

Productos y experimentos elaborados con fique: una revisión sistemática de literatura*

Fique products and experiments: a systematic review of the literature

Recibido: Diciembre 07 de 2022 - Evaluado: Marzo 25 de 2023 - Aceptado: Junio 28 de 2023

Martha Lida Solarte Solarte**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3348-1368>

Claudia Magali Solarte Solarte***

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8844-2070>

Resumen

Colombia es el mayor productor de fique (*Furcraea* spp.) a nivel mundial y es un cultivo de importancia nacional debido a que es sembrado en 13 de los 32 departamentos del país. El artículo presenta una revisión sistemática de documentos relacionados con el fique. El objetivo consiste en examinar productos y experimentos elaborados con fique. Como metodología, se realiza una revisión de publicaciones científicas en las bases de datos *Scopus*, *SciELO*, *Redalyc*, *Science Direct* y *Google Scholar*, acogiendo documentos que incluyeran la palabra fique, en un periodo desde 2019 hasta 2023. Los resultados ofrecen información respecto al país de ubicación de los documentos, la metodología, los temas, productos y experimentos realizados con fique. Como conclusión se observa que existen varios productos elaborados con fique con alta exigencia técnica, valor estético, simbólico, innovación y competitivos comercialmente en el mercado, dando respuesta satisfactoria a todos los estímulos otorgados por las entidades públicas y privadas que hicieron posible llegar al producto final.

Palabras clave: Fique, Bagazo de Fique, Fibra de Fique, Jugo de Fique

Abstract

Colombia is the largest producer of fique (*Furcraea* spp.) in the world and it is a major crop in the country because it is planted in 13 of the 32 departments of the country. The article presents a systematic review of fique documents. Products and experiments derived from it are examined. As a methodology, a review of scientific publications in the databases *Scopus*, *SciELO*, *Redalyc*, *Science Direct* and *Google Scholar* was carried out. This included documents with the word fique, for a period from 2019 to 2023. The results provide information regarding the country of

* Artículo inédito. Artículo de investigación e innovación. Artículo de la investigación Modelo de negocio basado en economía circular, dirigido a la asociación de fique ubicada en Yascual - Nariño. Trabajo vinculado a la Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO y la Universidad Cesmag de Colombia.

** Economista por la Universidad de Nariño, Colombia. Magister en Mercadeo por la Universidad de Manizales, Colombia. Docente-investigadora, integrante del grupo de investigación GICAEF de la Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO. Colombia. Email: msolartesol@uniminuto.edu.co

*** Administradora de Empresas por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Colombia. Contador Público por la Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia. Magister en Mercadeo por la Universidad de Manizales, Colombia. Candidata a Doctor en Administración Gerencial en la Universidad Benito Juárez, México. Líder del grupo de investigación Gestión y Competitividad, Docente e investigadora de la Universidad CESMAG, Colombia. Email: cmsolarte@unicesmag.edu.co

location of the documents, methodology, topics, products and experiments carried out with fique. As a conclusion, it is observed that there are several products made with fique with high technical requirements, aesthetic and symbolic value, innovation and commercially competitive in the market. These products give a satisfactory response to all the stimuli granted by public and private entities that make it possible to reach the final product.

Keywords: Fique, Fique Bagasse, Fique Fiber, Fique Juice, Fique Juice

SUMARIO

INTRODUCCIÓN. - ESQUEMA DE RESOLUCIÓN. - I. Problema de investigación - II. Metodología. - 1. Preguntas de investigación. - 2. Búsqueda. - 3. Selección. - 4. Evaluación de calidad. - III. Resultados de investigación. 1. Productos elaborados con fique. - 2. Experimentos realizados con fibras de fique. - 3. Experimentos con bagazo de fique. - 4. Experimentos con jugo y con nanofibras de celulosa de fique. - CONCLUSIONES. - REFERENCIAS.

Introducción

Colombia es el mayor productor de fique (*Furcraea* spp.) a nivel mundial y es un cultivo de importancia nacional debido a que es sembrado en 13 de los 32 departamentos del país, de él dependen económicamente cerca de 420.000 personas (MADR, 2018). Las áreas del cultivo de fique crecieron en los últimos años por el reciente auge ecológico y ambiental impulsado por la necesidad del reemplazo de productos sintéticos que generan impacto ambiental (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020). Especialmente gana interés por su potencial para la elaboración de una variedad de productos exportables con valor agregado, como empaques biodegradables, cuero vegano, agromantos, textiles, materiales compuestos para la construcción de edificaciones, partes de vehículos, elementos de protección balística y bioplaguicidas (Luna *et al.*, 2009; Neves *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019).

El fique se propaga principalmente vía asexual a través de bulbilos e hijuelos. Una planta de *Furcraea macrophylla* puede producir hasta 3.000 bulbilos, los cuales crecen en el tallo floral; por su parte, los hijuelos crecen en el tallo de la planta y son de mayor tamaño que los bulbilos, tienen hojas desarrolladas, son más limitados en número, poseen poca uniformidad en cuanto a edad y tamaño y son utilizados principalmente para resiembras (Pérez, 1974). El éxito del cultivo depende en gran medida de la calidad del material vegetal de siembra; sin embargo, uno de los problemas técnicos actuales, consiste en que los agricultores propagan las plantas en suelos ácidos y poco fértiles a los que no suelen aplicar fertilizantes (CADEFIQUE, 2006). Esta situación hace que la nutrición se convierta en un factor limitante, ya que su insuficiencia provoca cambios metabólicos que se reflejan en bajo crecimiento de las plantas (Ortiz-González, 2021).

El género *Furcraea*, al que pertenece el fique, y el género *Agave* se encuentran dentro de la familia de las Agaváceas, con una cercanía filogenética; por lo tanto, son similares respectivamente, frente al control. Mientras que, para las plantas provenientes de hijuelos, la mejor respuesta de crecimiento se obtuvo en los tratamientos de fertilización exponencial independiente de la condición lumínica y con la fertilización constante a plena exposición solar, donde se encontraron incrementos de biomasa entre un 74,00% y 176,00% respecto al control. El manejo de la iluminación y fertilización es clave para el crecimiento del fique en etapa de vivero.

Por otra parte, el Departamento de Santander se encuentra localizado en el norte del país siendo parte de la región Andina, limitando al norte con el departamento del Cesar y Norte de Santander, con Boyacá al este y sur, con Antioquia al oeste y finalmente con Bolívar al noreste,

en este territorio su cultura y economía giran principalmente alrededor de las actividades agrícolas y ganaderas, donde se destaca Mogotes en relación con los otros municipios del departamento, en este territorio se encuentran el cultivo de fique, la caña de azúcar, frijol, entre otros, como actividades principales de la región Guanentina por su singular producción y clima, siendo este municipio el segundo en producción y elaboración de fibra de fique del departamento. En este sentido el cultivo de fique, consolida al departamento de Santander como el tercero con mayor participación en su producción después de Cauca y Nariño con una producción en área de 1.760 ha y un rendimiento de 1,2 para el año 2018 según el ministerio de agricultura. La producción artesanal utiliza herramientas manuales y trabajadores muy cualificados, quienes deben realizar todas las tareas necesarias para la transformación de las materias primas en productos, cada una de estas tareas o funciones, generalmente, corresponde con un determinado oficio (Riveros, 2022).

Colombia es el mayor productor mundial de fibras de fique (*Furcraea bedinghausii*), con una producción neta de 30.000 toneladas anuales (Guancha *et al.*, 2022). La revisión sistemática se realiza para dar cuenta de los avances y tendencias en relación a los elementos y experimentos realizados con fibras de fique, bagazo de fique, jugo de fique, y nanofibras de celulosa de fique. Profundizar en estos aspectos es importante en la medida en que se fortalece el cuerpo teórico referente a los temas relacionados con el fique en lo referente a su productividad, y amplía la visión que puede favorecer la labor de diferentes profesionales que tienen como objeto de estudio el fique. Los resultados pueden ofrecer información valiosa a quienes se encuentran desarrollando estudios sobre este tema.

Esquema de Resolución

1. Problema de investigación

¿Qué productos y experimentos se han elaborado con el fique?

2. Metodología

El propósito importante de este trabajo es realizar una revisión sistemática de la literatura reciente sobre los elementos y experimentos realizados con fique. En los objetivos primarios generales de un método sistemático de revisión de la literatura se está elaborando el conocimiento reciente en un área de investigación a mapear las incertidumbres y lagunas que necesitan más estudios (Petticrew y Roberts, 2008), que se lleva a cabo a través de la identificación, recolección y análisis de la literatura relevante (Wright *et al.*, 2007). Una revisión sistemática puede contribuir a la exploración de temas, tendencias, y la debilidad (Macpherson y Jones, 2010). La figura 1 muestra el proceso de revisión sistemática realizado. El proceso de revisión sistemática para obtener la muestra final de documentos para el análisis consta de 3 partes de acuerdo a Crossan & Apaydin (2010): recopilación de datos, análisis de datos y síntesis.

2.1 Preguntas de investigación

En la investigación se pretende dar respuesta a los siguientes interrogantes:

- RQ1: ¿Cuál es la metodología más empleada en los documentos de fique?

- RQ2: ¿Qué productos se elaboran con fique?
- RQ3: ¿Qué experimentos se han realizado con fibra de fique?
- RQ4: ¿Qué experimentos se han realizado con bagazo de fique?
- RQ5: ¿Qué experimentos se han realizado con jugo de fique?
- RQ6: ¿Qué experimentos se han realizado con nanofibras de celulosa de fique?

2.2 Búsqueda

En primera instancia se aplica la cadena de búsqueda constituida por los términos clave, como aparece en la tabla 1, en las bases científicas. Además, también se combinaron con palabras similares para captar un mayor número de artículos a examinar, de acuerdo a la tabla 2.

Tabla 1. Términos clave y sus sinónimos

TÉRMINOS CLAVE	TÉRMINOS SINÓNIMOS/ RELACIONADOS
Fique	Agave Pita Maguey Cabuya Penca

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Cadena de búsqueda

TÉRMINO PRINCIPAL	CADENA DE BÚSQUEDA
Fique	(Products and experiments made with fique and fique bagasse and fique fiber and fique game or Agave or Pita or Maguey or Cabuya or Penca)

Fuente: elaboración propia.

En la primera etapa, la recopilación de datos se inició con una búsqueda de la información contenida en las bases de datos como Scopus, Scielo, Redalyc, Google Scholar, Science Direct, Dialnet y Doaj, como se muestra en la Tabla 3, a fin de centrarse en revistas revisadas por pares de forma análoga a otras revisiones efectuadas en el campo (Cacciotti *et al.*, 2015; Delgado *et al.*, 2015).

2.3 Selección

Los artículos encontrados se filtraron teniendo en cuenta el tipo de acceso, años, área temática, tipo de documento e idioma, de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3. Aplicación de filtros en bases científicas

REFINAR	SCOPUS	SCIELO	REDALYC	SCIENCE DIRECT	GOOGLE SCHOLAR	DIALNET	DOAJ
Tipo de acceso abierto	25	680	570205	26712	12600	47	20
Año (2019-2023)	47	268	131823	227	14400	47	15
Área temática	140	173	1.871	58	1342	47	19

(Ingeniería Química)							
Tipo de documento	82	263	672	37	850	29	20
(Artículo)	82	220	567	37	696		1
(Tesis)			57			12	
(Informe)					2		
Idioma inglés	12	10			12		
Idioma español		6	2				

Fuente: elaboración propia.

Se analizó en todos los artículos el título, las palabras claves, el resumen, la introducción, la metodología, los resultados y las conclusiones. Se consideraron aspectos de exclusión e inclusión para realizar la revisión, de la siguiente manera: en primer lugar, que en el artículo se escriba sobre fíque; en segundo lugar, que se relacione los materiales elaborados con fíque; y, en tercer lugar, que se haga referencia a experimentos realizados con fíque. La selección de artículos se efectuó en 5 etapas (porque se tuvieron en cuenta 7 bases de datos científicas) con las siguientes fases:

- Fase 1: Exclusión de artículos repetidos.
- Fase 2: Exclusión de artículos que se debía pagar.
- Fase 3: Artículos pertinentes de acuerdo al tema de investigación después del análisis de (título, palabras claves, resumen, introducción, metodología, resultados y conclusiones)

De la búsqueda en las bases científicas se hallaron 54 documentos pertinentes para el estudio, como se detalla en la tabla 4.

Tabla 4. Documentos pertinentes para el estudio

REFINAR	SCOPUS	SCIELO*	REDALYC	SCIENCE DIRECT	GOOGLE SCHOLAR	DIALNET	DOAJ
Documentos filtrados	82	263	672	37	850	29	20
Documentos duplicados	40	115	320	24	421	14	8
Documentos que requieren pago	15	52	112	13	0	0	0
Documentos adecuados	12	10			11	8	13
Documentos a examinar							54

Fuente: elaboración propia.

2.4 Evaluación de calidad

Se escogieron documentos publicados recientemente en revistas. Posteriormente se examinaron los resúmenes para eliminar errores de filtración de las bases científicas, es decir, documentos que no cumplieran con el tema de investigación y año de búsqueda). Sólo se tuvo en cuenta documentos científicos para esta revisión de literatura. Para la pertinencia e inclusión de los documentos, se tuvo en cuenta, primero, a partir de la lectura del título, el cual debía contener el tema de fíque; luego, centrarse en materiales elaborados con fíque. También se examinó el resumen para indagar sobre el objetivo del estudio y la metodología; igualmente, se realizó una lectura del texto para tener una idea global y su aporte al artículo de revisión que se está

construyendo.

El criterio de validez que se tuvo en cuenta en todo el proceso de recolección de la información, está relacionado con la autoridad científica de las instituciones e investigadores que han publicado en los medios consultados. Esto se basa en el conocimiento del proceso de publicación de un artículo que llevan a cabo las revistas científicas. En primer lugar, los documentos, son escogidos por un comité editorial en el cual participan reconocidos académicos; posteriormente son evaluados por un comité científico cuyos miembros proceden de diferentes países y diversas disciplinas académicas; luego están los pares académicos para examinar la calidad, la pertinencia y nuevo aporte dentro de la disciplina.

En el anterior proceso se apoyan las bases de datos que se revisaron para el artículo, éstas lo publicitan como un elemento de calidad para dar confiabilidad a los investigadores. Así mismo, otro de sus valores, es acopiar artículos de revistas indexadas, lo cual les da otro plus de credibilidad y calidad. Los documentos seleccionados fueron evaluados de acuerdo con cinco criterios: relevancia del contenido, claridad en el objetivo de la investigación, descripción adecuada del contexto en el cual se desarrolló la investigación, claridad y rigor del diseño metodológico de la investigación, y rigor científico en el análisis de los datos (Revelo *et al.*, 2018).

3. Resultados de investigación

Se seleccionaron los 54 documentos de investigación teniendo en cuenta los últimos 5 años distribuidos en la tabla 5. El mayor número de material de investigación pertenece a Colombia, en segundo lugar, Brasil.

Tabla 5. Año de publicación

AÑO	NÚMERO
2019	8
2020	10
2021	8
2022	23
2023	5
Total	54

Fuente: elaboración propia.

Además, se distribuyó de acuerdo al país de origen como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. País al que pertenecen los documentos de investigación

PAÍS	Nº DE ARTÍCULOS
Colombia	40
Brasil	6
Estados Unidos	2
India	2
España	2
Argentina	1
Perú	1
Total	54

Fuente: elaboración propia.

También se analizó la metodología utilizada en los documentos revisados como se muestra en la tabla 7. En los materiales investigados predomina el tipo de investigación experimental, en segundo lugar, el enfoque mixto y por último el enfoque cualitativo con el método etnográfico. Es así como: “En un estudio experimental se construye el contexto y se manipula de manera intencional la variable independiente y se observa el efecto de esta manipulación sobre la variable dependiente. Es decir, el investigador influye directamente en el experimento” (Hernández *et al.*, 2014, p. 153). En segundo lugar, los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio (Hernández *et al.*, 2014, p. 534).

En tercer lugar, los artículos utilizan el enfoque cualitativo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción e indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio (Hernández *et al.*, 2014, p.358).

Asimismo, (Caines, 2010 y Álvarez, 2003, citado por Hernández *et al.*, 2014, p.482) consideran que el propósito de la investigación etnográfica es describir y analizar lo que las personas de un sitio, estrato o contexto determinado hacen usualmente (se analiza a los participantes en “acción”), así como los significados que le dan a ese comportamiento realizado en circunstancias comunes o especiales, y finalmente, presenta los resultados de manera que se resalten las regularidades que implica un proceso cultural. Los diseños etnográficos estudian categorías, temas y patrones referidos a las culturas. Por otra parte, se seleccionaron los diferentes temas de fique en los documentos como se presenta en la Tabla 8.

Tabla 7. Metodología utilizada

METODOLOGÍA	Nº
Tipo de investigación experimental	50
Enfoque mixto	3
Enfoque cualitativo: Método etnográfico	1
Total	54

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Temas de fique

TEMA	NÚMERO DE ARTÍCULOS
Fibras de fique	26
Bagazo de fique	5
Jugo del fique	4
Nanofibras de celulosa del fique	3
Aislante a partir de fique	3
Tela de fique	3
Tejido de fique	2
Afrecho de fique	1

Fabricación de materiales con fique	5
Concentración de zinc en fique	1
Costales de fique	1
Total	54

Fuente: elaboración propia.

3.1 Productos elaborados con fique

La planta de fique se usa principalmente para la elaboración de cuerdas y empaques en países americanos del trópico como Colombia, Brasil, Ecuador, Costa Rica y las Antillas aportando ingresos económicos importantes a poblaciones agrícolas que viven de su cultivo (Gómez *et al.*, 2020). Por otra parte, el uso del fique como refuerzo de materiales biocompuestos, ha brindado ventajas sobre los polímeros como: la disponibilidad, renovación, baja densidad, resistencia a corrosión, bajo costo y biodegradabilidad (Luna, *et al.*, 2017). Así mismo, la fibra de fique se cultiva principalmente en países suramericanos como Colombia, Ecuador, Costa Rica, Brasil, Venezuela, y Antillas, usándose principalmente para la elaboración de sacos de cafés y cuerdas, sin embargo, se han realizado estudios mecánicos que evidencia su gran potencial para uso como refuerzo de materiales compuestos (Gómez, *et al.*, 2018). El uso de fibras naturales como refuerzo para materiales de la construcción civil ha crecido en las últimas décadas (Coudert, 2020).

También se fabricó y programó un dron cuadricóptero elaborado en material compuesto natural reforzado con fibra de fique y matriz de poliéster, correspondientes al 35,40% del peso de la estructura, por la técnica de manufactura manual Hand lay Up. El diseño del marco del cuadricóptero se realizó utilizando el software CAD, SolidWorks y se cortó por medio de láser (Gomez *et al.*, 2022). Según las mujeres kankuamas y varios estudios sobre el tema, anteriormente se tejían principalmente las mochilas de fique de colores conocida como mochila rayá y cargueras o mochilón, que sirven para cargar cosas pesadas. A principios del siglo XX, la mochila rayá era la más reconocida en Colombia. Se hace con rayas horizontales de diversos colores y se vendía por docenas. Los chinchorros, por su parte, se usaban para dormir, como cincha de animales y para adornar a los burros y mulas en el proceso de la molienda de la panela. Los chinchorros se usaban para colocarle a los burros en el hocico, a los terneros, para que no se comieran los pastos por el camino y se apuraran rápido en caminar (Echavarría *et al.*, 1999, Solano *et al.*, 2023). Asimismo se elaboró el diseño de ecocubiertas en material plástico reciclado reforzado con fibra de fique (*furcraea andina*) para una vivienda sustentable en el sector rural de Tocaima, Colombia (Aranzaes, 2020).

El fique es una especie de agave endémica, sus fibras se utilizan comúnmente para aplicaciones de baja tecnología como la fabricación de sacos y cuerdas para empaques de alimentos y artesanías en general (Gomez *et al.*, 2020). Los principales sectores y aplicaciones donde se utiliza la fibra de fique son automoción, aeroespacial, marítimo, artículos deportivos, aplicaciones electrónicas, construcción, mobiliario y embalaje. Los fabricantes de vehículos fabrican los paneles de las puertas, los respaldos de los asientos, las cubiertas del techo, las bandejas para paquetes, los paneles de instrumentos y las partes interiores con materiales compuestos debido a la reducción de peso y al bajo costo (Gil *et al.*, 2021).

3.2 Experimentos realizados con fibras de fique

Los bioaislantes han ganado gran interés en los últimos años debido a su potencial para reducir el consumo de energía sin impactos ambientales negativos. El fique es uno de los cultivos más importantes en Colombia, ha mostrado una baja conductividad térmica lo que lo convierte en un potencial reemplazo de los materiales aislantes comunes. Sin embargo, existen pocos trabajos que estudien sus propiedades térmicas. Con el fin de mejorar la comprensión del fique como aislante térmico, se realiza un análisis morfológico de fibras de fique crudas y pruebas de termogravimetría (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC) de tres muestras de fique, a saber, fique natural sin tratamiento, fique lavado con un suavizante comercial y fique después de haber estado en remojo durante 24 horas en el mismo suavizante (García *et al.*, 2019).

Asimismo, los edificios consumen una gran cantidad de energía durante todas las etapas de su ciclo de vida. Una de las formas más eficientes de reducir su consumo es utilizar materiales aislantes térmicos; sin embargo, estos generalmente tienen efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana. Los bioaislantes se presentan como una buena alternativa de solución a este problema, motivando así el estudio de las propiedades de los materiales naturales o reciclados que podrían reducir el consumo energético en los edificios. El fique es un cultivo muy importante en Colombia. Para contribuir al conocimiento de las propiedades de sus fibras como aislante térmico, se reporta la medición de su conductividad térmica empleando equipos diseñados de acuerdo a la norma ASTM C 177 y un estudio cinético de su descomposición térmica a partir de datos termogravimétricos a través del método de ajuste del modelo de Coats-Redfern (García *et al.*, 2021).

Por otra parte, los biocompuestos se prepararon a partir de una matriz ternaria de ácido poliláctico (PLA), policaprolactona (PCL) y almidón termoplástico (TPS) y se reforzaron con fibras de fique nativas del suroeste de Colombia. La influencia de la modificación de la superficie por alcalinización de las fibras de fique sobre las propiedades interfaciales del biocompuesto se estudió mediante pruebas de extracción. Adicionalmente, se evaluó el efecto de las fibras cortas de fique en tres proporciones (10%, 20% y 30% (p/p)) sobre las propiedades mecánicas de tracción del compuesto. Los resultados experimentales indicaron que la resistencia al corte interfacial (IFSS) de la matriz ternaria estuvo predominantemente influenciada por PCL y se caracterizó por el desarrollo de una interfaz débil que falló debido a la fluencia de la matriz. Además, la incorporación de fibras cortas de fique incrementó el módulo elástico del compuesto a valores similares a los estimados con el modelo Tsai-Pagano. El tratamiento de alcalinización de las fibras de fique mejoró la interfase con la matriz compuesta, y este fenómeno fue evidenciado por los resultados de las caracterizaciones micromecánicas y tensiles del compuesto (Mina *et al.*, 2020).

En otro sentido, se analiza el comportamiento de compuestos poliméricos laminados reforzados con fibra natural (NFRPC) bajo solicitaciones mecánicas. Las muestras fueron fabricadas con matriz de resina epoxi reforzada con una fibra natural multicapa de fique en una configuración de tejido comercial bidireccional. Se prepararon diferentes contenidos de refuerzo sin aditivos teniendo en cuenta la sencillez en el procesamiento, costo de fabricación y aplicaciones en las que este material podría ser utilizado con altos estándares de desempeño. Para evaluar el comportamiento mecánico y el trabajo de fractura se realizaron ensayos de impacto con entalla Charpy y flexión en 3 puntos, el cual mejoró significativamente con las fibras, mostrando un

aumento de 5 a 30 kJ/m², una mejora muy significativa para aplicaciones balísticas. Estos resultados se comparan con las pruebas de barra de presión Split-Hopkinson realizadas en análisis previos (SHPB) para el mismo material. La microestructura se investigó mediante microscopía electrónica de barrido. Los resultados revelan que la formulación respalda a este material como una solución de alto rendimiento para aplicaciones de impacto y es adecuado para sustituir los costosos materiales tradicionales (Rua *et al.*, 2021).

En este orden de ideas, los compuestos de polímeros reforzados con tejido natural se han investigado recientemente como posibles blindajes balísticos para la protección personal contra diferentes niveles de munición. En particular, se aplicó tela hecha de fibras de fique, que se extrae de las hojas de la *Furcraea andina*, como refuerzo para compuestos poliméricos utilizados en un sistema de armadura multicapa (MAS). El desempeño superior de los compuestos de tela de fique como segunda capa MAS motivó este breve informe sobre la determinación de la energía absorbida y la capacidad para limitar la velocidad en las pruebas balísticas independientes. Las placas individuales de compuestos epoxi, que se reforzaron con hasta un 50% en volumen de tela de fique, se sometieron a pruebas balísticas como objetivos contra munición de impacto de 7,62 mm de alta velocidad, ~840 m/s por primera vez. Los resultados fueron analizados estadísticamente por el método de Weibull y ANOVA. Las energías absorbidas de los 200–219 J y las velocidades límite de 202–211 m/s se encontraron estadísticamente similares a los compuestos epoxi reforzados con la tela de fique de 15,00% a 50,0% vol. Predominantemente, estos hallazgos son mejores que los informados para el epoxi simple y la tela de aramida (KevlarTM) utilizados como placas independientes con el mismo espesor. Las microfisuras en los compuestos de tela de fique de 15,00% y 30,00% vol comprometen su aplicación como placas de blindaje. El mecanismo de ruptura de la delaminación se reveló mediante microscopía electrónica de barrido. Por el contrario, la integridad se mantuvo en los compuestos de 40 y 50 % en volumen, lo que garantiza una protección balística superior en comparación con el uso de Kevlar (Souza, Santos, Colorado, *et al.*, 2021).

Ahora bien, no se reportan estudios sobre el envejecimiento acelerado por inmersión en agua en compuestos de fibra de fique-epoxi. Este trabajo tuvo como objetivo llenar este vacío investigando los compuestos de matriz epoxi reforzados con tela de fique al 40,00% vol. El matriz epoxi y el compuesto, tanto envejecido como sin envejecer, se caracterizaron por variación de peso, absorción de agua, morfología, colorimetría (método CIELAB), espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) y análisis dinámico-mecánico (DMA). Los principales resultados fueron que la degradación por agua presenta aparición de estructuras complejas de microfibrillas, plastificación de la resina epoxi y desprendimiento de la matriz fibra de fique/epoxi. El cambio de color más intenso se obtuvo para el epoxi envejecido por inmersión en agua a las 1440 h. Los diagramas de Cole-Cole revelaron la heterogeneidad de los materiales estudiados (Oliveira *et al.*, 2022). En otro sentido, se realizó una revisión de algunos aspectos relevantes para tener en cuenta en el empleo de fibras naturales en la industria de los compuestos, como son su origen, composición química, metodología de extracción, propiedades físicas y mecánicas, y algunos tratamientos necesarios para mejorar la adherencia cuando se emplean como refuerzo de matrices poliméricas. Además, se destacan algunos de los resultados obtenidos en una investigación enfocada a proporcionar aspectos técnicos para el empleo de fibras de bambú guadua angustifolia como material de refuerzo. Cabe resaltar que la revisión presentada en este documento se centra en fibras de origen vegetal (Luna *et al.*, 2022).

Por otra parte, la producción y posterior evaluación de la durabilidad de materiales compuestos alternativos que puedan ser utilizados en la construcción de colmenas. Los materiales están basados en polietileno de alta densidad y residuos agroindustriales (fibra de fique, fibra de banano y plumas de ganso) de la región de Boyacá en Colombia. Los materiales compuestos estudiados en el presente estudio fueron expuestos a hongos xilófagos durante 90 días, en condiciones de humedad constante y temperatura controlada que favorecen la proliferación de hongos. Los resultados mostraron que los materiales compuestos que incluyen fibras de fique son el sustituto más prometedor de la madera en la construcción de colmenas. De hecho, estos materiales demostraron ser un 80,00% más resistentes al ataque de patógenos y una pérdida de peso duradera que la madera de pino. Estos resultados de durabilidad pueden ser de gran importancia para su futura implementación en unidades de producción apícola. Tienen el potencial de impactar no solo en el desarrollo sostenible de las comunidades rurales, sino también de hacer una gran contribución ecológica al reducir la necesidad de talar árboles y mantener la salud de las colmenas (Rubiano *et al.*, 2022).

En otro orden de ideas, desarrollar la composición de un aislante termoacústico, implementando Micelio, Fique y Heno, a partir de análisis de conductividad térmica, reflectancia térmica, e insonorización; adaptándose a los estándares higrotérmicos por el consejo colombiano de eficiencia energética (CCEE) y el análisis distintivo del diagrama bioclimático de Baruch Givoni en el año 1969; además de ofrecer características afables con el medio ambiente, determinará la influencia sostenible por la cual se comparará frente a la composición de aislantes térmicos existentes en el contexto colombiano (Gil *et al.*, 2021). Ahora bien, se realiza una caracterización exhaustiva de la fibra de Fique, incluida la composición química, la degradación térmica, la cristalinidad, las propiedades topográficas y mecánicas junto con la química e interacciones de la superficie, la distribución de macromoléculas y la cuantificación de extractos no informados anteriormente. El hecho de que los extractivos fueran cuantificados reduce la posibilidad de reportar azúcares no estructurales como parte de la distribución de la macromolécula. Los resultados indican que la fibra de fique está compuesta principalmente por macromoléculas como celulosa (42,10% en peso), hemicelulosa (13,00% en peso) y lignina (18,20% en peso). El contenido extractivo fue del 15,3% en peso. La degradación térmica señala una temperatura máxima de degradación de 360 °C. La caracterización química de la superficie indica que la fibra es principalmente de características ácidas y con una variedad de grupos funcionales (carboxílico, fenólico, hidroxilo y hemiacetal) determinados por ATR-FTIR y un atributo débilmente hidrofílico. La caracterización mecánica muestra un módulo de Young de 24,31 GPa. Estas características revelan que el fique es una fibra intermedia, no tan dura como el sisal pero tampoco tan blanda como el yute, con una composición química térmica, de volumen de cristalinidad y de superficie atractiva para una amplia gama de aplicaciones (Bastidas *et al.*, 2022).

En otro sentido, se examinó la morfología, propiedades mecánicas y térmicas de biocompuestos a base de resina epoxi-EP y fique (*Furcraea andina*), un cultivo nativo de América del Sur. Los biocompuestos de EP-fique se prepararon utilizando polvo de fique-FP, un desecho industrial generado durante el procesamiento del fique, mallas de fibra de fique no tejidas-NWF y mallas de fibra de fique unidireccional-UF orientadas a 0° y 90°. La adición de fique a la matriz de EP restringe el movimiento de las cadenas de macromoléculas de EP y mejora la estabilidad térmica de EP. Las imágenes SEM mostraron que la forma de fique utilizada (polvo o fibra) y la disposición del tapete pueden generar cambios en la morfología de los biocompuestos. La

caracterización mecánica muestra que el polvo de fique y las fibras de fique orientadas a 90° actúan como rellenos para la matriz epoxi mientras que las fibras de fique orientadas a 0° refuerzan la matriz EP aumentando el módulo de tracción y flexión hasta 5700,00% y 1100,00% respectivamente y la resistencia a la tracción y flexión hasta a 277,00% y 820,00% en comparación con EP puro. Los resultados obtenidos pueden aumentar el interés en la investigación y el desarrollo de productos a partir de polvos de fique y otros subproductos del procesamiento de fibras naturales, reduciendo así la abundancia de desechos en el suelo y los vertederos y las preocupaciones ambientales y sugieren que los biocompuestos de EP-fique son prometedores para ser utilizados en la industria automotriz (Centeno, *et al.*, 2022).

Por otra parte, se evaluó el desempeño balístico del sistema de blindaje multicapa (MAS) con frente de teja cerámica, seguido de un laminado de hasta 50,00% vol. de matriz epóxica reforzada con tejido de fique y posterior de aleación de aluminio 5062H34. La firma de la cara posterior (BFS) causada por la bala en un bloque de arcilla testigo detrás del objetivo se utilizó para evaluar el rendimiento balístico del MAS de acuerdo con los estándares internacionales. Los resultados con munición de alta velocidad de 7,62 mm muestran un BFS similar a un MAS de segundas capas de laminado KevlarTM con el mismo grosor. El análisis de Weibull proporciona estadísticamente la confiabilidad de los resultados de la prueba BFS. Los exámenes de fractura por microscopía electrónica de barrido (SEM) revelaron que el compuesto de tela epoxi-fique tiene diferentes tipos de mecanismos de disipación de energía. Se trata de la misma captura de fragmentos cerámicos por mecánica de incrustación presentada en laminado KevlarTM. Entre los materiales probados, se encontró que el compuesto de tela al 40,00% en volumen era una mejor alternativa para reemplazar a KevlarTM. El menor costo del compuesto de tejido epoxi-fique es una ventaja adicional que favorece su sustitución por el tejido de aramida (Souza *et al.*, 2019).

Sin embargo, se analizó las capacidades de fabricación y oxidación avanzada de un bionanocompuesto basado en fibras de fique celulósico (FF) decoradas con NP de magnetita (Fe₃O₄). El ensamble del material compuesto fue monitoreado usando FESEM, XPS, ATR-IR, XRD y TGA. La celulosa en FF se somete a un tratamiento alcalino, lo que da como resultado una microestructura heterogénea y cargada positivamente con canales y cavidades que actúan como nanorreactores, lo que facilita el control del tamaño, la dispersión y la estabilización de las NP de Fe₃O₄ a través de un método de coprecipitación asistido por ultrasonidos. El material bionanocompuesto (FF/Fe₃O₄) promueve la eliminación del color de las soluciones de índigo carmín (IC) a través de reacciones heterogéneas tipo Fenton. Los datos de UV-vis y MS muestran la eliminación de hasta el 90,00% del color en muestras acuosas modelo enriquecidas con IC a través de reacciones de oxidación en 5 minutos durante hasta 10 ciclos. El rendimiento catalítico del bionanocompuesto se ve significativamente afectado por el pH y la concentración de oxidante (H₂O₂). Además, tras tratar un efluente real de una fábrica de denim con el bionanocompuesto FF/Fe₃O₄ durante 120 min, observamos reducciones del 24 % en la demanda química de oxígeno (DQO), del 100,00% en el contenido de tensioactivos, del 99,00% en él y color aparente, y 99,00% en turbidez (Ravelo *et al.*, 2023).

En otro orden de ideas, se demuestra la factibilidad de utilizar residuos agrícolas de plantaciones de fique (género *Furcraea microphylla*) como una alternativa a las Fibras Blanqueadas de Madera Blanda del Norte (NBSK) en aplicaciones de tisú de higiene de alto rendimiento. Los residuos de fibra se limpiaron mecánicamente y se transformaron en pulpa tisú mediante un

proceso simple de reducción a pulpa y blanqueo. Se realizó una caracterización completa de las propiedades del papel tisú (volumen, suavidad, absorción de agua, resistencia a la tracción) y se comparó con la pulpa del mercado NBSK. Además, la pulpa de residuos de fique se mezcló con Eucalyptus Kraft Blanqueado (BEK) para igualar el rendimiento de un punto de referencia seleccionado que consiste en 70,00% BEK y 30,00% NBSK (Kumar *et al.*, 2022).

Ahora bien, se analizó el comportamiento mecánico de un aerogenerador de eje vertical VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) de composite natural, hoja constituida por fique y epoxi. El análisis se realizó mediante FEM (Método de Elementos Finitos) aplicando las fuerzas del viento. Usando materiales para reducir los residuos sólidos producidos por los compuestos típicos de fibra de vidrio y epoxi. Usando los materiales biodegradables brindan una solución para reducir el impacto ambiental. Por ejemplo, el compuesto de fique se estudia y analiza como una opción para fabricar palas VAWT. El compuesto de fique se estudia y analiza como una opción para fabricar palas VAWT. El objetivo es brindar un modelo computacional para analizar la distribución de tensiones y deformaciones, confirmando un diseño de un álabe VAWT utilizando un modelo computacional para analizar la lluvia y la distribución de tensiones, confirmando un diseño de un álabe VAWT utilizando un compuesto de fique y epoxi, sometido a las fuerzas del viento. Se generó un modelo computacional en el software ANSYS, incluyendo las propiedades anisotrópicas del material. El modelo numérico recrea una geometría de hoja VAWT, y compuesto de fique y epoxi, sometido a las fuerzas del viento. Se generó un modelo computacional en el software ANSYS, se varió el número de capas para obtener una relación tensión-masa aceptable. La distribución de tensiones se obtuvo incluyendo las propiedades anisotrópicas del material. El modelo numérico recrea una geometría de hoja VAWT, y la geometría de la hoja VAWT utilizando compuesto de fique-epoxi. Se contrastaron las tensiones principales para determinar la tensión crítica.

En otro sentido, se varió el número de capas para obtener una tensión-masa aceptable. La distribución de tensiones se obtuvo sobre región. Se implementó el uso de un refuerzo para reducir los picos de tensión, la geometría de la hoja VAWT utilizando compuesto de fique-epoxi. Las principales trenzas fueron contrastadas para determinar la región crítica. Se implementó el uso de un refuerzo para reducir los picos de tensión (Castro *et al.*, 2022). No obstante, las fibras de fique se modificaron con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) para eliminar el color de las soluciones de índigo carmín (IC). Las nanopartículas de ZnO se sintetizaron por método de precipitación y las fibras se modificaron ex situ e in situ. Las fibras y las nanopartículas se caracterizaron utilizando diferentes técnicas como difracción de rayos X (DRX), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), espectroscopía de luz visible (UV- vis) y microscopía electrónica de barrido (MEB). La velocidad de eliminación del color se controló usando un espectrofotómetro UV/Vis. Se obtuvieron nanopartículas con un diámetro medio en la nanoescala y una estructura hexagonal típica, y se depositaron efectivamente en las fibras. La mayor eliminación de color se obtuvo con las fibras ex situ (ZnO-Ex / fique) fue de 90,00% en 180 minutos. La eliminación del color por fibras in situ (ZnO-In / fique) fue del 70,00% después de 180 min. A partir de los resultados, las nanopartículas de ZnO pueden ser un excelente catalizador para la eliminación de soluciones acuosas de colorante IC bajo luz UV-C (Llano *et al.*, 2020).

Por otra parte, se evaluó la capacidad de eliminación de Reactive Black 5 de fibras naturales originales y modificadas con enzimas. Se empleó una fibra extraída de una planta colombiana

de fique (*Furcraea* sp.). Se evaluaron los efectos de la protonación de la fibra de fique con diferentes solventes y pH de la solución colorante sobre la remoción de RB5. La composición química del biosorbente se modificó utilizando las enzimas comerciales pectinasa, ligninasa y xilanasas. Se midió el punto de carga cero (PZC) del material original y modificado, y se determinó la capacidad de eliminación de tinte de las tres fibras modificadas con enzima. La protonación de fibras con HCl 0,1 M y una solución colorante con pH de 2,4 aumentó la eliminación de RB5 al 49,10%. El cambio en la composición química de la fibra condujo a una reducción en el PZC de 5,50 a un rango de 4,70 a 4,90. Las fibras de fique pretratadas con pectinasa presentaron la mayor remoción de colorante con un 66,29%, lo que representa un aumento del 36,00% en la remoción de colorante RB5. Aunque la fibra de fique original mostró capacidad de remoción de colorante RB5, su modificación enzimática cambió la distribución de carga en la superficie de la fibra, mejorando la captura de moléculas de colorante. La modificación enzimática se puede aplicar para obtener nuevas funcionalidades para las fibras vegetales como materiales biosorbentes (Muñoz *et al.*, 2022).

Sin embargo, se lanzó un programa de investigación para estudiar el desarrollo y la aplicación de materiales compuestos de fibras naturales (nfc) como posibles sustitutos de los plásticos espumados. Así mismo, un programa de investigación que exploró el uso de desechos de cultivos de maíz (*zea mays*) y fibras de plantas de fique (*furcraea andina*) para desarrollar nuevos nfc y sus aplicaciones. Se desarrolló seis nuevos nfc y una colección de cerca de una docena de productos en que se aplicaron los nuevos materiales. Estos productos estaban dirigidos a las tres industrias que más espumas plásticas consumen, es decir, construcción, empaques y automotriz. A nivel experimental, estos nuevos materiales han mostrado propiedades beneficiosas para estas industrias ya que son de alta resistencia al impacto, baja conducción térmica, alta capacidad de aislamiento acústico y bajo peso. Los resultados preliminares de las pruebas de materiales y la validación de mercado son promisorios para continuar desarrollando y ampliando la producción de estos materiales y sus aplicaciones (Téllez *et al.*, 2022).

En otro orden de ideas, se realizó una breve revisión que aclara la importancia de algunas fibras verdes novedosas de alto rendimiento, como el bambú, el curaua, el yute, el kenaf, entre otros, en el campo de las aplicaciones balísticas. La arquitectura de las fibras y sus configuraciones, así como los procesos de fabricación, también influyen enormemente en el alto potencial de absorción de energía. Se destaca la importancia de las telas tejidas con bioinfluencia, las telas multicapa, las telas híbridas y el impacto de los polímeros en la fabricación de armaduras de protección personal, cascos u otros artículos. Los diversos factores predominantes, como la tenacidad, la ductilidad, el grosor y la resistencia de los materiales compuestos, también se analizan para mejorar el rendimiento balístico (Kar *et al.*, 2022).

Ahora bien, se realizó una evaluación de la tenacidad a la muesca mediante ensayos de impacto Izod y Charpy de compuestos de matriz epoxi reforzados con diferentes fracciones volumétricas de tejido de fique, hasta un 50,00% vol. Los análisis estadísticos indicaron diferencias significativas entre los compuestos con distinta cantidad de tejido de fique. Los mecanismos de falla se analizaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados revelaron que el compuesto reforzado con 40,00% vol de tela de fique presentó el mejor desempeño en tenacidad a la muesca. Los compuestos con 15,00% y 30,00% en volumen de tejido de fique muestran una fractura predominantemente frágil asociada con energías de impacto más bajas. Con una mayor cantidad, 50,00% vol., de refuerzo de tela de fique, tanto la energía de impacto

Izod como Charpy sufrieron una pequeña disminución según el modelo de Roger y Plumtree (Souza *et al.*, 2019). En otro sentido, se realizó la fabricación y la caracterización mecánica de láminas de mortero reforzadas con fibras de fique. Se evaluó la influencia en las propiedades mecánicas del material compuesto de dos tratamientos de fibras diferentes: un recubrimiento superficial con parafina líquida y una alcalinización con hidróxido de sodio. Se caracterizó químicamente y mecánicamente la eficiencia de ambos tratamientos. Se concluyó que ambos tratamientos protegen eficientemente la superficie de las fibras y que no tienen influencia significativa en la resistencia mecánica. El recubrimiento con parafina parece afectar negativamente la capacidad de absorción de energía del material compuesto (Coudert, 2020).

Por otra parte, la investigación estudió el comportamiento de muros tendinosos, ante la imposición externa de cargas laterales, bien sean cargas monotónicas o ciclos de carga y descarga. El sistema muros tendinosos, consiste en pórticos, sobre los cuales se colocan paneles semiflexibles. Los pórticos pueden ser construidos en madera, guadua, metal o incluso concreto armado. Por otro lado, el panel se arma con tendones de alambre de púas, tensionados simétricamente en el perímetro del pórtico, y sobre el cual se extienden costales de fique, mallas de vena, esterilla de guadua, etc., logrando así una red, la cual será cubierta de mortero tradicional. En el desarrollo de esta investigación, se llevaron a cabo una serie de 12 ensayos a escala con tres tipos de muros, se encontró una amplia diferencia entre el porcentaje de deriva máximo permitido por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente 2010, NSR-10 para estructuras de madera y guadua y los resultados obtenidos en el laboratorio; donde los valores superaron casi al doble y el triple de los valores permitidos por normativa, sin mayores daños en el entrepaño del muro, castigando en el caso de la guadua, la flexibilidad de dicho material como materia prima de construcción (Mora, 2022).

De otra forma, la evaluación y estudio de mallas tejidas con fibras extraídas de la planta *Furcraea* o fique, determinaron su eficacia en la protección de los taludes y reducción de la erosión laminar en los suelos, ya que esta última puede afectar la infiltración, el almacenamiento y el drenaje del agua en el suelo, afecta sistemáticamente su fertilidad y reduce sus servicios ecosistémicos disminuyendo su productividad, reduciendo su estabilidad y amplificando el riesgo hidrogeológico como deslizamientos de tierra o inundaciones, provocando así pérdidas socioeconómicas importantes. Para determinar lo anteriormente planteado, se realizaron dos pruebas, una en campo en taludes ubicados en el departamento del Cesar en el municipio de San Diego a aproximadamente 26,23 km de Valledupar, los cuales están sometidos a condiciones naturales de erosión, precipitación y humedad; y la otra, mediante taludes artificiales construidos en peceras transparentes, simulando lluvias con ayuda de un sistema de riego. En ambos casos, se instaló una malla en un talud y se dejó otro totalmente descubierto, midiendo la escorrentía, infiltración y pérdida de suelo de cada uno, para su posterior análisis y comparación. Como resultado se observó que la parcela cubierta con la malla presentaba una disminución significativa en la escorrentía y la pérdida de suelo, retención de humedad y cambios en el crecimiento de la vegetación con respecto a la parcela descubierta (Mejía *et al.*, 2021).

3.3 Experimentos con bagazo de fique

Evaluar el efecto de la incorporación de micropartículas de bagazo de fique (FBM) en un material espumado a base de almidón de yuca. En primer lugar, se establecieron las condiciones

de extracción de FBM por hidrólisis ácida, para lo cual se analizó el efecto de la concentración de ácido (5,00% 10,00% y 15,00% H₂SO₄), la temperatura (70, 80 y 90 °C) y el tiempo de extracción (3, 5 y 7 h) Se evaluó el tamaño de partícula, grupos funcionales, color y propiedades térmicas. A continuación, se realizó la adición de FBM al material espumado. Para ello se evaluó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos (0,00%, 0,50%, 0,75%, 1,00% y 1,25% FBM). Las variables de respuesta fueron la densidad aparente, expansión e índice de resorte, compresibilidad, absorción de agua, propiedades térmicas y FTIR. Los resultados mostraron que la concentración de ácido, la temperatura y el tiempo tuvieron efecto sobre las propiedades morfológicas, químicas y térmicas de la FBM, siendo 10,00%, 70 °C y 7 h las condiciones que permitieron obtener el menor tamaño de partícula ($61.69 \pm 12.88 \mu\text{m}^2$). Además, la concentración de FBM tuvo un efecto significativo en las propiedades físicas y mecánicas de la espuma, desencadenando las propiedades de tratamiento de 0,75%. Esto indica que FBM tiene potencial para su uso en la obtención de materiales de base biológica (Parra *et al.*, 2022).

Por otra parte, Siendo el ABS uno los polímeros más utilizados en la impresión 3D, el estudio de materiales compuestos con matriz en este polímero es de interés para aplicaciones de calzado. En este estudio se obtuvieron 4 filamentos de material compuesto, en mezcla de diferentes composiciones con PLA, PP, almidón de yuca y fique. Con los cuales se fabricaron probetas por impresión 3D y se analizaron mecánica, morfológica y químicamente. Encontrando que la adhesión entre capas de ABS es un factor determinante para que las propiedades finales del producto sean las esperadas (Quiroga *et al.*, 2022).

Ahora bien, se realizó la pirólisis lenta de un residuo agrícola de bajo valor agregado, bagazo de fique, para la obtención de biocarbón. A continuación, el biocarbón preparado se activó o modificó mediante procesos químicos o físicos para producir seis tipos de biocarbón. El biocarbón de bagazo de fique (FBB) se caracterizó mediante diferentes técnicas analíticas. Además, los FBB se estudiaron como adsorbente de los contaminantes emergentes cafeína y diclofenaco sódico. Por lo tanto, el uso de FBB puede verse como una condición beneficiosa para todos y como un enfoque para valorizar este residuo e incluirlo en una economía circular. En los ensayos de adsorción se demostró que el pH estudiado no tuvo una diferencia significativa en la capacidad de adsorción, mientras que el tiempo de adsorción, la temperatura y la concentración fueron parámetros que afectaron la capacidad de adsorción de la cafeína y el diclofenaco en los seis biocarbón empleados. Además, el biochar preparado por pirólisis lenta a 850 °C, con tiempo de residencia de 3 h y activado con NaOH (FB850- 3Na), fue el mejor adsorbente evaluado, con valores de capacidad de adsorción de 80,65 y 57,13 mg g⁻¹ a 20 °C, para cafeína y diclofenaco, respectivamente. También se demostró que los datos experimentales de FB850-3Na encajan muy bien con el modelo de isoterma Sips y siguen un modelo cinético de pseudoprimer orden tanto para la cafeína como para el diclofenaco. Estos resultados demuestran que los biochares a partir del bagazo de fique son una opción para el tratamiento de aguas contaminadas así como una alternativa para reducir los residuos de la producción de fibra de fique (Correa *et al.*, 2022).

De otra forma, los productos farmacéuticos, incluidos la cafeína (CFN) y el diclofenaco sódico (DCF), son un grupo de contaminantes emergentes que tienen la capacidad de provocar efectos nocivos en la flora y la fauna, incluso en concentraciones relativamente bajas. Además, se ha determinado que el CFN es uno de los compuestos activos más ubicuos en el entorno natural, mientras que el DCF es un fármaco antiinflamatorio no esteroideo ampliamente utilizado que

se ha detectado en fuentes ambientales de todo el mundo. Por el contrario, el fique es una planta de la familia Agavaceae y del género *Furcraea*. En Colombia se cultivan dos especies nativas, *Furcraea cabuya* y *Furcraea macrophylla*, para extraer su fibra, pero en este proceso se producen muchos desechos. En este estudio, con los residuos de fique se realizaron tratamientos termoquímicos y se obtuvieron 5 muestras de biochar, las cuales fueron caracterizadas colorimétricamente y utilizadas para investigar su comportamiento en la adsorción competitiva de DCF y CFN. Los resultados de los estudios calorimétricos muestran que los biocarbón preparados a partir del bagazo de fique tienen diferentes características porosas y químicas, lo cual está relacionado con los diferentes tratamientos que se utilizaron al momento de su preparación. Además, se estableció que los resultados de las interacciones adsorbato–adsorbente determinados por calorimetría permiten correlacionar los procesos de adsorción de las moléculas en estudio (CFN y DCF). Los resultados muestran que el biocarbón de fique NaOH (FB850-3Na) presenta la mayor capacidad de adsorción tanto en pruebas simples como competitivas (Correa *et al.*, 2023).

En otro orden de ideas, el biocarbón obtenido a partir de residuos agrícolas es cada vez más reconocido como un producto multifuncional sólido poroso para múltiples aplicaciones. En este estudio se produjeron biochares de bagazo de fique a diferentes temperaturas y su correspondiente descenizamiento. Estos materiales fueron investigados acerca de las propiedades fisicoquímicas y la capacidad de adsorción de la cafeína. El pH de la solución fue un parámetro influyente y se determinó que un pH = 2,0 para el biocarbón lavado y un pH = 6,0 para el biocarbón no lavado eran las mejores condiciones para la adsorción. Los modelos de isotermas de Langmuir, Freundlich y Redlich-Peterson proporcionaron un buen ajuste para los datos experimentales, lo que indica una adsorción superficial y multicapa. A partir de la capacidad de adsorción en equilibrio de los biochares de bagazo de fique, se concluyó que las interacciones dependientes del pH, los enlaces de hidrógeno y la interacción de apilamiento π - π fueron los responsables de la adsorción de cafeína. Los resultados permiten visualizar el biocarbón obtenido a partir del bagazo de fique como una alternativa sostenible a los residuos derivados de la producción de la cabuya (Correa *et al.*, 2019).

3.4 Experimentos con jugo y con nanofibras de celulosa de fique

Los hidrogeles de celulosa compuesta son el resultado de procesos de reticulación físicos o químicos. Las arquitecturas tridimensionales únicas, que surgen de las interacciones de los componentes de hidrogel, hacen que estos materiales sean ideales para diseñar estructuras basadas en funciones. Seguimos el desarrollo de hidrogeles de nanofibras de celulosa/nanopartículas de plata (Ag NP) en medios acuosos. Las nanofibras de celulosa oxidada (TOCN) de TEMPO, extraídas de la biomasa residual del fique, actuaron como agentes reductores y de protección para la síntesis in situ de Ag NP. La temperatura y las proporciones molares de COONa:AgNO₃ influyen en la formación de hidrogel. El aumento de las temperaturas (60 °C) resultó en tiempos de reacción más cortos (28 h) en comparación con el comportamiento a temperaturas más bajas (25 °C), que requirió tiempos de reacción más largos (192 h). Las proporciones molares altas de COONa:AgNO₃ (1:3) produjeron hidrogeles de TOCN/NP de Ag más rígidos y oscuros a expensas de la formación de grandes grupos cúbicos de NP de Ag (1 μ m). Por el contrario, las proporciones molares más bajas de COONa:AgNO₃ (1:1) dieron como resultado hidrogeles más blandos con NP de Ag esféricas que mostraban diámetros entre 15 y 80 nm. Los procesos de formación y reticulación de Ag NP dependen en

gran medida de los aldehídos que no han reaccionado en las superficies de TOCN después de la reacción de oxidación TEMPO. Los espectros IR indicaron que existe una interacción bidentada puente entre los grupos COO⁻ y Ag⁺ iones. Estos complejos de carboxilato-metal podrían debilitar el sistema de enlaces de hidrógeno al aumentar la distancia entre las moléculas de celulosa, disminuyendo el índice de cristalinidad del material, como se observa en los análisis XRD. Los análisis de TGA demostraron que las Ag NP aumentaron significativamente la estabilidad térmica de los hidrogeles de TOCN/Ag NP en comparación con los hidrogeles de TOCN. El sondeo reológico de los hidrogeles aclaró el papel de la distribución y carga de Ag NP en la respuesta elástica a las deformaciones cíclicas, lo que sugiere una gran variedad de usos para estos materiales, particularmente en aplicaciones medicinales (Ovalle *et al.*, 2020).

Se obtuvieron nanofibras de celulosa del fique colombiano (*Furcraea bedinghausii*) y se sintetizaron hidrogeles acrílicos (H) e hidrogeles acrílicos reforzados con nanofibras de fique (HRFN), utilizando el método de polimerización en solución. La extracción se llevó a cabo utilizando un método de extracción combinado (procedimientos químicos y radiación de ultrasonido). La materia prima (NAT-F), las fibras blanqueadas (B-F), las fibras hidrolizadas y las fibras tratadas con ultrasonido (US-F) se caracterizaron por espectroscopia infrarroja (FTIR) y análisis de estabilidad térmica; asimismo, para tener un criterio de comparación, se analizó una muestra comercial de celulosa microcristalina (CC), la cual demostró la extracción de celulosa de fique. La morfología de la superficie de NAT-F y B-F se determinó mediante microscopía electrónica de barrido y el tamaño de partícula promedio de las nanofibras se determinó mediante microscopía electrónica de transmisión. En H y HRFN se midió el porcentaje de deformación y la resistencia a la compresión (R_c). Las nanofibras de fique presentaron promedios de diámetro y longitud de $25,20 \pm 6,20$ nm y $483,80 \pm 283,20$ nm respectivamente. La temperatura máxima de degradación fue de 317 °C. HRFN presentó mayor resistencia a la compresión ($16,39 \pm 4,30$ kPa) y esta resistencia fue 2,5 veces mayor que la resistencia de H ($6,49 \pm 2,48$ kPa). Los resultados indican que la matriz lignocelulósica de fique tiene potencial aplicación para la obtención de materiales compuestos de tipo polimérico (Guancha *et al.*, 2020).

Conclusiones

Se puede observar que existen varios productos elaborados con fique con alta exigencia técnica, valor estético, simbólico, innovación y competitivos comercialmente en el mercado, dando respuesta satisfactoria a todos los estímulos otorgados por las entidades públicas y privadas que hicieron posible llegar al producto final. Se puede establecer que cada producto desarrollado ha planteado retos personales y profesionales para el artesano o la persona responsable, donde, con ayuda de las herramientas materiales e inmateriales han logrado elaborar productos innovadores y de calidad.

Se han realizado variedad de experimentos con fibra de fique como aislante térmico, blindajes balísticos para protección personal, materiales compuestos que incluyen fibras de fique como sustituto de la madera en la construcción de colmenas, aislante termoacústico, aplicaciones de papel higiénico, el impacto de la estructura de los tejidos naturales en la función balística. Con tratamientos enzimáticos específicos dirigidos a la eliminación de pectina en la composición química, las fibras de fique pueden convertirse en un biosorbente prometedor para la eliminación de colorantes azoicos mediante la modificación de la superficie. Pueden ser de

especial importancia para los tratamientos de aguas residuales textiles en términos de mejora de la calidad del agua antes de su vertido.

Una de las investigaciones obtuvo una familia de seis nuevos compuestos de fibras naturales que utilizaron residuos de maíz y fibras de fique, y diseñaron una colección de productos para diversas industrias como embalaje, construcción y automotriz. A nivel experimental, estos nuevos materiales han mostrado propiedades beneficiosas para estas industrias ya que son de alta resistencia al impacto, baja conducción térmica, alta capacidad de aislamiento acústico y bajo peso. Se realizó la fabricación y la caracterización mecánica de láminas de mortero reforzadas con fibras de fique, material suficientemente interesante para la industria de la construcción civil, que es barato, apto para la construcción en zona de riesgo sísmico, y durable en el tiempo, hay que mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto estudiando la compatibilidad refuerzo—matriz, desarrollando procesos óptimos de tratamiento en las fibras, y analizando la durabilidad de dicho material a lo largo del tiempo.

Se elaboró, evaluó y estudió las mallas tejidas con fibras de fique, pretendiendo determinar su eficacia en la protección de los taludes y reducción de la erosión laminar en los suelos, ya que esta última puede afectar la infiltración, el almacenamiento y el drenaje del agua en el suelo, afecta sistemáticamente su fertilidad y reduce sus servicios ecosistémicos disminuyendo su productividad, reduciendo su estabilidad y amplificando el riesgo de deslizamientos de tierra o inundaciones, provocando así pérdidas socioeconómicas importantes. Basado en un modelo de economía circular, se propone revalorizar hasta 7500 toneladas anuales de residuos de la agroindustria colombiana del fique. En la actualidad, Colombia utiliza aproximadamente 40.000 millones de metros cúbicos de agua en el sector agrícola. Esta demanda es insostenible, por lo que vale la pena considerar tecnologías enfocadas a reducir el uso de agua para riego, aumentar su disponibilidad en el suelo por más tiempo y permitir el uso eficiente de fertilizantes.

El hidrogel reforzado con nanofibras de fique al 3,00% p/p (AHR3) presentó la mejor capacidad de hinchamiento además de utilizar la menor cantidad de fique, lo que representa mejores beneficios económicos para la producción a escala industrial. El hidrogel superabsorbente propuesto (AHR3) podría utilizarse como alternativa para mejorar la capacidad de retención de agua de los suelos, reduciendo la frecuencia de riego hasta en un 90,00%. Además, ayudaría a mejorar la compactación del suelo y reduciría la pérdida de agua por infiltración y la pérdida de fertilizantes. Con lo anterior, se mejoraría la germinación de las semillas, aumentando así el crecimiento de las plantas y retrasando el marchitamiento en condiciones de sequía, muy comunes en algunas zonas de Colombia como el departamento del Cesar, problema que se agravará con el paso de los años debido a la emergencia climática.

Referencias

Aranzales, M. (2020). Diseño de ecocubiertas en material plástico reciclado reforzado con fibra de fique (*furcraea andina*) para una vivienda sustentable en el sector rural de Tocaima, Colombia. (*trabajo de pregrado*). Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9616?show=full>

Bastidas, K. G., Pereira, M. F. R., Sierra, C. A., & Zea, H. R. (2022). Study and characterization

of the lignocellulosic Fique (*Furcraea Andina* spp.) fiber. *Cellulose*, 29(4), 2187–2198. doi: <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04377-6>

- Caguazango, M., Guerrero, L., & Puerchambud, S. (2022). Obtención de saponinas a partir de jugo de fique para la elaboración de un bioinsumo. *Cei Boletín Informativo*, 9(1), 114–117. Obtenido de <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/3020>
- Camposo, A., Salgado, F., Garcia, F., Souza, M., Sousa, E., Colorado, H., & Neves, S. (2019). Evaluation of the projectile's loss of energy in polyester composite reinforced with fique fiber and fabric. *Materials Research*, 22(1), e20190146. doi: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0146>
- Castro, D., Pertuz, A., & León-Becerra, J. (2022). Mechanical behavior analysis of a vertical axis wind turbine blade made with fique-epoxy composite using FEM. *Procedia Computer Science*, 203, 310–317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.039>
- Centeno, N., Lombana-Toro, O., Correa-Aguirre, J. P., & Hidalgo-Salazar, M. A. (2022). Effect of fique fibers and its processing by-products on morphology, thermal and mechanical properties of epoxy based biocomposites. *Scientific Reports*, 12(1), 15143. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18934-x>
- Correa-Navarro, Y. M., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. (2020). Biochar from fique bagasse for remotion of caffeine and diclofenac from aqueous solution. *Molecules*, 25(8), 1–17. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25081849>
- Correa-Navarro, Y. M., Moreno-Piraján, J. C., & Giraldo, L. (2022). Processing of fique bagasse waste into modified biochars for adsorption of caffeine and sodium diclofenac. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 39(4), 933–948. doi: <https://doi.org/10.1007/s43153-021-00191-6>
- Correa-Navarro, Y. M., Moreno-Piraján, J. C., & Giraldo, L. (2023). Competitive Adsorption of Caffeine and Diclofenac Sodium onto Biochars Derived from Fique Bagasse: An Immersion Calorimetry Study. *ACS Omega*, 8, 1967–1978. doi: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04872>
- Correa-Navarro, Y. M., Moreno-Piraján, J. C., Giraldo, L., & Rodríguez-Estupiñan, P. (2019). Caffeine Adsorption by Fique Bagasse Biochar Produced at Various Pyrolysis Temperatures. *Oriental Journal of Chemistry*, 35(2), 538–546. doi: <https://doi.org/10.13005/ojc/350205>
- Cotrina, W. (2021). Resistencia a la compresión, flexión y absorción del adobe compactado, adicionando fibra de fique. (*trabajo de pregrado*). Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27736>
- Coudert, L. (2020). Influencia del tratamiento superficial de las fibras de fique en las propiedades mecánicas del compuesto fibra-matriz cementante. (*trabajo de maestria*).

Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78742>

- Doddamani, S., Kulkarni, S. M., Joladarashi, S., Kumar T S, M., & Kumar, A. (2023). Analysis of light weight natural fiber composites against ballistic impact: A Review. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 6(3), 450-468. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2023.01.003>
- García, G., Guzmán, R., & Gonzalez-Lezcano, R. A. (2021). Fique as a sustainable material and thermal insulation for buildings: Study of its decomposition and thermal conductivity. *Sustainability*, 13(13), 7484. doi: <https://doi.org/10.3390/su13137484>
- García Sánchez, G. F., Guzmán Lopez, R. E., Restrepo Osorio, A. M., & Hernandez, E. (2019). Fique as thermal insulation morphologic and thermal characterization of fique fibers. *Cogent Engineering*, 6(1), 1579427. doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1579427>
- Gil, B., & Rojas, D. (2021). Entropía aislante termoacústico a partir de fique, Micelio y Heno. (*trabajo de pregrado*). Colombia: Universidad la Gran Colombia.
- Gil Jaime, B., Rojas Sanabria, D., & Roa Castillo, E. (2021). *Aislante a partir de fique, micelio y heno*. Colombia: Universidad la Gran Colombia. Obtenido de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/7091/ART%3%8DCULO%20ENTROP%3%8DA%20AISLANTE%20TERMOAC%3%9ASTICO%20A%20PARTIR%20DE%20FIQUE%2C%20MICELIO%20Y%20HENO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Gómez, C., Zuluaga, R., Gañán, P., Pique, T. M., & Vazquez, A. (2019). Cellulose nanofibrils extracted from fique fibers as bio-based cement additive. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1540–1548. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.292>
- Gómez, S. A., Cordoba, E., Cuellar, V. H., & Peña Meza, R. (2022). Análisis morfológico de la afectación microestructural de material biocompuesto reforzado con fibra de fique debido a corte con herramienta convencional, láser y chorro de agua. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 16(31), 9–16. doi: <https://doi.org/10.31908/19098367.2372>
- Gómez, S. A., Córdoba, E. J., & Santos, A. (2022). Fabricación y caracterización morfológica, mecánica y dinámica de un cuadricóptero elaborado con material compuesto de fibra de fique. *Información Tecnológica*, 33(6), 55–70. doi: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000600055>
- Gómez, S., Córdoba, E., Santos, A., & Castro, S. (2022). Manufacturing, Mechanical and Morphological Characterization of new Natural Hybrid Biocomposite Materials of Fique – Mulberry. *Materials Research*, 25, e20220097. doi: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2022-0097>
- Gómez-Suárez, S. A., Ramón-Valencia, B. A., & Santos-Jaimes, A. (2020). Caracterización dinámica vibratoria experimental de compuestos reforzados con fibra natural de fique.

- Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 304–314. doi: <https://doi.org/10.4067/s0718-33052020000200304>
- Gómez, T., Navacerrada, M., Díaz, C., & Fernández, P. (2020). Fique fibres as a sustainable material for thermoacoustic conditioning. *Applied Acoustics*, 164, 107240. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107240>
- Gordon, M. (2019). Aprovechamiento del bagazo de fique (*furcraea macrophylla*) en la producción de compost, vereda “el maco”, municipio de Jámalo - Cauca. (*trabajo de grado*). Colombia: Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Obtenido de <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/handle/123456789/248>
- Guancha, M. A., Gálvez, J., Serna, L., & Aguilar, C. N. (2020). Valorization of Colombian fique (*Furcraea bedinghausii*) for production of cellulose nanofibers and its application in hydrogels. *Scientific Reports*, 10, 11637. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68368-6>
- Guancha, M. A., Serna, L., & Tirado, D. (2022). Hydrogels Are Reinforced with Colombian Fique Nanofibers to Improve Techno-Functional Properties for Agricultural Purposes. *Agriculture*, 12(117), 1–10. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture12010117>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hil.
- Kar, S., Pattnaik, S., & Sutar, M. K. (2022). Ballistic performance of green woven fabrics – A short review. *Materials Today: Proceedings*, 62(P10), 5965–5970. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.813>
- Kumar, R., Zambrano, F., Peszlen, I., Venditti, R., Pawlak, J., Jameel, H., & Gonzalez, R. (2022). High-performance sustainable tissue paper from agricultural residue: a case study on fique fibers from Colombia. *Cellulose*, 29(12), 6907–6924. doi: <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04687-3>
- Llano, M. A., Gúzman-Aponte, A., Cadavid, Y., Buitrago-Sierra, R., Cadena, E. M., & Santa, J. F. (2020). Color removal of indigo carmine dye solutions using fique fibers modified with ZnO nanoparticles. *Respuestas*, 25(2), 147–158. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8337481.pdf>
- Luna, P., & Lizarazo-Marriaga, J. M. (2022). Fibras Naturales Como Refuerzo En Materiales Compuestos De Matriz Polimérica. *Momento*, 65, 65–79. doi: <https://doi.org/10.15446/mo.n65.103151>
- Martínez, E., Posada, L., Botero, J. C., Rios-Arango, J. A., Zapata-Benabithé, Z., López, S., Molina-Ramírez, C., Osorio, M. A., & Castro, C. I. (2023). Nata de fique: A cost-effective

- alternative for the large-scale production of bacterial nanocellulose. *Industrial Crops and Products*, 192, 116015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116015>
- Mejía, M., & Gutiérrez, J. (2021). Potencial de mallas tejidas en fibras de fique (*furcraea*) para la protección del suelo y el control de erosión en taludes. (*trabajo de pregrado*), Colombia: Universidad de la Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1959&context=ing_civil
- Mina, J. H., Valadez, A., & Muñoz-Vélez, M. F. (2020). Micro- and macromechanical properties of a composite with a ternary PLA-PCL-TPS matrix reinforced with short fique fibers. *Polymers*, 12(58), 1–14. doi: <https://doi.org/10.3390/polym12010058>
- Mora, W. (2022). Determinación del desplazamiento lateral en muros tendinosos , ante cargas laterales , monotónicas y cíclicas. (*trabajo de maestría*). Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83329>
- Muñoz-Pabon, K. S., González-Callejas, C. A., & Villada-Castillo, H. S. (2022). Biocompuesto bicapa incorporado con nisina: caracterización y eficacia contra *Escherichia coli*. *Información Tecnológica*, 33(1), 235–244. doi: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000100235>
- Muñoz, O., Ramírez-Carmona, M., Cuartas-Uribe, B., & Mendoza-Roca, J. A. (2022). Evaluation of Original and Enzyme-Modified Fique Fibers as an Azo Dye Biosorbent Material. *Water*, 14(7), 1035. doi: <https://doi.org/10.3390/w14071035>
- Oliveira, M. S., da Luz, F. S., Pereira, A. C., Costa, U. O., Bezerra, W. B. A., da Cunha, J. dos S. C., Lopera, H. A. C., & Monteiro, S. N. (2022). Water Immersion Aging of Epoxy Resin and Fique Fabric Composites: Dynamic–Mechanical and Morphological Analysis. *Polymers*, 14(17), 3650. doi: <https://doi.org/10.3390/polym14173650>
- Ortiz, D., Paredes, O., & Cordero, C. (2021). Respuesta del fique (*Furcraea macrophylla*) a diferentes ambientes lumínicos y métodos de fraccionamiento de fertilizantes. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 25(2), 83–95. Obtenido de <http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2021/mayo/5.pdf>
- Ovalle-Serrano, S. A., Díaz-Serrano, L. A., Hong, C., Hinestroza, J. P., Blanco-Tirado, C., & Combariza, M. Y. (2020). Synthesis of cellulose nanofiber hydrogels from fique tow and Ag nanoparticles. *Cellulose*, 27(17), 9947–9961. doi: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03527-6>
- Parra-Campos, A., Serna-Cock, L., & Solanilla-Duque, J. F. (2022). Effect of the addition of fique bagasse microparticles in obtaining a biobased material based on cassava starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 207(3), 289–298. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.016>
- Porrás Gil, M. S., & Guzmán Beltrán, S. (2020). Uso de materiales alternativos para mejorar la resistencia del mortero de pega de mampostería estructural (fibra de fique). (*trabajo de*

- pregrado). Colombia: Universidad la Gran Colombia. Obtenido de <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5733>
- Quiroga, A., Cruz, Y., Rojas, K., Salsarriaga, V., & Gomez, I. (2022). Obtención de filamentos de ABS mezclado con PLA, Almidón, Fique y PP para impresión 3D. *Revista Del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 6(1), 42–46. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/23899573.5355>
- Rada, M., Chito, D., Hoyos, O., Arciniegas, J., & Molano, N. (2023). Determination of zinc in cassava based polymeric materials. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 36(2), 615–625. doi: <https://doi.org/10.1177/08927057211013859>
- Ravelo-Nieto, E., Ovalle-Serrano, S. A., Gutiérrez-Pineda, E. A., Blanco-Tirado, C., & Combariza, M. Y. (2023). Textile wastewater depuration using a green cellulose based Fe₃O₄ bionanocomposite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2). doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109516>
- Revelo, O., Collazos, C., & Jiménez, J. (2018). El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura. *Tecnológicas*, 21(41), 115–134. doi: <https://doi.org/10.22430/22565337.731>
- Riveros Gamboa, P. A. (2022). Propuesta de diseño de un prototipo de vivienda con industria artesanal de bajo impacto, enfocada al desarrollo productivo de la fibra de fique en el municipio de Mogotes, Santander. (*trabajo de grado*). Colombia: Universidad Santo Tomas. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/44365>
- Rua, J., Buchely, M. F., Neves, S., Echeverri, G. I., & Colorado, H. A. (2021). Impact behavior of laminated composites built with fique fibers and epoxy resin: a mechanical analysis using impact and flexural behavior. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 428–438. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.068>
- Rubiano, A. F., Lesmes, C., Torres, Y., & Gómez, E. Y. (2022). Durability Evaluation of New Composite Materials for the Construction of Beehives. *Sustainability*, 14(22), 14683. doi: <https://doi.org/10.3390/su142214683>
- Serrato, A., & Reyes, L. H. (2019). Desarrollo y evaluación de un proceso de producción de licor a base de jugo de Fique. (*trabajo de grado*). Colombia: Universidad de los Andes. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/45486>
- Solano Suárez, Y., Arias Preciado, A., & Montero, R. (2023). Sabiduría , identidad y resistencia : relatos de las mujeres Kankuamas alrededor del tejido de sus mochilas y chinchorros. *Memorias: Revista Digital de Historia y Arqueología Desde El Caribe Colombiano*, 1(1), 174–205. doi: <https://doi.org/10.14482/memor.49.001.523>
- Souza, M., Garcia, F., Camposo, A., Fernandes, L., Santos, F., Oliveira, F., Colorado, H. A., & Neves, S. (2019). Ballistic performance and statistical evaluation of multilayered armor

with epoxy-fique fabric composites using the Weibull analysis. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 5899–5908. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.064>

Souza, M., Garcia, F., Santos, F., Camposo, P., Da Cruz, L., Cassiano, L., Colorado, H., & Neves, S. (2019). Statistical analysis of notch toughness of epoxy matrix composites reinforced with fique fabric. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6051–6057. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.079>

Souza, M., Santos, F., Colorado, H., Cassiano, L., Garcia, F. da C., & Neves, S. (2021). Energy absorption and limit velocity of epoxy composites incorporated with fique fabric as ballistic armor—a brief report. *Polymers*, 13(16), 2727. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13162727>

Souza, M., Santos, F., Garcia, F., Camposo, A., Oliveira, V., Colorado, H., & Neves, S. (2021). Dynamic mechanical analysis of thermally aged fique fabric-reinforced epoxy composites. *Polymers*, 13(22), 4037. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13224037>

Téllez, F., & España, J. (2022). Biomateriales para el cambio : materiales compuestos de fibras naturales para apoyar el aprendizaje del diseño y el desarrollo rural. *Base Diseño e Innovación*, 7(7), 145–161. doi: <https://doi.org/10.52611/bdi.num7.2022.808>