento de botánica y química.

Al Instituto para la investigación y la innovación en ciencia y tecnología de los materiales y al grupo de investigación Catálisis-GC de la UPTC.

A las fundaciones y familias figueras del municipio de Boyacá, Boyacá.

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 23 de agosto, 2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN:	12
3. OBJETIVOS:	13
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
5. MATERIALES Y METODOS	17
5.1. Caracterización Micro – estructural y composición química superficial mediante Microscopia electrónica de barrido (MEB)	19
5.2. Caracterización química de grupos funcionales mediante espectroscopía infrarroja FT-IR	21
5.3. Caracterización textural, distribución y volumen de poros mediante fisisorción con dióxido de carbono CO ₂ a 273 K	22
5.4. Caracterización de pérdida de masa en intervalos de temperatura mediante Análisis termogravimétrico (TGA)	23
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	23
6.1. Caracterización Micro – estructural y composición química superficial mediante Microscopia electrónica de barrido (MEB)	23
6.2. Caracterización de pérdida de masa en intervalos de temperatura mediante Análisis termogravimétrico (TGA)	33
6.3. Caracterización química de grupos funcionales mediante espectroscopía infrarroja FT-IR	35
6.4. Caracterización textural, distribución y volumen de poros mediante fisisorción con dióxido de carbono CO ₂ a 273 K	36
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
8. GLOSARIO – MARCO TEORICO	39
10. Anexo	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de obtención de muestra.	19
Figura 2. Grabador iónico de plasma.	20
Figura 3. Microscopio electrónico de barrido (MEB).	21
Figura 4. Espectrómetro de infrarrojo.	22
Figura 5. Equipo Micromeritics ASAP2020.	22
Figura 6. Analizador SERATAM.	23
Figura 7. Corte longitudinal – a) Células vegetales. b) Medición largo de células.	24
Figura 8. Corte longitudinal fibra de fique. Medición espesor de fibras en el microscopio electrónico de barrido (MEB).	25
Figura 9. Corte longitudinal fibra de fique. Medición espesor de fibras en software Gatan.	26
Figura 10. Rayos X característicos de la composición elemental en el interior de la célula.	27
Figura 11. Rayos X característicos de la composición elemental en la pared celular.	28
Figura 12. Elemento diferente visualizado en la superficie de la fibra.	28
Figura 13. Corte transversal. Distinción poro y grosor de la célula.	29
Figura 14. Medición de la pared celular con el programa Gatan DigitalMicrograph.	29
Figura 15. Falla de la fibra por tensión por proceso de sacado.	30
Figura 16. Medición de poros en el MEB.	31
Figura 17. Selección de zona total en corte transversal para composición elemental.	31
Figura 18. Elemento diferente visualizado en el corte transversal.	33
Figura 19. Termograma de la fibra natural.	34
Figura 20. Bandas de estiramiento de la fibra natural de fique.	35
Figura 21. Isotherma de dióxido de carbono.	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición elemental rayos X – MEB, por zonas y total. Corte longitudinal..... 26

Tabla 2. Composición elemental rayos X – MEB, por zonas y total. Corte transversal..... 32

RESUMEN

Con el fin de mitigar el daño al medio ambiente, se utilizan fibras naturales en este caso el fique (*Furcraea andina*) como materia prima para la elaboración de un geomanto de control de erosión de taludes, de manera que facilite el establecimiento de vegetación natural brindando una mejor estabilidad al terreno. Para esto, se desarrolló una caracterización morfológica superficial de la fibra natural como lo es la forma, textura y composición química mediante microscopia electrónica de barrido (MEB), fisisorción de dióxido de carbono a 273K, espectroscopia infrarroja (FTIR) y análisis termogravimétrico (TGA); determinando así, las características morfológicas y posible desempeño y durabilidad.

Se obtuvieron medidas de pared celular, ancho de celular y grosor promedio de fibras de 196,97 μm mediante el MEB como también orientación de las células. Se presentaron problemas al visualizar las porosidades por lo que se recomienda que para preparación de fibras naturales en cortes transversales se realice primero un corte con microtomo antes de pasarla al microscopio para mejor observación. Por medio de la espectroscopia infrarroja se encontró que el material empieza a perder agua a los 117°C y se desnaturaliza casi por completo al hacerlo la celulosa a los 345°C, lo que se debe tener en cuenta para elegir un aditivo y su impregnación. A la vez, por la fisisorción de dióxido de carbono se concluyó que la fibra no es compatible con este, por lo que tampoco lo será con compuestos con comportamiento de ácido de Lewis como aceptor de electrones debido a la cantidad de hidroxilos en su superficie como se vio en el FTIR.

PALABRAS CLAVE

Fique (*furcraea andina*), MEB microscopia electrónica de barrido, fisisorción de dióxido de carbono a 273K, espectroscopía infrarroja, análisis termogravimétrico.

ABSTRAC

In order to mitigate the damage to the environment, natural fibers are used in this case fique (*Furcraea andina*) as raw material for the elaboration of a slope erosion control

geomat, in a way that facilitates the establishment of natural vegetation providing better ground stability. For this, a surface morphological characterization of the natural fiber was developed, such as the shape, texture and chemical composition by means of scanning electron microscopy (SEM), carbon dioxide physisorption at 273K, infrared spectroscopy (FTIR) and thermogravimetric analysis (TGA).); thus determining the morphological characteristics and possible performance and durability.

Cell wall measurements, cell width and average fiber thickness of 196.97 μm were obtained by SEM as well as cell orientation. Problems arose when visualizing the porosities, so it is recommended that for the preparation of natural fibers in cross-sections, a microtome cut is first made before passing it to the microscope for better observation. By means of infrared spectroscopy, it was found that the material begins to lose water at 117°C and is almost completely denatured when the cellulose does so at 345°C, which must be taken into account when choosing an additive and its impregnation. . At the same time, due to the physisorption of carbon dioxide, it was concluded that the fiber is not compatible with it, so it will not be compatible with compounds with Lewis acid behavior as electron acceptor due to the number of hydroxyls on its surface as was seen on the FTIR.

KEY WORDS

Fique (*furcraea andina*), SEM scanning electron microscopy, carbon dioxide physisorption at 273K, infrared spectroscopy, thermogravimetric analysis.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de geotecnia vial la elaboración de geomantos para evitar la erosión de taludes ha sido altamente utilizada, ya sean temporales o permanentes, biomateriales o sintéticos. Para los mantos temporales se han llegado a utilizar fibra vegetal como es el fique o una mezcla de este con estopa de coco en un manto no tejido, pero aun así reforzado con una o dos capas de propileno o del mismo material natural. Este se destaca por su resistencia a la erosión con una durabilidad de 1 a 48 meses, dándole a la vegetación tiempo para que se encuentre totalmente establecida para resistir la erosión climática. E incluso en el manual de PAVCO recomienda su uso máximo en taludes de 45°. Por otro lado, los mantos permanentes compuestos en su totalidad de material sintético, no degradables con estabilización UV y resistentes a químicos en el suelo. Son aplicables donde la vegetación no puede mantenerse por sí sola y su vida útil se extiende aproximadamente de 48 meses a 50 años. Además, contienen una composición de matriz gruesa que puede almacenar semillas, el suelo y el agua para un crecimiento más rápido de la vegetación[1]. Combinando la efectividad de la fibra vegetal usada en la fibra temporal se desea estudiar la fibra natural a fondo comenzando por su caracterización superficial morfológica, física y química para lograr comprender y buscar la manera de aumentar su vida útil o mejorar su comportamiento como geomanto.

Aunque varias investigaciones anteriores se ha utilizado el fique para fortalecer matrices poliméricas con la fibra de fique [3-4-6], en cambio se buscaría fortalecer la fibra con un posible aditivo diferente.

El presente trabajo es un aporte a un macroproyecto que tiene como finalidad utilizar la fibra de fique como un geomanto para evitar la erosión de taludes. Para esto se busca analizar sus características físicas, químicas y morfológicas buscando que tenga viabilidad y un buen rendimiento frente a la exposición al medio ambiente.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La erosión de taludes y a la vez la falta de vegetación de un terreno, afectan la estabilidad del mismo, por lo que se han llegado a utilizar diferentes tipos de geomantos dependiendo de su composición, entre los cuales la mayoría son sintéticos. Por lo cual, la búsqueda y aplicación de materiales amigables con el ambiente que a la vez reduzcan contaminación puede disminuirse por medio de fibras naturales degradables, pero a la vez deben tener una longevidad considerable al estar expuesto. De esta misma manera, los nuevos materiales deben ser más económicos que la instalación y producción de los actuales para que sea eficiente y viable, además de que los geomantos no deben hermetizar, provocando una disminución de humedad, ni tampoco aridez que lleven a la inestabilidad del talud. Para valorar la fibra se considera hacer estudios previos de la misma; ya que, en la mayoría de investigaciones se hacen las pruebas mecánicas o físicas, o matrices experimentales primero y después se analiza la viabilidad y cohesión de las mismas sin hacer un estudio previo y caracterización de la fibra natural.

Así, se necesita una caracterización morfológica y composición química de la fibra a utilizar para analizar su viabilidad y la posibilidad de usar un aditivo para mejorar su comportamiento al ambiente.

2. JUSTIFICACIÓN:

La producción de fique se considera de buena calidad en la región, pero sus usos se limitan en artesanías, venta de éstas y de la fibra sin tratar con las que no se obtienen buenas ganancias.

Por otro lado, el uso de esta fibra en diferentes investigaciones para generar biomateriales, en su mayoría reforzando matrices ha dado buenos resultados, considerando así un nuevo uso en la ingeniería especialmente en geotecnia vial como geomantos en taludes a cambio del material sintético comúnmente utilizado. Un material amigable con el ambiente y degradable, ayudaría al factor ambiental generando una opción para disminuir la contaminación. Por lo mismo que, la caracterización tanto física, textural y de composición química de la fibra es determinante para evaluar el comportamiento del futuro geomanto al igual que los posibles complementos que pueden acoplarse mejor a dicha matriz.

3. OBJETIVOS:

3.1. Objetivo principal

Caracterizar las propiedades físicas y químicas de la fibra natural del fique para uso en obras de bioingeniería.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar propiedades físicas y químicas de la fibra natural de fique mediante análisis termogravimétrico, espectrometría infrarroja y microscopia electrónica de barrido.
- Determinar características texturales de la fibra mediante fisisorción de dióxido de carbono a 273K.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La búsqueda de compuestos amigables con el medio ambiente se ha desarrollado últimamente, enfatizándose en fibras naturales locales con propiedades y características apropiadas para diferentes ámbitos, con la finalidad de minimizar costos y contaminación.

Se ha presentado tal aprovechamiento de la naturaleza, en los que se apoyan dichos estudios con tecnología como lo es el Microscopio electrónico de barrido (MEB). Por ejemplo, como en bioplásticos con harina de yuca, tejido de fique y glicerol para empaques, en el que se identificaron las variaciones de la microestructura [3], o empaquetados con harina de yuca, fique con un cambio en el recubrimiento por colofonia en el que se utilizó el MEB para analizar la matriz con recubrimiento y sin él [4]; en el área de la agricultura para hacer mediciones del diámetro de microcápsulas hechas con el jugo resultante del deshecho del desfibrado del fique con la finalidad de analizar sus propiedades antimicrobianas [5].

La aplicación del Microscopio electrónico de barrido se ha presentado en varios ámbitos, por ejemplo, en la mineralogía tiene usos para caracterizar morfológicamente, analizar su superficie y conocer cierta composición química [2].

También, tanto en la caracterización de fibras naturales como en sintéticas se ha usado el MEB, como para caracterizar morfológicamente y analizar el potencial del geotextil sintético aplicando la ingeniería electrónica, como generación de energía e instalaciones de microsensores para puntos críticos tanto en terraplenes, ductos o vías de tráfico pesado [6]

En la industria automotriz, se encuentra el uso del MEB para caracterizar a detalle el material, ya después de haber tratado las muestras con aditamentos poliméricos y someterlos a ensayos para ver los tipos de fallas y disposición estructural en el microscopio. Como lo muestra Contreras [7] en su trabajo, Fractografía de la fibra natural extraída del fique y de un material compuesto reforzado con tejido de fibra de fique y matriz resina poliéster, dónde analiza laminados con el material compuesto y fibras a tensión.

De la misma manera se ha desarrollado una investigación en la universidad Distrital Francisco José de Caldas, en la cual, determinan composición y morfología superficial de fibras vegetales (fique, yute, corteza de coco, lino y algodón) antes y después de un tratamiento alcalino con la finalidad de aplicarlo como refuerzo en una matriz polimérica [8]. Concluyendo que, dicho tratamiento ayuda al anclaje de las fibras con el polímero minimizando la falla, cuestión que sucedió en la investigación de Contreras, donde las fibras se separaron de la matriz viéndose en las imágenes del MEB. Se han realizado caracterizaciones morfológicas de otras fibras con el MEB como damagua (*Poulsenia armata*), guérregue, palma estera (*Astrocaryum malybo*), caña flecha (*Gynerium sagittatum*) e iraca (*Carludovica palmata*), [9]

En otras investigaciones la fibra de fique se trata en diferentes análisis físicos, químicos y mecánicos, de esta manera estandarizar sus cualidades.

En un porcentaje alto se encuentra el uso de fique como elemento modificante de la matriz del concreto reforzado sustituyendo el acero; esto se puede apreciar en los estudios de Galvis [10] quién analizó el comportamiento a flexión y compresión concluyó que, podía sustituir parcialmente el acero, el cuál es un material resiliente y Barbosa [11] en su estudio con la misma finalidad, mostró el fique contenía un 75 % de resistencia en comparación al acero. Teniendo en cuenta estos resultados, la fibra en estudio es viable al presentar un comportamiento mecánico, lo cual conllevaría a buenos resultados como geomanto en un talud.

Según lo anteriormente mencionado el uso del fique como fibra natural para un geomanto que evite la erosión de taludes puede ser viable para las pruebas de resistencia a la tensión. También se puede considerar el tratamiento superficial de la fibra corta de fique mediante químicos, por ejemplo, con Na (OH) y silanización con un silano Tris (2-methoxyethoxy) (vinyl) "A172" de Sigma Aldrich como lo experimentó Muñoz [12] en su estudio, Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos; al igual que Amaya [13] Novedosa fibra textil de base biológica a partir de fibra de desecho agroindustrial colombiana, concluyendo que se presentaba una mejora en el comportamiento mecánico.

En este último, resalta que la composición de la misma es un factor que contribuye a la eficiencia, refiriéndose a lignina, hemicelulosa, pectinas y ceras. Estos tratamientos no solo se realizan al fique, sino también a otras fibras vegetales: en las diferentes capas del tallo de la planta de banano como el estudio de Armas [14], donde combinado con resina poliéster y comparando fibras sin tratar con tratadas, estas últimas aumentan su resistencia a la tracción por encima del 100%. Dicho tratamiento superficial también puede ayudar a la longevidad del material, ya que, evita la degradación de la celulosa [15].

Por otra parte, para el uso de geomantos o geotextiles debe tenerse en cuenta que reducir la humedad del suelo ni aumentar la aridez. Por lo mismo, es recomendable tenerse cuidado en el caso de añadir algún polímero formando una matriz con el fique para evitar dichas situaciones como en el estudio Díaz [16], Alternativas para el control de la erosión mediante coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización; donde se presentó aridez en el talud y reducción de humedad, lo que pudo conllevar a la inestabilidad.

También se debe tener en cuenta que la forma en la que se disponga el tejido del geomanto influirá en la resistencia y rendimiento del material. Por ejemplo, el embalaje tipo sándwich en el cual se puede reforzar la matriz con otro aditivo. Se han encontrado investigaciones, donde buscan obtener una mezcla de fibra de coco con látex para generar paneles con distintas proporciones dispuesta en sándwich para uso en la ingeniería mecánica [17].

5. MATERIALES Y METODOS

Se llevará a cabo una caracterización de la fibra natural, la cual se obtuvo de la provincia de Márquez en el departamento de Boyacá, especialmente del municipio de Boyacá Boyacá donde se encuentran los telares y cultivos.

Respecto a la cultivación de dicha planta, la Guía Ambiental del Subsector fiquero [18] tiene ciertos parámetros agroecológicos empíricos que clasifican la calidad de las fibras como la temperatura, precipitación, la altitud, el brillo solar y condiciones del lugar como la pendiente del terreno que hacen que las zonas sean óptimas para el cultivo. Estos parámetros óptimos los obtuvieron en el municipio San Bernardo en Nariño; respecto al clima se caracteriza por una precipitación media de 2015,9 mm, una temperatura media de 15,5 °C, brillo solar de 4,18 horas/día y una altitud media de 2350 m.s.n.m.

Paralelamente, el lugar donde se tomó la muestra comparte ciertas características climáticas, por ejemplo, la zona donde se obtuvo la muestra tiene una altitud más o menos 2500 m.s.n.m, aun con esto sigue estando en el rango medio óptimo. Teniendo en cuenta la temperatura media en el municipio de Boyacá Boyacá varía de 12 a 18°C, un brillo solar entre 4 a 5 horas [19] y pendientes entre 0 y 50 %, precipitaciones promedio multianual entre 500 y 1000 mm [20] que favorecen a evitar enfermedades provocadas por hongos; la zona donde se extrajo la muestra es apta para el cultivo de calidad media de fibras de fique.

Para obtener la muestra de fibra natural se tuvo que seguir el siguiente procedimiento autóctono transmitido de generación a generación, el cual se realizó con la ayuda de una persona capacitada con años de experiencia en extraer la fibra.

Primero se procedió a cortar desde la base de la hoja (a), para luego dividir las hojas en tiras delgadas para facilitar el sacado, en dicho procedimiento se envuelven y amarran en un pequeño trozo de madera para posteriormente pasar por el sacador (b). El sacador consiste en un par de varillas que se ajustan entre sí ejerciendo presión en la tira de la hoja,

así de esta manera, retirar el resto de material de la hoja dejando solo la fibra (c). Para obtener en mejor estado la fibra se requiere halar con fuerza y rapidez (d). Al terminar un extremo, se repite el procedimiento amarrando esta vez las hebras de la fibra que ya se sacaron (e, f, g).

Además de superar el largo mínimo óptimo de las fibras para una buena producción de 90 cm como se puede ver en la figura 2. en el inciso (h).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



Figura 1. Proceso de obtención de muestra.

Para la caracterización se plantean utilizar varias técnicas de caracterización y equipos para evaluar cada una de las propiedades.

5.1. Caracterización Micro – estructural y composición química superficial mediante Microscopía electrónica de barrido (MEB)

Para caracterizar morfológicamente la fibra natural del fique se requirió el microscopio electrónico de barrido que se encuentra en el Instituto para la investigación y la innovación en ciencia y tecnología de los materiales, Incitema, ubicado en la ciudad de Tunja en la Uptc. El cual, ofrece servicios de análisis de falla y evaluación de materiales, análisis físico químicos de aguas, suelos y gases, y electroquímica y corrosión [21]

El microscopio electrónico de barrido que se encuentra allí es de marca SEIZZ, cuenta además con una microsonda de rayos x, para determinar la composición química en campo Spot complementando los análisis desarrollados.

Dichos resultados serán útiles para completar la información dada por la espectroscopia infrarroja.

El funcionamiento del microscopio electrónico de barrido se basa en un barrido de haz de electrones como hace referencia su nombre. Ya que requiere una buena conducción para su

mejorar la visualización se necesita que la muestra sea cubierta por un conductor. Se puede utilizar una delgada capa de oro, grafito o platino, para la muestra se utilizó oro. Este proceso de preparación se llevó a cabo mediante un grabador iónico de plasma de argón por método de sputtering (figura 3) que cubre la muestra orgánica con una muy delgada capa de oro para facilitar la conducción.



Figura 2. Grabador iónico de plasma.

Luego de preparar la muestra y ser colocada en el porta muestras e introducida en el microscopio electrónico de barrido (véase en la figura 4) se generó vacío para analizar la morfología y análisis elemental superficial de las fibras de fique mediante la microsonda de rayos x.



Figura 3. Microscopio electrónico de barrido (MEB).

5.2. Caracterización química de grupos funcionales mediante espectroscopía infrarroja FT-IR

Además, se contará con un espectrómetro infrarrojo con un sistema ATR (reflectancia total atenuada) Termo Scientific Modelo Nicolet iS50 FT-IR que funciona con una celda de celenuro de zinc (SiZn). Este se utilizó con la finalidad de establecer grupos funcionales sustituyentes presentes en la fibra para analizar la viabilidad de adición de compuestos afines que mejoren el desempeño del geomanto frente al ambiente.



Figura 4. Espectrómetro de infrarrojo.

5.3. Caracterización textural, distribución y volumen de poros mediante fisisorción con dióxido de carbono CO₂ a 273 K

Para conocer la caracterización textural de la fibra como lo es la distribución de poros y volumen de poros se hará mediante un análisis de fisisorción de dióxido de carbono a 273 K, estos se realizarán en el equipo Micromeritics ASAP 2020. Al analizar el diámetro de poro de la fibra se podrá complementar el tipo de compuesto aditivo cuyas partículas sean aptas para el tamaño de poro que posee la fibra.



Figura 5. Equipo Micromeritics ASAP2020.

5.4. Caracterización de pérdida de masa en intervalos de temperatura mediante Análisis termogravimétrico (TGA)

Para esto se utilizó un analizador SETARAM 1600 con una rampa de calentamiento de 5°C/min, en un intervalo de temperatura de 30°C hasta 1000 °C con flujo de nitrógeno en una atmosfera inerte. Se utiliza para obtener la información de pérdida de masa y la velocidad de pérdida de masa en función de la temperatura.

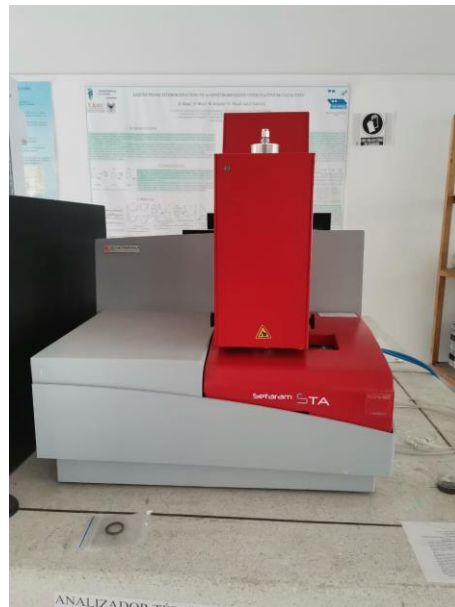


Figura 6. Analizador SERATAM.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

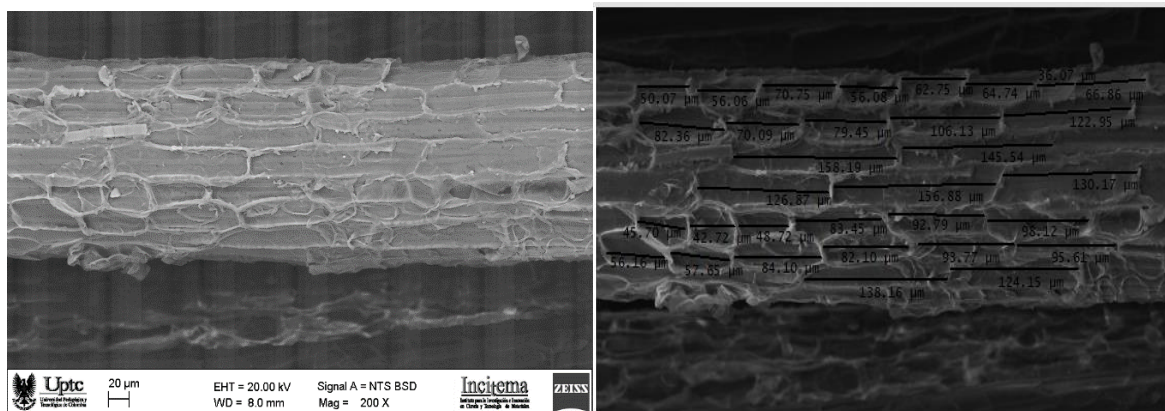
6.1. Caracterización Micro – estructural y composición química superficial mediante Microscopia electrónica de barrido (MEB)

Con la finalidad de caracterizar morfológicamente la fibra en estudio se revisaron dos orientaciones, un corte longitudinal y uno transversal; para dicha observación en el microscopio electrónico de barrido (MEB).

A continuación, se presentan mediciones del largo de células, pared celular y porosidades, ya que la relación del área respecto a espacios o lumen en la fibra da un vistazo superficial del estado de la estructura frente esfuerzos mecánicos, sin embargo esto solo es posible comprobarlo mediante ensayos mecánicos [9]. Además de una composición elemental superficial en ambos cortes.

Primero se analizó la parte longitudinal de las fibras en las que se pueden apreciar células alargadas y cortas en una ampliación de 200X (figura 8.a), donde las cortas son las más nuevas con un largo mínimo de 36,07 μm y aquellas más alargadas se debe al proceso de crecimiento con un largo máximo 158,19 μm (figura 8.b) y residuos desprendidos a lo largo de la fibra productos del proceso de sacado.

La orientación de las fibras vistas en el corte longitudinal aporta firmeza a la estructura frente a esfuerzos a tracción, los cuales deben ser calculados mediante ensayos de tensión [22] a la que puede estar sometido en el futuro geomanto.



(a)

(b)

Figura 7. Corte longitudinal – a) Células vegetales. b) Medición largo de células.

Además, se tomaron medidas del espesor de las fibras, las cuales oscilaban entre 140 y 270 μm con un promedio de 196,97 μm . Estas se realizaron con el MEB con un acercamiento de 50X y 200X (figura 9), también se realizaron medidas complementarias con el programa Gatan (figura 10).

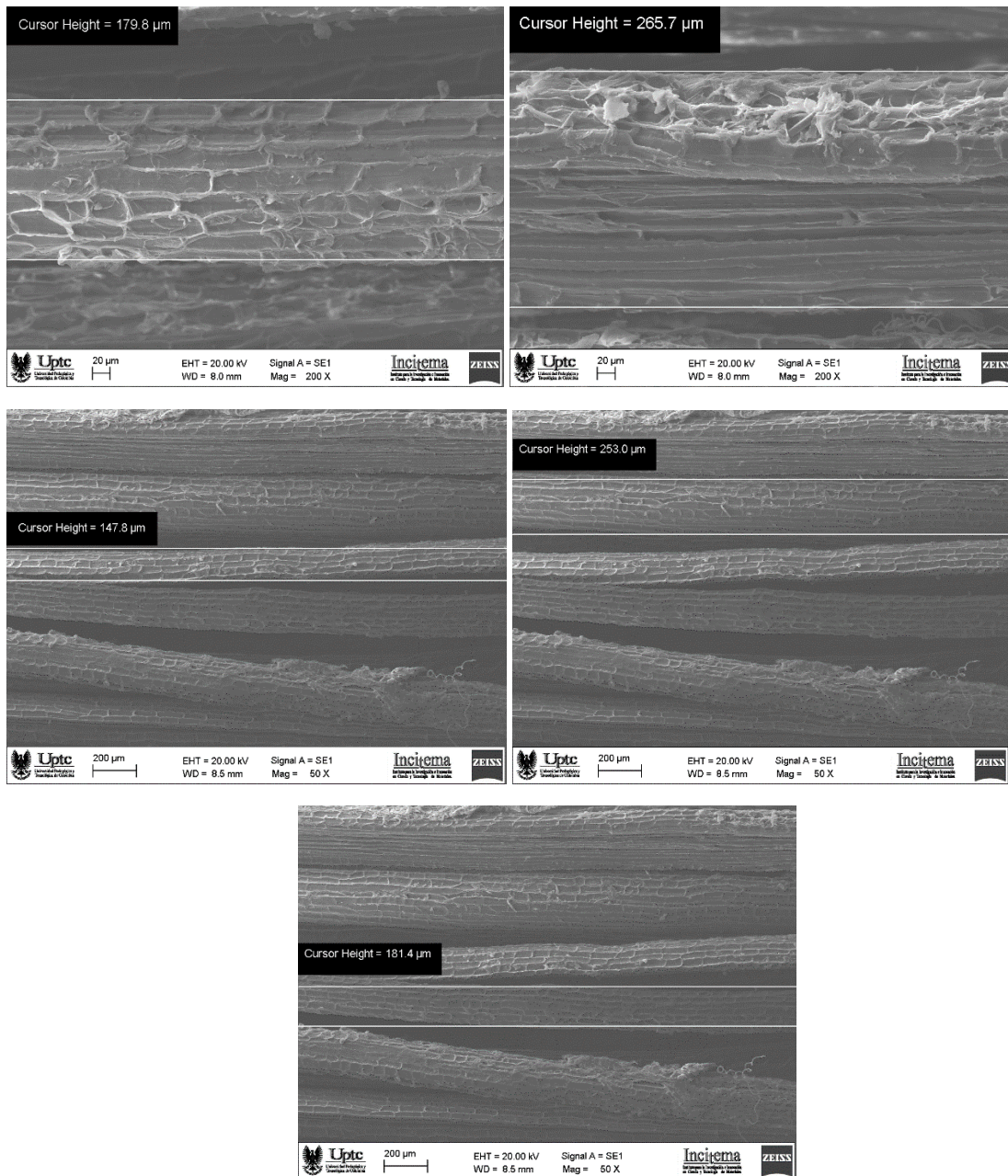


Figura 8. Corte longitudinal fibra de fique. Medición espesor de fibras en el microscopio electrónico de barrido (MEB).

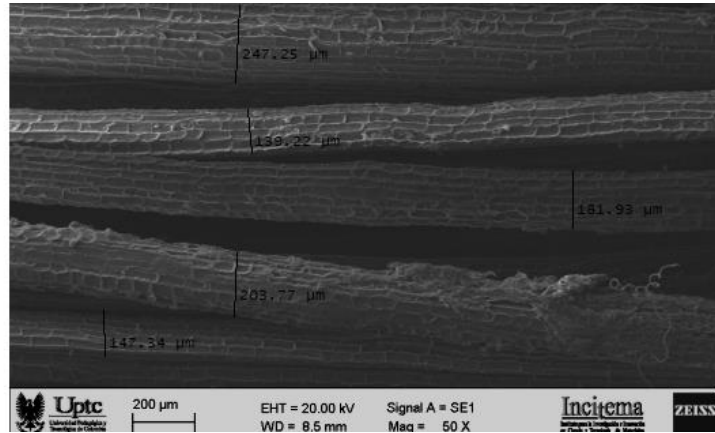


Figura 9. Corte longitudinal fibra de fique. Medición espesor de fibras en software Gatan.

Asimismo, en el corte longitudinal se distinguieron tres zonas para realizarles la composición elemental superficial: el interior de la célula, la pared celular y aquellos elementos que no se caracterizaban dentro de la estructura principal de la fibra como cristales o impurezas que se encuentran en la superficie de la fibra.

Tabla 1. Composición elemental rayos X – MEB, por zonas y total. Corte longitudinal.

Elemento	Interior de la célula	Pared celular	Elementos diferentes	Fibra Total
	At%	At%	At%	At%
O _K	96,40	94,58	85,28	96,98
Mg _K	1,39	1,46		0,60
K _K	2,60	2,11	0,13	1,13
Ca _K	1,42	1,85	14,59	1,29
Total	100	100	100	100

6.1.1. Interior de la célula

Se encontraron átomos de oxígeno, O₂, magnesio, Ma, potasio, K y calcio, Ca, donde prevalece la presencia de oxígeno seguido de potasio, calcio y magnesio por poco como se puede apreciar en la tabla 1.

Este método de composición elemental por rayos x capta señales de energía correspondientes a elementos más pesados, en este caso por encima de oxígeno. Por lo anterior, no se detecta la presencia de carbono e hidrógeno, pero deben estar presentes

debido a que estos son los bioelementos básicos en la materia orgánica y lee en mayor porcentaje el oxígeno.

Respecto a la presencia de potasio, calcio y magnesio se puede deber al intercambio iónico que se realiza en la célula mediante el transporte simplástico. Igualmente, la presencia de calcio se puede ubicar en las vacuolas de las células que generan un equilibrio de este elemento en la planta y también puede presentarse como cristales de desecho o reserva. Dicho cristal, oxalato de calcio también cumplen la función de depósitos inertes de metales pesados [23].

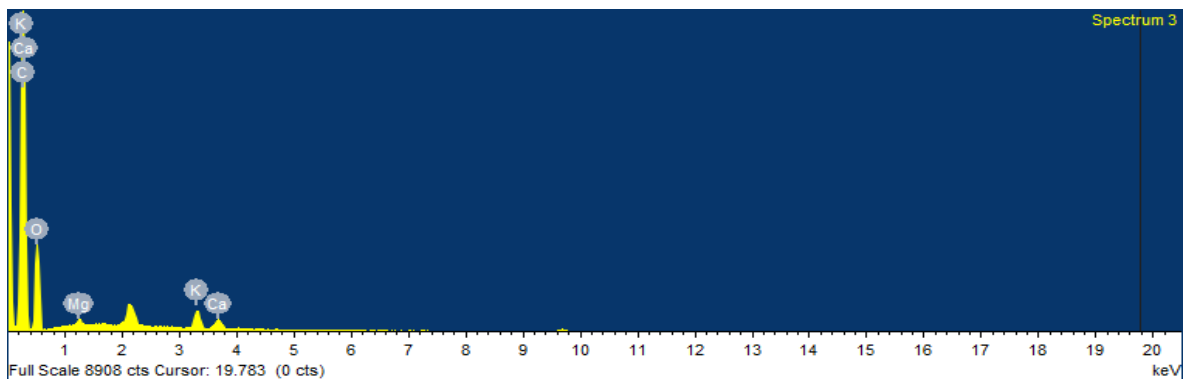


Figura 10. Rayos X característicos de la composición elemental en el interior de la célula.

6.1.2. Pared celular

Como se puede ver en la tabla 1 la mayor concentración atómica presente en la pared celular es de oxígeno con un 94,58%. Al igual como en el interior celular se puede deber que junto con el carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno como biocompuestos base son esenciales. Pero se debe resaltar que el oxígeno está presente en la celulosa, lignina y hemicelulosa que componen la pared celular, en especial la primera que brinda soporte y rigidez. Respecto a los bajas cantidades de potasio, magnesio y calcio se atribuyen a los minerales presenten en la pared celular [24].

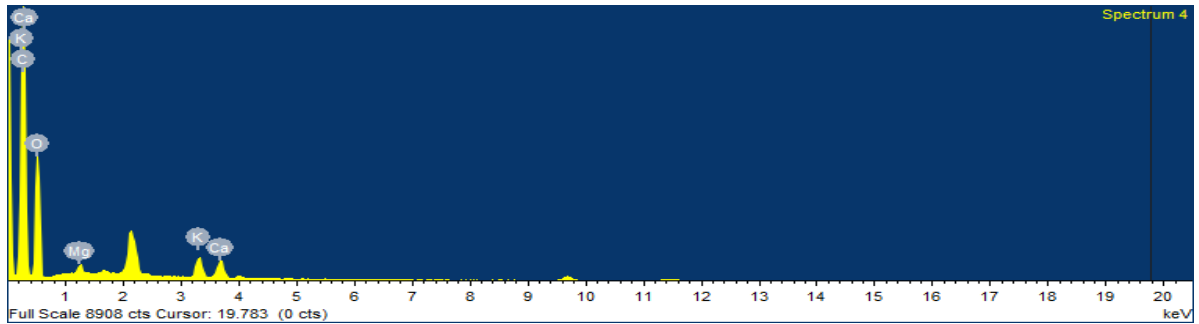


Figura 11. Rayos X característicos de la composición elemental en la pared celular.

Analizando la tercera zona que se refiere a un elemento diferente de la célula y que se superpone de esta, se encuentra un objeto con forma rectangular (figura 13). En el cual, igual que en las dos zonas anteriores hay predominio de oxígeno debido al componente orgánico, seguido por la presencia de calcio. En este caso, la presencia de este último elemento se puede referir a la formación de un cristal de oxalato de calcio debido al alto porcentaje de calcio.

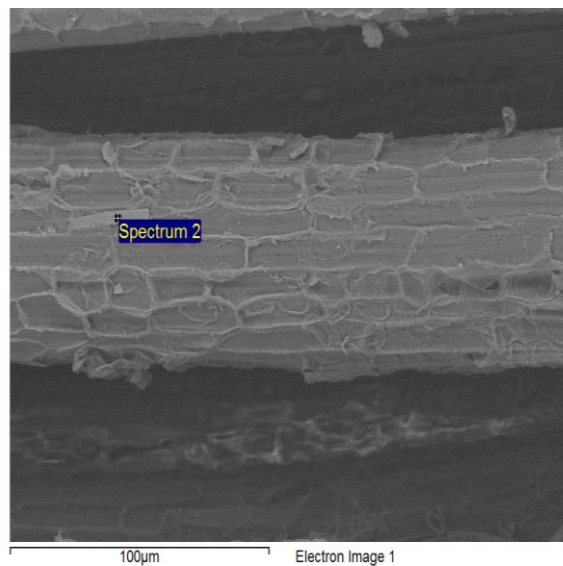


Figura 12. Elemento diferente visualizado en la superficie de la fibra.

Teniendo en cuenta la disposición de las células anteriormente mostradas en el corte longitudinal, se dispuso a analizar el corte transversal en que se aprecian los poros o lumen y el espesor de las célula o altura de la pared celular (figura 14).

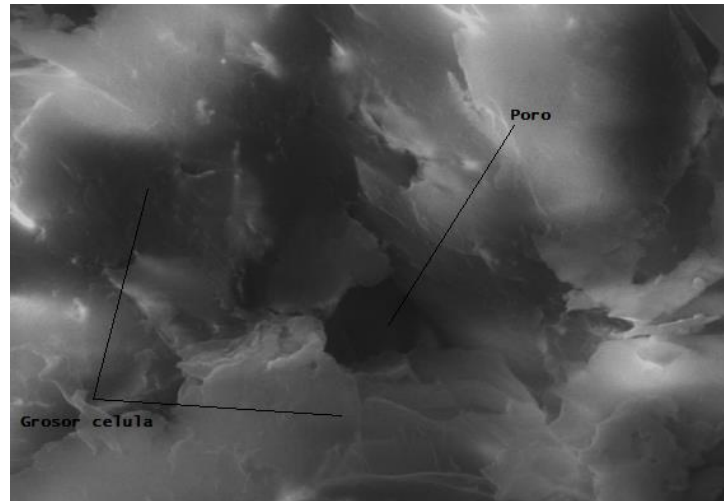


Figura 13. Corte transversal. Distinción poro y grosor de la célula.

Tras calibrar las imágenes en el programa Gatan DigitalMicrograph para la medición del grosor celular, se tomaron varias mediciones en las cuales el promedio de la pared celular fue de $9,90\mu\text{m}$ estando los valores entre $5,49$ y $16,84\mu\text{m}$ (figura 15).

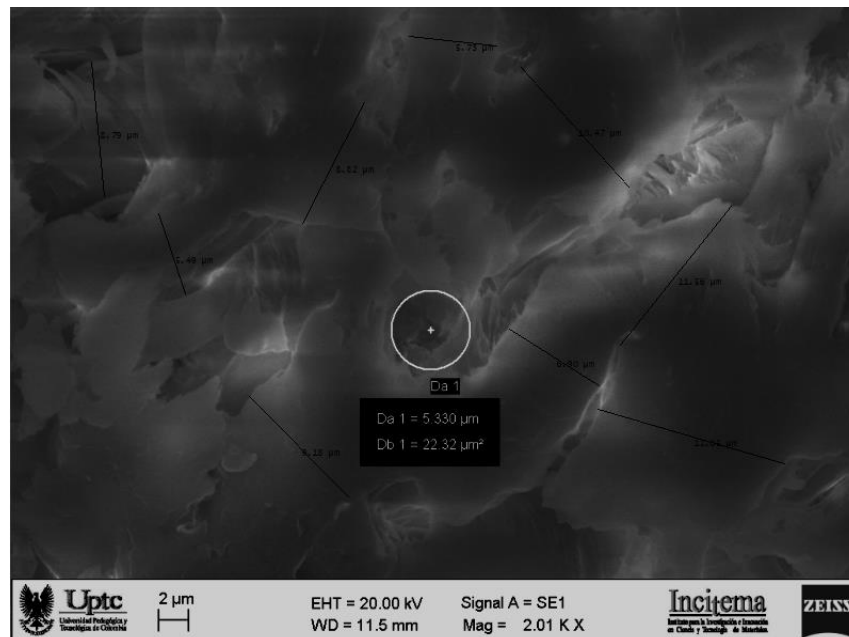


Figura 14. Medición de la pared celular con el programa Gatan DigitalMicrograph.

Igualmente, se tomaron los diámetros de los poros en el MEB, la visualización de estos tuvo cierta dificultad como se puede ver en la figura 16, donde la pared celular o incluso algunas células están desgarradas o no se ve la continuidad de los poros. Esto atribuye al proceso de sacado de la fibra natural al comprimir las fibras y la aplicación de tensión en las mismas para retirar el material sobrante[7] y a la vez la preparación no adecuada de fibra, donde, se debió hacer un corte transversal con un instrumento de alta precisión como el microtomo para evitar esto. Por consiguiente, el tamaño de poro y área superficial de la fibra se complementó con el método de fisisorción.

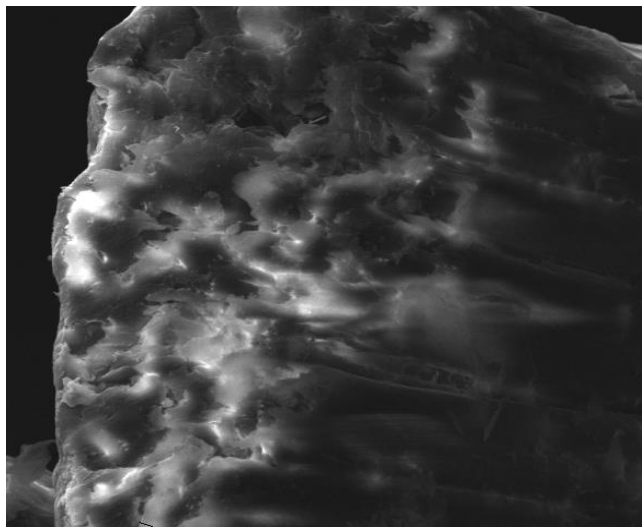


Figura 15. Falla de la fibra por tensión por proceso de sacado.

Sin embargo, los poros visibles que se pudieron divisar con el microscopio estuvieron entre $4,689\mu\text{m}$ y $5,730\mu\text{m}$ como se puede ver en la figura 17 y 15, los cuales se atribuyen a macroporos.

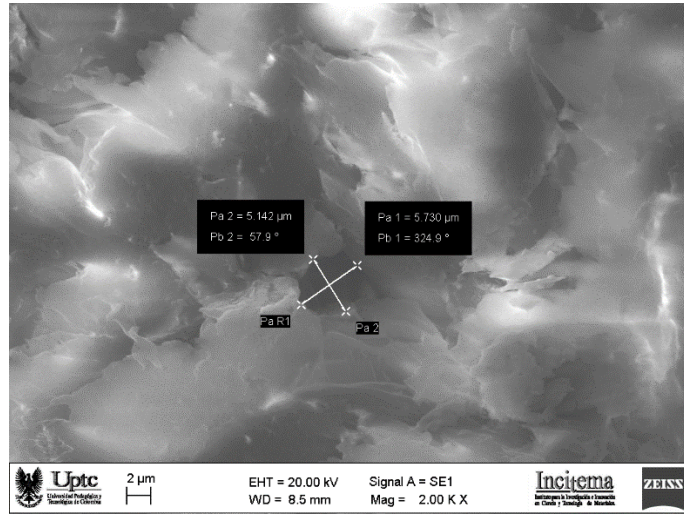


Figura 16. Medición de poros en el MEB.

Para el análisis elemental del corte transversal se definió para la zona general y para un elemento que no se distinguía bien.

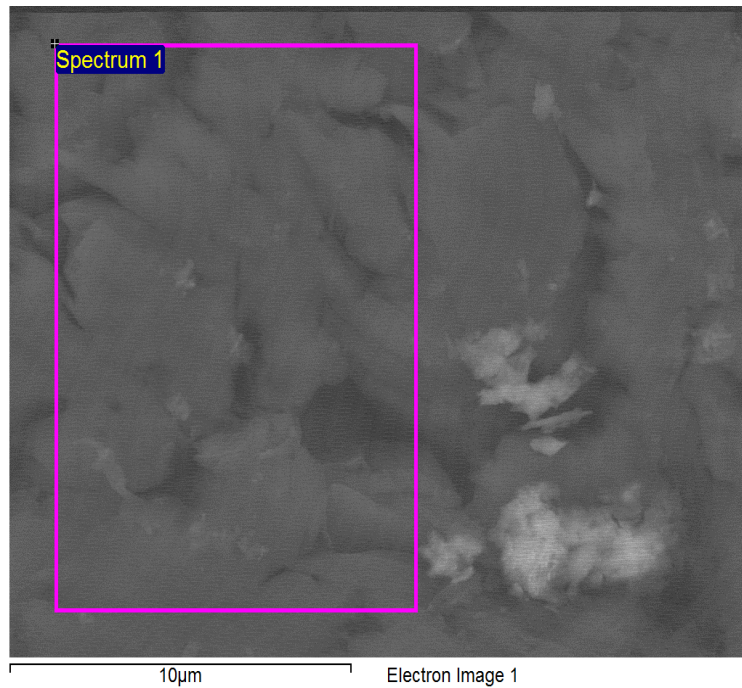


Figura 17. Selección de zona total en corte transversal para composición elemental.

Asimismo, en la siguiente tabla se resaltó en la zona general la presencia de carbono, C, con el 70,08%, seguido de oxígeno, O₂, que se pueden atribuir a la celulosa y lignina que componen la pared primaria. Y, por último, en cantidades bajas, menos del 1% se encontró potasio, K, y calcio, Ca.

Tabla 2. Composición elemental rayos X – MEB, por zonas y total. Corte transversal.

Elemento	Elemento diferente	Zona general total
	At %	At%
C _K	74,05	70,08
O _K	24,05	29,72
K _K	0,64	0,14
Ca _K	0,34	0,06
Al _K	0,70	
Mg _K	0,23	
Total	100,00	100,00

En cuanto al elemento distinto de coloración más clara (figura 19) aparte de la presencia de carbono, oxígeno y potasio, se encuentran en pequeñas cantidades aluminio y magnesio. Según la ubicación cerca de un poro, se podría concluir que tal elemento es un depósito de calosa que son residuos de glucosa en las paredes de los plasmodesmos que conecta una célula con otra en el área transversal generando un área cribosa. Cuando se desintegra deja poros abiertos con tamaños ente 1µm a 14µm dependiendo de la planta. Esta calosa o callosa se produce por daño mecánico o por presencia de aluminio [25]

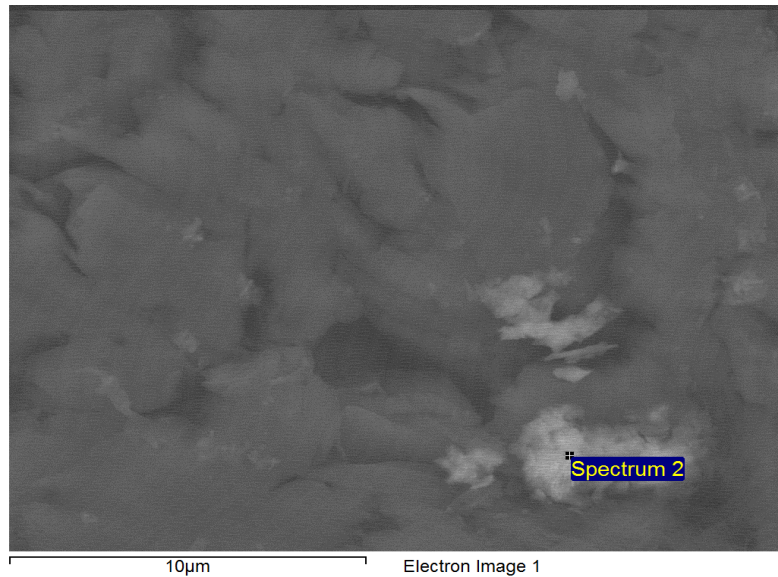


Figura 18. Elemento diferente visualizado en el corte transversal.

6.2. Caracterización de pérdida de masa en intervalos de temperatura mediante Análisis termogravimétrico (TGA)

En el termograma de la fibra de fique natural en la figura 20 se distingue de color azul la pérdida de masa respecto al aumento de temperatura (TG) y en color negro la derivada de la TG que corresponde al porcentaje de masa pérdida en ciertas temperaturas (DTG).

De esta manera, analizando los resultados primeramente se encontró una pérdida de agua fisiadsorbida por evaporación a los 117°C debido a la naturaleza hidrofílica correspondiendo a un 8,3% de masa. Como también una disminución en la masa de 3,4% entre las temperaturas de 205,56 a 232,13°C que se asocia a agua quimiadsorbida [26] como se ve en la segunda precipitación en la figura 20.

Consecuentemente, se presentaron dos cambios de pendiente donde hubo una pérdida de masa de un 22,2% y luego un 31,7% entre las temperaturas 242,87 °C a 345°C. El primer cambio en la DTG es atribuido en fibras naturales a la despolimerización de la hemicelulosa y el segundo a la celulosa. Siendo este último el intervalo más relevante de termodescomposición respecto a la rapidez de pérdida de masa debido a la descomposición de la celulosa [9] para luego llegar a un punto de equilibrio a los 506°C donde se presentó

la degradación final de la lignina [12]. En este punto ya se ha perdido el 72,8% total de la masa de la fibra de fique y como tal afecta la estructura de soporte de la fibra como se puede apreciar al final de la gráfica en la figura 20.

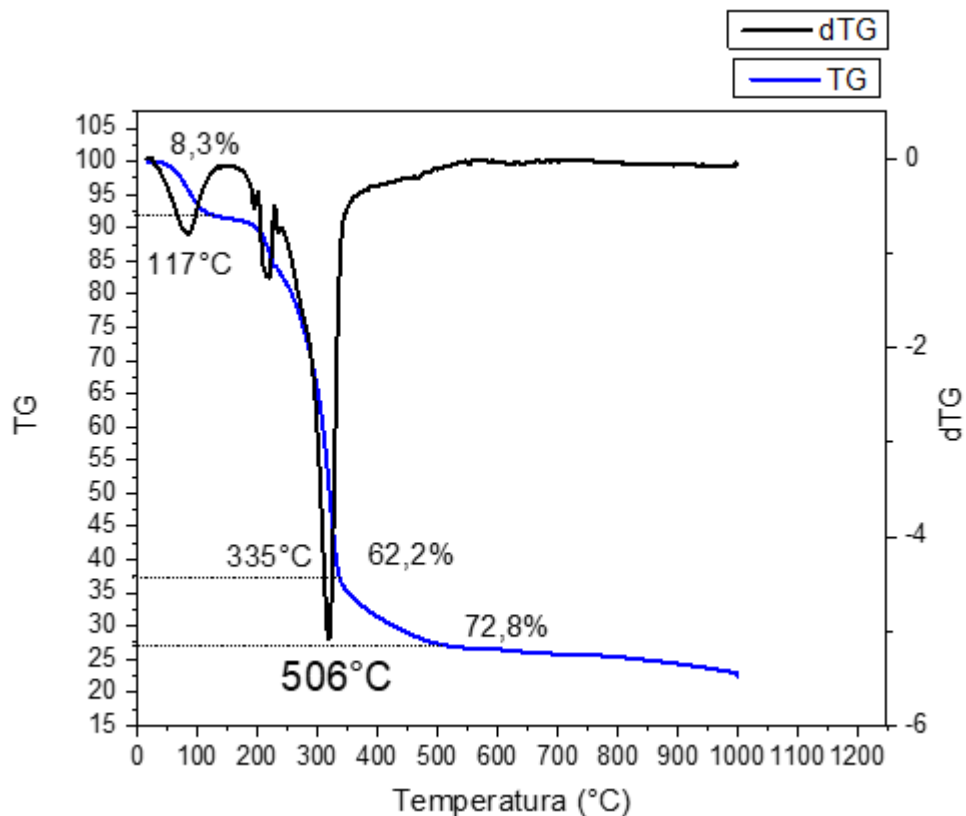


Figura 19. Termograma de la fibra natural.

Concluyendo con lo anterior, la fibra se desnaturaliza casi por completo al hacerlo la celulosa a los 345°C debido a que las microfibrillas y por lo mismo las microfibrillas presentes en el haz de fibras está compuesto en su mayoría por esta. Seguido por la lignina a los 506°C desnaturalizándose por completo. Así, cuando se deseen seleccionar un aditivo, en el proceso de pre tratamiento o impregnación de la fibra se debe considerar dicha temperatura de desnaturalización. También se debe tener en cuenta el termograma del aditivo, si este tiene un punto de desnaturalización más alto al de la fibra, este contribuirá a la resistencia del geomanto.

Además, la primera temperatura de 117°C que respecta a la pérdida de agua fue útil para llevar a cabo el laboratorio de fisisorción para evitar desnaturalizar la fibra y solo desgasificarla.

6.3. Caracterización química de grupos funcionales mediante espectroscopía infrarroja FT-IR

Mediante el análisis por FT- IR sobre las fibras naturales y sin tratamiento del fique se pudieron visualizar bandas de estiramiento propias de las estructuras de la celulosa, lignina y hemicelulosa que corresponden a componentes de fibras naturales.

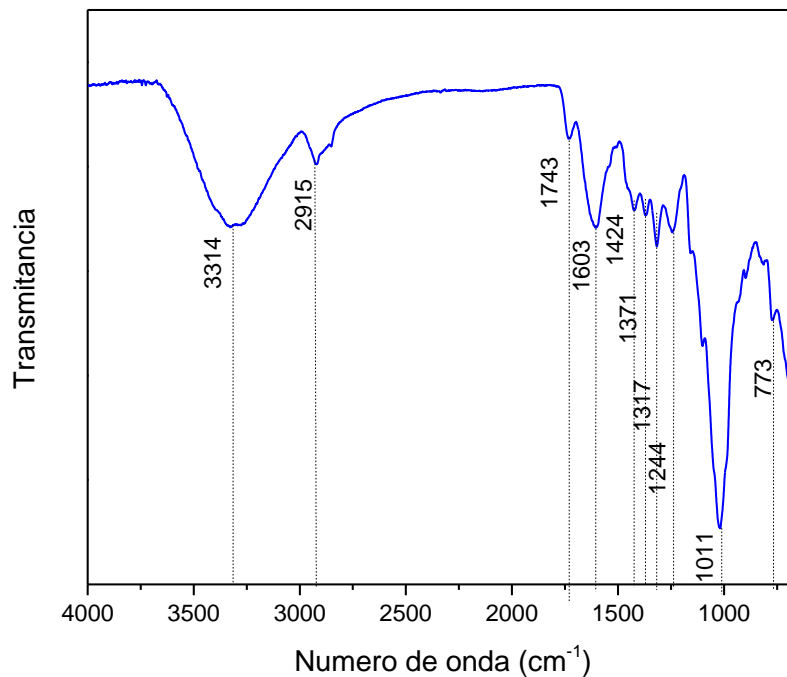


Figura 20. Bandas de estiramiento de la fibra natural de fique.

Como se puede apreciar en la figura 21, la primera banda de estiramiento de intensidad media y ancha que es característica de los grupos OH en 3314 cm^{-1} , una segunda a 2915 cm^{-1} correspondiente a grupos C-H, al igual que la banda en 1743 cm^{-1} se les asigna a los grupos carboxilo (grupos terminales tipo ácido orgánico que pueden ser aminoácidos, proteínas, carbohidratos entre otros) y acetyl provenientes de la hemicelulosa de la fibra[27].

Completando el infrarrojo la parte de 1500 cm^{-1} hacia abajo corresponde a la huella digital del material orgánico, se pueden destacar las bandas de 1011 cm^{-1} y 773 cm^{-1} que representan a los aromáticos C – H de forma plana y C – O presentes en la estructura de celulosa y lignina[12].

6.4. Caracterización textural, distribución y volumen de poros mediante fisisorción con dióxido de carbono CO₂ a 273 K

La masa de la muestra fue de 0,1178 gramos, para el análisis se utilizaron dos métodos BET y Dubinin – Radushkevich para hallar el área superficial, siendo este último el más óptimo para la fisisorción con dióxido de carbono.

El método BET conllevó a una falla con el coeficiente C debido a una intersección negativa por lo que se sugiere utilizar el segundo método.

El área superficial por el segundo método fue de $66,67\text{ m}^2/\text{g}$ y el volumen de la monocapa de $14\text{ cm}^3/\text{g}$. el tamaño de poro promedio estuvo en $3,91\text{ nm}$ entre el rango que se clasifica que la mayoría de los poros presentes son mesoporos según la clasificación de la IUPAC con diámetros entre 2 nm a 50 nm [28].

Al utilizar dióxido de carbono como adsorbato la isoterma resultante fue de tipo III, donde no se puede distinguir el punto B de la monocapa. Por lo tanto, hay una mayor interacción entre las multicapas de dióxido de carbono que con la fibra. Concluyendo una baja interacción entre el adsorbato y el adsorbente.

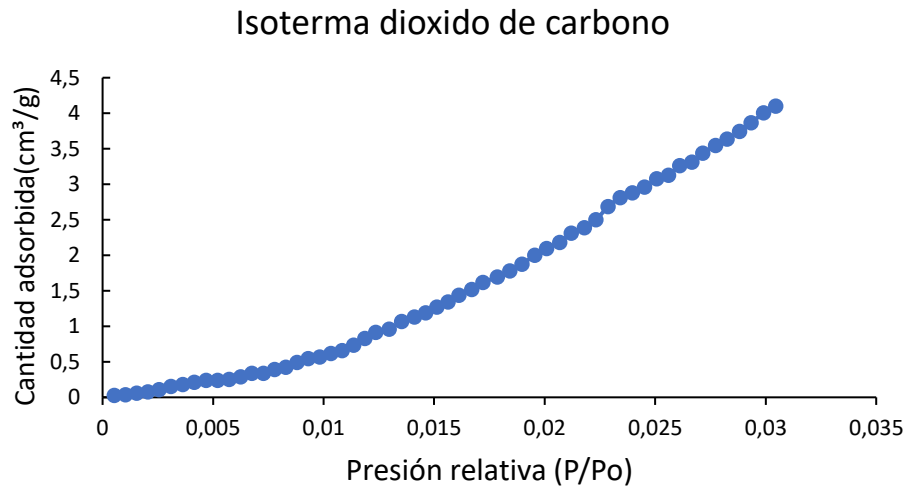


Figura 21. Isotherma de dióxido de carbono.

Debido a lo anterior, la fibra no es compatible con el dióxido de carbono, considerando este compuesto con la característica de actuar como un ácido de Lewis, al aceptar electrones. La fibra tiene la tendencia al mismo comportamiento debido a su naturaleza. Así, se puede analizar que la fibra no es compatible con elementos del tipo ácido de Lewis, debido a la presencia de grupos hidroxilos (-OH) (como se vio en el FTIR) en los componentes de pared celular como la hemicelulosa, no permitiendo formar enlaces del tipo puentes de hidrógeno; ya que son enlaces de atracción de carga (polaridad).

En el caso de ser reforzada con algún compuesto se debe considerar esta compatibilidad para que formen enlaces fuertes. Debido a que el tamaño del poro varía, se puede considerar que el diámetro molecular del compuesto aditivo sea cercano a los 3,91 nm, ya que de esa forma el aditivo ocuparía mayor área superficial haciendo el geomanto más duradero y rígido. Respecto al área superficial y volumen muestra la cantidad necesaria de aditivo por gramo para cubrir la superficie de la fibra, este dependerá del volumen de la molécula del aditivo y la característica que se le quiera dar dependiendo de las proporciones que se seleccionen.

También se podría tener en cuenta tratamientos químicos previos o funcionalización, comúnmente alcalinos como el hidróxido de sodio (Na(OH)). Este tipo de tratamientos cambia la polaridad de la superficie que pueden favorecer el anclaje de un aditivo [8]

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La fibra de fique presenta una morfología superficial de células esclerénquimas y parénquima en su mayoría dando una gran resistencia a la tensión, además de la orientación del parénquima en sentido del eje ayudando a la resistencia a la tensión paralela. Respecto a la estructura interior de la fibra analizando la relación el grosor de la célula o alto de la pared celular (promedio de $9,90\mu\text{m}$) con el tamaño del poro ($3,91\ \mu\text{m}$) o lumen medido con la fisisorción muestra una gran diferencia, apoyando un buen soporte.

Aunque la diferencia de tamaño es bastante grande, no afecta la estructura ya que no son demasiados lo que se puede evidenciar en el área superficial baja. La variabilidad de las medidas de poros entre la microscopía y la fisisorción se debe a que la primera muestra los macroporos visibles y la segunda es un estudio de microporos. Debido a la preparación no adecuada de la muestra para la microscopía, los poros, además de estar aplastados algunos están obstruidos. Si se desea realizar de nuevo la microscopía se aconseja preparar la muestra con un corte de presión o una fisisorción de mercurio especialmente para macroporos, aunque se aumentarían los costos.

Si se quiere generar una matriz que refuerce las propiedades ya sean mecánicas o resistencia a la exposición al medio ambiente, dichos compuestos o aditivos deben tener un estudio similar de propiedades químicas. La temperatura de desnaturalización de este debe ser superior a los 506°C de la fibra natural, para que aporte resistencia a la fibra, además su polaridad y composición química debe ayudarlo para formar enlaces fuertes, preferiblemente un comportamiento como una base de Lewis.

En caso de interactuar con tipos de aditivos de diversas naturalezas se debe tener en cuenta sus propiedades químicas.

8. GLOSARIO – MARCO TEORICO

8.1. FIQUE *furcraea andina*

En Colombia se pueden encontrar cinco diferentes especies de *furcraea* dispersas en el territorio, entre estas la *furcraea andina* que también tiene presencia en países vecinos como Ecuador y Perú; y en Colombia en el sector productivo parte del fique nariñense es de esta especie

Es conocido comúnmente como rabo de chucha o penca, maguey y cabuya.

8.1.1 Aspecto general

Posee un tronco corto y hojas abiertas aplanadas ligeramente cóncavas con anchos entre 10 a 15 cm y largo entre 1, 50 m a 1,70 m, son angostas en la base y llevan un aguijón encorvado en la parte distal de la hoja de unos 5 a 8 mm de largo. Sus bordes son lisos careciendo de espinas como la mayoría de las especies de *furcraea*. El escape floral mide de 5 a 9 metros, estas flores no producen semillas, en cambio producen bulbillos cónicos que producen hojas verdes.[18]

8.2.Morfología

Raíz: Son primarias, formadas por el desarrollo de la radícula de los bulbos, estas se ramifican y dan origen a las raíces secundarias.

Tallo: Corto o bien desarrollado y de forma cilíndrica. Crecimiento erguido, superficie ligeramente rugosa.

Hojas: Son persistentes, verticiladas y simples. Su forma es laminar lanceolada, más o menos diez veces más largas que anchas y acuminadas. Los bordes pueden ser enteros.

Flores: Son de inflorescencia pluriflora, indeterminada, compuesta y en forma de panícula. Son hermafroditas, más o menos actinomorfas, con simetría radial.

Frutos y semilla: Su fruto es una cápsula en donde se alojan varias semillas, las cuales tienen endospermo carnoso que rodea el pequeño embrión [29],[30]

8.3.Taxonomía

Reino: Vegetal.

Phylum: Tracheophyta.

División: Spermatophyta.

Clase: Angiospermae.

Sub- clase: Monocotyledonae.

8.4.Orden: Liliiflorae (Liliales) se caracterizan por flores cíclicas o verticilada, regular o irregular, hipóginas, periginas o epiginas. Presenta un perianto formado por dos verticilos con segmentos separados o a veces unidos semejantes. Gineceo sincárpico.

8.5. Familia: Agavaceae, dichas plantas generalmente tienen un hábito xerofítico, tallo rizomatoso, corto bien desarrollado. Sus hojas tienden a crecer en o cerca del tallo, carnosas y fibrosas con espinos en los bordes. Perianto con seis segmentos más o menos unidos que forman un tubo corto, no presenta corona, tienen 6 estambres encontrados en la base de los lóbulos o sobre el tubo. Se pueden encontrar filamentos filiformes o engrosados en la base. Ovario superior o inferior generalmente apendiculado, fruto en baya, semillas generalmente comprimidas con un endospermo carnoso que rodea a un embrión pequeño

De esta manera, se divide en géneros y especies, abarcando el género furcraea, en esta, las piezas del perianto son libres y los estambres son más cortos que el perianto, además las ramas florales son pendientes. Esto las diferencia del género agave como lo es el maguey, otra planta productora de fibra, en esta las piezas del perianto están soldadas en la mitad inferior, sus estambres pasan este y sus ramas florales ascendentes [29].

8.6. Fibra vegetal

Comercialmente son clasificadas en fibras blandas y duras, las primeras como el lino, plantas dicotiledóneas. Son obtenidas del sistema de tejidos basculares de la planta como el floema, están más o menos lignificadas y dan como resultado fibras elásticas, suaves y flexibles. Dentro de las fibras duras, se encuentra la fibra de estudio, el fique, que son obtenidas de las hojas de la planta dando como resultado un haz de fibras con alto contenido de lignina y textura rígida [30]

Además, la fibra constituye la estructura principal de la pared vegetal del tejido vegetal, está compuesta por celulosa, lignina y pigmentos. Las fibras que la forman están a su vez constituidas por microfibrillas y estas en microfibrillas [24].

8.7. Parénquima

Es el principal representante de los tejidos fundamentales (parénquima, esclerénquima y colénquima). Aunque es un tejido sencillo tiene varias funciones dependiendo donde se encuentre, fotosíntesis (mesófilo de la hoja), almacenamiento, elaboración de sustancias orgánicas y regeneración de tejidos. También se puede encontrar rellenando espacios entre otros tejidos, así puede representar el 80% de las células vivas de la planta, está asociado al xilema y el floema, además de la regeneración en la planta tras sufrir heridas.

Los tejidos especializados en el sostén de la planta son el esclerénquima y colénquima, las paredes de sus células tienden a ser gruesas brindando gran resistencia mecánica. Difieren por su ubicación y la estructura y textura de sus paredes celulares:

8.8. Colénquima

Se caracteriza por tener una pared primaria gruesa que las diferencia de las parenquimáticas, su engrosamiento es desigual confiriéndole resistencia a la tensión u otros tipos de estrés mecánico. La morfología de las células vivas tiende a ser elongada en la dirección del eje principal.

Su presencia en la planta es escasa, puede presentarse como tejido de soporte en órganos en crecimiento en tallos y hojas, órganos nuevos en plantas leñosas (tallos, hojas y partes

florales de dicotiledóneas) Está ausente en la mayoría de las monocotiledóneas, la fibra de estudio entra en esta clasificación y no se distinguió este tipo de célula.

8.9. Esclerénquima

Presenta dos tipos de células con pared engrosada y a diferencia del colénquima es la secundaria, lignificada en células maduras. Estas células maduras están muertas por lo cual no contienen citoplasma.

Tienen la función de soporte a órganos que han dejado de alargarse y también brindan protección a partes blandas de las plantas vulnerables a presiones y flexiones. Por esto, se hallan más concentradas en tallos y hojas, aunque también están distribuidas por todo el cuerpo de la planta.

El tejido esclerenquimático tiene dos tipos de células que se diferencian por su forma, origen y localización. Unas son las fibras, células alargadas y fusiformes y el otros son las esclereidas que varían en tamaño, pero generalmente son isodiamétricas [31].

En la microscopia se visualizaron este tipo de célula esclerenquimática, con más exactitud fibras septadas y fibras de hojas [32].

8.10. Pared celular

Es gruesa y semirrígida, permite el paso de sustancias, pero no presenta transporte activo. Respecto a la composición se diferencian dos componentes, las fibras de celulosa, que se compone de microfibrillas paralelas de celulosa unidas por puentes de hidrogeno y la matriz, que une y rodea las fibras de celulosa, componiéndose se pectina, hemicelulosa, glicoproteínas, agua y algunos minerales, especialmente los cationes de calcio (Ca^+).

Está compuesta de tres polisacáridos: celulosa, hemicelulosa y pectina, algunas veces lignina.

Estructura

- Lamina media, compuesta principalmente por pectina, esta es la capa más exterior de la pared celular.

- Pared primaria, mide de 100 a 200 nm de espesor formado por la acumulación de 3 o 4 capas de microfibrillas de celulosa, la cual a la vez está compuesta por varias microfibrillas de 10 a 25 nm de longitud unidas entre sí por puentes de hidrogeno y con hemicelulosas y pectinas formando una matriz.
- Pared secundaria, presente en algunas células tiende a formarse cuando la célula deja de crecer y ya se ha formado por completo la pared primaria. Esta llega a ser mucho más gruesa que la primaria, componiéndose de principalmente de celulosa y lignina.

Esta capa confiere más resistencia a la pared celular debido a la riqueza de fibras de celulosa y la escasa matriz debido al poco contenido de agua y hemicelulosa [24].

8.11. Celulosa

Es un polímero natural con enlaces covalentes glicosídicos asociados mediante enlaces fuertes de hidrogeno y fuerzas de Van Der Waals para formar microfibrillas. Se caracteriza por una estructura semicristalina amorfa, a un lado de la cadena hay un carbono anomérico protegido por un aldehído reductor (tiende a ceder electrones) y al final de la cadena se encuentra otro carbono anomérico que no tiene propiedades reductoras. No es soluble en agua a pesar de que es un 60% de característica hidrofílica, lo que lleva los grupos hidroxilo presentes a formar enlaces de hidrogeno, siendo agentes de sustitución y adición.

8.12. Hemicelulosa

Considerado un heteropolisacárido de estructura amorfa e hidrofílica y su función más importante es conectar a la celulosa y la lignina.

8.13. Lignina

Es un componente complejo presente con abundancia en las plantas, junto con la celulosa y la hemicelulosa conforman la pared celular. Su principal función es dar soporte en la estructura recubriendo la celulosa y hemicelulosa imposibilitando el ataque de microbios [33].

8.14. Microscopia electrónica de barrido, MEB o SEM

Esta técnica consiste en utilizar un haz de electrones para formar una imagen. Para esto, el equipo cuenta con un dispositivo que genera dichos electrones para que incidan muy cerca del núcleo de los átomos de la superficie de la muestra. Así, se les proporciona energía suficiente para saltar fuera, estos electrones son de baja energía (por debajo de 5eV). Luego, con diferentes detectores se recogen los electrones que interactuaron con la superficie y así recrear una imagen que refleja las características superficiales de esta. De esta manera, proporciona información de forma, textura y composición química superficial del material de estudio [34].

Para la composición elemental superficial se requieren energía de rayos X.

8.15. Rayos X

Este es un método superficial que lleva a cabo el microscopio electrónico de barrido para general una composición elemental. Por lo mismo, esta energía es comúnmente emitida por elementos pesados cuando sus electrones realizan transiciones entre sus niveles más bajos de energía atómica.

Para general los rayos X se bombardean electrones a alta velocidad para expulsar los electrones las capas internas de los átomos del objetivo. De esta manera, los vacantes son llenados por electrones de niveles superiores emitiendo frecuencia definidas asociadas a la diferencia entre los niveles de energía atómicos. El MEB ya tiene preestablecida esta información determinando que tipo de elementos están presentes y la cantidad porcentual de peso y atómica.

Dependiendo la transición de niveles se clasifican en K o L debido a estas dos primeras capas de energía, donde como en las figuras 11 y 12 de los resultados de MEB se presentaron del tipo K los picos agudos se muestran cuando hay vacantes en el $n=1$ o capa K del átomo y electrones de niveles superiores caen para suplirlos. Aquellos que hacen la transición del nivel 2 al 1 son llamados rayos X K – alfa y los correspondientes de $n=3$ al 1 don rayos X K- beta. Para los rayos X L, son transiciones a $n=2$ o capa L, siendo alfa de $n=3$ a $n=2$ y beta de $n=4$ a $n=2$ [35].

8.16. Sputtering o pulverización catódica:

También es conocido como bombardeo de iones, es un sistema de plasma para grabar por sputtering. Funciona con un electrodo que se conecta con el generador de tensión de plasma, pero se establece separación capacitativa entre ellos intercalando un condensador. Así no resulta un flujo de corriente entre el generador y el electrodo. Durante la grabación el reactor funciona con una frecuencia alta, cargándose la muestra y el electrodo negativamente se aceleran los iones hacia este.

El gas utilizado es el argón debido a que no desencadena reacciones químicas y se quiere un grabado meramente físico [36].

Este método se utilizó para la preparación de muestra que se analizó mediante el MEB, se hizo un grabado con una delgada capa de oro para facilitar la visualización en el microscopio y como se había mencionado antes por su funcionamiento la conducción y/o atracción de electrones.

8.17. Adsorción

El método de adsorción se utilizó para complementar la información de MEB de tamaño de poro y área superficial, y en el caso de compatibilidad con el adsorbato entender la interacción de la fibra con compuestos de la misma naturaleza del dióxido de carbono en el caso de estudio para un posible aditivo.

En la adsorción se da una transición en la que se reduce el desequilibrio de fuerzas de atracción en la superficie del sólido, por ende, se da un descenso a la energía de Gibbs (ΔG) del sistema. Formando así, un proceso superficial, espontáneo (proceso que ocurre sin energía externa) y exotérmico que conlleva a un cambio de entropía (ΔS) y una entalpía (ΔH) negativa. En este proceso se denomina el sólido como adsorbente y el gas o líquido como adsorbato, la adherencia generada entre estos dos se debe a la atracción electrostática o química dependiendo de la interacción que puede ser reversible o fuerte.

Se pueden hallar dos tipos de adsorción dependiendo interacción de los compuestos con enlaces:

8.18. Fisisorción

Tiene interacciones del tipo Van der Waals; la interacción es débil, pero de largo alcance. La entalpia de adsorción física es medible con el aumento de temperatura, esta energía es tan fuerte como para romper un enlace, por lo que la identidad química del adsorbato se mantiene [37].

8.19. Quimisorción

Es aquella en la que se dan reacciones químicas entre el adsorbente y el adsorbente mediante enlaces químicos fuertes [38].

8.20. Fisisorción - Modelo BET (Brunauer, Emmett y Teller)

En la fisisorción de gases la cantidad adsorbida depende de tres factores: la temperatura (a temperatura más alta se reduce la carga porque el proceso de adsorción libera calor, así es posible liberar el material adsorbido al aumentar la temperatura), interacción química (las propiedades del material adsorbente y el adsorbato (polaridad) determina la interacción entre estos) y la presión parcial.

- Cuando la $P=P^0$ (presión saturación de vapor) el gas adsorbato se condensa como un líquido en la superficie del sólido, generando un número de capas infinito.
- Las condiciones de evaporación y condensación son idénticas para todas las capas excepto para la primera.

El método BET tiende a utilizarse con fisisorción con nitrógeno en condiciones normales (presión, 760 mmHg y 273,15K), este trabaja con una constante C que depende de la energía de adsorción e indica la fuerza de interacción entre el adsorbente y adsorbato. Con valores mayores a 100 indica una fuerte atracción entre el gas y la superficie, entre 100 a 200 se muestra la formación de la monocapa en la isoterma mostrando que el método es adecuado y valores mayores de 200 indica presencia de microporos.

Para hallar el área superficial se calcula en base al volumen del gas adsorbido en la monocapa [39].

En el caso de estudio de fibra de fique la isoterma no mostró la formación clara de monocapa, por lo que el método BET no era el adecuado.

8.21. Dubinin -Raduchkevich

Este método es más adecuado a la fisisorción con dióxido de carbono. En este es más importante la adsorción basada en el llenado volumétrico instantáneo [40].

8.22. Ácido de Lewis

Se refiere a la sustancia que puede aceptar un par libre de electrones para formar el enlace

8.23. Base de Lewis

Es aquel compuesto que tiene un par libre de electrones que puede donar a otro átomo al momento de generar un enlace.

Así, un ion metálico en un compuesto es un ácido de Lewis y los grupos que están unidos a él hacen el trabajo de una base [41].

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Empresa Mexichem. Departamento de Ingeniería - Geosistemas Geosistemas PAVCO, *Manual de diseño con geosintéticos*, Novena Edi., no. 1. 2012.
- [2] N. Corinto, “Caracterización mineralógica y mecánica de un colgante de piedra verde , del sitio arqueológico stone pendant , from the archaeological site of nuevo

Centro de Investigación en Ciencias Atómicas Nucleares y Moleculares (CICANUM), Universidad de Costa Rica,” pp. 79–90, 2019, doi: 10.15517/rgac.v6i1i0.36898.

- [3] D. P. Navia Porras, A. Ayala Aponte, and H. S. Villada Castillo, “Efecto de la gelatinización de la harina de yuca sobre las propiedades mecánicas de bioplásticos,” *Biotecnología en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 13, no. 1, p. 38, 2015, doi: 10.18684/bsaa(13)38-44.
- [4] C. Mosquera and H. Villada, “Comportamiento frente al agua de una matriz biodegradable de harina de yuca recubierta con colofonia,” *Vitae*, 2016.
- [5] K. Andres, B. Montoya, O. Duvan, V. Vergara, L. S. Fuentes, and J. T. Lozano, “Microencapsulación de un bioinsumo obtenido a partir del beneficio de fique (*Furcraea andina*) para el manejo del hongo *Botrytis cinerea*,” 2018.
- [6] D. D. Rodríguez Pino, H. Y. Bustos Castañeda, and M. E. Espitia Nery, “Caracterización de geotextiles usando microscopia electrónica de barrido,” *Rev. Mutis*, vol. 8, no. 1, pp. 7–16, Aug. 2018, doi: 10.21789/22561498.1372.
- [7] M. F. Contreras, W. A. Hormaza, and A. Marañón, “Fractografía de la fibra natural extraída del fique y de un material compuesto reforzado con tejido de fibra de fique y matriz resina poliéster,” 2009. [Online]. Available: www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html.
- [8] J. L. Suárez Castañeda, J. W. Restrepo Montoya, A. Quinchía Figueroa, and F. A. Mercado Navarro, “Fibras vegetales colombianas como refuerzo en compuestos de matriz polimérica,” *Rev. Tecnura*, vol. 21, no. 51, p. 57, Jan. 2017, doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a04.
- [9] W. J. Mora-Espinosa and B. A. Ramón-Valencia, “Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos,” *Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.*, vol. 41, no. 161, p. 479, Jan. 2018, doi: 10.18257/raccefyn.525.
- [10] Galvis, “Análisis de la resistencia a compresion y flexion del concreto modificado con fibra de fique,” 2013.
- [11] C. Barbosa, “Concreto reforzado con fibras de fique modificando la matriz cementicia con aditivo a base de humo de silice,” 2015.
- [12] M. Muñoz, M. Hidalgo, and J. Mina, “Fibras de Fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos,” *Rev. Bio. Agro*, vol. 12, no. 2, pp. 60–70, 2014, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a07.pdf>.
- [13] Amaya, “Novedosa fibra textil de base biológica a partir de fibra de desecho agroindustrial colombiana,” 2018.
- [14] D. Armas, S. Ruíz, M. Piován, L. Carrión, and C. Narváes, “Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo,”

2015, [Online]. Available:

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61447568003/html/index.html%09%0Ahttps://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61447568003/html/index.html%09%0A%09%0A%09%0A%09%0A>.

- [15] H. Espitia, “Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en reforzamiento de polímeros termoplásticos,” 2010.
- [16] C. Díaz, “Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización,” *Ing. e Investig.*, vol. 31, no. 3, pp. 80–90, 2011.
- [17] K. V. Nicolalde Simbaña and A. C. Revelo Rodríguez, “Caracterización mecánica y térmica de paneles tipo sánduche obtenidos a base de residuos de fibra de coco,” 2018.
- [18] CADEFIQUE and M. de ambiente vivienda Desarrollo, *Guía ambiental del subsector fiquero*. .
- [19] IDEAM, “Mapas de Brillo Solar,” pp. 41–58.
- [20] H. D. E. L. Ideam, I. Corporaciones, and A. Regionales, “Caracterización climática y meteorológica del centro y oriente del país (boyacá, cundinamarca, meta y casanare),” 2011.
- [21] INCITEMA, “Brochure, Instituto para la investigación e innovación en ciencia y tecnología de materiales.”
- [22] 赵岩, “Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural,” 2014.
- [23] J.-Z. David and Abel Moreno Cárcamo, “La Biomineralización Del Oxalato De Calcio En Plantas: Retos Y Potencial,” *Reb*, vol. 23, no. 1, pp. 18–23, 2004, [Online]. Available: http://computo.sid.unam.mx/Bioquimica/PDF/2004/03/2004_107_18-23_David_Jauregui.pdf.
- [24] J. L. Menéndez, “La pared celular,” *Asturnatura.com*. <https://www.asturnatura.com/articulos/envoltura-celular/pared-celular.php>.
- [25] E. Zúñiga-Sánchez, E. Martínez-Barajas, E. Zavaleta-Mejía, and A. Gamboa-de-Buen, “The phloem and the symplastic pathway during sink organ formation,” *Rev. Fitotec. Mex.*, vol. 40, no. 3, pp. 249–259, 2017.
- [26] M. Amezcua Valencia and L. Vargas, “Obtención de hidrógeno y monóxido de carbono por medio de reformado catalítico en seco del metano,” *Biotecnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial BSAA*, vol. 4, no. 1, pp. 43–50, 2006.
- [27] E. Sinha and S. K. Rout, “Influence of fibre-surface treatment on structural, thermal

and mechanical properties of jute fibre and its composite,” *Bull. Mater. Sci.*, vol. 32, no. 1, pp. 65–76, 2009, doi: 10.1007/s12034-009-0010-3.

- [28] J. M. Martín Martínez, *Generalidades Sobre Adsorción Física de Gases y Vapores en Carbones*. 1990.
- [29] G. Gutiérrez, *Manual práctico de botánica taxonómica*. 1968.
- [30] J. Baldeón, “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas(preparadas en el laboratorio) utilizando como lecho filtrante la fibra de cabuya furcraea andina como alternativa de biorremediación,” p. 101, 2013, [Online]. Available: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/766/1/UNACH-EC-IMB-2013-0001..pdf%0Ahttp://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/766>.
- [31] P. M. Megías M, Molist P, “Tejidos vegetales,” *Atlas de histología vegetal y animal*, 2019. http://mmegias.webs.uvigo.es/1-vegetal/guiada_a_inicio.php.
- [32] A. M. Gonzalez, “Morfología de plantas vasculares,” *Botanica morfológica, biología.edu.ar*. <http://www.biología.edu.ar/botanica/tema12/12-3fibras.htm>.
- [33] C. Natagaima, “Obtención de celulosa a partir de residuos de la poda de pasto común por medio de líquido iónico (cloruro de 1-butil-3-metilimidazolío),” *Biomass Chem Eng*, vol. 3, no. 2, p. 2018, http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127%0Ahttp://publicacoes.cardiol.br/portal/ijcs/portugues/2018/v3103/pdf/3103009.pdf%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-75772018000200067&lng=en&tlng=.
- [34] SCAI, “Microscopia electronica de barrido,” *Scai uma.es*. <https://www.scai.uma.es/areas/micr/sem/sem.html>.
- [35] M Olmo R Nave, “HyperPhysics - Rayos X Característicos.” <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/quantum/xrayc.html>.
- [36] Diener_Technology_Electronic plasma surface, “Glosario de tecnología de superficies, Sputtering.” <https://www.plasma.com/es/glosario-de-tecnologia-del-plasma/sputtering/>.
- [37] J. Rodríguez, F., Letòn, R., Dorado, M., Villar, S., Sanz, “Informe de Vigilancia Tecnológica: Tratamientos Avanzados de aguas residuales industriales,” pp. 137–142, 2010.
- [38] L. Carballo, “Capítulo 4: Interacción superficie – fluido,” in *Introducción a la catálisis heterogénea*, : : Universi., Bogotá, 2002, pp. 64–80.
- [39] “Fisorción de nitrogeno, método BET,” *Library.co*. <https://library.co/article/fisorción-nitrógeno-método-bet-sistema-reacción-utilizado-hexanodinitri.oz15n4vy>.
- [40] G. Aguilar and L. Díaz, “Estudio de la microporosidad de carbones activados por

adsorción de benceno, ciclohexano y nitrógeno,” *Rev. la Soc. Química México*, vol. 44, no. 4, pp. 257–265, 2000.

- [41] U. NacionaldeColombia, “Modelo de Lewis.”
http://168.176.239.58/cursos/ciencias/2000189_1/modelo_de_lewis.html.

10. Anexo.

- Medidas del grosor de la célula.

