



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA
Seccional Girardot

1

**UNA REVISIÓN MONOGRÁFICA SOBRE EL CÁÑAMO, CLAVE EN EL
CAMINO HACIA UNA INDUSTRIA SOSTENIBLE EN COLOMBIA**

CRISTHIAN MAURICIO CASTILLO PENAGOS

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.**

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL 20082

SECCIÓNAL GIRARDOT

2021

**Una Revisión Monográfica sobre el Cáñamo, Clave en el Camino Hacia una
Industria Sostenible en Colombia**

Cristhian Mauricio Castillo Penagos

Trabajo de grado para optar por el título de:

Ingeniero Ambiental

Director:

Carlos Jhonnatan Alarcón Murillo

Ingeniero Ambiental

Esp. Evaluación de Impacto Ambiental

Universidad De Cundinamarca

Facultad De Ciencias Agropecuarias.

Programa De Ingeniería Ambiental 20082

Seccional Girardot

2021

Agradecimientos

A mi familia por su amor, apoyo incondicional, en cada paso de mi vida y en esta ocasión, la obtención de una herramienta que utilizaré con honestidad y humildad. A mis socios de cuatro patas, siempre acompañándome a tomar el suspiro necesario para continuar.

A mi compañera por llenar de colores cada momento compartido con su amor y amistad.

A mis compañeros por no permitir que perdiera mi niño interno.

A las profesoras y profesores por las enseñanzas compartidas, tanto académicas como formativas.

Al jardinero, un gran ser.



Tabla de Contenido

Capítulo I	6
Introducción	8
Justificación.....	10
Objetivos	13
General	13
Específicos.....	13
Marco Referencial.....	14
Marco Conceptual	14
Marco Histórico	17
Marco Teórico	23
Método Multicriterio.....	35
Marco Metodológico	40
Capítulo II	43
Materiales Compuestos (Composites)	44
Industria Textil	50
Construcción con Cáñamo - Hempcrete.....	53
Capítulo III - Matriz Multicriterio	55
Industria Textil	57
Fibras de Algodón	57
Fibras de Poliéster.....	58
Procesamiento.....	59
Cantidad	60
Disponibilidad.....	60
Calidad	61
Desempeño Ambiental.....	62
Costo.....	64
Comparación de Alternativas.....	65



Materiales Compuestos.....	67
Procesamiento.....	68
Cantidad	70
Disponibilidad.....	70
Calidad	70
Desempeño Ambiental	71
Costo.....	73
Comparación de Alternativas	73
Construcción	75
Procesamiento.....	76
Cantidad	77
Disponibilidad.....	77
Calidad	77
Desempeño Ambiental	79
Costo.....	81
Comparación de Alternativas	81
Capítulo IV	84
Fitorremediación.	84
CAPÍTULO V	98
Análisis de Resultados	98
El cáñamo en la industria textil	100
Algodón	100
Poliéster.....	100
El Cáñamo en Materiales Compuestos	101
El Cáñamo en Construcción	102
Fitorremediación.....	103
Conclusiones	103
Recomendaciones	106
Referencias Bibliográficas	107

Capítulo I

Resumen

La presente monografía es de tipo documental, en ella se plantea como objetivo analizar el potencial que tiene el cáñamo en la solución de diferentes problemas ambientales que se presentan en Colombia en relación con la industria. Para ello, se realizó una comparación por medio de una matriz multicriterio para conocer principalmente dos cosas. Una, las limitantes que tiene el cáñamo para ser una alternativa competitiva y su potencial ecológico respecto al poliéster y algodón de la industria textil, la fibra de vidrio en los materiales compuestos y el ladrillo de arcilla en el sector de la construcción. Además, se realizó una base de datos sobre la fitorremediación con cáñamo con la finalidad de conocer su potencial. Por medio de la matriz multicriterio se concluye que, la principal limitante para que el cáñamo sea una materia prima competitiva en el país es la baja disponibilidad. Por otro lado, el potencial ambiental del cáñamo en los tres sectores es alto. Finalmente, la literatura recolectada sobre la fitorremediación con cáñamo avala la especie *Cannabis sativa L.* para emplearse en esta técnica, debido a su amplia acumulación de metales pesados y tolerancia a suelos contaminados.

Palabras clave: cáñamo, matriz multicriterio, fitorremediación, textil de cáñamo, refuerzo de cáñamo, ladrillo de cáñamo

Abstract

The kind of this monography is documentary. In the present, to analyze the potential that the hemp has in the solution of different environmental problems which are current in Colombia in relation to the industry is set as an objective. For that, a comparison was made through a matrix multicriteria to mainly know two aspects. First one, the hemp's limitations to be a competitive alternative and its ecological potential regarding to the textile industry's polyester and cotton, fiberglass in composite materials and clay brick in the construction sector. Last one, a database about hemp phytoremediation was made for knowing its potential. Throught the multicriteria matrix was concluded that the main limitation for the hemp to be a competitive raw material in the country is the low availability. On the other hand, the environmental potential of hemp in the three sectors is high. Finally, the literature collected on hemp phytoremediation supports the specie *Cannabis sativa L.* to be used in this technique, due to its wide accumulation of heavy metals and tolerance to contaminated soils.

Key words: hemp, multi-criteria matrix, phytoremediation, hemp textile, hemp reinforcement, hemp brick

Introducción

Para nadie es un mito que la revolución industrial trajo consigo una gran disminución y deterioro de los recursos naturales. Por ello, países como Colombia, que se encuentran en vía de industrialización deben garantizar que el camino hacia esta etapa no siga acortando el día de sobregiro (día del año en que agotamos los recursos que se pueden renovar en un año) o desmejorando otros indicadores ambientales. Para ello, la ingeniería ambiental tiene el papel de guiar a una sociedad que vele por un progreso social y económico sin deteriorar el medio ambiente, realizando un control sobre el territorio e identificando los escenarios que no cumplan con este fin. La presente monografía analiza el potencial que tiene el cáñamo para la solución de diferentes problemas ambientales que se presentan en Colombia en relación con la industria colombiana.

Con el cáñamo o cáñamo industrial: *Cannabis sativa L.*, se pueden fabricar textiles, papel, plástico, biocombustible y tiene cualidades en la fitorremediación (Cana connection, 2020). Además, se puede usar en construcción, alimento y medicina (HempToday, s.f.). En general, hay una gran variedad de productos que se pueden realizar a partir de esta planta. A pesar de su gran diversidad y beneficios, las políticas antidrogas aminoraron por varias décadas la investigación y producción del cáñamo industrial en el mundo, debido a la concepción negativa que se tiene de la marihuana, quien es una variedad de cannabis psicoactiva por sus altas concentraciones de delta-9 Tetrahidrocannabinol (THC) entre otras características. (Kraenzel y otros, 1998, p.16,17; Taylor, Blickman y Jelsma ,2014).

En Colombia, la entrada en vigencia de la Ley No° 1787 del 2016, dio inicio al uso médico y científico del cannabis y sus derivados. Posterior a esto, el Decreto No° 613 del 2017 reglamentó la ley mencionada, especificando en su sección número 5 las modalidades para obtener licencia de cannabis no psicoactivo. Con lo anterior se marca

el inicio de la historia cañamera, donde seguramente se volverá de uso cotidiano y contribuirá a la búsqueda del país ambientalmente sostenible.

La presente monografía se divide en cinco capítulos, el primero ofrece una introducción al tema por medio de su justificación, objetivos, marco referencial y metodología. El segundo capítulo, examina el cáñamo en cada uno de los sectores. En el tercer capítulo se desarrolla una matriz multicriterio con el objetivo de comparar al cáñamo con las materias primas empleadas por los sectores descritos. El capítulo cuarto describe las investigaciones a nivel mundial sobre la Fitorremediación con cáñamo. Por último, en el capítulo quinto se desarrolla el análisis de resultados, las conclusiones y recomendaciones.

Justificación

La monografía se realiza con el objetivo de dar a conocer el potencial ecológico del cáñamo y, por ende, motivar a los lectores a promover e implementar su uso en todos los municipios del país. Desde una óptica general, con miras a implementar esta especie en la industria colombiana se presenta lo dicho por Pérez (2017) quien afirma:

... el cáñamo industrial no solo limpia los restos tóxicos del suelo, sino que la planta sigue conservando sus características como al principio del proceso, por lo que puede reutilizarse para otras muchas aplicaciones, como puede ser la fabricación de ropa, papel o materiales para bioconstrucción. Incluso puede ser transformado en etanol para usarse como biocombustible, obteniéndose un importante beneficio económico en la comercialización de su fibra y cerrando el círculo de la sinergia perfecta... (p.1)

Dicho de otra manera, su implementación como materia prima puede ser de gran utilidad en distintos sectores de Colombia. Lo cual, da solución a lo mencionado por el Gobierno Nacional en su informe sobre la industria manufacturera de enero de 2019 donde concluyen que, “La disponibilidad y costo de las materias primas” es una problemática primordial para el 22,7% de los industriales a diciembre del 2018 (Mincomercio, 2019). Con el fin de informar y dar claridad en diferentes aspectos se presenta una matriz multicriterio, para que, por medio de un análisis de alternativas en la etapa de preinversión los sectores puedan comparar al cáñamo con otras materias (Pacheco y Contreras, 2008, p.17). Así, el inversionista puede evaluar y tomar una decisión basado en un análisis objetivo del producto.

Adicionalmente, las industrias podrán beneficiarse con la remediación del cáñamo, la cual se sigue ratificando y experimentando en gran parte del mundo. De esta manera se podrán recuperar suelos como los del Departamento

de Cesar, donde se hallaron entierros de pesticidas procedentes de la actividad algodonera (Sanchez, 2006). Una vez se coseche el cáñamo sembrado en suelo contaminado, se podrán usar para fabricación de ladrillos, composites u otros materiales que no representen un riesgo en su manejo. Para esto es importante mencionar que se debe hacer una revisión detallada de la base de conocimiento generada por las investigaciones a nivel mundial, que sirva como fundamento para iniciar las investigaciones en nuestro país.

En lo que respecta a la parte económica, se puede observar casos como el de Uruguay, país que a finales de julio del 2020 exportó 524 kilos de flores de cannabis no psicoactivo (cáñamo) a Suiza por un valor de \$200 dólares el kilo (Vita, 2020), esto comprueba lo rentable que puede ser el negocio del cáñamo sin contar las ganancias por la fibra, descontaminación del suelo u otros derivados. Adicional a esto, la empresa especializada en datos Tecnavio prevé que en los próximos 4 años el mercado del cáñamo crecerá en \$3.350 millones, esto debido a las legalizaciones y a que se viene usando cada vez más como materia prima (Canapa Industriale, 2020).

Dentro de las muchas finalidades que se le puede dar al cáñamo, se inclinó por materias primas de tres sectores, la industria de los textiles debido a la importancia que ha tenido y tiene esta industria en el país, a 2019 “representaba el 8.2% del PIB industrial del país, el 21% del empleo industrial colombiano y el 9% de las exportaciones manufactureras” (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI], 2019).

El sector de la construcción porque representa un gran foco de contaminación y ha sido de gran importancia “para el desarrollo económico del País en los últimos años debido a su gran dinamismo, y se constituye como uno de los sectores más importantes y de mayor incidencia por su estrecha vinculación con la creación de infraestructuras básicas” (Aeronáutica Civil, 2019, p.3), específicamente el sector ladrillero, que a 2019 se componía “de 1.508 ladrilleras con 2.435 hornos que producen un total de

12'703.872 toneladas de arcilla cocida al año en 16 regiones del país” (Economía y Negocios, 2019). De igual manera, se contribuye a la problemática encontrada por Acevedo, Vásquez y Ramírez quienes afirman que “el desconocimiento generalizado entre las empresas del sector de la construcción sobre aspectos relacionados con la construcción sostenible dificulta la implementación de estas nuevas prácticas” (2012).

El sector de los materiales compuestos debido a que la “gran demanda de nuevas tecnologías ha dado lugar a que los actuales procesos de manufactura requieran de nuevos materiales, ya sea en busca de una reducción de costos o a una optimización en el funcionamiento” (Ramírez, s.f. p.1). Finalmente, las materias primas seleccionadas son usadas ampliamente en su respectivo sector y generan un alto impacto negativo sobre el medio ambiental.

Además, esta monografía recolecta informaciones de varias fuentes e investigaciones elaboradas en un idioma extranjero: principalmente el inglés. Por lo cual este trabajo facilita el acceso a los datos y resultados sobre el uso del cáñamo alrededor del mundo, teniendo en cuenta que, en Colombia, la investigación del uso del cáñamo industrial es un campo poco implementado.

Finalmente, durante la búsqueda de antecedentes locales no se encontraron trabajos relacionados al tópico de esta monografía: el cáñamo industrial. Por lo tanto, este trabajo de investigación hace un nuevo aporte académico al programa para que ésta sirva como una base o antecedente para futuras investigaciones.

Objetivos

General

- Analizar el potencial que tiene el cáñamo en la solución de diferentes problemas ambientales que se presentan en Colombia en relación con la industria

Específicos

- Constatar el uso del cáñamo en el sector textil, de materiales compuestos y construcción.
- Evaluar la viabilidad del uso del cáñamo en determinados sectores industriales a través de una matriz multicriterio.
- Generar una base de conocimiento de las investigaciones que se han realizado sobre el cáñamo en la fitorremediación a nivel mundial como punto de partida para investigaciones en Colombia.

Marco Referencial

Marco Conceptual

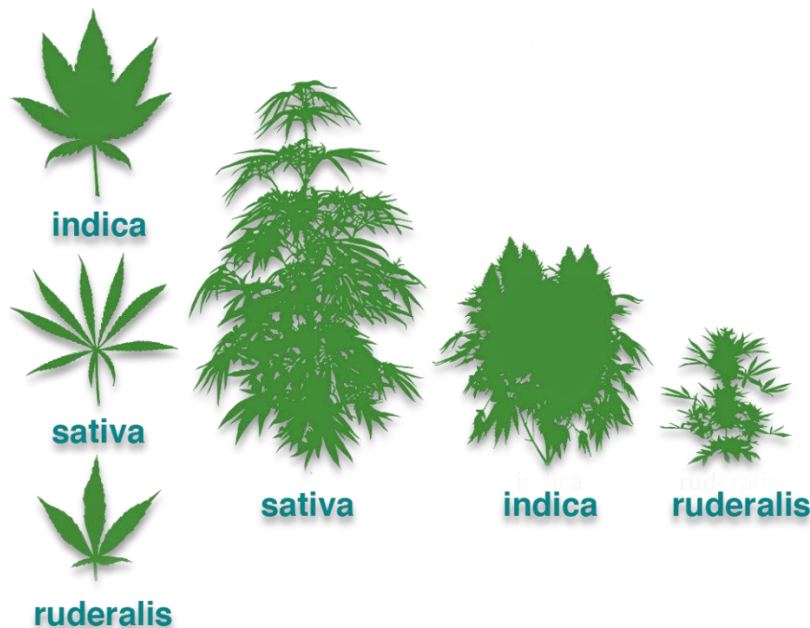
En este apartado se realiza la aclaración de la especie que abarca la presente monografía, asimismo se presenta una terminología para que el lector tenga mayor claridad respecto a las variedades, a los compuestos químicos de la planta y los usos de esta.

Debido a que las diferentes subespecies del Cannabis (sativa, indica y rudelaris), conllevaron a que su término creara una confusión semántica e incluso, para objeto de manipulación debido a sus distintas aplicaciones: narcótico, terapéutico o materia prima (Díaz, 2004). Por lo anterior, para un mejor entendimiento del presente trabajo, se referirá al cáñamo o cáñamo industrial "*Cannabis sativa L.*" como lo hace el Decreto 613 del 2017 "La planta, sumidades, floridas o con fruto, de la planta de cannabis cuyo contenido de delta 9 tetrahidrocannabinol (THC) es inferior a 1 % en peso seco" (10 de abril de 2017).

Dicho de otra manera, la *Cannabis Índica* y la *Cannabis Rudelaris*, son subespecies de la *Cannabis Sativa L.* o al menos esa es la hipótesis, debido a que se presenta cierta polémica (Westerhuis, 2016, p.11). Otros exponen que son distinta especies del género Cannabis por los orígenes (Puentes, Cepeda, Téllez, s.f., p. 302). Como lo muestra la Figura 1, se diferencian debido a su posición geográfica, ya que han evolucionado física y genéticamente por esta condición. El nombre "marihuana" se refiere tanto a la planta como a las hojas y flores secas que son fumadas, con el propósito de alterar la mente (Clarke y Merlín, 2013, p.36). La marihuana a diferencia del cáñamo, contiene de 3 a 15% de THC en peso seco (Vantreese, 1997 citado por Fortenbery y Bennett, 2001), cannabinoide principal que produce efectos psicoactivos.

Figura 1

Subespecies de Cannabis



Nota: Diferencias entre la hoja y altura de las subespecies de la Cannabis. Adaptada de *Anatomía de la planta de cannabis [Imagen]*. Alchimia, 2018.

Cannabis Sativa L.: Es una planta nativa de Asia Central, generalmente es cultivado con fines industriales, puesto que es una variedad de rápido crecimiento y produce fibras largas, el follaje es menos denso que otras variedades, y su altura es superior a la C. Indica y C. Rudelaris (HashMarihuana&HempMuseum, s.f.; Gedik y Avinc, 2020, p.92).

Cannabis Índica: es originaria de Asia central y debido a sus características climáticas, modificó sus estructuras y se desarrolló en forma pequeña, frondosa y robusta que le permite soportar vientos, mantener la humedad y su parte interna del frío; difiere de la sativa debido a que tiene un lento desarrollo, se utiliza como analgésico muscular, para meditación y psicoactivo (Growbarato, s.f.)

Cannabis Ruderalis: Es procedente de Rusia, Europa Central y Asia Central, su estatura plena varía entre 30 y 80 centímetros, produce pocas ramas, completa su ciclo vital aproximadamente de 10 a 14 semanas, la semilla resiste hasta que las condiciones

naturales sean favorables, las plantas silvestres poseen alto contenido de cannabidiol y bajos en THC, tienen poco valor de uso recreativo y de fibra (HashMarihuana&HempMuseum, s.f.).

Cannabinoides: son sustancias químicas que interactúan con receptores cannabinoides del cuerpo. La planta de cannabis contiene aproximadamente 113 cannabinoides, las que más se destacan son el delta -9- tetrahidrocannabinol y el Cannabidiol.

Delta -9- Tetrahidrocannabinol (THC): es un fitocannabinoide que al entrar en contacto con los cannabinoides del cuerpo produce efectos psicoactivos (Fundación Canna, s.f.)

Cannabidiol (CBD): es un compuesto que actúa en el sistema nervioso central y por lo tanto es psicotrópico, aunque, no tiene los efectos psicoactivos del THC, por el contrario, antagoniza los efectos psicomiméticos que éste produce, tiene propiedades terapéuticas antiinflamatorio como analgésico, neuro protector; anticonvulsivante, antioxidante entre otros (Fundación Canna, s.f.).

Fibras textiles: son todas las sustancias de las cuales es posible obtener hilados a partir de medios mecánicos, las hay de origen natural o sintético (Aldazabal, 2012).

Fitorremediación: es una técnica que utiliza el potencial de las plantas con el fin de remover los contaminantes del suelo, agua y aire, recuperando la calidad del mismo.

Potencial Ecológico: virtud que tienen las cosas para producir un impacto sobre el medio ambiente.

Materiales compuestos: se compone de dos o más materiales que no se pueden diluir y químicamente deben ser diferentes, el material externo se le denomina matriz y al encapsulado se conoce como material de refuerzo, fase discontinua o fase dispersa (Stupenengo, 2011, p.7; Moral y Nogueira, 2007, p.4).

Marco Histórico

En relación con los hechos históricos, es difícil establecer los usos, la ubicación y la fecha en que la humanidad empezó a utilizar el cáñamo para su aprovechamiento. Teniendo en cuenta lo anterior, se debe recurrir a la paleobotánica del cannabis. Dentro de las investigaciones Fleming y Clarke (1998) afirman que se han hallado granos de polen, recuperados con mayor frecuencia en sedimentos de lagos, estanques y pozos, se deduce que, mencionados lugares eran utilizados para el enriamiento de los tallos, y por lo tanto, se presentaban cultivos cercanos que desprendían el polen; sin embargo estos gránulos de polen no son del todo confiables debido a la similitud con el lúpulo (p. 2,3). Ahora, en relación con las fibras se han encontrado en cordelería, textiles y trozos de papel, también, como decoración en suelo y cerámicas de barro, asimismo, en superficies corroídas de piezas de bronce, es válido mencionar que, se tiene cierta confusión para identificar fibras degradadas (Fleming y Clarke, 1998, p,4-5), respecto a las semillas, son más fáciles de diferenciar, en el contexto arqueológico se ha llegado a identificar semillas de cáñamo a la mitad debido a que poco se confunde con otras especies (Fleming y Clarke, 1998, p, 5).

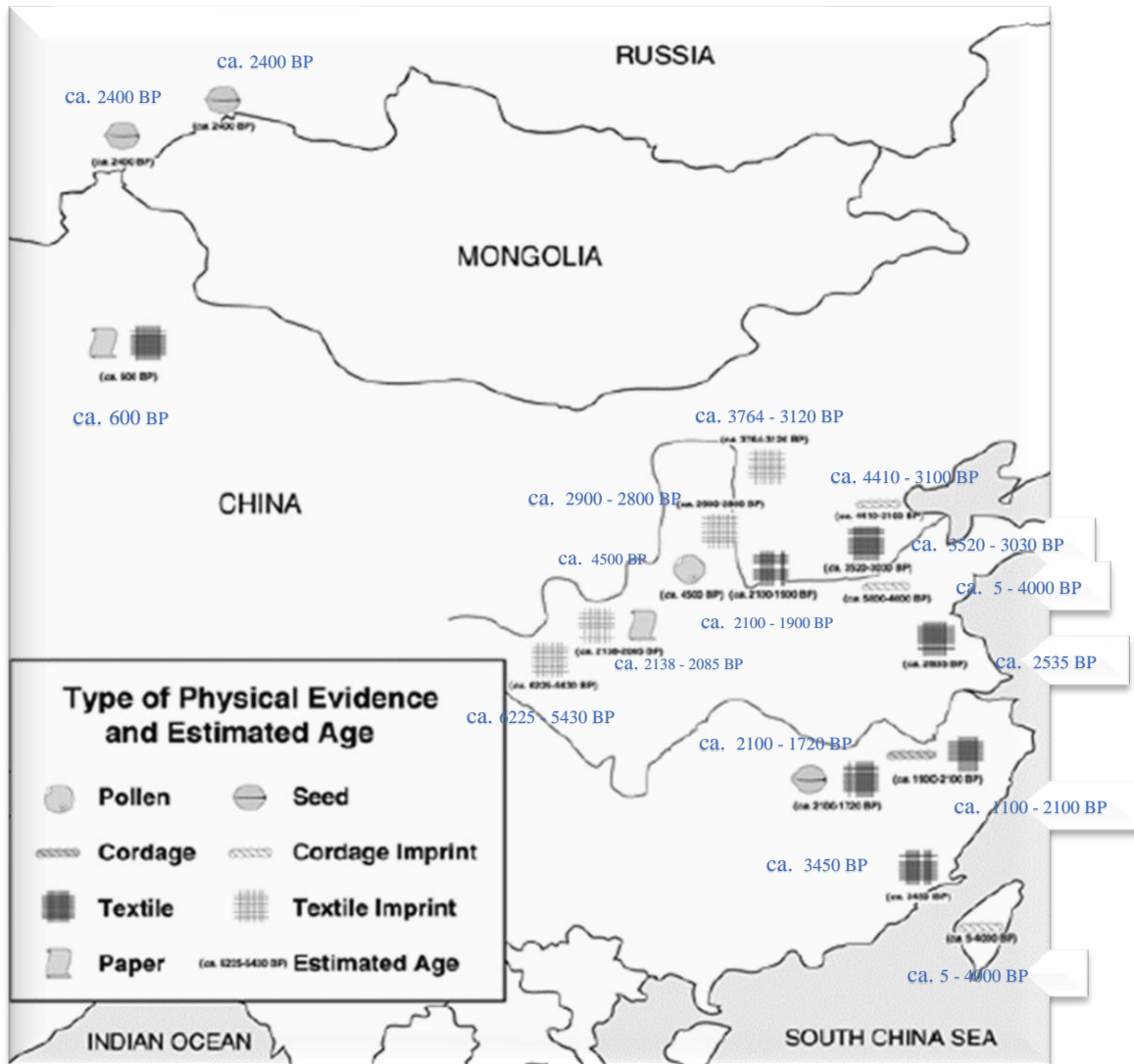
En relación al continente americano, Gutiérrez (2015) afirma que desde el siglo XVI tanto españoles como portugueses cultivaban el cáñamo con fines industriales, a su vez, los esclavos la usaban con fines recreativos. Respecto a su llegada a Colombia se realizó a principios del siglo XVII en la Sierra Nevada de Santa Marta con el fin de reemplazar a la cabuya como fibra (p.24). Su fácil distribución en el continente, posiblemente se dio debido al uso psicoactivo.

Ya en el siglo XX, exactamente en “1925, durante el gobierno de Pedro Nel Ospina y posteriormente en el de Mariano Ospina Pérez (1946-1950), se importaron semillas de cáñamo (*cannabis*) para la industria textilera, pero dichas semillas no eran de la variedad adecuada para este menester” (Puentes, Cepeda, Téllez, s.f., p. 302).

La figura 2 presenta las evidencias de cáñamo que se han encontrado en Asia antes de nuestra era.

Figura 2

Tipo de evidencia física y edad estimada



Nota: Restos de Cannabis en Asia, polen, cordería, textil, papel, semillas y huellas de cordería e impronta textil. Adaptada de Fleming y Clarke (1998) p,7. [Imagen].

En 1931 la revista Cafetera de Colombia publicó el artículo titulado “El cultivo del cáñamo en el Valle del Cauca”, en el cual se menciona que se llevaron a cabo cultivos en Palmira por Colombian Textiles Corporation; también resalta, que los terrenos aluviales, permeables, ricos en nitrógeno y un clima cálido favorece una buena propagación de la planta; para ese entonces en 6.400 m² cultivados, su rendimiento promedio era de 1000 libras de fibra seca, con un costo de producción por cada libra de

tres centavos con nueve décimas si se computa el costo de enriamiento, requebrajada y limpieza de la fibra, asegura que se puede obtener hasta dos cosechas por estación y no hay registro de plagas que amenacen la cosecha (Pantoja, 1931, p. 1063-1064).

Para finales de 1940, la semilla de *Cannabis Sativa L.* fue importada desde India con el fin de implementar su fibra con fines textiles en el Gobierno de Mario Ospina Pérez (Calderón, 2003, p.60).

Dentro del libro plantas útiles de Colombia, escrito por el Doctor Enrique Pérez Arbeláez menciona que el cáñamo fue estudiado por el Instituto de Fomento Industrial en los Departamentos del Tolima y Magdalena por sus cualidades fibrosas, respecto a su descripción botánica, la define como “planta anual, semileñosa, dioica, de raíz perpendicular, leñosa y blanca, caule erecto y hueco; ligeramente cuadrangular o estriado hasta de seis metros de altura; hojas opuestas, longo pecioladas, palminervias. compuestas de 5-7 segmentos, lanceolados, acuminados, dentados. más pálidos en el envés... (Pérez, 1955, p.513-514)

Calderón (2003) realizó el proyecto “Utilización de la fibra de cáñamo en la industria textil. Una nueva opción para la problemática de los cultivos ilícitos en Colombia”, analizando el contexto del cáñamo a nivel internacional y nacional, respecto a este último, analiza la posibilidad de crear una cadena para el desarrollo de la fibra de cáñamo en la industria textil colombiana y a su vez, plantear una solución para el problema de los cultivos ilícitos en el país.

López (s.f.) publica en Mamacoca una ponencia titulada “Propuesta para el uso alternativo de la especie *Cannabis sativa* en Colombia”, donde asegura que la investigación sobre el cultivo y producción de materia prima del cáñamo en Colombia es casi nulo y por ende, propone crear una parcela experimental con el objetivo de producir materias primas, para ello se debe realizar un reconocimiento de cultivos en el país para conocer las fases de crecimiento, altura, producción por m², características de sus hojas, su peso, método de siembra entre otros, una vez se tengan estos datos se

procederá a realizar la parcela y finalmente publicar y divulgar la información; también, realiza una descripción del beneficio ecológico, económico y social al incorporar el cáñamo a nuestra sociedad.

Sánchez (s.f.) realiza el trabajo investigativo “Implicaciones Constitucionales y Socio-Jurídicas de la Prohibición y Destrucción de los Cultivos de Cáñamo en Colombia”, en este trabajo detalla que los primeros cultivos en el país, fueron en la Sierra Nevada de Santa Marta. Además, menciona que para el siglo XVII se introdujo el cáñamo en el macizo colombiano con el fin de aprovechar su fibra, adicional a esto, destaca la importancia del cáñamo como fuente renovable en el calentamiento global basándose en su utilidad para producir papel, fibra y combustible (p.83,96)

De igual manera, Ramos (2019) presenta en su proyecto de grado el “Plan de Negocio para la Fabricación y Venta de Ladrillos a Base De Cáñamo en la Construcción de Viviendas Sostenibles en la Ciudad de Bogotá”, donde realizan un proceso de cómo sería la creación de una empresa de ladrillos a base de cáñamo entrevistando a conocedores en el tema para saber los requisitos que debería cumplir el producto, encuentran que se pueden cumplir dichos requerimientos y el costo de producción del ladrillo a base de cáñamo es más económico que el convencional, por otro lado no requiere ser cocidos en horno, no requiere arcilla lo que evita el descapote de materia orgánica, finalmente las fibras de cáñamo son más fuertes, más absorbentes y resistentes haciéndolo mejor que un ladrillo convencional.

Finalmente, Ospina (2019), plantea un negocio “verde” a partir de la producción de ladrillos de cáñamo, en este trabajo, realiza una encuesta para conocer la viabilidad del negocio y análisis de matriz PESTEL y DOFA, adicionalmente, realiza tres ladrillos con diferentes porcentajes de cáñamo con el fin de compararlos con un ladrillo de arcilla. El autor concluye, que el negocio verde es una buena alternativa, no requiere de tecnología compleja y generaría una gran cantidad de empleo, sin embargo, *requiere de una alta inversión y de un área de siembra mínima de cinco hectáreas.*

Prohibición. En relación a este apartado, Taylor, Blickman y Jelsma (2014) mencionan en *Auge y caída de la prohibición del cannabis La historia del cannabis en el sistema de control de drogas de la ONU y opciones de reforma*, que, a finales del siglo XIX algunos países controlaban la Cannabis principalmente regulando su consumo, seguidamente las afirmaciones denigrantes y carentes de objetividad del entonces delegado de Egipto sobre el cáñamo índico, produjo que se creara un subcomité que finalmente se pronunció a favor de prohibir el cannabis en una conferencia celebrada en Ginebra en el año 1912, apoyado de países como Turquía, Grecia, Sudáfrica, Brasil y Estados Unidos; esto conllevó a que se controlara internacionalmente en la Convención de Ginebra de 1925, en 1937 *bajo acusaciones sin fundamento se prohibió el cannabis en Estados Unidos* y así el país encabezó una lucha contra el planta, finalmente se incluyó en la Lista I (sustancias más adictivas y nocivas) y IV (sustancias más peligrosas, adictivas y provocan efectos negativos) de estupefacientes, en la Convención Única de 1961, dentro de estas restricciones no se incluyeron las semillas ni las hojas del cannabis, cabe mencionar que los usos industriales se dispusieron en el artículo 28. Para 1971 en el Convenio sobre Sustancias Sicotrópicas se incluyó el dronabinol (formulación farmacéutica del THC) en un tratado para someter a fiscalización internacional las sustancias psicoactivas.

Como se mencionó, los usos industriales se dispusieron en el artículo 28, estipulando que los usos de fibra y semilla no se le aplicarán las prohibiciones, sin embargo, debido a las pocas herramientas con que se contaba para diferenciar estas dos variedades, el cáñamo se vio perjudicado por los controles al cannabis (Taylor y otros, 2014, p.43), ejemplo de ello, es el caso estadounidense que consistía en impuestos a la cannabis haciendo menos rentable la producción industrial, científica y médicas (Aduanas y protección de fronteras de los Estados Unidos, 2019), a su vez, este hecho ocasionó una prohibición en Colombia sobre los cultivos de marihuana puesto a que, el Gobierno Colombiano estaba influenciado por el Estadounidense (Gutiérrez, 2015)

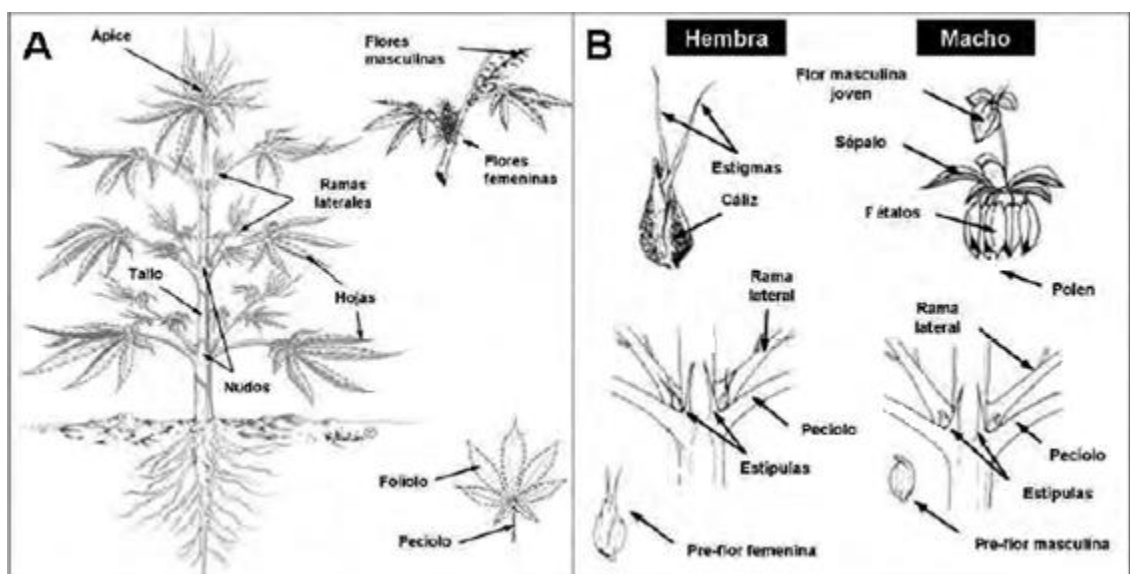
Finalmente, cada país empezó a especificar sus normas prohibitorias estableciendo niveles de THC permisibles, como es el caso de Colombia con el Decreto 613 del 2017 quien fija que se podrá usar el Cannabis para usos diferentes al medicinal, con la condición que las plantas posean una concentración de THC inferior al 1% en peso seco, menos estricta que la usada en países de Europa que exigen concentraciones por debajo de 0,3% de este cannabinoide. Para cerrar Wild (2015) concluye lo siguiente:

CAÑAMO y la MARIHUANA son plantas similares, obtenidas de diferentes cruces y selecciones, que dieron lugar a variedades con características diferentes, y pueden seguir cruzándose entre sí. La MARIHUANA es una variedad de CAÑAMO en la que se ha potenciado la concentración de TetraHidroCannabinol (THC). *Por lo tanto, definiremos como CAÑAMO, las variedades de CANNABIS SATIVA cultivadas por sus usos industriales, y como MARIHUANA, las plantas cultivadas con fines medicinales y/o ludicos que presentan concentraciones importantes de THC y otros CANNABINOIDES de efectos psicoactivos. [énfasis agregado]*

Marco Teórico

La Especie: Cáñamo o Cáñamo industrial. Su nombre científico es *Cannabis sativa* L. clasificada taxonómicamente por Carl Linnæus (Linnæi, 1753), es una planta anual, lo que significa que germina, crece, florece, da fruto y muere al cabo de un año. Puede ser monoica (flores de ambos sexos en un ejemplar) o dioica (flores de un sexo en un ejemplar), por lo general, los machos tienden a ser más altos y delgados con pocas hojas alrededor de las flores y mueren poco después de desprender el polen, en especies monoicas, las plantas femeninas viven hasta que la semilla madura (Merfield, 1999, p.7). Es una planta alta, alcanzando los 5 metros cuando el suelo y clima son favorables (Robinson, 1943). Su tallo es hueco, la semilla, por lo general se encuentran adheridas a la planta cuando está madura, sus hojas en promedio miden 136 mm por lo general con 5 a 9 folios (Fassio, Rodríguez y Cerreta, 2013). Sin embargo, hay autores como Rivera (2013) que menciona que sus folios varían de 3 a 11 de forma lanceada y bordes dentados (p. 33). Es de origen tropical, por ello, es más alta que las otras variedades de cannabis. La Figura 3, muestra los nombres de las partes de la planta y enseña las diferencias físicas entre la planta hembra y macho.

Figura 3
Morfología de la especie Cannabis sativa L.



Nota: A. Detalle de la planta. B. Diferencias entre géneros. Tomado de Fassio, Rodríguez y Cerreta, 2013, p.12. [Imagen].

El Tallo. Es hueco, rodeado por una capa de médula interna de fibras leñosas y cortas llamadas hurds (xilema), y una capa externa, donde se encuentran principalmente las fibras de líber (floema), la capa externa contiene alrededor de un 30% de fibra con longitudes que van desde los 10 cm hasta el metro con promedios de 20 a 40 centímetros, su pared es gruesa y rígida, el diámetro de la fibra se encuentra entre 16 y 50 micras, estas fibras se superponen en atados a lo largo de toda la planta (Fassio y otros, 2013; Fontoba, 2019, p.313; Kraenzel y otros, 1998 citado por Fortenbery y Bennett, 2001, p. 6).

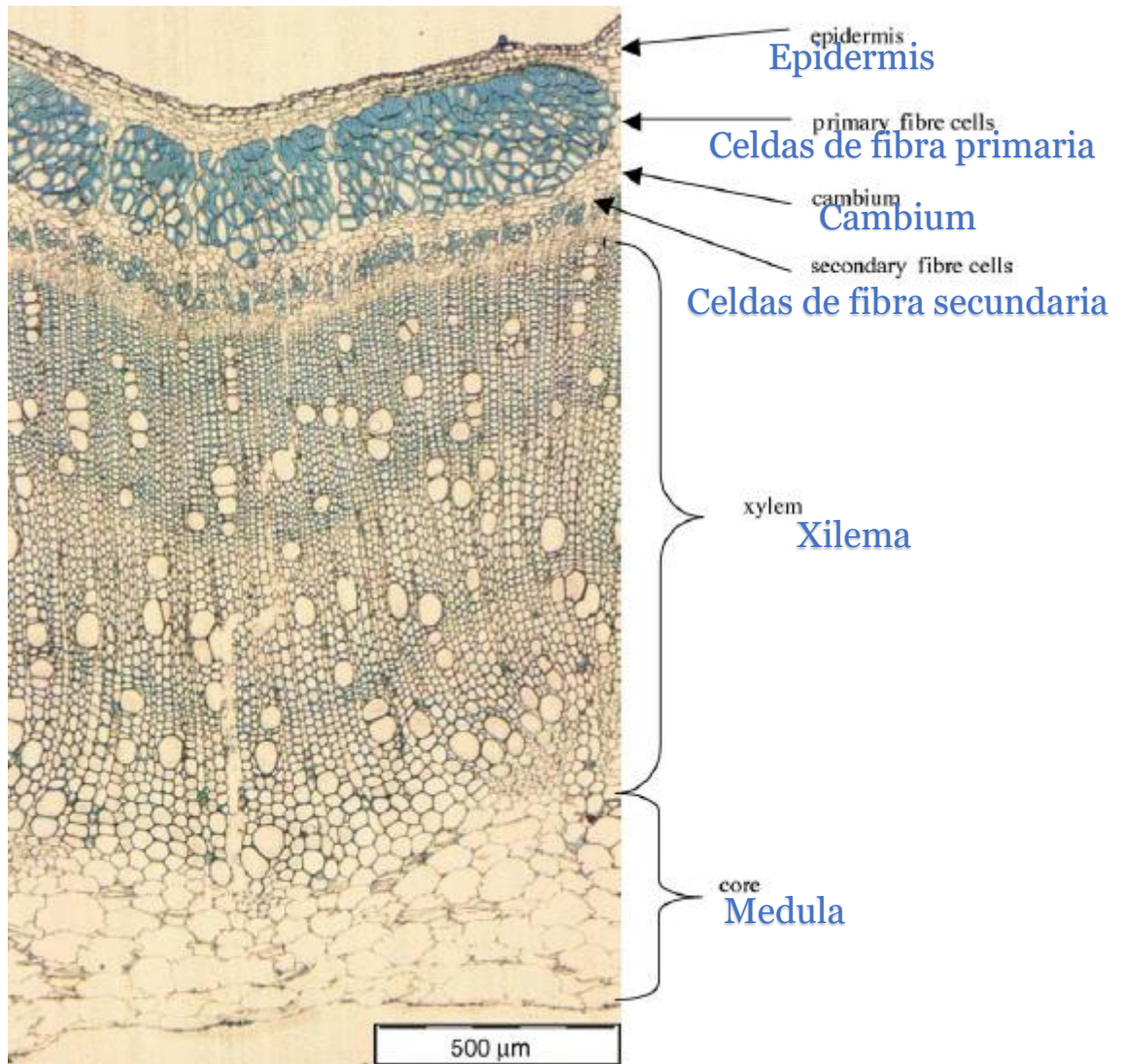
A su vez, las fibras de líber se dividen en primarias y secundarias, las primarias se caracterizan por ser más largas y gruesas, en tanto, las secundarias contienen más lignina y son muy cortas para hilar, estas fibras secundarias disminuyen a lo largo del tallo y aumenta con la edad de la planta (Schumacher, Pequito y Pazour, 2020, p.2; Westerhuis, 2016, p.27). Una táctica para evitar el crecimiento de la fibra secundaria es observar el crecimiento de los entrenudos, cuando este detiene, comienza el crecimiento secundario y la proporción de las fibras primarias disminuye (Gedik y Avinc, 2020, p.91).

El núcleo leñoso, también llamado cañamiza (hurds) compone alrededor del 68% del tallo, con un contenido de celulosa promedio de 38% y un contenido de lignina 18% (Villalobos, 2011, p. 30). Las fibras del floema contienen considerablemente más celulosa y hemicelulosa, y significativamente menos lignina que las maderas duras o blandas, tanto fibras de Hurd como de líber se pueden procesar para su uso (Fassio y otros, 2013; Fortenbery y Bennett, 2001, p. 6). Características como diámetro y altura también son influenciadas por condiciones climáticas (Schäfer y Honermeier, 2006, p.90).

En la Figura 4, enseña la vista transversal del tallo a nivel microscópico.

Figura 4

Vista de la sección transversal del tallo de cáñamo



Fuente: Adaptado de Schäfer y Honermeier (2006). P.90. [Imagen]

Raíz. El cáñamo tiene una raíz primaria bien desarrollada con numerosas raíces secundarias ramificadas. Bócsa y Karus (1998) citados por Merfield, (1999) afirman que “en suelos livianos y bien drenados, las raíces primarias del cáñamo pueden alcanzar profundidades de 2 a 2,5 metros, y las ramas secundarias de las raíces pueden crecer de 60 a 80 centímetros por debajo de la superficie del suelo” (p.7).

Semilla. es un aquenio: una fruta seca, de cáscara dura y fina, sus tonalidades son café oscuro, gris oscuro o un verde grisáceo, con un peso entre 15 a 20 gramos, diámetro de 3 a 4 mm (Ramos, 2019; Westerhuis, 2016, p.11). Se obtienen de la planta femenina o dioica cuando ésta madura. La semilla contiene aproximadamente entre un 29 y un 34 por ciento de aceite en peso (Fortenbery y Bennett, 2001, p.15). Posee gran valor nutricional, proporciona todos los aminoácidos esenciales, las semillas con cáscara son fuente de fibra, además, contienen niveles de vitamina A, C, D, E, proteínas y minerales como el fósforo, potasio, sodio, magnesio, calcio, hierro, azufre y zinc, respecto a los ácidos grasos esenciales contiene omega 6 y omega 3, por otro lado, las semillas se pueden utilizar como una alternativa nutritiva al pienso animal (Cannaconnection, 2020; Davila, 2016; Vargas,2016).

Respecto a la semilla se debe mencionar que hay distintas variedades debido a que han sido modificadas genéticamente para buscar elevar el potencial según su interés. A 2016 había 52 variedades certificadas de cáñamo industrial registradas para su empleo en la Unión Europea, clasificadas en dos grupos, monoicas y dioicas (Cannabis Magazine, 2016). Según la Asociación Europea de Cáñamo Industrial, hay 75 variedades diferentes de cáñamo registradas en el catálogo de la UE y todas tienen un bajo contenido de THC (actualmente hasta el 0,2%) (s.f.).

En lugares como Reino Unido, se realizan investigaciones que utilizan diferentes semillas “AHB18, Elleta Campana, Fibranova, Whitten Kenaf, K2 Kenaf, SS Alpha...”, las cuales cultivan en diferentes ambientes “condiciones climáticas, suelos, en diferente periodo del año y finalmente evalúan sus potencialidades “longitud y diámetro del tallo, peso seco, peso fresco, porcentaje de humedad...” (William, Turner, Hounshell y Neace, 2018).

Figura 5
Algunas variedades de semilla certificada

Variedad	Tygra	Bialobrzeskie	Fibranova	Gliana	Selección de Carmagnola	Eletta Campana	Hlukhiv's'ki 51 (H-51)	Fedora 17	Usó 31
Precio (Euro/Kilo)	25	25	85	8.50	85	25	-	93.5	93.5
Genotipo	Monoico	Monoico	Dioica	Monoica	dioica	dioica	Monoica	Monoica	Monoica
Climática	Norte y Sur de América	Norte y Sur de América	Sur de Europa	Sur de Europa	Sur de Europa	Sur de Europa	-	Templado, continental	Frios - templados
THC (%)	<0,2	<0,2	-	<0,2	<0,2	<0.6	<0.003	<0,2	<0,2
Distribuidor	Canapuglia			Rohrerseeds			Ganeshgrow		
Altura (m)	2.5 - 3.5	2.5 - 3.5	2.5 a 6.5	2.5 - 3	2.5 a 6.5	2.5 a 6.5	3 - 4.3	2 - 3	2 - 2.5
Ciclo Vegetativo (días)	135 - 140	142 - 145	160 - 180	115 - 120	160 - 180	160 - 180	120 - 125	130	125
Floración (días)	65 - 70	70 - 75	-	-	-	-	-	-	-
Rendimiento en pacas redondas Ton/ha	20 - 25	15 - 25	10 - 15	8 - 15	10 - 15	11 - 13	11.2 - 16.8	8 - 10	6 - 8
Variedad	Futura 83	Santhica 27	Santhica 70	Férimon	Tiborzallasi	Futura 75	KC Zuzana	Monoica	Félina 32
Precio (Euro/Kilo)	93.5	93.5	93.5	93.5	121	102.85	88	88	121
Genotipo	Monoica	Monoica	Monoica	Monoica	dioica	Monoica	Monoica	Monoica	Monoica
Climática	Sur de Europa	Centro de Europa	Sur de Europa	Templado, continental	Sur de Europa	Sur de Europa	Sur de Europa	Continental	Continental Oceanico
THC (%)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Distribuidor	Ganeshgrow								
Altura (m)	2.5 - 3.5	2 - 2.5	2 - 2.5	2 - 2.5	2.5 a 3.5	2.5 a 3.5	1.5 - 2	2 - 2.5	2-mar
Ciclo Vegetativo (días)	160	135	140	125	140	140	120	135	135
Rendimiento en pacas redondas Ton/ha	12 - 15	8 - 10	8 - 10	6 - 8	12 - 15	10 - 12	6 - 8	10 - 12	10 - 12
Fibra %	26 - 30	30 - 35	30 - 35	30 - 35	26 - 30	30 - 35	26 - 30	26 - 30	30 - 35

Fuente: Autor con información disponible en Canapuglia (s.f.); Rohrerseeds (s.f) y Ganeshgrow (s.f).

El Cultivo del Cáñamo. Se divide en cuatro etapas. En primer lugar, se debe adecuar el suelo para las necesidades del cáñamo, seguidamente se realiza el proceso de siembra; en tercer lugar, se requiere realizar las operaciones de cultivo y por último la cosecha (Schumacher, Pequito y Pazour, 2020, p.4).

Antes de describir las etapas del cultivo, se debe mencionar que el cáñamo crece en una amplia variedad de latitudes, sin embargo, el crecimiento óptimo se desarrolla en condiciones semihúmedas con temperaturas de 7.8C a 27C (Schumacher, Pequito y Pazour, 2020, p.3) y humedad relativa de 40 a 80 % (Gedik y Avinc, 2020, p.93).

Se deben evitar fuertes heladas para producir la mejor fibra (Kraenzel y otros, 1998, p.17), Respecto a las sequías severas, se ha demostrado que acelera la maduración y produce plantas enanas (Ehrensing, 1998; USDA, 2000 citados por Fortenbery y Bennett 2001). Por su lado, el granizo puede lesionar los tallos ocasionando que el porcentaje de fibras largas disminuya y los vientos fuertes pueden ocasionar la rotura del tallo (Calderón, 2003, p. 45).

Las actividades agrícolas se dividiran en las siguientes fases



Preparación de suelo. Consiste en adecuarlo para el correcto desarrollo de la especie. Un par de semanas antes de la siembra, se sugiere abonar el suelo con boniga y humus, a su vez, aclara que un exceso de nitrógeno puede generar una baja calidad y producción de la fibra de líber (Villalobos, 2011, p. 34; Gedik y Avinc, 2020, p.92).

En el caso de los fertilizantes Fortenbury y Mick, (2014), citados por Schumacher y otros (2020), señalan que el cáñamo requiere similares cantidades de nutrientes que el maíz de alto rendimiento (p.6), o trigo de alto rendimiento (Baxter y Scheifele s.f.). De manera más puntual, para una producción de 10 toneladas por

hectárea se requieren 90 kilos de nitrógeno, 25 kilos de fosforo (P_2O_5), 90 kilos de potasio (K_2O), 60 kilos de calcio, 10 kilos de magnesio y 10 kilos de azufre (Gedik y Avinc, 2020, p.92), a su vez, Baxter y Scheifele (s.f.) aseguran que una hectárea se debe abonar con 70 a 110 kilos de nitrógeno, de fosforo (P_2O_5) hasta 80 kilos y de 40 a 90 kilogramos el potasio (K_2O).

Cabe mencionar que los valores anteriores dependen de la fertilidad del suelo y el historial de cultivos. Se debe tener presente que, debido a su rápido crecimiento la absorción de nitrógeno es la más intensa en las primeras 6 a 8 semanas (Kraenzel y otros, 1998, p.18)

Profundizando un poco más en los suelos, Fortenbery y Bennett (2001) aseguran que crece mejor en suelos francos sueltos, con abundante materia orgánica (p.7), por el contrario, no se recomienda en suelos arcillosos pesados o suelos ligeros, arenosos o con grava, la acidez ideal del suelo para el cultivo del cáñamo tiene valores de pH que oscilan entre 5,8 y 6; si el suelo posee niveles muy ácidos es probable que el cáñamo no crezca (Kraenzel y otros, 1998, p.8,17). Hay otros autores que fijan el pH óptimo entre 7 y 7.5 (Baxter y Scheifele, s.f.).

Un inconveniente que podrían enfrentar los agricultores, es encontrar la semilla adecuada para el ambiente donde se cultivan, debido a que la gran mayoría de semillas certificadas (bajo contenido de THC) se produce principalmente en Europa. Las variedades monoicas, se cultivan principalmente para la producción de fibra, sin embargo, se ha informado que las plantas masculinas tienen un mayor porcentaje de fibra y una mayor calidad (Prácticas óptimas de gestión en la cosecha y almacenamiento del cáñamo industrial, s.f., p.5; Westerhuis, 2016, p.14). La selección adecuada de la semilla es de suma importancia debido a que la proporción fibra – cañamiza en el tallo, varía según la variedad (Westerhuis, 2016, p.183).

Para obtener un buen rendimiento de fibras, se debe evitar al máximo la ramificación, lo cual favorecerá a que se formen tallos altos, se debe **sembrar** en altas

densidades, lo cual se refleja en su diámetro, a densidades bajas el tallo varía entre 30 a 60 mm y en altas densidades varía de 6 a 20 mm (Merfield, 1999, p.6). A pesar de ello Westerhuis (2016) menciona que el tamaño de la planta afecta levemente el porcentaje de fibra (p.14).

Kraenzel y otros (1998) menciona que, para maximizar la producción de fibra, las siembra varíen entre 150 y 400 semillas por 0,84 metros cuadrados, la semilla germinará de 24 a 48 horas y, con una humedad adecuada y temperaturas cálidas, emergerá en 5 a 7 días (p.17,18). En Canadá las densidades de siembra para fibra son de 45 kilogramos por hectárea y de 200 a 250 semillas por m². (Baxter y Scheifele, s.f.). Sin embargo, se debe tener claro que hay un porcentaje de semillas que no germinará.

Operaciones de Cultivo. Están relacionadas al manejo de hierbas e insectos no deseados. La etapa que representa un alto grado de vulnerabilidad son las primeras etapas de desarrollo ya que en la etapa adulta tiene un potencial para albergar enfermedades e insectos, aunque no se tiene conocimiento cuando se implementen monocultivos (Darby y otros, 2018, p.9). En relación a las hierbas no deseadas, debido al denso y rápido crecimiento del cultivo no las permitirá crecer (Kraenzel y otros, 1998, p.18).

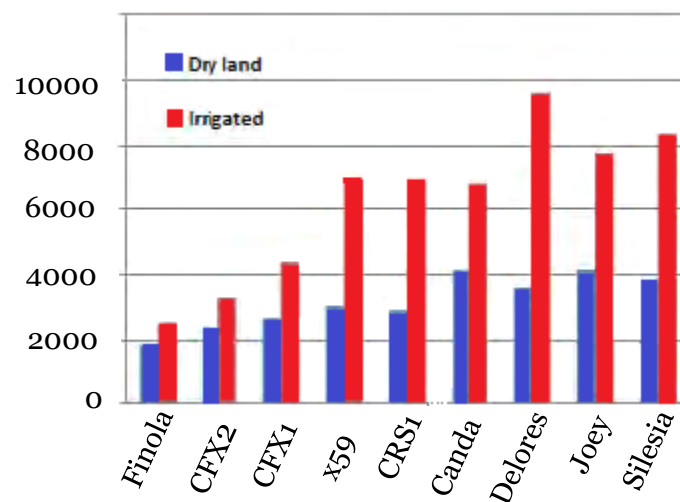
En general, los daños significativos causados por insectos y los brotes importantes de enfermedades son poco frecuentes, aunque se producen, puede verse afectado por hongos que atacan la planta provocando incluso la muerte (Calderón, 2003, p. 45), en investigaciones llevadas a cabo por Darby, Gupta, Cummings, Ruhl y Ziegel, (2017) el moho blanco, el pulgón, los saltamontes, la araña y los chinches tuvieron un efecto mínimo en el cultivo, en su mayor parte, las regiones productoras de cáñamo no han indicado que las enfermedades y las plagas de artrópodos tengan importancia económica. (p.7,8,9).

Respecto al riego, Schumacher y otros (2020) concluyen que los litros requeridos para una hectárea (sin contar las precipitaciones) varían de 3.000.000 de

litros a 7.600.000 litros por hectárea (p.8). Cabe mencionar, que si el agua permanece estancada durante más de 48 horas es posible que las plantas se ahoguen (Shipman, 2018, citado por Schumacher y otros, 2020, p.3). Villalobos (2011), recomienda emplear un riego a goteo (p.34). En la Figura 6 se observa la influencia del riego sobre el rendimiento de fibra.

Figura 6

Rendimiento de fibra (Kilos/hectárea) en cultivos irrigados y secos



Nota: En azul los rendimientos en tierras secas y en rojo el rendimiento de tierras irrigadas. En el **eje Y** (Kilogramos por hectárea) y **eje X** variedades de cáñamo. Adaptado de Prácticas óptimas de gestión en la cosecha y almacenamiento del cáñamo industrial, s.f., p.3

Si se desea obtener fibra larga y de calidad, **la cosecha** es fundamental, si se hace muy pronto, la fibra será clara, fina y de menor resistencia, de lo contrario, si se madura, la fibra se endurece y se descarta o complica para las aplicaciones textiles (Fortenbery,2001; Ramos,2019). Para variedades dioicas, la cosecha se debe realizar antes de la formación de las semillas y para variedades monoicas, por lo general se debe realizar cuando las primeras flores aparezcan, es importante mencionar que la altura de la planta es influenciada por el fotoperiodo (Prácticas óptimas de gestión en la cosecha y almacenamiento del cáñamo industrial s.f., p.5,7).

Para la fibra destinada al uso textil, es aconsejable cosechar el cultivo cuando los machos estén soltando polen, ya que en ese momento la fibra del líber no está muy

lignificada (Darby, Gupta, Cummings, Ruhl y Ziegel, 2017, p.8; van der Werf HMG, 2002, citado por Gedik y Avinc 2020, p.91). Si se desea obtener una fibra de producción dual (fibra y semilla), se deberá tener en cuenta que la calidad de fibra será más baja (Fortenbery y Bennett, 2001, p.20).

Se ha descubierto que una barra de hoz y una horquilla de disco funcionan bien para fibra de cáñamo (Prácticas óptimas de gestión en la cosecha y almacenamiento del cáñamo industrial, s.f., p.25). También se pueden emplear cosechadoras similares a la COCO 1620 (Konop, 2016), cosechadora HHH 700 (Hemp Harvesting Technology, s.f.), cosechadora Wittrock 4500 (Tecnología agrícola Wittrock, 2013, Omin22s).

Finalmente, el sistema radicular se descompone rápidamente después de que se corta el cultivo; hasta dos tercios de la materia orgánica se devuelven al suelo si el cáñamo se enriza (proceso de enriado) en el campo, adicionalmente, es un excelente cultivo de rotación (trigo y papas en Dakota del Norte), aunque, puede plantarse en el mismo terreno durante varios años seguidos (Kraenzel y otros, 1998, p.8,19). Debido a su cualidad para ahogar hierbas no deseadas, reduce la dispersión de semillas favoreciendo a los cultivos de rotación (Westerhuis, 2016, p.17).

La energía asociada a la producción de cáñamo por hectárea es de 11.400 MJ, prácticamente la mitad de la energía asociada a cultivos como el trigo (18.100 MJ/ha) y el maíz (23.000 MJ/ha) (Ip y Miller 2012, p. 2). respecto al dióxido de carbono capturado durante la fotosíntesis, se calcula que son 1,84 kg por cada kilo de cañamiza (Bevan y Woolley, 2008; citado por Ip y Miller, 2012, p. 7).

Una vez cosechada los tallos, se retiran las hojas y se procede a extraer la fibra, el proceso se puede dividir en los siguientes cuatro procesos.



El **enriado** es un proceso microbiano que rompe los enlaces químicos (capa de pectina) que mantienen el tallo unido y permite la separación de las fibras primarias y secundarias y a su vez, del núcleo leñoso (hurds), este proceso se puede realizar de diversas maneras y estas repercutirán en la propiedades de la fibra, el más económico es dejarlo en el campo aproximadamente un mes, durante este periodo, los microorganismos degradan la lignina por medio de enzimas especializadas, se debe procurar, girar las garbas o tallos para que haya una degradación pareja, si el proceso de enriamiento es muy largo, las enzimas celulolíticas causan daño a la fibra, se han obtenido resultados favorables de 35 a 50 días (Prácticas óptimas de gestión en la cosecha y almacenamiento del cáñamo industrial, s.f., p.27,28; Baxter y Scheifele, s.f.; Gedik y Avinc, 2020, p.94-96), este procedimiento, permite que un porcentaje de nutrientes retorne al suelo sirviendo como abono para el próximo cultivo.

El enriado en el agua produce una fibra más uniforme y de mayor calidad, pueden ser en sistemas lenticos o lóticos en los que se sumerge los tallos alrededor de 7 a 14 días, dependiendo la temperatura y microorganismo, aguas más cálidas en conjunto de microorganismos *C. felsineum* redujeron el tiempo de enriado (Di Candillo y otros, 2000, citados por Gedik y Avinc, 2020, p.95; Prácticas óptimas de gestión en la cosecha y almacenamiento del cáñamo industrial, s.f., p.30), sin embargo, presenta desventajas debido a que requiere mucho trabajo, agua y capital, adicionalmente, produce efluentes y tarda en secar.

El enriado químico es el más caro porque puede producir el efecto deseado en pocas horas, normalmente se utiliza una solución de hidróxido de sodio con o sin un agente quelante, el enriamiento con enzimas facilita la fermentación en agua, el enriamiento por vapor y enriamiento mecánico (Prácticas óptimas de gestión en la cosecha y almacenamiento del cáñamo industrial, s.f., p.30; Gedik y Avinc, 2020, p.94). Tras el enriado, los tallos se enfardan y se transporta a la planta de procesado, o también se almacena hasta que sea necesario. Se recomienda que la humedad de los tallos sea

inferior a 15% (Prácticas óptimas de gestión en la cosecha y almacenamiento del cáñamo industrial, s.f., p.27),

El proceso de **agramado o rotura** consiste en separar la fibra de líber del hurd o cañamiza, el método tradicional consiste en ubicar el tallo transversalmente sobre un objeto que tenga una horquilla o abertura en el centro, seguidamente se golpea el tallo con una cuchilla si filo, sobre el hueco que deja la abertura, hasta separa la fibra, finalmente se recogen los hurds y la fibra continua su proceso. Figura 7.

Figura 7

Agramado tradicional y sus productos



Fuente: Ayuntamiento Callosa de Segura, 2015, 4min27s. Nota: a Proceso de agramado. b Hurds. c Fibra de líber

Este proceso de rotura lo realiza industrialmente un decortecedor, se encarga de comprimir o aplastar los tallos por medio de unos rodillos lisos y acanalados, los primeros rompen el tallo longitudinalmente y el segundo rompe la parte leñosa en trozos más pequeños (Gedik y Avinc, 2020, p.98) Figura 8.

Figura 8

Decortecedor Industrial



Fuente: Ssuchy, 2019, 0min16s

Seguidamente pasa al proceso de **espadillado**, consiste en golpear la fibra para terminar de desprender cualquier residuo alojado en esta, se puede realizar manualmente o mecánicamente, seguidamente, son cortadas (60–70cm) para continuar con el **peinado** que radica en pasar las fibras por púas de acero u alambre cada vez más delgadas y unidas, de este proceso se pueden obtener distintos tipos de fibra según su longitud y textura (Ayuntamiento Callosa de Segura, 2015; Westerhuis, 2016, p.25; Gedik y Avinc, 2020, p.99), Figura 9.

Figura 9

Proceso de espadillado y peinado manual de las fibras de liber de cáñamo



Fuente: Ayuntamiento Callosa de Segura, 2015, 5min55. Nota: a. Pala denominada espadilla, b. Rastillo empleado para peinar la fibra y c. Tipos de fibra

Método Multicriterio.

Es un proceso decisorio en el cual se comparan determinados aspectos para optar por una decisión, para ello, se cuenta con métodos de comparación: El método cuantitativo “capta la realidad estática y objetiva”, el método cualitativo “otorga información sobre juicios, actitudes o deseos ... permite una evaluación integral y holística”, por último, tenemos el método mixto quienes dan “una visión más precisa y adquiere un mayor grado de comprensión del fenómeno” (Pacheco y Contreras, 2008, p.33-37).

Para la realización de la presente monografía se adaptó el método de Proceso Analítico Jerárquico (The Analytic Hierarchy Process – AHP) porque, permite tomar decisiones al cabo de la realización del modelo jerárquico (se puede resumir en

objetivo, criterios y alternativas) al cual se le atribuyen valores numéricos establecidos por su creador Thomas Saaty “Figura 10”, mencionados valores van del 1 al 9 en términos de comparación (Avila, 2000, p.5-6). Por último, se verifica si ha sido razonable las comparaciones entre los criterios por medio de la Relación de Consistencia (RC), este valor tendrá que ser ≤ 0.1 para que sea aceptable (Avila, 2000, p.10).

Figura 10

Valores de comparación establecidos por Thomas Saaty

INTENSIDAD	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Igual	Dos actividades contribuyen de igual forma al cumplimiento del objetivo
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra: su predominancia se demostró en la práctica
9	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara
2,4,6,8	Para transar entre los Valores anteriores	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes

Fuente: Adaptada de Arancibia, Contreras, Mella, Torres y Villablanca. 2003. [Imagén]

El método seleccionado se adaptará a lo requerido por el objetivo específico de la monografía. Al evaluar la viabilidad por medio de la matriz se comparará con el material de mayor uso en la actualidad, por ejemplo, *al ser sometidos los ladrillos de cáñamo a la matriz, se asignó la intensidad respecto a los ladrillos de arcilla común*. Es importante mencionar que la intensidad se decidió en base a la información disponible en la web. Se tomó como referencia lo establecido por Ávila (2000) quien menciona los siguientes pasos para estructurar el método: Identificación del problema, seguido por la definición del objetivo y la identificación de criterios, por último, se encuentra la identificación de alternativas (p.13) que para el caso actual no se tendrá en cuenta debido a que solo se contempló la alternativa de cáñamo.

En relación con el **problema**, se establece que, con la entrada en vigencia de normativas que permitan el uso de *Cannabis sativa L.* para fines industriales, los inversionistas requieren de instrumentos que les permitan tomar decisiones de manera segura y sucinta para implementar el cáñamo como materia prima. Como **objetivo** se plantea el siguiente: Conocer las principales desventajas y ventajas que presenta el cáñamo al ser comparado por medio del método AHP con las materias que actualmente son utilizadas en las industrias por medio de criterios.

Una vez identificados los sectores (textil, materiales compuestos y construcción), se procedió a seleccionar los criterios que compondrían la matriz, dichos criterios se describen a continuación.

- Procesamiento, entendido como las transformaciones o procesos que se deben realizar para obtener el producto esperado.
- Cantidad, comprendido como la cantidad de materia prima obtenida por unidad de área o necesaria para realizar el determinado uso.
- Disponibilidad, entendida como la facilidad o dificultad de obtener la materia prima.
- Calidad, entendida como las propiedades que permiten juzgar su valor (Real Academia Española, s.f., definición 1).
- Desempeño ambiental, entendido como los impactos al medio ambiente que genera al fabricar el producto
- Costo

Los anteriores criterios se compararon por medio de una matriz “Tabla 1” Se procedió a jerarquizar los criterios descritos, es decir, designar aquellos que tienen mayor o menor relevancia a la hora de seleccionar la materia prima. Es importante mencionar que, la jerarquización de los criterios se realiza según la perspectiva del inversionista. La valoración de esta matriz, se realizó a partir del criterio del autor

siguiendo la secuencia empleada por Ingeniería Industrial Easy (2017), los resultados son los siguientes:

Tabla 1*Matriz de Comparación de Criterios*

CRITERIO	Procesamiento	Cantidad	Disponibilidad	Calidad	Desempeño Amb	Costo
Procesamiento	1	1 / 3	1 / 5	1 / 5	1 / 3	1 / 5
Cantidad	3 / 1	1	1 / 4	1 / 4	1	1 / 4
Disponibilidad	5 / 1	4 / 1	1	3 / 1	5 / 1	3 / 1
Calidad	5 / 1	4 / 1	1 / 3	1	5 / 1	1
Desempeño Ambiental	3 / 1	1	1 / 5	1 / 5	1	1 / 4
Costo	5 / 1	4 / 1	1 / 3	1	4 / 1	1
Total	22,0	14,3	2,2	5,6	16,3	5,7

Nota: Los criterios se compararon entre ellos de acuerdo al objetivo del método AHP, teniendo en cuenta los valores establecidos en la “figura 10”. Por último, se realiza la sumatoria de columnas para hallar el vector propio de la matriz de criterios. Fuente: Autor

Una vez se realiza la comparación entre criterios, se halla el *vector propio de la matriz de criterios*, definido por Da Silva como aquel que “representa la importancia relativa de los criterios comparados en cada una de las matrices de comparaciones a pares” (Videositpunto.com, 2014, 22m42s), es decir, determinar la importancia de cada criterio. Este vector se obtiene realizando la matriz normalizada que consiste en tomar dato por dato de la “tabla 1” y dividirlo por la suma de su respectiva columna, una vez se tenga estos valores en la matriz normalizada se procede a efectuar el promedio de cada fila para hallar el vector propio. Los resultados de este procedimiento se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2*Matriz Normalizada*

	Matriz Normalizada						Vector Propio de la Matriz de Criterios
Procesamiento	0,045	0,023	0,088	0,036	0,020	0,035	0,04
Cantidad	0,136	0,070	0,088	0,036	0,061	0,044	0,07
Disponibilidad	0,227	0,279	0,441	0,536	0,306	0,526	0,39
Calidad	0,227	0,279	0,147	0,179	0,306	0,175	0,22
Desempeño Amb	0,136	0,070	0,088	0,036	0,061	0,044	0,07
Costo	0,227	0,279	0,147	0,179	0,245	0,175	0,21

Nota: El resultado evidenció que el criterio de Disponibilidad tiene mayor importancia, seguido por el de Calidad y Costo, posterior el Desempeño Ambiental y Cantidad (tiene la misma importancia) y, por último, se tiene el criterio de Procesamiento. Fuente: Autor

Seguidamente se procede a realizar la Relación de Consistencia (RC):

RC: Índice de Consistencia (IC) / Índice de Consistencia Aleatoria (IA)

$$\mathbf{IC:} \quad n_{\max} - n / n-1 \qquad \mathbf{IA:} \quad 1.98 (n-2) / n$$

Para obtener n_{\max} , se procede a multiplicar la matriz de la “tabla 1” por la matriz de vector propio, seguido a esto, se suman los resultados. Dando como resultado que $n_{\max} : 6.42$ “Tabla 3”, n corresponde a dimensión de la matriz en este caso 6. Por su parte el número 1.98, se debe a que algunos autores sugieren utilizar la estimación en vez de la matriz recíproca aleatoria (Toskano y Bruno, 2005).

Tabla 3

Procedimiento para hallar n_{\max}

CRITERIO	Procesamiento	Cantidad	Disponibilidad	Calidad	Desempeño Amb	Costo	Vector Propio	MC x VP
Procesamiento	1	1 / 3	1 / 5	1 / 5	1 / 3	1 / 5	0,04	0,25
Cantidad	3 / 1	1	1 / 4	1 / 4	1	1 / 4	0,07	0,44
Disponibilidad	5 / 1	4 / 1	1	3 / 1	5 / 1	3 / 1	0,39	2,53
Calidad	5 / 1	4 / 1	1 / 3	1	5 / 1	1	0,22	1,42
Desempeño Amb	3 / 1	1	1 / 5	1 / 5	1	1 / 4	0,07	0,44
Costo	7 / 1	4 / 1	1 / 3	1	4 / 1	1	0,21	1,34
							nmax:	6,42

Nota: Se multiplica por filas de la siguiente manera: $(1 * 0,04) + (1/3 * 0,07) \dots (1/5 * 0,21) = 0,25$ (resultado tomado de Excel). Fuente: Autor

$$\mathbf{IC:} \quad n_{\max} - n / n-1 \rightarrow (6.42 - 6) / (6 - 1) = 0,0849$$

$$\mathbf{IA:} \quad 1.98 (n-2) / n \rightarrow ((1.98) (6-2)) / 6 = 1.32$$

$$\mathbf{RC:} \quad (IC) / (IA) \rightarrow 0,0849 / 1.32 = \mathbf{0,064} \leq \mathbf{0,1}$$

La Relación de Consistencia (RC) es aceptable, por lo tanto, se ha comparado los criterios de forma razonable.

Marco Metodológico

La metodología de la presente monografía será de carácter documental definida por Tancara (1993) como:

Serie de métodos y técnicas de búsqueda, procesamiento y almacenamiento de la información contenida en los documentos, en primera instancia, y la presentación sistemática, coherente y suficientemente argumentada de nueva información en un documento científico, en segunda instancia. De este modo, no debe entenderse ni agotarse la investigación documental como la simple búsqueda de documentos relativos a un tema (p. 94).

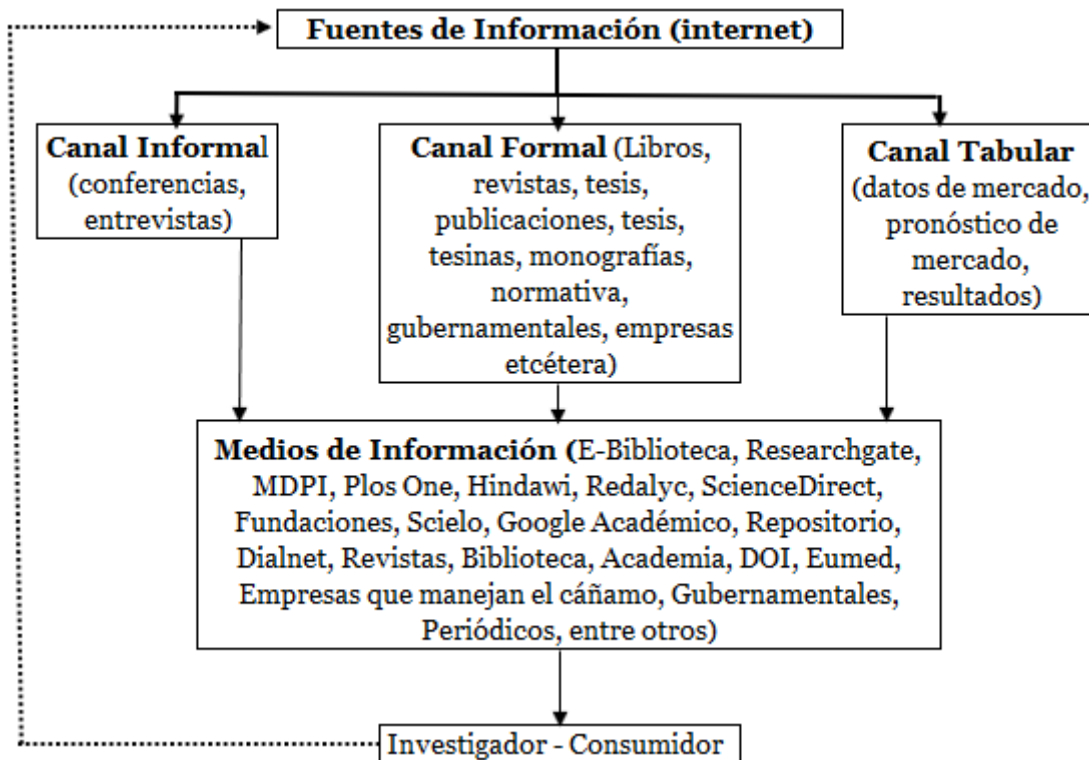
La metodología mencionada según Tancara, considera tres tipos de información estas son: La primera es la “información cotidiana o vulgar”, entendida como la información adquirida por la percepción sensorial, por lo general se basan en la astrología, religión, son pseudo ciencias. La segunda es la “información científica” que resulta de la investigación científica y el proceso de actividades ejecutadas por ingenieros, obreros, campesinos, esta información plasma adecuadamente las leyes de la realidad. La última, es la “información cuantificada”, llamada también tabular o estadística debido a que se expresa por medio matemático, gráfico o símbolos de base matemático (1993).

Para que estas informaciones lleguen al receptor, tendrán que pasar por canales descritos a continuación. El “canal informal”, son fuentes de comunicación directa con la fuente, pueden ser por intercambio de cartas, cartas al editor, intercambio privado de referencias, conferencias, clases entre otras. Asimismo, está el “canal formal” que engloba toda clase de material impreso, estos pueden ser libros, revistas, agencias de información, banco de datos. Además, otra característica de este canal es ser intermediario. Finalmente, el “canal tabular”, es el medio por el que circula la información cuantificada, sistema basado en matemáticas (Tancara, 1993).

Llegados a este punto se presenta la figura 11, la cual hace referencia al esquema de transferencia o circulación de la información de la presente monografía.

Figura 11

Esquema de transferencia de la información realizada.



Fuente: Autor

El objetivo principal de la monografía es analizar el potencial que tiene el cáñamo en la solución de diferentes problemas ambientales que se presentan en Colombia en relación con la industria. Para la búsqueda de la información se utilizó la base de datos de la Universidad de Cundinamarca “E-BIBLIOTECA”, ProQuest, ScienceDirect,... Scopus; Google Académico, Youtube e internet, entre otros. Para el primer capítulo cabe mencionar que se tuvieron en cuenta publicaciones de varios años atrás, debido a que se contextualiza al lector sobre la historia del cáñamo y otros aspectos. Para los siguientes capítulos se priorizaron citar publicaciones recientes con el fin de compartir datos actualizados. Adicionalmente, se eligieron documentos cualificados (investigaciones, informes Gubernamentales...). La información se almacenó en formato PDF y se clasificó en carpetas según su tema.

Como palabras claves se utilizaron las palabras “cáñamo industrial” en distintos idiomas, “Industrial Hemp”, “Konopie przemysłowe”, “गांजा उद्योग”, “Chanvre industriel”, “Canapa industriale”, “Phytoremediation with hemp” entre otros, lo anterior, debido a que, la Cannabis es originaria de Europa y Asia, por lo tanto, se viene implementando por miles de años, conllevado un importante avance en lo referente a la industria cañamera.

Respecto a la herramienta de traducción, se utilizó principalmente DeepL debido a las buenas referencias, traducción y amplio vocabulario. Las traducciones eran copiadas como comentarios en los documentos PDF, resaltando párrafos de importancia. A su vez, se tomaba nota de la información que se podría adicionar al presente documento teniendo en cuenta título, autor, página, entre otros.

Por medio de la interpretación de fuentes, se procedió a estructurar, es decir, determinar la tabla de contenido agrupando unidades de información, se estableció que la estructura del presente trabajo la conformaría cinco capítulos. Llegados a este punto, se procedió a comparar fuentes encontradas utilizando la triangulación de datos, esta técnica de análisis según Vallejo y de Franco (2009), “permitirá utilizar distintos puntos de vista garantizando mayor precisión en la observación, incrementando la validez de los resultados al obtener datos de diferentes fuentes ofreciendo de esta manera la complementariedad requerida para este tipo de estudio” (p.120). Por medio de los resultados de la investigación, se realizó el análisis y por ende las conclusiones y recomendaciones.

Se realizó su respectiva citación y presentación de la monografía teniendo como guía la séptima edición de normas APA.

Fuente: Fassio, Rodríguez y Cerreta, 2013, p.14 [Imagen]

Materiales Compuestos (Composites)

Como su nombre lo indica, se compone de dos o más materiales que no se pueden mezclar o diluir y químicamente deben ser diferentes, el material externo o envolvente se le denomina matriz y al encapsulado se conoce como material de refuerzo, fase discontinua o fase dispersa (Stupenengo, 2011, p.7; Moral y Nogueira, 2007, p.4).

La matriz tiene la función de proteger, mantener la cohesión, transmitir las cargas a la fase dispersa, por lo general, se encarga de controlar las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y temperaturas elevadas, respecto a la fase discontinua, se inserta con el fin de otorgar propiedades carentes de la matriz, se forma a partir de partículas o fibras (Stupenengo, 2011, p.8,9). Las matrices se pueden clasificar metálicas, cerámicas y poliméricas, estas últimas se pueden subdividir en termoplásticas, termoestables o elastómeros (AIMPLAS, 2016; Universidad Politécnica de Valencia – UPV, 2011, 3m45seg).

Las matrices poliméricas más utilizadas por el cáñamo son polímeros termoplásticos (polipropileno, polietileno y cloruro de polivinilo), polímeros termoendurecibles (poliésteres, resinas epoxídicas, vinilesteres) y Polímeros naturales (resinas epoxídicas a base de aceite de soja, PLA) (Tanasă, Zănoagă, Teacă, Nechifor y Shahzad, 2020, p.2). Para unir la matriz con el refuerzo se pueden emplear diferentes procesos, se puede citar el moldeo por transferencia de resina o una variante, la infusión de resina bajo molde flexible (Williams, Summerscales y Grove, 1996, p.517; Composite Integration, s.f.). Otros estudios mencionan prensado en caliente (Caprino, Carrino, Durante, Langella, Lopresto, 2015, p.3) y prensado en frío el cual se realiza bajo 70°C durante 24 horas y evitar fibras degradadas por altas temperaturas (Rodríguez, Sanabio, Valín y Díaz, 2015). Así mismo, se ha utilizado el proceso de

apilamiento de películas que consiste en calentar y comprimir un sándwich de películas de polímero y esteras de fibra (Placet, 2009 p.1113), entre otros.

Los materiales compuestos según Moral y Nogueira (2007) se dividen en tres, materiales compuestos reforzados con partículas, compuesto estructural y compuestos reforzados con fibras (p.5).

Los compuestos reforzados con partículas, efectivos si sus partículas son más pequeñas y están uniformemente distribuidas en la matriz, adicionalmente, si la cantidad de partículas de refuerzo aumentan, lo harán las propiedades mecánicas, estos compuestos se subdividen en partículas grandes y consolidados por dispersión, es decir, las primeras interactúan a nivel macroscópico y las segundas a nivel microscópico (Moral y Nogueira, 2007, p.5,6; Tema 7. Materiales compuestos, s.f., p.2).

Los compuestos estructurales se definen como aquellos que están formados por materiales homogéneos, sus propiedades dependerán tanto de los constituyentes como de su forma, por lo general estos compuestos se presentan tipo sándwich (dos capas externas con su material de refuerzo en el centro), y los compuestos laminares, que presentan una dirección con mayor resistencia (Moral y Nogueira, 2007, p.6), en otras palabras, sus cualidades mecánicas varían según la dirección a la que serán sometidas.

Por último, los compuestos reforzados con fibra son los que mayor se utilizan, dentro de sus propiedades se resaltan la resistencia, la rigidez y su bajo peso, estas propiedades comúnmente son anisotrópicas (Stupenengo, 2011, p.9,10), se recomiendan fibras de diámetro bajo debido a dos cosas, mejor anclaje a la matriz y menor probabilidad de encontrar defectos, sin embargo, las fibras más pequeñas, son más costosas y podría llegar a causar problemas similares a los causados por el asbesto en su mecanización (Tema 7. Materiales compuestos, s.f. p.3). Estas fibras pueden clasificarse en tejidos (unidireccional-tafetán, bidireccional-canasta, Sarga, satén, gasa entre otros) o fibras cortas y fibras largas (Marín, 2018).

Se han establecido diferentes afirmaciones en base a estudios realizados, por ejemplo, la resistencia y rigidez aumenta, si el porcentaje de fibras incrementa, por lo general, el límite ronda el 80 % de composite (Santiago, Marín y Fernandez, 2003, p47). La orientación de las fibras repercutirá en cualidades mecánicas y el porcentaje de fibra en el composite dependerá de la orientación (Santiago, Marín y Fernandez, 2003, p47; Tejero, 2020, p.67). Según Zini y Scandola (2011) las sustancias cementantes como la hemicelulosa, la lignina y la cera deben eliminarse de la fibra antes de ser usados como refuerzo (p. 1906)

Los refuerzos naturales, han sido estudiados por su bajo costo de producción, baja densidad, cualidad renovable y baja abrasión a equipos de procesamiento; estos estudios consistían en caracterizar el tipo de fibra, su origen, porcentaje de fibras en el refuerzo, agentes de acoplamiento para así, evaluar propiedades mecánicas y térmicas, con el fin de garantizar la calidad para reemplazar los refuerzos a base de fibra de vidrio que a inicios del presente siglo presentaba una gran demandaba en el sector automovilístico, aeronáutico y de construcción (Gonzales, Del Campo, Cardín, Fernandez y García, 2003, p. 103,104).

Actualmente las fibras de cáñamo, son usados en aislamientos de construcción, automoción, mueble y moda, las fibras largas se caracterizan por su resistencia mientras que los Hurd se ven con buenos ojos para la producción de tableros de partículas y plásticos biodegradables; en comparación con las fibras de vidrio, la fibra de cáñamo muestra propiedades mecánicas favorables de rigidez y resistencia en combinación con baja densidad (Crini, Lichtfouse, Chanet y Morin, 2020, p.1458,1459). Por ejemplo, HempFlax, (s.f.) empresa dedicada a producir productos de cáñamo desde el año 1993 asegura que “las piezas interiores de automóviles de cáñamo son más ligeras y seguras en comparación con la fibra de vidrio. Además, son más duraderos que el acero y no se oxidan”.

En la investigación realizadas por Caprino, Carrino, Durante, Langella, Lopresto, (2015), evaluaron la fibra del cáñamo como refuerzo, estos fabricaron muestras de tejido unidireccional y bidireccional con distintos espesores (4, 8 y 12 pliegues de tejido), los laminados se fabricaron mediante RIFT para matriz epoxi (Mates SX10) y prensa en caliente para resina PLA, una vez se obtuvieron los compuestos, se sometieron a pruebas de penetración e indentación, para los resultados se cortaron las muestras en la parte central del impacto, los resultados arrojaron que los tejidos unidireccionales mostraron un daño más severo, como era de esperarse, para ambos tejidos de 12 capas con resina epoxi no se observaron daños significativos por debajo de 75 Julios de energía de impacto, las fibras con resina PLA, específicamente la bidireccional de 12 pliegues mostró una indentación de 3.3 milímetros a 50 Julios, los investigadores concluyeron que es posible una sustitución de la fibra de vidrio por la fibra de cáñamo en aplicaciones no estructurales.

En el campo de la aeronáutica Scarponi y Messano (2015), analizan la viabilidad de composites en helicópteros, el estudio consistió en comparar los compuestos de refuerzo de cáñamo y fibra de vidrio tipo E, y así analizar su viabilidad para sustituir un bastidor de acero, por ello, fabrican bastidores similares al original con matriz epoxi, el refuerzo de fibra de cáñamo consta de 8 capas de tejido liso sin dirección predominante (espesor: 2.4mm, densidad: 1316.6 kg/m³) y constituye el 57% del compuesto, el refuerzo de fibra de vidrio es una malla tejida, consta de 4 capas (espesor: 1.44mm, densidad: 1707 kg/m³) y constituye el 52% del compuesto, para medir el comportamiento se recurrió a software teniendo en cuenta los criterios establecidos por la Autoridad Aeronáutica, así mismo se realizó evaluaciones económicas y medioambientales, las conclusiones arrojaron que ambos composites respetan el límite de Hoffmann (índice para calcular fallas) con márgenes de seguridad razonables, el peso del bastidor de cáñamo es de 8 kg más liviano que el acero, lo que se traduce en menor gasto de combustible (puede ahorrar hasta 4.000 dólares a lo largo de la vida útil) y por ende, menor contaminación, respecto al precio se observó que las fibras de

cáñamo son más costosas, en gran parte, debido a la baja productividad, por último, el cáñamo tiene un mejor comportamiento ambiental; los autores propondrían el cáñamo para fabricar interiores aeronáuticos en caso de tener éxito en otros estudios como la durabilidad y comportamiento al humo y al fuego.

Para comprender mejor los refuerzos de fibra de cáñamo, se debe tener presente las cualidades mecánicas debido a que las fibras vegetales está influenciado por ciertos factores, según Céline, Fréour, Jacquemin y Casari (2014) estos factores son el *contenido de celulosa* puesto que a mayor contenido, mejoran las propiedades mecánicas; por el *ángulo microfibrilar* ya que posee una gran influencia en las propiedades elásticas, entre más agudo sea el ángulo, mejor porque al ubicarlas en la misma dirección se comportaran como un material compuesto, el *diámetro de la fibra* porque un gran porcentaje de investigaciones sobre fibras vegetales en tracción, mostraron que tanto el módulo de Young como la resistencia a la tracción aumentaron cuando disminuyó el diámetro de las fibras probadas, la *temperatura*, la *presencia de defectos* ocasiona que las fibras no garanticen las mejores características mecánicas, estos defectos pueden aparecer, principalmente en el enriado y el *contenido de agua* dentro de las fibras (p.4). Finalmente, es probable que los defectos presentes en la fibra aumenten si aumenta su diámetro (Placet, 2009, p.1115).

La absorción de agua puede inducir a fluctuaciones dimensionales, lo que provocaría el desarrollo de tensiones internas, para comprender el proceso, debemos recordar que las fibras primarias están compuestas por celulosa (70% al 74%), hemicelulosas (15%-20%), lignina (3.5%-5.7%), pectina (0.8%), cera y otros (Manaina, Manaina y Rodrigues, 2019, p.2); la celulosa posee segmentos cristalinos y amorfos y sus cadenas macromoleculares están incrustadas e interconectadas por hemicelulosas y lignina que son totalmente amorfas, estas últimas, permiten y/o favorecen a la absorción de la humedad mientras que los segmentos cristalinos impiden la penetración del agua; cuando las microfibrillas de celulosa se estiran a causa de la

humedad, los puntos de concentración de tensión se producen en sus regiones amorfas, iniciando micro fisuras (Tanasă y otros, 2020, p.3) que permitan difundir el agua a través de la fibra por medio de mecanismos como la capilaridad (Célino y otros, 2014, p.5).

Por otro lado, si el proceso de polimerización se realiza por encima de los 100 ° C, podría producirse una vaporización del agua atrapada en el interior de las fibras, lo que provocaría su encogimiento de las fibras, lo que llevaría a generar tensiones internas en la interfaz fibra-matriz y eventualmente pueden conducir al daño de esta última y a una degradación significativa de las propiedades (Célino y otros, 2014, p.5).

Debido a mencionadas variaciones de temperatura y de contenido de humedad, Placet (2009) recomienda secar las fibras en con vapor a 103 °C antes de ser ensayadas o implementadas (p.1113).

Asimismo, las fibras naturales presentan problemas con la adherencia a la matriz, debido a su cualidad hidrofílica que limita su compatibilidad con matrices de polímeros hidrófobos, por ende, los esfuerzos transferidos no tendrán las propiedades deseadas, ocasionando que su vida útil sea más corta (Célino y otros, 2014, p.4). Para ello se han desarrollado distintos métodos que buscan mejorar la compatibilidad con la matriz (adhesión y cohesión) y una mejora general del rendimiento del compuesto (Tanasă, y otros, 2020) algunos de los tratamientos más relevantes se presentan en la figura 13. Según Gedik y Avinc (2020) la alcalización es el pretratamiento químico más aplicado en la preparación de fibras de cáñamo para la producción de composites (103).

De igual manera, sus propiedades pueden variar según el lote e incluso la ubicación de la fibra en la planta, el uso de fibras naturales implica una restricción en la elección de la matriz. (Célino y otros, 2014, p.4).

Entrando en materia de sostenibilidad, se ha modelado el ciclo de vida de un composite reforzado con fibra de cáñamo donde la fibra representando un 66% del

volumen del material compuesto y solo aportaba un 5.3% de la demanda de energía acumulada, por otro lado, como factores más contaminantes de la fibra, se determinaron las emisiones al agua de nitratos y fosfatos, a la atmósfera por las emisiones de óxido de nitrógeno, que se incrementan como resultado de las aplicaciones de fertilizantes en el cultivo (Wotzel, Wirth y Flake, 1999 citados en Joshi, Drzal, Mohanty y Arora, 2004, p.372, 373).

Figura 13
Métodos más usados para la modificación de fibras naturales

Métodos Químicos (Reactivo Empleado)	Métodos Físicos	Métodos Físico- Químico	Métodos Biológico
Mercerización / Tratamiento alcalino Hidróxido de sodio	Proceso de explosión de vapor	Tratamientos con plasma	Tratamiento de Hongos
Acetilación Anhídrido acético	Procesos termomecánicos	Tratamiento de corona	Tratamiento Enzimático
Benzoilación Peróxido de benzoilo		Descarga en barrera dieléctrica	Tratamiento con Bacterias
Acrilación Ácido acrílico		Métodos de radiación de alta energía	
Tratamiento con peróxido Peróxido de benzoilo		Ultrasonidos	
Tratamiento con permanganato Permanganato de potasio			
Tratamiento con isocianato Diisocianato de tolueno			
Acoplamiento de silano Alcoxi / Amino silano			
Agentes de acoplamiento maleados Polietileno; polipropileno -injerto- anhídrido maleico			

Fuente: Autor en base a la información establecida por Tanasă, Zănoagă, Teacă, Nechifor y Shahzad, 2020. Nota: Los métodos descritos son aplicables en la mayoría de fibras naturales

En la presente monografía se hará mayor énfasis en las fibras de vidrio debido a su gran uso en los materiales compuestos (Stupenengo, 2011, p.9).

Industria Textil

El sector textil ha mantenido cierta tradición y dinamismo en el desarrollo económico de Colombia, debido al impulso en la industrialización, al empleo que genera (Moreno, 2016, p.5,6) y a su potencial exportador (Campos, 2014, p.8). La cadena de los textiles “demanda fibras de origen natural como el algodón y la lana, el lino, el yute y el fique, y con la industria petroquímica, de la cual consume fibras sintéticas como el nailon y el poliéster” (Legiscomex, 2012).

Sin embargo, la débil producción de fibras sintéticas y de algodón, sumado al bajo nivel de productividad e innovación empresarial se ha convertido en una debilidad en el sector (Sánchez 2013, citado por Moreno, 2016, p.11). Esta sección se centrará en algodón y fibra sintéticas debido a que estas representan más del 90% del mercado mundial de fibras textiles y ambos están asociados con problemas ambientales (Westerhuis, 2016, p.9).

En cuanto a la fibra del cáñamo, históricamente ha servido a la humanidad para crear telas, cuerdas, hilos, alfombras y lienzos, así mismo, se ha utilizado ampliamente en la producción de aparejos, redes y velas (Crini, Lichtfouse, Chanet y Morin, 2020, p.1454). Sin embargo, en el siglo pasado la maquinaria de algodón y lana elevó la rentabilidad del proceso, asimismo, la producción económica a gran escala de fibras sintéticas hizo improbable el regreso del cáñamo como cultivo de fibras textiles y para hundir aún más las posibilidades, el cultivo estaba prohibido en muchos países debido a la asociación con la marihuana (Westerhuis, 2016, p.3)

Según Crini y otros (2020) los textiles de cáñamo son fáciles de producir, duraderos, transpirables, versátiles, biodegradables, resistentes al moho, poseen fuertes cualidades térmicas, además, los tejidos son antimicrobianos e hipoalergénicos, se fusiona fácilmente con los tintes y no se decolora fácilmente, por último, se pueden mezclar con otros materiales para crear híbridos de ropa (p.1454). En la actualidad, las fibras de cáñamo pueden dar forma a tipos de telas muy diversos (Mundo Textil, 2017). Asimismo, realizar combinaciones con otras fibras (Symphony Fabrics, 2019).

Según Lockuán (2013) para que una fibra se considere textil, debe resistir flexiones repetidas sin perder la resistencia a la rotura, a su vez, debe volver a su estado normal cuando sea estirada (elástica), por último, la fibra deberá ser resistente a la tracción (tenacidad) para ser procesada o transformada (p.2,3).

Otro parámetro a tener en cuenta es la longitud, la fibra de cáñamo se clasifica en fibras discontinuas, cuando la longitud de las fibras es poco uniforme puede limitar

el desempeño de la hilatura, principalmente debido al exceso de fibras cortas, por ello, el sistema de hilatura depende de la longitud al igual que la resistencia del hilo, la cual, es proporcional a la longitud (Lockuán, 2013, p.12-15).

La resistencia a la tracción, la resistencia al desgaste y resistencia al daño por agua son superiores a la fibra de algodón, adicionalmente, su contenido de hemicelulosa contribuye a mejorar características como la transpirabilidad y aislamiento térmico, las fibras largas de cáñamo pueden ser comparables a los hilados de fibra de lino en varias cualidades (Westerhuis, 2016, p.10; Crini y otros, 2020, p.1454,1455). Además, la fibra de cáñamo es fresca en verano, caliente en invierno y confortable (Calderón, 2003, p.29), empero, se deben hacer mejoras importantes con respecto a la finura (Westerhuis, 2016, p.10), característica influyente en el tacto, la resistencia, la flexibilidad, entre otros (Lockuán, 2013, p.4).

Para producir hilos de alta calidad, no es aconsejable el enriado a campo abierto debido a que produce fibras heterogéneas, para ello, se recomienda el enriado por agua (estanques, ríos, lagos), en este proceso la liberación de fibra se realiza mediante la acción enzimática de bacterias anaeróbicas, no obstante, el método contamina el agua y se acompaña de un olor fétido característico (Westerhuis, 2016, p.22).

Las desventajas radican en su mayor costo debido a la corta investigación en relación a cultivo y procesamiento, por ejemplo, la necesidad de adaptar la maquinaria para obtener la fibra de cáñamo, para ello, se sugiere cortar los tallos a tal altura (1.2 metros), que permita adaptarlos a los equipos de procesamiento del lino (Ranalli y Venturi 2004, p.5; Crini y otros, 2020, p.1454,1455). Respecto al costo de producción Westerhuis, 2016 afirma que, para ser competitivos en el mercado mundial, se debe ofrecer calidad en lugar de cantidad (p.8). A pesar de estas limitaciones, países como Pakistán, reconoce que “con la producción de algodón en Pakistán en declive debido a varios factores, el cáñamo brindaba a los agricultores una alternativa viable” (La Marihuana, 2020).

Construcción con Cáñamo - Hempcrete

Debido a los impactos negativos sobre el medio ambiente se ha vuelto a implementar materiales usados antiguamente como la tierra, la guadua, las fibras, entre otros, en ciertos casos se complementan a modo de composite para potencializar sus propiedades mecánicas (Acevedo, Vásquez y Ramírez, 2012). Los materiales de origen vegetal se utilizan con frecuencia en la construcción por sus propiedades térmicas, higrométricas y acústicas, a su vez, reducen la contaminación y costos por el ahorro de energía (Amziane y Arnaud citados en Demir y Doğan, 2020, p.27; Arevalo, 2020). Dentro de los biomateriales usados en la construcción se encuentra el cáñamo.

Recordemos que, al realizar el proceso de agramado los *hurd* o *cañamiza* son *desprendidos de la fibra, estos se cortan en virutas de 5 a 25 mm y se mezcla con un aglutinante (cal o cemento) y agua, obteniéndose un biocompuesto llamado hempcrete* (Manohari y otros, 2016, citado por Demir y Doğan, 2020, p.28). Según Crini y otros (2020) el hempcrete se usa comúnmente en Francia, Inglaterra, Alemania, Irlanda, Bélgica, Luxemburgo y Suiza, como material ecológico multifuncional para aplicaciones de construcción, también se ha adoptado en América del Norte, Sudáfrica, Israel, Australia y Nueva Zelanda (p.1458).

El hempcrete puede producirse con diferentes métodos y composiciones, para paredes, suelos y techos, en el caso de las paredes estructurales, es necesario utilizarlo en un marco, ya que no tiene una suficiente resistencia a la compresión (Oumeziane y otros, 2016 citados por Demir y Doğan, 2020, p.28)

A pesar de que el cáñamo se empezó a implementar en la construcción hace miles de años (Erik, s.f., citado por Ospina 2019, p.23), éste, tomo mayor relevancia cuando se implementó en la restauración de edificios construidos con la técnica de bahareque, a partir de ello, arquitectos y constructores han comenzado a experimentar con el cáñamo en obras (Wooley, 2008, citado por Villalobos, 2011, p.63). En la actualidad, el hempcrete se puede producir en 3 métodos diferentes, en bloque,

pulverizado y para preparar en el sitio de construcción (Demir y Doğan, 2020,

p.28). En el presente trabajo se limitará a los bloques o ladrillos de cáñamo Figura #.

Figura 14

Bloques de cáñamo



Fuente: ISOHEMP s.f.

Las primeras mezclas usaban cemento como aglutinante, pero las investigaciones recientes sugieren otros aglutinantes como la cal y la puzolana para mejorar el rendimiento del hempcrete (Gedik y Doğan, 2020, p.28). La cal viva (óxido de calcio) se obtiene calentando carbonato de calcio a una temperatura promedio de 900 °C, si esta cal se mezcla con agua se llamará cal hidratada (hidróxido de calcio), esta última, al ser implementada en la construcción se irá carbonizando mediante la absorción de CO₂ (Ip y Miller, 2012, p.2).

Además del aglutinante principal (cal), agua y cañamiza, se pueden agregar otros materiales como arenas silíceas, tierra, triturados de tabiques o baldosas de arcilla entre otros (Villalobos 2011, p.70), estos se agregan con la finalidad de otorgarle mayor resistencia al ladrillo. Finalmente, para unir las piezas, se requiere de un mortero de cal (Villalobos, 2011, p. 95).

El hempcrete es duradero, ligero, fácil de producir, resistente a las plagas; la estructura porosa de la cañamiza permite la deformación, absorción acústica, transferibilidad higrotérmica, asimismo otorga alta transpirabilidad y buena resistencia al calor en invierno y frescura en verano, pudiendo reemplazar la madera y otros materiales utilizados para construir casas (Crini y otros, 2020, p.1456,1458; Gedik y Doğan, 2020, p.28).

Capítulo III - Matriz Multicriterio

En el siguiente capítulo se detallará el **procesamiento** que se debe realizar para obtener el producto o materia prima de los sectores, la **cantidad** de materia prima obtenida por unidad de área (aplicado únicamente para la comparación con el algodón), la **disponibilidad** de la materia prima, la **calidad** de cada uno de los productos, su **costo** final y el **desempeño ambiental** donde se describirán los impactos sobre el medio ambiente.

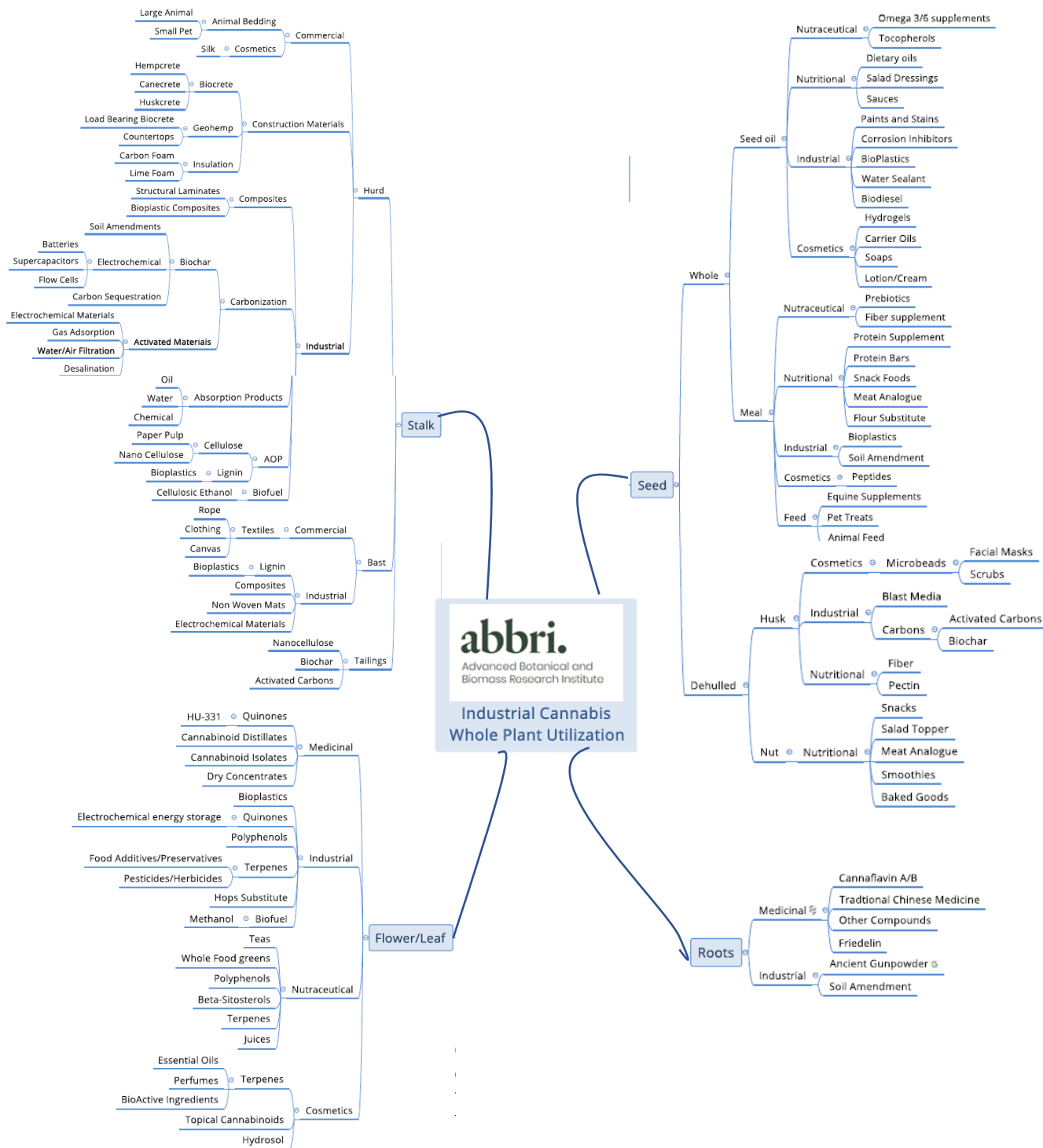
Para comprobar los usos del cáñamo industrial, se acudió a la Asociación Europea de Cáñamo Industrial (EIHA por sus siglas en inglés), quien es la única organización paneuropea de miembros en el sector del cáñamo industrial, su objetivo es monitorear las políticas de la Unión Europea (UE) relacionadas con el cáñamo, proporcionando a los tomadores de decisiones de la UE información precisa y confiable en diferentes esferas de competencias (s.f.).

Según EIHA el cáñamo se puede transformar en fibra textil, materiales de construcción, papel, biocomposites, muebles, mantillo, abono, combustible e incluso se puede convertir en pintura. Mientras que las semillas se pueden emplear en alimentos y piensos saludables o cosméticos (s.f.). Es válido mencionar, que el mercado de las semillas, al ser un producto primario se desarrolló rápidamente a nivel mundial, por su parte, la fibra se encuentra en un panorama de cambios, debido a la brecha que existe entre la oferta y la demanda (KR y Ziner, 2020, p.28).

En los últimos años, personas en todo el mundo exploran el tallo del cáñamo, industrias de la construcción, el sector del algodón, los plásticos derivados del petróleo, incluso las baterías y los supercondensadores ven un recurso prometedor, ya que, un mercado maduro para la fibra de cáñamo implica, una mayor rentabilidad en toda la cadena de valor, representa un menor coste global de los productos de acabado en comparación con otras fibras naturales; menor peso, mayor resistencia y durabilidad (KR y Ziner, 2020, p.28), la Figura 15, expone los usos industriales que se le puede dar

a la planta del cáñamo y la Figura 16 muestra los países que permiten el cultivo del cáñamo en el año 2020.

Figura 15
Aplicaciones industriales del cáñamo



Fuente: Adaptado de Advanced Botanical and Biomass Research Institute [Instituto de Investigación Avanzada en Botánica y Biomasa] (s.f.)

Figura 16

Países que permiten el cultivo del cáñamo



Fuente: Schumacher, Pequito y Pazour, 2020, p.2. Nota: En color oscuro se representan los países que permiten el cultivo del cáñamo.

Industria Textil

Fibras de Algodón

El algodón en Colombia se está explotando desde 1834, a partir de este año tuvo un gran peso en la económica nacional llegando a convertirse en la segunda materia más exportada y sembrarse en 377.246 hectáreas en 1977 (Burbano, Montes, Pastrana y Cardena, 2018, p. 31). Posteriormente se presentó un descenso en el área cultivada hasta llegar al año 2019 con 18.327 hectáreas (CONALGODÓN, 2020, p.1).

De las mencionadas 18.327 hectáreas a nivel nacional, los Departamentos de Córdoba, Cesar, Bolívar, Sucre, Guajira, Antioquía y Vichada (denominada la zona Costa) representaba el 52,25% de la producción nacional, el restante, lo aporta la zona Interior constituida por los Departamentos de Tolima, Huila y Valle del Cauca, cabe mencionar que, en la zona de los Llanos y la Altillanura se presenta el algodón como cultivo de rotación (Ministerio de Agricultura, 2019, p.8).

Respecto a la especie, Mejía, Galeano, Burbano, Vallejo y Arango (2020) señalan que la especie más cultivada en el mundo es *Gossypium hirsutum* (suple el 90% de la demanda mundial), la cual es cultivada en latitudes tropicales y templadas, en Colombia no parece ser la excepción, mencionados autores llevaron a cabo

evaluaciones del grado de Interacción de Genotipo con el Ambiente (IGA) en diez localidades distribuidas en los valles del Magdalena y del Cauca con nueve variedades transgénicas de esta especie (p.32,33). Por otro lado, se ha evidenciado el proceso genético que ha tenido esta variedad desde finales del siglo pasado (Aramendiz, Espitia y Isaza 2010).

El cultivo de esta variedad se realiza a intemperie necesitando de cuatro a cinco meses de altas temperaturas, debido a, que la deficiencia de luz genera una prevención a la maduración y apertura de la semilla, por ello, las regiones adecuadas para su siembra se encuentran entre 0 y 500 metros sobre el nivel del mar (msnm), si se cultiva por encima de los 1000 msnm la calidad y rendimiento de la fibra se ven afectados (Consejo Nacional de Ciencia y tecnología [CONACYT], s.f.).

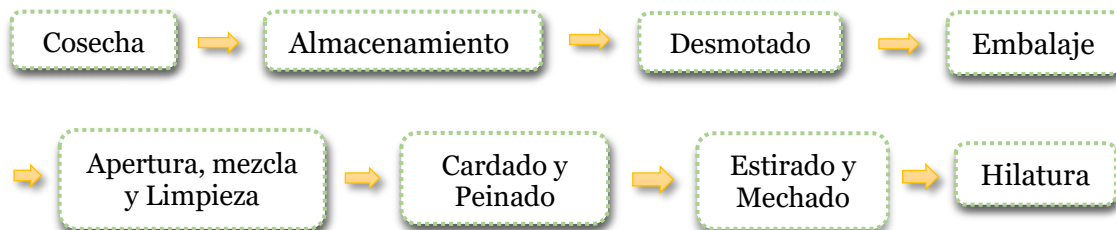
Las variedades de algodón que se usan en el país son transgénicas, desarrolladas por ICA y CORPOICA, las líneas transgénicas son Gossica, Líneas Cesar y Líneas Cereté que buscan calidad y rendimiento en las fibras del algodón. (Burbano y otros, 2018).

Fibras de Poliéster

Las fibras de poliéster son las más producidas y utilizadas a nivel mundial, al igual que el cáñamo y el algodón se pueden mezclar con otras fibras, el poliéster más utilizado es el poli-etilentereftalato (Amrein, 2012, p.5; Gedik y Avinc, 2020, p.88). La producción anual estimada para 2018 eran 55 millones de toneladas de fibra de poliéster, debido en gran parte a su asequibilidad, diversidad y baja variación de los precios (Wicker, 2021).

Procesamiento

Fibra de Algodón. El proceso para obtener hilo de algodón lo describe Quintar y Rodríguez (2017) de la siguiente manera:



Fibra de Poliéster. El proceso para obtener hilo de poliéster lo describe Amrein (2012, p. 6) de la siguiente manera:



La formación del monómero consiste en reaccionar el ácido tereftálico o del dimetiltereftalato con etilenglicol. “El **ácido tereftálico** se forma por oxidación catalítica del p-xileno a 350°C. Los xilenos provienen de la fracción del petróleo rica en compuestos aromáticos” (Amrein, 2012, p. 6), para obtener **dimetiltereftalato** se esterifica el ácido tereftálico con metanol, y el **etilenglicol** que se obtiene al reaccionar óxido de etileno con agua, cabe mencionar que el etileno procede del craqueo del petróleo (Amrein, 2012, p. 7). El proceso de polimerización, aplica temperatura u posteriormente se procede a la hilatura que consiste en pasas el polímero fundido por unos agujeros, al salir de esto agujeros es enfriado y estirado, finalmente, se enrolla (Amrein, 2012, p. 12)

Fibra de cañamo. Una vez se finaliza el proceso de cosecha, enriado, agramado, espadillado y peinado, continua el proceso de para obtener hilo de cañamo, este último lo describe Calderón (2003) de la siguiente manera:



Cantidad

Fibra de Cáñamo. La cantidad de fibra por hectárea varía con la variedad de cáñamo y condiciones climáticas, tomando como referencia la figura 5, *el porcentaje de fibra puede variar entre 26 y 35 del contenido total del tallo*. Según Schumacher y otros, (2020) la producción de fibra por hectárea varía entre 1 y 5 toneladas (p. 9).

Fibra de Algodón. Según Conalgodón (2020), los rendimientos por hectárea son de 0,777 toneladas para la zona Costa y 1.041 toneladas la zona del interior.

Fibra de Poliéster. Debido a que no es compatible la unidad de medida se tomará con un valor de 1.

Es válido mencionar que, este criterio también se podría evaluar con cantidad de energía o agua por masa de fibra hilada. La primera, evidencia que el poliéster consume por encima de los 100.000 megajulios por tonelada de fibra hilada, mientras que la tonelada de fibra hilada de algodón y cáñamo en cultivos tradicionales no supera los 40.000 megajulios, por otro lado, si la comparación es en agua por masa de fibra hilada, el poliéster será más ecológico puesto que, el agua no es un insumo primario, se utiliza por lo general en refrigeración siendo devuelta al sistema (Cherrett, Barrett, Clemett, Chadwick, y Chadwick, 2005, p.13, 20).

Disponibilidad

Fibra de Cáñamo. El cáñamo puede crecer en muchas ubicaciones geográficas (Schumacher y otros 2020, p.11). Evidencia de ello es la Figura 15.

Fibra de Algodón. Al año 2019 se cultivaban 18.327 hectáreas (Ministerio de Agricultura, 2019, p.8).

Fibra de Poliéster. Amrein (2012) afirma que estas fibras se producen fácilmente a partir de derivados del petróleo (p.5).

Tanto el algodón como el poliéster se obtienen fácilmente en el mercado colombiano, en cuanto al cáñamo, han surgido iniciativas como la desarrollada por

campesinos de Boyacá y la compañía Hempfull Colombia quienes buscan consolidar una industria textil (Semana, 2020), esta compañía actualmente vende la fibra de cáñamo sin hilar. Por otro lado, Hemp Textiles estableció tiendas en el país dedicadas a la venta de indumentaria de cáñamo y con planes de implementar el proceso de transformación completo en el país, puesto que, compran la materia prima de Turquía y Asia (El Tiempo, 2020), existen otras tiendas en el país dedicadas a la venta de ropa de cáñamo, estas son Cañamojeans, Cannabis jeans y Soy hemp.

Calidad

A continuación, se presentan algunas propiedades de las fibras.

Figura 17
Propiedades de las fibras – textiles

Fibra	Densidad (gr/cm ³)	Finura de fibra (Tex)	Alargamiento a la deformación (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la fricción (N/Tex)	Módulo de Young (GPa)	Contenido de humedad (%)	Rigidez específica (E / ρ) (GPa)
Cáñamo	1.47	0.25 - 0.52	1.6	368 - 1110	0.52 - 0.61	17 - 70	8	21 - 50
Algodón	1.5 - 1.6	0.1 - 0.4	7 - 8	287 - 800	0.15 - 0.55	5.5 - 12.6	7 - 25	4.67 - 5.33
Poliéster	1.38	-	10 - 50	280 - 1200	-	10 - 18	0.4 - 0.8	-

Fuente: Autor en base a información compartida por Céline, Fréour, Jacquemin y Casari, 2014, p.3; Manaina, Manaina y Rodrigues, 2019, p.3; Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Colombia, 2020; Calderón 2003, p.86; Tejero, 2020, p.64; Zini y Scandola, 2011, p. 1907.

Adicionalmente, Calderón (2003) realiza una comparación de fibras naturales y sintéticas en la cual incluye las tres fibras de la presente comparación (p.86).

Figura 18
Propiedades de las fibras – textiles

Fibra	Resistencia Mecánica	Resistencia al Calor	Resistencia a la luz solar	Estabilidad Dimensional	Resistencia a Hongo y Polillas	Tenacidad
Algodón	Media	Alta	Media	Media	Baja	Media
Cáñamo	Media-Alta	Alta	Media-Alta	Media	Alta	Alta
Poliéster	Media	Media	Alta	Media	Alta	Media

Fuente: Autor en base a información compartida por Calderón (2003) p.86

Desempeño Ambiental

Según Blackburn RS (2009) citado por Gedik y Avinc, (2020) afirma que los inconvenientes para producir una cadena de producción sostenible en la industria textil son el uso inadecuado y excesivo de agua; el uso desmedido de pesticidas, herbicidas y otros productos químicos agrícolas; la carga química tóxica durante los procesos; el consumo de fuentes no renovables; la gestión incorrecta de los residuos y las políticas de transporte incorrectas (p.88).

Fibra de Cáñamo. Al Según Schumacher y otros (2020) el algodón requiere 2,5 veces más agua que el cáñamo por hectárea de tierra cultivada, así mismo, debido a sus cualidades resistentes y de rápido crecimiento, no usa pesticidas ni insecticidas (p.11).

En el proceso de enriado en agua se sumergen los tallos (recomendado para fibras destinadas a uso textil), se contamina el agua y se acompaña de un olor fétido característico (Westerhuis, 2016, p.22). Debido a la densa siembra, evita en gran parte la evaporización del agua.

En el proceso textil, la tintura de Cáñamo se facilita más que en cualquier otra fibra, por ejemplo, el algodón requiere doble concentración de colorante en la solución, (Claderón, 2003, p.116).

Fibra de Algodón. El algodón orgánico se cultiva en el país en cantidades ínfimas, este no es algodón modificado genéticamente, producido sin agroquímicos, sin embargo, conduce a un rendimiento entre un 20% y un 50% menor, lo que genera la necesidad de más tierra y un costo entre un 37% y un 65% más alto que el algodón tradicional (Medina, 2020; Charret et al., 2005, citado por Schumacher y otros (2020). Las fibras del algodón se caracterizan un uso intensivo de agua, pesticidas, herbicidas y fertilizantes durante su etapa de cultivo (Muthu, 2015, citado por Franco, 2017, p.6), alrededor del 50% del total de plaguicidas utilizados en los países en desarrollo, se aplica a este cultivo (Westerhuis, 2016, p.9). Se calcula que para obtener 1 kg de fibras de algodón se requieren entre *7000-29000 litros de agua* (Gedik y Avinc, 2020, p.89).

Fibra de Poliéster. Debido a que se fabrican a partir de combustibles fósiles, son responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de los problemas de sostenibilidad, las fibras sintéticas pueden causar graves problemas de eliminación (Gedik y Avinc, 2020, p.89). Por otro lado, debido a su baja reciclabilidad, el poliéster y la mezcla con otras telas terminan en rellenos, destinadas a incineración o en el océano, (Wicker, 2021).

En el proceso de degradación se desprenden microfibras, principalmente en el proceso de lavado, los cálculos mencionan que anualmente se liberan 176.500 toneladas de microfibras sintéticas a nivel mundial, principalmente de poliéster y nailon (Wicker, 2021), conllevando a una grave amenaza por intoxicación en la cadena alimenticia, prueba de ello, es el resultado de un estudio llevado a cabo por la iniciativa global de micro plásticos donde encontraron microfibras en alrededor del 90% de 2000 muestras acuáticas (Messinger, 2016).

Costo

Fibra de Cáñamo. Debido a que en Colombia se ha realizado poca investigación, existe un interrogante para afirmar los costos asociados a la cadena productiva. Se podría realizar un acercamiento a partir de la información disponible.

Si el enriado se realiza en el campo, un gran porcentaje de nutrientes retornará al suelo, por ende, se disminuirán los costos en fertilizantes y el impacto ambiental. Schumacher y otros (2020) afirman que aproximadamente 1/3 de la fertilización del siguiente ciclo de cultivo se ahorraría (p.10).

Debido a su bajo contenido en proteínas, es poco apetecido por los insectos (Demir y Doğan, 2020, p.27), por ende, es probable que el cáñamo requiera de herbicidas ni pesticidas durante el cultivo, y será menos probable, cuando este haga parte de un sistema de rotación. Por consiguiente, no representa costos.

La cañamiza que se produce en la extracción de la fibra, se puede vender como lecho de ganado, arena para animales, materia para tableros (Westerhuis, 2016, p.8) u otras aplicaciones de construcción. En el país, Hempfull ofrece el kilo de fibra por 20.000 pesos y el m² de tela por 80.000 pesos (Hempfull, s.f.)

El costo laboral, el uso de electricidad, de agua, de fertilizante y los gastos generales de maquinaria son costos que pueden variar según la región.

En los estudios realizados, Schumacher y otros (2020) realizaron una investigación para estimar los costos del cultivo del cáñamo respecto al algodón, encontraron que en promedio el cultivo del cáñamo es 77.6% más económico (p.12).

Fibra de Poliéster. En los últimos 5 años, los precios de poliéster en Asia han variado con precios mínimos cercanos a los 800 dólares/tonelada y máximos cercanos a los 1400 dólares/tonelada, a finales de 2019 e inicio de 2020 el precio rondaba los 900 dólares/ tonelada (Wang, 2020). Realizando la conversión a pesos colombianos con la tasa de cambio de diciembre de 2019 (1 dólar: 3.277 pesos col) obtendremos que la tonelada de poliéster costaría 2.949´300 pesos colombianos.

Fibra de Algodón.

Figura 19

Costos directos de cultivar algodón en una hectárea

Costos Directos		
Actividades	Costa 2018/2019	Interior 2019
Preparación de suelo	50.000	240.400
Siembra	664.600	520.000
Abonado	349.400	1.135.000
Control de malezas	195.000	174.000
Manejo de plagas	151.400	310.000
Manejo de enfermedades	99.000	178.000
Regulación		75.000
Riego y Drenajes		140.000
Recolección	702.990	750.000
Desmonte	450.000	924.000
Destrucción de Socas	65.000	85.000
Asistencia Técnica	50.000	80.000
Transporte	130.080	
Total Costos Directos	2.907.470	4.611.000
Total Costos Indirectos	1.162.124	1.820.870
Costo Total por Hectárea	4.069.594	6.431.870

Fuente: Autor con base en la información de Confederación Colombiana del Algodón [CONALGODÓN]. (s.f.). Nota: Costos indirectos abarca la tierra, el capital, la gestión, el riesgo, la comercialización y la reserva para impuestos.

Comparación de Alternativas.

A continuación, se desarrolla la matriz multicriterio para conocer la factibilidad de la fibra de cáñamo versus la fibra de algodón y la fibra de poliéster, partiendo de los criterios establecidos anteriormente.

Figura 20

Matriz multicriterio de las fibras textiles



Criterio: Procesamiento			
Alternativa	F. C��namo	F. Poliéster	F. Algodón
F. C��namo	1	1/3	1
F. Poliéster	3/1	1	3/1
F. Algodón	1	1/3	1

Criterio: Cantidad			
Alternativa	F. C��namo	F. Poliéster	F. Algodón
F. C��namo	1	1	3/1
F. Poliéster	1	1	1
F. Algodón	1/3	1	1

Criterio: Disponibilidad			
Alternativa	F. C��namo	F. Poliéster	F. Algodón
F. C��namo	1	1/5	1/5
F. Poliéster	5/1	1	1
F. Algodón	5/1	1	1

Criterio: Calidad			
Alternativa	F. C��namo	F. Poliéster	F. Algodón
F. C��namo	1	1	4/1
F. Poliéster	1	1	4/1
F. Algodón	1/4	1/4	1

Criterio: Desempeño Ambiental			
Alternativa	F. C��namo	F. Poliéster	F. Algodón
F. C��namo	1	5/1	7/1
F. Poliéster	1/5	1	3/1
F. Algodón	1/7	1/3	1

Criterio: Costo			
Alternativa	F. C��namo	F. Poliéster	F. Algodón
F. C��namo	1	1/3	3/1
F. Poliéster	3/1	1	6/1
F. Algodón	1/3	1/6	1

Criterio: Procesamiento				Matriz Normalizada			Vector Propio
Alternativa	Fibra C��namo	Fibra de Poliéster	Fibra Algodón				
Fibra C��namo	1	0,33	1	0,20	0,20	0,20	0,20
Fibra Poliéster	3	1	3	0,60	0,60	0,60	0,60
Fibra Algodón	1	0,33	1	0,20	0,20	0,20	0,20
Total=	5	1,66	5				

Criterio: Cantidad				Matriz Normalizada			Vector Propio
Alternativa	Fibra C��namo	Fibra Poliéster	Fibra Algodón				
Fibra C��namo	1	1	3	0,43	0,33	0,60	0,45
Fibra Poliéster	1	1	1	0,43	0,33	0,20	0,32
Fibra Algodón	0,33	1	1	0,14	0,33	0,20	0,22
Total=	2,33	3	5				

Criterio: Disponibilidad				Matriz Normalizada			Vector Propio
Alternativa	Fibra C��namo	Fibra Poliéster	Fibra Algodón				
Fibra C��namo	1	0,2	0,2	0,09	0,09	0,09	0,09
Fibra Poliéster	5	1	1	0,45	0,45	0,45	0,45
Fibra Algodón	5	1	1	0,45	0,45	0,45	0,45
Total=	11	2,2	2,2				

Criterio: Calidad				Matriz Normalizada			Vector Propio
Alternativa	Fibra C��namo	Fibra Poliéster	Fibra Algodón				
Fibra C��namo	1	1	4	0,33	0,33	0,44	0,37
Fibra Poliéster	1	1	4	0,33	0,33	0,44	0,37
Fibra Algodón	1	1	1	0,33	0,33	0,11	0,26
Total=	3	3	9				

Criterio: Desempeño Ambiental				Matriz Normalizada			Vector Propio
Alternativa	Fibra C��namo	Fibra Poliéster	Fibra Algodón				
Fibra C��namo	1	5	7	0,75	0,79	0,64	0,72
Fibra Poliéster	0,2	1	3	0,15	0,16	0,27	0,19
Fibra Algodón	0,14	0,33	1	0,10	0,05	0,09	0,08
Total=	1,34	6,33	11				

Criterio: Costo				Matriz Normalizada			Vector Propio
Alternativa	Fibra C��namo	Fibra Poliéster	Fibra Algodón				
Fibra C��namo	1	0,33	3	0,23	0,22	0,3	0,25
Fibra Poliéster	3	1	6	0,69	0,67	0,6	0,65
Fibra Algodón	0,33	0,16	1	0,08	0,11	0,1	0,09
Total=	4,33	1,49	10				

Una vez se conocieron los valores de vector propio para cada criterio, se procedió a multiplicarlos por la ponderación de cada criterio (definidos en la tabla 3).

Figura 21
Valores de prioridad en las alternativas

Criterio / Alternativa	Procesamiento	Disponibilidad	Calidad	Desempeño Ambiental	Costo	Cantidad	Priorización
Fibra de Cañamo	0,20	0,09	0,37	0,72	0,25	0,45	0,26
Fibra de Poliéster	0,60	0,45	0,37	0,19	0,65	0,32	0,46
Fibra de Algodón	0,20	0,45	0,26	0,08	0,09	0,22	0,28
Ponderación de criterio	0,04	0,39	0,22	0,07	0,21	0,07	

Materiales Compuestos

Las fibras de vidrio es un material muy fino, están compuestos por miles de filamentos poliméricos, la orientación de sus fibras es aleatoria y se fabrican a partir de sílice, cal, alúmina y magnésita, a las cuales se les añaden ciertos óxidos en porcentajes establecidos, según el tipo de fibra que se quiera obtener (Suresh, 2019, p.3,4)

Para material de refuerzo en composites (vehículos, construcción, piezas deportivas, ordenadores, entre otras) y textiles, se utiliza en un 90% la fibra de vidrio tipo E (Santiago y otros, 2003, p.51; Suresh, 2019, p.8; Fibra de Vidrio, 2011). Según Santiago y otros (2003), este tipo de fibra se obtiene mezclando los siguientes componentes, el sílice conforma el 53 a 54 %, la alúmina Al_2O_3 abarca un 14 a 15.5%, la cal y el magnesio conforman del 20 al 24%, el óxido de boro 6,5 a 9% y el flúor de 0 a 0.7% (p.51). En Colombia el sector vidriero se destaca la producción de distintos productos finales, entre ellos, la lana (fibra) de vidrio (Perilla, 2003, p.5).

Procesamiento

Refuerzo de Fibra de Cáñamo. Una vez se extrae la fibra, el procesamiento puede variar segun el método de fabricación. Para este ejercicio, se describirá la fabricación manual enseñada por Tejero (2020, p.65). En la figura 18 se observan los productos desde la fibra hasta el composite.

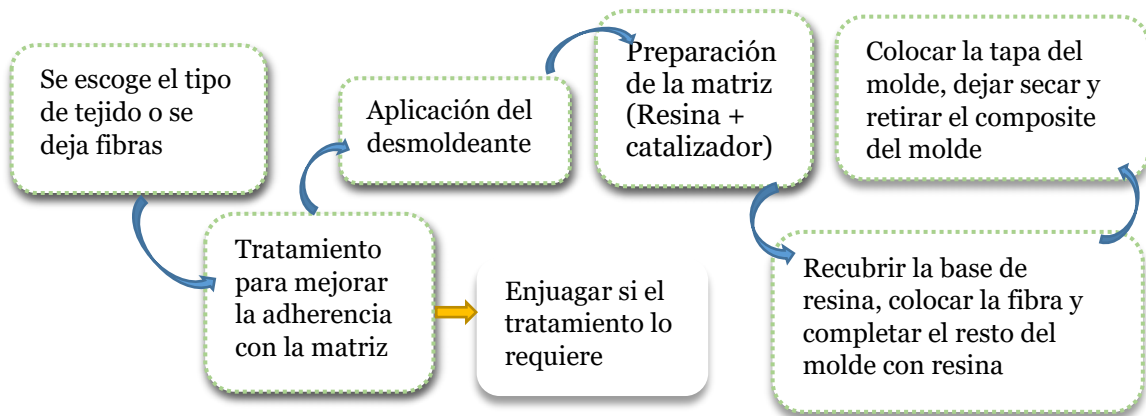
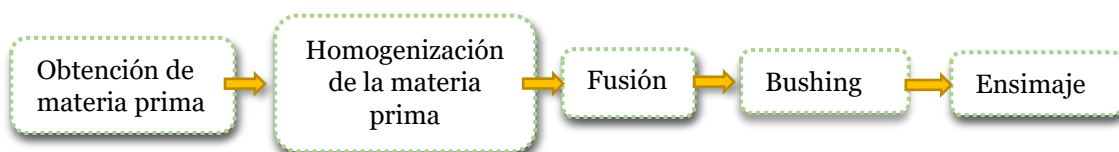


Figura 22
Productos desde la fibra hasta el composite.



Fuente: Gedik y Avinc (2020), p.100. Nota: de izquierda a derecha: fibras de cáñamo en el tallo, fibra de cáñamo, hilo de cáñamo, tela tejida de cáñamo y compuesto de epoxy reforzado con fibra de cáñamo.

Refuerzo de Fibra de Vidrio E.



En la obtención de El Departamento Nacional de Planeación [DNP] (s.f.) afirma que, la industria del vidrio se abastece de arena sílica, caliza, feldespato, dolomita, pirita y cromita, de insumos químicos como sustancias de soda, arsénico, bórax, sulfato de sodio, selenio y finalmente, del vidrio reciclado (394).

Teniendo en cuenta la información suministrada por Santiago y otros (2003) las materias primas para fabricar distintos tipos de fibra vidrio son SiO_2 , Al_2O_3 , CaO y MgO y B_2O_3 (p.51). Estos minerales están clasificados como materiales de construcción o minerales industriales, se extraen mediante material aluvial, subterráneas y en canteras (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2018, p113).

Como proceso general en explotaciones de canteras o a cielo abierto, la Autoridad Ambiental Cortolima (s.f.) describe los pasos llevados a cabo por la concesión minera Feldespatos el Vergel para explotar este mineral, en primer lugar, se lleva a cabo la remoción del material superficial hasta llegar a la roca a explotar, seguidamente se realizan las vías y se procede a la extracción por medio explosivos, las rocas superiores a un metro se detonan, finalmente se transporta el material hacia la trituradora (p. 503). Cabe mencionar que, para obtener la alúmina " Al_2O_3 ", se recurre a minerales feldespáticos (Instituto Geológico y Minero de España [IGME], 2011, p. 1).

Para obtener estas fibras de vidrio, la materia prima se homogenizan por medio de trituración y mezcla, seguidamente se introduce en un horno de fusión a $1550\text{ }^\circ\text{C}$, donde, la mezcla pasa progresivamente a un estado líquido, el vidrio en estado líquido pasa por las boquillas (Santiago y otros, 2003, p.50), llamadas bushing para obtener los filamentos, la placa de soporte (de los bushing) esta aleado con un rodillo que mantiene el vidrio fundido a $1250\text{ }^\circ\text{C}$, la velocidad por estas boquillas varía entre 10 y 60 metros por segundo según el diámetro deseado (Suresh, 2019, p.6). Estos bushing son el mayor de gasto en la producción de fibras (Fibra de Vidrio, 2011), en parte a la viscosidad del vidrio fundido, si es muy alta, la fibra puede romperse durante el estirado, si es muy

baja puede formar gotas en lugar de fibras, seguidamente se enfría rápidamente por medio de una fase de radiación y otra de agua fría pulverizada (Suresh, 2019, p.6).

Una vez se enfrían las fibras (60 a 120 °C), continua con el proceso de ensimaje o aprestado, este consiste en revestir los filamentos con compuestos químicos, cabe mencionar que unos aprestos ayudan al proceso de fabricación y otros se aplican para dar determinadas características a las fibras, al enrollarse en la bobina, lo hace a una velocidad de 1000 metros por minuto, lo anterior, se realiza cuando se desea obtener un filamento continuo (Suresh, 2019, p.7; Fibra de Vidrio, 2011). Para fibras discontinuas (generalmente una especie de felpa), el proceso consiste en tratar el vidrio con calor o vapor una vez salga de la máquina de formación, el vidrio ingresa a un aparato giratorio, debido a su fuerza centrífuga lanza el vidrio horizontalmente, seguidamente se le aplican aglutinantes y, por último, entra al horno con la finalidad de curar el aglutinante (Fibra de Vidrio, 2011). Finalmente pasa a un proceso de secado, para eliminar el exceso de humedad y reforzar el ensimaje (Suresh, 2019, p.7).

Cantidad

Si nos referimos a la cantidad de materia prima para el composite, la fibra de cáñamo tendrá que abarcar más porcentaje del composite para buscar igualar las cualidades mecánicas de la fibra de vidrio.

Disponibilidad

Refuerzo de Fibra de Cáñamo. Para ello se podría optar por conseguir la fibra y realizar el tejido, comprar el tejido o usar aleatoriamente la fibra.

Refuerzo de Fibra de Vidrio E. Se puede conseguir en las capitales del país.

Calidad

Figura 23

Propiedades de la fibra de cáñamo y la fibra de vidrio

Fibra	Longitud (mm)	Densidad (gr/cm ³)	Alargamiento a la deformación (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Contenido de humedad (%)	Rigidez específica (E / ρ) (GPa)
Cáñamo	5 -55	1.47	1.6	368 - 1110	17 - 70	8	21 - 50
Vidrio E	Continuo	2.5	2.5	2000 - 3500	70	< 0.1	28

Fuente: Autor en base a información compartida por Zsiros, 2012, p.33; Céline, Fréour, Jacquemin y Casari, 2014, p.3; Manaina, Manaina y Rodrigues, 2019, p.3.

Desempeño Ambiental

Refuerzo de Fibra de Vidrio. A modo de generalizar los impactos negativos generados por la extracción de materia prima (minerales) para la fibra de vidrio, Max (2020) realiza una investigación denominada “Impacto ambiental generado por explotación de arena silíceo en la mina San Pedro, ubicada en el Municipio de Tocancipá, Cundinamarca”, donde, por medio de una matriz de importancia (método propuesto por Conesa) encuentra que los impactos de mayor severidad son la deforestación, pérdida de especies, alteración del hábitat, migración de especies, incremento en la concentración de material particulado, sedimentación de cuerpos de agua, pérdida de suelo por descapote, erosión y generación de inestabilidad del suelo y taludes.

Seguidamente, se requiere de gran energía para realizar la mezcla vitrificante, ésta, genera gases y partículas que contaminan al ambiente, los valores de consumo energético van relacionados al tipo de horno, características y porcentaje de materias primas, así como al combustible (Ventura, 2014). Respecto al vidrio reciclado no hay límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado, al reciclarlo no se pierden las propiedades y se ahorra alrededor del 30% de energía con respecto al vidrio nuevo (Perilla, 2013, p.6). Por otro lado, la quema de una fibra de vidrio ocasiona problemas atmosféricos y el residuo de la fibra de vidrio quemada requiere tratamientos adicionales (Gedik Y Avinc, 2020, p.101).

Para conocer con más exactitud el impacto negativo al ambiente Joshi y otros (2004) citan la investigación realizada por Corbier, Laban, Lunquist, Leterrier, Manson

y Jolliet (2001) quienes investigaron el ciclo de vida de la producción de fibra de vidrio, los resultados se muestran en la figura 20 (p. 374).

Figura 24

Impactos ambientales generados por la fabricación de un kilogramo de fibra de vidrio

Environmental impact	Glass fiber ^a
Energy use (MJ/kg)	48.33
Carbon di-oxide emissions (kg/kg)	2.04
CO emissions (g/kg)	0.80
SO _x emissions (g/kg)	8.79
NO _x emissions (g/kg)	2.93
Particulate matter (g/kg)	1.04
BOD to water (mg/kg)	1.75
COD to water (mg/kg)	18.81
Nitrates to water(mg/kg)	14.00
Phosphates to water (mg/kg)	43.06

Nota: Los parámetros analizados por Corbier y otros (2001) fueron: energía usada expresada en mega joule, emisiones de CO₂, CO, SO_x, NO_x y material particulado, así mismo, la BOD (DBO), la COD (DQO), por último, nitratos y fosfatos emitidos al agua. Fuente: Adaptado de Corbier y otros (2001), citados por Joshi y otros, (2004), p. 374.

Refuerzo de Fibra de Cáñamo. Debido a que las propiedades mecánicas de los refuerzos del cáñamo nos son equiparables a la fibra de vidrio, los composites deben permitir un mayor porcentaje en contenido de fibra, por ende, un menor consumo de polímero para la matriz, al aumentar el porcentaje, adquiere mayor ligereza, lo que reduce el consumo de combustible; cuando su vida útil concluya, se puede triturar retirando el refuerzo para ser compostado o incinerado para obtener energía térmica. (Gedik Y Avinc, 2020, p.101). En cuanto a la energía acumulada, la producción de fibra de cáñamo consume solo el 10% de la energía requerida por la fibra de vidrio (Carus y otros 2008, citados en Zini y Scandola 2011, p. 1908). Finalmente, la siguiente figura realiza una comparación más detallada de los impactos generados por ambas fibras.

Figura 25

Impactos ambientales generados por un kilogramo de fibra de vidrio y de cáñamo

Tipo de Fibra	Potencial de Eutrofización (kg PO ₄ eq)	Potencial de Calentamiento Global (kg CO ₂ eq)	Potencial de Toxicidad Humana (Kg 1,4 DB eq)	Potencial de ecotoxicidad acuática en agua dulce (Kg 1,4 DB eq)	Potencial de agotamiento de la capa de ozono (Kg CFC11 eq)	Demanda energética acumulada (MJ eq)
Fibra de Vidrio	0.04	2.95	9.52	0.684	2.49 E-7	51,3
Fibra de Cáñamo	0.0006	0.531	0.136	0,0571	6.88E-8	8.89

Fuente: Autor con información establecida por Rosa y otros (2013), citado por Gedik y Avinc (2020), p.102.

Costo

Según Gedik y Avinc, (2020) las fibras de cáñamo cuestan un 40% menos que las fibras de vidrio (p.102). Al año 2020 el kilogramo de fibra de cáñamo tenía un costo de 5 dólares (Tanasă, Zănoagă, Teacă, Nechifor y Shahzad, 2020, p.2). Como ya se mencionó, el kilo de fibra en el país se obtiene por 20.000 pesos y el metro cuadrado de tela por 80.000 pesos (Hempfull, s.f.)

Comparación de Alternativas

A continuación, se desarrolla la matriz multicriterio para conocer la factibilidad de los refuerzos en base a los criterios establecidos anteriormente.

Figura 26

Matriz multicriterio para los refuerzos de fibra de vidrio y fibra de cáñamo



Criterio: Procesamiento		
Alternativa	F. Cáñamo	F. Vidrio
Fibra de Cáñamo	1	1/5
Fibra de Vidrio	5/1	1

Criterio: Disponibilidad		
Alternativa	F. Cáñamo	F. Vidrio
Fibra de Cáñamo	1	1/3
Fibra de Vidrio	3/1	1

Criterio: Calidad		
Alternativa	F. Cáñamo	F. Vidrio
Fibra de Cáñamo	1	1/4
Fibra de Vidrio	4/1	1

Criterio: Desempeño Ambiental		
Alternativa	F. Cáñamo	F. Vidrio
Fibra de Cáñamo	1	8/1
Fibra de Vidrio	1/8	1

Criterio: Costo		
Alternativa	F. Cáñamo	F. Vidrio
Fibra de Cáñamo	1	4/1
Fibra de Vidrio	1/4	1

Criterio: Cantidad		
Alternativa	F. Cáñamo	F. Vidrio
Fibra de Cáñamo	1	1/4
Fibra de Vidrio	4/1	1

Criterio: Procesamiento			Matriz Normalizada		Vector Propio
Alternativa	Fibra de Cáñamo	Fibra de Vidrio			
Fibra de Cáñamo	1	0,2	0,17	0,17	0,17
Fibra de Vidrio	5	1	0,83	0,83	0,83
Total=	6	1,20			

Criterio: Disponibilidad			Matriz Normalizada		Vector Propio
Alternativa	Fibra de Cáñamo	Fibra de Vidrio			
Fibra de Cáñamo	1	0,33	0,25	0,25	0,25
Fibra de Vidrio	3	1	0,75	0,75	0,75
Total=	4	1,33			

Criterio: Calidad			Matriz Normalizada		Vector Propio
Alternativa	Fibra de Cáñamo	Fibra de Vidrio			
Fibra de Cáñamo	1	0,25	0,2	0,2	0,2
Fibra de Vidrio	4	1	0,8	0,8	0,8
Total=	5	1,25			

Criterio: Desempeño Ambiental			Matriz Normalizada		Vector Propio
Alternativa	Fibra de Cáñamo	Fibra de Vidrio			
Fibra de Cáñamo	1	8	0,89	0,89	0,89
Fibra de Vidrio	0,13	1	0,11	0,11	0,11
Total=	1,13	9			

Criterio: Costo			Matriz Normalizada		Vector Propio
Alternativa	Fibra de Cáñamo	Fibra de Vidrio			
Fibra de Cáñamo	1	4	0,8	0,8	0,8
Fibra de Vidrio	0,25	1	0,2	0,2	0,2
Total=	1,25	5			

Criterio: Cantidad			Matriz Normalizada		Vector Propio
Alternativa	Fibra de Cáñamo	Fibra de Vidrio			
Fibra de Cáñamo	1	0,25	0,2	0,2	0,2
Fibra de Vidrio	4	1	0,8	0,8	0,8
Total=	5	1,25			

Una vez se conocieron los valores de vector propio para cada criterio, se procedió a multiplicarlos por la ponderación de cada criterio (definidos en la tabla 3).

Figura 27
Valores de prioridad en las alternativas

Criterio / Alternativa	Procesamiento	Disponibilidad	Calidad	Desempeño Ambiental	Costo	Cantidad	Priorización
Fibra de Cáñamo	0,17	0,25	0,2	0,89	0,8	0,2	0,39
Fibra de Vidrio	0,83	0,75	0,8	0,11	0,2	0,8	0,61
Ponderación de criterio	0,04	0,39	0,22	0,07	0,21	0,07	

Construcción

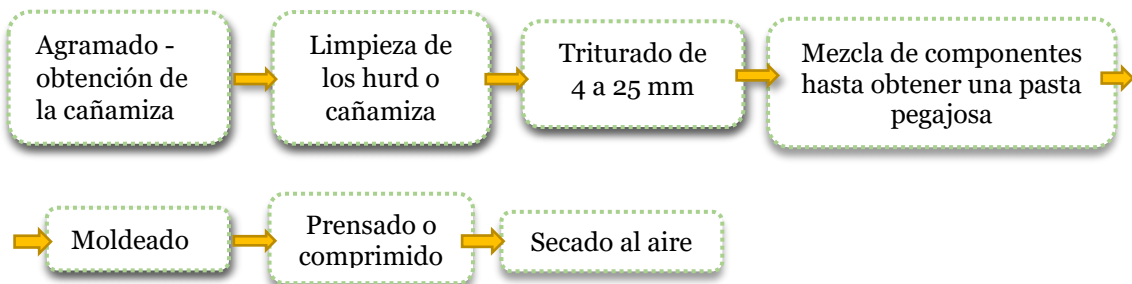
A modo general, IPCC (2014) citado por Demiy y Doğan, (2020) afirma que el sector de la construcción y la edificación es responsable de aproximadamente un tercio del uso de energía y un quinto de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (p. 26).

A nivel nacional Dentro de este sector, se encuentra la actividad ladrillera que en pocas palabras se encarga de extraer, moldear y cocer la arcilla para la formación de ladrillos. A 2019 el sector ladrillero en Colombia se componía “de 1.508 ladrilleras con 2.435 hornos que producen un total de 12’703.872 toneladas de arcilla cocida al año en 16 regiones del país” (Economía y Negocios, 2019).

Procesamiento

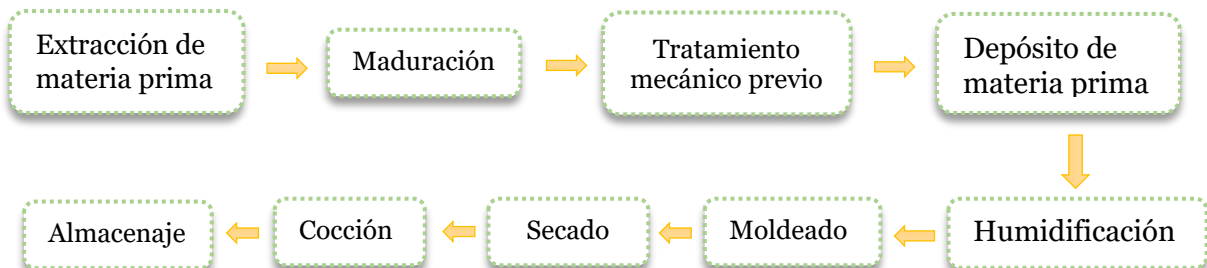
Ladrillo de Cañamo. Para clasificarse como material apto para construcciones debe presentar niveles mínimos o estar libre de humedad, debe ser muy limpio y procurar que no contenga elementos ajenos (Wooley, 2008, citado por Villalobos, 2011, p.64).

El proceso inicia después del agramado, se proceden a separar el hurd o cañamiza de las fibras de liber, una vez separadas, los hurd son cortadas en trozos que oscilan entre 4 y 35 milímetros (ICE, 2009, citado por Villalobos, 2011, p.64) aunque Manohari y otros, (2016) citado por Demir y Doğan, (2020) lo limita a cortes de 5 a 25 mm (p.28). Después de triturado, se empaca y se almacena (Villalobos, 2011, p.64).



El compuesto se forma mezclando la cañamiza con aglutinante a base de cal y agua, la alta alcalinidad de la cal protege la cañamiza de la humedad, de ser degrada por acción biológica y del fuego (Villalobos, 2011, p.83). Seguidamente, se vierte en moldes, se elimina cualquier espacio de aire en la mezcla mediante compresión y se deja secar aproximadamente por 28 días (Ramos, 2019, p. 96).

Ladrillo de Arcilla. Jiménez (2017) describe el ciclo de fabricación de la siguiente manera:



El proceso inicia con **la extracción de la materia prima** en el cual se obtiene la arcilla y otros minerales (Jiménez, 2017, p.23), en este paso es importante analizar la composición química, la mineralógica y la distribución granulométrica (Amado, Villafrades y Tuta, 2011, p.50,51). Seguidamente se realiza la etapa de **maduración** que consiste en triturar, homogenizar y dejar la materia prima a la intemperie con la finalidad de oxidar la materia orgánica obteniendo un componente más limpio, posteriormente con el **tratamiento mecánico** se fragmentan los terrones hasta obtener pequeñas partículas, a su vez, se remueven objetos como piedras, madera u otros objetos (Jiménez, 2017, p.23,24).

Siguiendo con el proceso, el material ingresa a una tolva o **depósito de materia** con el fin de obtener una apariencia y características físico químicas homogéneas, luego, se procede a **humedecer** la materia para llevarla al proceso de **moldeo** que consiste darle la forma del objeto deseado por medio de moldes y vapor caliente para llegar a una humedad uniforme y masa más compacta, seguidamente se lleva al **secado** que consiste en reducir la humedad (Jiménez, 2017, p.24), según Rodríguez (2018) este procedimiento puede variar de 17 a 25 días dependiendo de las condiciones climáticas (p.16).

La etapa de **cocción** consiste en introducir el material a hornos que superan los 900°C y, por último, se procede a **almacenar** (Jiménez, 2017, p.24).

Cantidad

No aplica, se le asignará un valor de 1.

Disponibilidad

Ladrillo de Cañamo. Se tendría que fabricar o importar.

Ladrillo de Arcilla. Se puede adquirir en cualquier municipio del país

Calidad

La Norma Técnica Colombiana (NTC) establece lineamientos o requisitos que deben cumplir ladrillos y bloques cerámicos que se vayan a utilizar en mampostería

estructural (deben soportar otras cargas) o no estructural (deben soportar su propio peso - divisorios), a su vez, especifica las propiedades según el tipo de mampostería (macizas, perforación horizontal u perforación vertical) y finalmente, menciona las pruebas a las que debe someterse el ladrillo como la absorción de agua, resistencia mecánica a la compresión, tasa inicial de absorción entre otras. Mencionado lo anterior, deduzco que para realizar una adecuada comparación respecto a la calidad se deberá fabricar el ladrillo de cáñamo imitando el tipo de ladrillo, sus dimensiones y su finalidad (estructural o no estructural).

En la fabricación del ladrillo de cáñamo las propiedades mecánicas se ven influenciadas según el porcentaje de sus constituyentes, el tipo de aglutinante, agregados, el secado y la forma.

En Colombia, Ospina comparó un ladrillo de arcilla con tres ladrillos de cáñamo, cada uno con diferentes concentraciones en sus constituyentes (cáñamo, aditivo de cemento y cal, arena y agua). El mejor ladrillo fue fabricado con 18,29% de cáñamo, 33,64% de agua, 19,22% de arena, 14,42% de cal y 14,42% de cemento, el peso final fue de 920 gramos. El porcentaje de absorción para el ladrillo del cáñamo y el ladrillo de arcilla fue de 1,07% y 6,2%, a su vez, los valores de compresión según la norma ASTM 109 para el ladrillo de cáñamo fue de 35,15 Kfg/cm² y para el ladrillo de arcilla fue 49,21 Kfg/cm² (2019).

En la anterior investigación se puede concluir que el ladrillo de cáñamo es menos resistente, sin embargo, empresas como Cannabric garantiza que el ladrillo de cáñamo es apto para aplicarlo en “muros estructurales monocapa y muros de división o revestimiento” (Cannabric, 2017).

En general, el hempcrete posee conductividad térmica relativamente baja, densidad media-baja, calor específico muy alto, fuerte aislamiento térmico - acústico que brindan comodidad e impiden cambios repentinos de temperatura, por último, es

resistente a las cargas y al fuego (Demir y Doğan, 2020, p.28; Adriana, 2011, citada en Ospina 2019, p.29,30).

Desempeño Ambiental

Ladrillo de Cañamo. Alrededor de 1.83 toneladas de CO₂ son almacenadas por tonelada de cañamiza (Ruthbridge, 2009, citado por Villalobos, 2011, p. 65; Bevan y Woolley, 2008; citado por Ip y Miller, 2012, p. 7).

Al final de la vida útil, los ladrillos de cañamo se pueden utilizar como fertilizante (Ramos 2019, p.68).

En relación a los gases de efecto invernadero (GEI), las cantidades de dióxido de carbono generadas por su construcción son menores a las absorbidas durante su vida útil (Ip y Miller, 2012, p. 8). Si lo observamos desde la óptica energética, el hempcrete reduce la energía de las edificaciones en un 12 a 17 % (Arizzi y otros, 2015, citado en Demir y Doğan, 2020, p. 31).

Cabe mencionar, que los impactos negativos sobre el ambiente variaran según el porcentaje y tipos los aglutinantes, agregados y agua. Por ejemplo, a la cal se le asocian 0,83 Kilos de CO₂ por kilo de cal producido (ITEC, 2011, citado en Villalobos, 2011, p. 114).

Al comparar los morteros, cemento para el ladrillo de arcilla y cal para el ladrillo de cañamo se observa que, el impacto generado por el mortero de cal, emite menos gases y requiere de menos energía que la empleada para la fabricación de cemento (Rhydwen, 2009, citado en Villalobos, 2011, p. 115).

Ladrillo de Arcilla. Sumado a los impactos negativos al ambiente generados por la extracción de materia prima descritos por Max (2020), se describen los causados por su procesamiento, en especial en su etapa de cocción.

A pesar de que hay diferentes tipos de horno para la cocción de la arcilla (Rodríguez, 2018, p.18; Jiménez, 2017, p.25), dentro del territorio colombiano la

creación de ladrillos, se da mediante técnicas ancestrales debido a que no es costoso, se calcula que el 75% de las toneladas producidas en el país se da mediante esta técnica (Pimienta, 2019), lo que deja en evidencia su gran contaminación y consumo de energía. En Colombia, las materias usadas como combustible de hornos para la fabricación de ladrillos son la leña, el carbón, el gas, los desperdicios de madera y los residuos vegetales (Coalición, Clima y aire limpio, 2016, citado por Jiménez, 2017, p.19).

Para ser más preciso, en el proceso de cocción, Rodríguez (2018) menciona que, el horno debe permanecer encendido entre “72 y 96 horas y consume más de 30 m³ de madera; este tiempo puede variar debido a la cantidad de ladrillos que se encuentren en el horno, humedad de la madera utilizada para la combustión y las condiciones climáticas” (p.17).

Según la Corporación Ambiental Empresarial (2013), citada por Ospina (2019) en el año 2013 “en las cinco regiones de Colombia mensualmente se generan: 2.250 ton/CO₂, 469 ton/SO₂, 101 ton/NO_x y 1.870 ton/PM en las emisiones producidas por el sector ladrillero” (p.22)

Si se enfoca los impactos ambientales por recurso, Ramos (2019) menciona que al aire se emanan gases como CO, SO₂, PM₁₀, NO₂, CO₂ y partículas suspendidas totales, entre ellos el carbono negro. La erosión al suelo por explotación de materia prima y, finalmente, la contaminación al agua debido a la falta de alcantarillado u desviación del cauce para consumo de las ladrilleras (p.62).

Costo

Ladrillo de Cáñamo. En la investigación realizada en Colombia por Ospina (2019), establece que los costos de fabricación de un ladrillo de cáñamo (6 cm de ancho x 23 cm de largo x 7 cm de alto con peso de 920 gramos) es de 1.670,9 pesos.

Analizando el costo se observa que, 190 gramos de cañamiza representan cerca al 32% del costo total (532 pesos). Ahora bien, si observamos los precios manejados en Francia donde el cáñamo es un cultivo ampliamente sembrado, encontramos que la tonelada de cañamiza vendida por agricultores franceses costaba 80 euros en 2013 (Bouloc y otros 2013 citado en Demir y Doğan, 2020, p. 31). Si realizamos la conversión con la tasa de cambio actual obtendremos que los 190 gramos costarían alrededor de 66 pesos. Una evidencia de la reducción de costos que tendrían los productos que utilizaran el cáñamo como materia prima. En la actualidad Hempfull (s.f.) vende la cañamiza en 15.000 pesos el kilo. En Europa, el ladrillo macizo de cáñamo con dimensiones de 29 cm x 14 cm x 10 cm, tiene un valor de 1,26 euros (Cannabric, 2017).

Ladrillo de Arcilla. Según precios de Homecenter el precio de un ladrillo de arcilla varía entre 600 y 2900 pesos.

Comparación de Alternativas

A continuación, se desarrolla la matriz multicriterio para conocer la factibilidad del ladrillo de cáñamo frente al ladrillo de arcilla, en base a los criterios establecidos anteriormente.

Figura 28

Matriz multicriterio de ladrillo de cáñamo frente a ladrillo de arcilla



Criterio: Procesamiento		
Alternativa	L. Cáñamo	L. Arcilla
Ladrillo Cáñamo	1	1
Ladrillo Arcilla	1	1

Criterio: Disponibilidad		
Alternativa	L. Cáñamo	L. Arcilla
Ladrillo Cáñamo	1	1/7
Ladrillo Arcilla	7/1	1

Criterio: Calidad		
Alternativa	L. Cáñamo	L. Arcilla
Ladrillo Cáñamo	1	1/3
Ladrillo Arcilla	3/1	1

Criterio: Desempeño Ambiental		
Alternativa	L. Cáñamo	L. Arcilla
Ladrillo Cáñamo	1	5/1
Ladrillo Arcilla	1/5	1

Criterio: Costo		
Alternativa	L. Cáñamo	L. Arcilla
Ladrillo Cáñamo	1	1/2
Ladrillo Arcilla	2/1	1

Criterio: Cantidad		
Alternativa	L. Cáñamo	L. Arcilla
Ladrillo Cáñamo	1	1
Ladrillo Arcilla	1	1

Criterio: Procesamiento			Matriz Normalizada	Vector Propio
Alternativa	Ladrillo Cáñamo	Ladrillo Arcilla		
Ladrillo Cáñamo	1	1	0,50	0,50
Ladrillo Arcilla	1	1	0,50	0,50
Total=	2	2		

Criterio: Disponibilidad			Matriz Normalizada	Vector Propio
Alternativa	Ladrillo Cáñamo	Ladrillo Arcilla		
Ladrillo Cáñamo	1	0,14	0,13	0,12
Ladrillo Arcilla	7	1	0,88	0,88
Total=	8	1		

Criterio: Calidad			Matriz Normalizada	Vector Propio
Alternativa	Ladrillo Cáñamo	Ladrillo Arcilla		
Ladrillo Cáñamo	1	0,33	0,25	0,25
Ladrillo Arcilla	3	1	0,75	0,75
Total=	4	1		

Criterio: Desempeño Ambiental			Matriz Normalizada	Vector Propio
Alternativa	Ladrillo Cáñamo	Ladrillo Arcilla		
Ladrillo Cáñamo	1	5	0,83	0,83
Ladrillo Arcilla	0,2	1	0,17	0,17
Total=	1,2	6		

Criterio: Costo			Matriz Normalizada	Vector Propio
Alternativa	Ladrillo Cáñamo	Ladrillo Arcilla		
Ladrillo Cáñamo	1	0,5	0,33	0,33
Ladrillo Arcilla	2	1	0,67	0,67
Total=	3	1,5		

Criterio: Cantidad			Matriz Normalizada	Vector Propio
Alternativa	Ladrillo Cáñamo	Ladrillo Arcilla		
Ladrillo Cáñamo	1	1	0,50	0,50
Ladrillo Arcilla	1	1	0,50	0,50
Total=	2	2		

Una vez se conocieron los valores de vector propio para cada criterio, se procedió a multiplicarlos por la ponderación de cada criterio (definidos en la tabla 3).

Figura 29

Valores de prioridad en las alternativas

Criterio / Alternativa	Procesamiento	Disponibilidad	Calidad	Desempeño Ambiental	Costo	Cantidad	Priorización
Ladrillo Cáñamo	0,50	0,12	0,25	0,83	0,33	0,50	0,29
Ladrillo Arcilla	0,50	0,88	0,75	0,17	0,67	0,50	0,71
Ponderación de criterio	0,04	0,39	0,22	0,07	0,21	0,07	

Capítulo IV

Fitorremediación.

La fitorremediación es una tecnología limpia, eficaz y rentable que se emplea con el objetivo de disminuir las concentraciones de elementos nocivos a niveles tolerables o incluso, eliminar por completo los contaminantes del suelo, sedimentos y agua por medio de plantas y microorganismos (Voijant, Sheikh, Basri, Idris, Anuar y Mukhlisin, 2011; Lopez, 2007, p.90). Estos contaminantes, en su mayoría metales pesados (MP), provienen de la minería, la industria, la fertilización, uso de plaguicidas y otros en menor cantidad como las aguas residuales urbanas. Se considera metal pesado a cualquier metal o semimetal de origen natural que tenga un número atómico superior a 20 y una densidad superior a 5 gr/cm³ (Saxena, Purchase, Mulla, Saratale, y Bharagava, 2019, (p. 4). Según Gaur y Adholeva (2004) algunos de estos metales son micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, como Zn, Cu, Mn, Ni y Co, mientras que otros no tienen ninguna función biológica conocida, como Cd, As, Pb y Hg (pp. 528).

Al no tener función biológica, constituyen una amenaza para el medio ambiente, puesto que, al aumentar la concentración, pueden causar diferentes afectaciones, por ejemplo, por medio de la cadena alimenticia se bioacumula y biomagnifica, convirtiéndose en riesgo para la salud. Por lo anterior, debe ser prioridad para la industria, encaminar acciones en pro de reducir y controlar todo tipo de contaminante, puesto que, son la principal fuente de contaminación por metales pesados en el ambiente.

Con relación al suelo, afecta sus propiedades físico químicas y biológicas, inhibiendo procesos metabólicos microbianos (Zhuang y otros 2007; Sabolev y Begonia 2008; Wuana y Okieimen 2011 citados por Saxena, 2019). Una vez en las plantas, los metales pesados interrumpen procesos bioquímicos y fisiológicos como la germinación, actividades enzimáticas, el metabolismo del nitrógeno, la transpiración, metabolismo

celular, entre otras que, finalmente conduce a la muerte (Yadav, 2010; Lajayar y otros, 2017 citados por Saxena, 2019).

Prosiguiendo con el tema, es importante aclarar que según como la planta realice la técnica de remediación, recibirá un nombre específico. Lopez (2007) define las técnicas de la siguiente manera: *fitoextracción* si el contaminante es absorbido por la planta e incorporado a su biomasa, para su posterior recolección; *Fitovolatilización* cuando plantas y microorganismos asociados, a través de enzimas especializados, transforman, degradan y finalmente volatilizan (tanto en la raíz como en parte superior) los contaminantes desde el suelo; *Rizodegradación* si las raíces de las plantas, su microflora asociada y/o los productos excretados destruyen el contaminante en la zona radicular y *Fitodegradación* cuando las plantas toman el contaminante y lo metabolizan transformándolo en un material sin riesgos para el medio, por último la *fitoestabilización*, donde las plantas tolerantes y capaces de estabilizar mecánicamente al contaminante, impidiendo su transporte a aguas subterráneas u otros medios (p.95).

Según Charkowski (1998) citado en Citerro, Santagostino, Fumagalli, Prato, Ranalli, y Sgorbati. (2003) el estudio sobre la capacidad del cáñamo en la restauración del suelo comenzó en 1998, cuando la empresa Phytotech, junto con el Instituto de Cultivos Bastos de Ucrania, plantó *Cannabis sativa L.* con el fin de eliminar los contaminantes cerca de Chernóbil, aunque no hubo publicación, los resultados de esos experimentos de campo fueron prometedores (p.244). En la fitorremediación con cáñamo, se han realizado investigaciones con distintas variedades afirmando que es adecuado para cultivarse en regiones contaminadas por metales pesados.

El cáñamo presenta aptitudes importantes para la fitorremediación, posee un sistema radicular amplio, produce buena cantidad de biomasa por encima del suelo y después de cosechado puede implementarse en industrias específicas, por ejemplo, producción de bioenergía (aunque no se conoce el camino de los contaminantes después del procesamiento), los factores que limitan el uso de biomasa son el tipo de

contaminante y su concentración en la biomasa, el tipo de producción de bioenergía y las normativas (Rheay, Omondi, Brewer, 2020, p. 526).

Una planta ideal para la fitorremediación debería tener una alta biomasa, una alta tolerancia al estrés por metales pesados y una alta capacidad de acumulación de metales (Aubert, J. P. Schwitzguébel, 2004, citado en Ahmad y otros 2016, p.4).

Los principales factores que influyen en la posibilidad de utilizar la biomasa de cáñamo para obtener energía después de la fitorremediación son el tipo de contaminante y su concentración en la biomasa, el tipo de producción de bioenergía y las normas reglamentarias sobre la calidad aceptable del producto.

En este apartado se realizará una recopilación de investigaciones que utilizaron el cáñamo industrial en fitorremediación.

En la primera columna se describirá los autores y el problema ambiental asociado a cada investigación. En la segunda columna, se describe el objetivo y características a resaltar, en la tercera se menciona la metodología que llevaron a cabo y la última columna, comparte las conclusiones.

Tabla 30

Base de datos de la fitorremediación con cáñamo.

Autor (es)	Objetivo -Características	Metodología	Conclusiones
<p>Linger, Müssig, Fischer y Kobert (2002)</p> <p>Contaminación por industrias de fundición y lodos de depuradora</p>	<p>Combinar la fitorremediación con un cultivo de interés comercial, con el fin de conseguir una descontaminación del suelo a bajo precio mediante la producción de un recurso comercialmente utilizable.</p> <p>Se buscaba resolver tres interrogantes: el cáñamo es una planta adecuada para la fitoextracción; el material de aprovechable como la fibra se contamina con MP; y si es así, cómo influye esta contaminación en la calidad de la fibra.</p>	<p>Se utilizó la variedad de cáñamo USO 31, la densidad de siembra fue 250 semillas por m², en parcela de 12m² sin fertilización adicional, se cosechó en 15 semanas (100 plantas/m²) a una altura media de 183 cm, luego se almacenó los tallos a 20°C y humedad relativa de 50%, el suelo se había contaminado con lodos de depuradora (102 ppm de Cd, 410 ppm de Ni y 454 ppm de Pb). Se comparó el contenido y calidad de fibra con plantas que crecieron en suelo libre de MP.</p> <p>Se realizó repeticiones con la USO31 a una densidad de 200 semillas/m² y 100 kg/ha de N, germinaron cerca de 182 planta/m², se cosecharon a una altura de 260 cm. La variedad Fedrina 74 con densidad de 200 semillas/m², al cosechar se contaron 99 plantas/m². Después de obtener las fibras se realizaron pruebas de tracción, de finura y se determinó el contenido de MP mediante espectroscopia de absorción atómica.</p>	<p>Se detectaron MP en todas las partes de la planta, en el siguiente orden de magnitud: Ni>Pb>Cd</p> <p>En plantas, las concentraciones de Cd fueron de 8 a 26 veces menores que las de Ni. Sin embargo, al comparar con las concentraciones de MP del suelo, se halló que la concentración de Ni eran de sólo cuatro veces mayor que la de Cd. Se piensa que cada metal es absorbido de diferente manera.</p> <p>Las mayores concentraciones de metales examinados se encontraron en hojas-semillas. Las concentraciones de Cd y Ni en cañamiza y fibras son bajas.</p> <p>Para Ni: hojas>semillas>fibras, en Pb: hojas>fibras>semillas y para Cd hojas>semillas>fibras =cañamiza.</p> <p>Respecto a su potencial de fitoextracción, se calculó la extracción absoluta del Cd encontrando que extrajo 126 gr de Cd/3-4 meses (hay plantas que extraen hasta 2 kilos de Cd al año). El cáñamo parece ser el más adecuado para suelos con bajo contenido de MP debido a su bajo potencial de fitoextracción. La fibra para producción de ropa no es posible, los niveles de MP superan los establecidas que son de 0,1 ppm para el Cd, 0,2-1 ppm de Pb y 1-4 ppm de Ni.</p> <p>Los MP no afectaron las propiedades de las fibras</p>

Citterio, Santagostino, Fumagalli, Prato, N., Ranalli, y Sgorbati, (2003).

Debido a la falta de conocimiento sobre los mecanismos del cáñamo para la acumulación y tolerancia a altas concentraciones de contaminantes en el suelo, hemos

Se evaluó la tolerancia del cáñamo en niveles altos de MP (Cr, Cd y Ni) en condiciones seminaturales y se analizó la capacidad para acumular y trasladar dichos compuestos a los tejidos aéreos. Se prepararon dos macetas para el suelo control (CTR) y cuatro para tratamientos contaminados con MP, dos para cada concentración. Se sembró con una densidad de 15 plantas por maceta. La temperatura mínima osciló entre 11 y 20 °C y máxima varió de 18 y 32°C. El agua fue de lluvia (alrededor de 350 mm en 4 meses) y agua potable.

Las semillas de variedad Fibranova se cultivó en macetas de 85 kg de tierra obtenida de la mezcla de arena con compost (pH: 7-7.5). En 2 macetas se realizó el control (Ni y Cr en menor proporción), en otras 2 se aplicó **(suelo 1)**: 25 µg/g de K₂Cr₂O₇, 25 µg/g NiCl₂ y 25 µg/g de CdSO₄ y en otras 2 **(suelo 2)**: 50 µg/g de K₂Cr₂O₇, 100 µg/g de NiCl₂ y 100 µg/g de CdSO₄. Los MP fueron disueltos y aplicados a 12 kg de suelo que luego se mezcló con el resto de suelo. Las plantas se analizaron a 2 y 4 meses. A 2 meses se evaluó la reacción a MP, se determinó índice de crecimiento, % de supervivencia, la longitud y el peso seco, el grupo tiólico de las glutaminas, las fitoquelatinas y el contenido de ADN. El 2do análisis se realizó en las 3 macetas restantes, se analizó % de THC, índices de crecimiento, morfología de planta y estructura citológica del tallo, grupo tiólico y contenido de ADN, contenido de MP en raíz, tallo y hojas

Las altas concentraciones de MP en el suelo no interfirieron en el crecimiento de forma significativa, debido a los diferentes mecanismos para evitar daños. Considerando los 3 metales analizados, el orden de acumulación fue Cd>Ni>Cr. Se demostró que el cáñamo acumula la mayor parte de MP en su sistema radicular, sin embargo, es muy lenta la restauración del suelo contaminado con MP. No hubo variación significativa en concentración de metales en el suelo después del cultivo. La capacidad de las plantas para producir altos contenidos de glutaminas y fitoquelatinas es una prueba de tolerancia o reactividad al estrés por MP. El cáñamo cultivado en suelo con MP mantiene un bajo nivel de THC. El cáñamo no puede considerarse una planta hiperacumuladora, sino un organismo tolerante a MP que ha desarrollado mecanismos que le permiten hacer frente a la alta concentración MP. Los datos de la citometría de flujo mostraron un aumento del contenido de ADN inducido por los MP y proporcional a su concentración. Se trata de una respuesta de la planta al estrés para superar la toxicidad del metal.

<p>Angelova, Ivanova, Delibaltova, y Ivanov. (2004).</p> <p>Contaminación en los suelos aledaños de la fábrica de metales no ferrosos</p>	<p>Determinar las cantidades y acumulación de Pb, Cu, Zn y Cd en los órganos vegetativos y reproductivos de cultivos de fibra (algodón, lino y cáñamo) e investigar la posibilidad de cultivarlos en suelos contaminados con MP.</p> <p>Las parcelas experimentales estaban situadas a diferentes distancias (0,5 y 15 km) de la fábrica de metales no ferrosos.</p>	<p>El algodón se sembró entre hileras de 60 cm y una densidad de siembra de 19 plantas por m², el lino se sembró con un espacio entre hileras de 7,5 cm y una densidad de siembra de 2.500 plantas por m² y el cáñamo con un espacio entre hileras de 10-12 cm y una densidad de siembra de 400 plantas por m². En el análisis se utilizaron 50 plantas por cada réplica (parcelas a 0.5 km y 15 km).</p> <p>Las cantidades de MP se determinaron en diferentes partes de cultivos: fibra, raíces, tallos, hojas, semillas, flores y fibras. Se determinó la concentración de MP tras el método de la mineralización en seco.</p>	<p>El cáñamo fue el segundo cultivo que más extrajo.</p> <p>La distribución de los MP a lo largo del eje de la planta de los cultivos estudiados es selectiva, en el lino y el cáñamo es decreciente en el siguiente orden: raíces > tallos > hojas > semillas.</p> <p>El lino y el cáñamo son cultivos aptos para ser cultivados en regiones industriales contaminadas. Los contenidos de MP en las fibras de cáñamo eran elevados, por lo que no puede utilizarse como materia prima en la industria textil.</p> <p>Los MP no influyeron en el desarrollo y la productividad de los cultivos.</p> <p>Los valores más altos se obtuvieron a 0,5 km, el orden de MP absorbido por el cáñamo fue el siguiente, de mayor a menor Zn > Pb > Cu y Cd.</p>
<p>Linger, Ostwald y Haensler (2005)</p>	<p>Se analiza la influencia de los factores de estrés en la fotosíntesis</p> <p>Se estimaron los parámetros Fo (fluorescencia inicial en la oscuridad cuando todos los centros de reacción están abiertos), Fm (fluorescencia máxima en el estado de</p>	<p>En invernadero se cultivó la variedad USO 31 en macetas en suelo comercial, éste se contaminó con Cd (CdSO₄) en dos concentraciones diferentes:</p> <p>[] Cd1: 17,3 ± 2,0 mg/kg pH: 4,40</p> <p>[] Cd2: 71,7 ± 8,2 mg/ kg pH: 5,55</p> <p>Suelo control: pH: 5,5 - 6,5.</p> <p>Las plantas se fertilizaron semanalmente con N-P-K (7 - 5 - 6 %). Crecieron en 23-</p>	<p>El porcentaje de germinación en suelo control fue de 70%, en [] Cd1 fue de 79% y en la [] Cd2 fue 77%.</p> <p>La planta cultivaba en el suelo [] Cd2 desarrollo menos biomasa que las plantas del suelo control y [] Cd1.</p> <p>Solo sobrevivió 1 planta ([] Cd2) al cabo de 80 días.</p> <p>Luego del día 24 se presentó la mayor concentración (830 mg/kg) de Cd, se registró en raíces de planta [] Cd1, en tallos (87 mg/kg) y hojas (68 mg/kg).</p>

	<p>adaptación a la oscuridad) y el resultante $F_v/F_m = (F_m - F_o) / F_m$; todos ellos pueden utilizarse como una indicación inicial del estrés de la planta.</p>	<p>25 °C y 50-70 % de humedad relativa. El fotoperiodo de 16 h bajo luz natural complementada con irradiación artificial-densidad de flujo de fotones fotosintéticos mínima de 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Se cosechó 10 días después de sembrar y se pesaron enseguida para determinar la masa fresca. Se cosechó cada semana durante 7 semanas. La última cosecha fue 133 días después del inicio. Luego, se examinó la concentración de MP. La fluorescencia de clorofila de los discos foliares en la primera hoja completamente expandida (desde la parte superior). Para los experimentos de respuesta a la luz se utilizaron plantas de 6-8 semanas de edad y para evaluar los efectos del Cd en la fotosíntesis se utilizaron hojas de los días 13 a 97 después de la siembra.</p>	<p>Al final del periodo de vegetación las medias fueron 42 mg/kg en raíces, 20 mg/kg en tallos y 15 mg/kg para las hojas. Las plantas sembradas en [] Cd2 acumularon mayores cantidades de Cd en tallo (4-5 veces mayor) y hojas, a comparación de tallos en []Cd1. El potencial de fitoextracción Cd en suelo []Cd1 fue de aproximadamente 830 gr/ha-período de vegetación. Los cloroplastos se vieron afectados por la presencia de []Cd2, después de 20 días era 30% menor que el suelo control. Respecto a las hojas del suelo control con las de []Cd1, no fue significativa la presencia. En el invernadero los parámetros Fm, Fo y Fv/Fm de la []Cd1 no varió negativamente con suelo control, por su lado []Cd2 presentó disminuciones en Fm y Fo.</p>
<p>Ahmad, Tehsin, Malik, Asad, Shahzad, Bilal... y Khan. (2016).</p>	<p>El objetivo es explorar el potencial del cáñamo en la fitorremediación de MP mediante la identificación de los dos genes importantes</p>	<p>Se tomaron muestras de la planta de cáñamo cultivada en suelos contaminados, Los metales vertidos por esta industria textil son Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Cr y Cd.</p>	<p>Las concentraciones en las hojas, mostraron una mayor acumulación de Cu (1530 mg/kg), Cd (151 mg/kg), Ni (123 mg/kg), Pb (39 mg/kg), Cr (25 mg/kg), Zn (4,5 mg/kg). Se recomienda para remediación de suelos que contengan Cu, Cd y Ni.</p>

	que responden a los metales pesados, la glutatión-disulfidoreductasa (GSR) y la fosfolipasa D- α (PLD α). PLD α y GSR son importantes enzimas antioxidantes que protegen a las células vegetales contra el daño oxidativo causado por las especies reactivas del oxígeno producidas en condiciones de estrés.	Se extrajeron las enzimas para conocer la respuesta del gen GSR y PLD α	Los datos mostraron un papel regulador de la GSR en la influencia de la expresión de muchos genes importantes en las respuestas de las plantas a los estreses bióticos y abióticos. La alta expresión de los genes PLD α y GSR en las hojas indica que estos dos genes se expresan bajo el estrés de los MP con el fin de ayudar a la planta a hacer frente a las condiciones de estrés.
Galić, Perčič, Zgorelec, y Kisić, (2019). Creciente contaminación del suelo debido a las actividades humanas, como la liberación de efluentes industriales, residuos	Determinar la posibilidad de utilizar cuatro variedades de cáñamo como plantas fitoacumuladoras o fitoestabilizadoras, a su vez, conocer su potencial para acumular MP en diferentes tipos de suelo. Variedad: Fedora 17, Fibrol, Futura 75 y Santhica 27.	Se tomaron muestras de suelo al comienzo para determinar los MP, el contenido de materia orgánica y el pH. Se pusieron diez semillas/maceta, se cosecharon alrededor del 5to mes. La germinación varió entre 70-80% en suelos neutros y 10-30% en suelos ácidos. Se añadió agua 4 veces por semana en función del aspecto de planta y comprobando la humedad del suelo. Se calculó la eliminación de MP individuales en las plantas para todas las	El contenido de MP fue mayor en las raíces de todas las especies, la mayor variación en suelos, fue de 2,4 veces mayor en raíces de la variedad Fedora 17 en suelo ácido a comparación del suelo alcalino, la mayor acumulación de metal lo obtuvo la variedad Futura 75 (688,6 mg/kg) en suelo ácido, en suelos alcalino, la variedad Fibrol presentó la mayor acumulación de Cr (272,1 mg/kg). Respecto al tallo , concentra una mayor cantidad de MP en suelo ácido (5.8 más que en alcalino), en suelo ácido se destaca la variedad Fibrol y en alcalino las variedades Fedora 17 y Santhica 27. Con las hojas , Fibrol acumula 440,7 mg/kg de Zn en suelo

<p>municipales y lodos residuales enriquecidos con MP</p>	<p>Se utilizaron 2 tipos de suelo en macetas (9 kg de tierra) experimentales. Una muestra de suelo (alcalino) pH: 7.79, tomada en la península de Istria (altitud -2m), se clasifica como coluvial limoso o Gleysol. La otra muestra (ácido) pH: 5.29, fue tomada cerca de Daruvar (altitud de 133 m), clasificado como Luvisoles Estáticos. Se utilizaron suelos prístinos sin agroquímicos en invernadero. Se aplicaron prácticas agrotécnicas estándar a las macetas -fertilización y protección química</p>	<p>variedades y tipos de suelo (la biomasa sobre el suelo incluye tallos y hojas). Para establecer la relación entre las concentraciones de MP en las plantas y en el suelo se calculó el Coeficiente de Adsorción Biológica (CAB), el CAB se obtienen de: <i>Concentración (parte de la planta) / concentración (suelo)</i> Se determinó el coeficiente de translocación (CT), el cual sirve para determinar la eficiencia de la planta en la translocación de MP a través de las raíces a otras partes de la planta. El CT se obtiene de: <i>concentración (biomasa por encima del suelo) / concentración (raíz)</i></p>	<p>ácido, en suelo alcalino la mejor variedad fue Santhica 27 acumuló 69,2 mg/kg, el contenido de Mo fue principalmente absorbido en suelo alcalino. La eliminación de MP individuales. La variedad Fibrol tiene la capacidad de eliminar hasta 27,1 kg/ha de Zn (la menor, Santhica 27 remueve 13,5 kg/ha menos). Respecto al Cr la mejor variedad fue Futura 75 con 0,35 kg/ha en suelo alcalino. El Ni presentó una absorción similar por las 4 variedades, Fedora 17 tiene la capacidad de eliminar 0,73 kg/ha, la variedad con menor potencial es Futura 75 con 0,55 kg/ha en suelo ácido. La mayor cantidad de Cu la absorbió la Fedora 17 en ambos suelos (0,52 kg/ha alcalino y 0,51 kg/ha ácido) seguido por Fibrol en suelo ácido (0,47 kg/ha). El Cd presentó en suelos ácidos un CAB 17 veces mayor que el CAB de suelo alcalino con la variedad Fedora 17, específicamente en sus raíces. El CAB para todas las variedades en ambos suelos presentaba el mismo orden raíz>tallo>hoja. La mayor CAB para el Zn se presentó en la raíz de Futura 75 en suelos ácidos, en general presentaba el siguiente orden raíz>hoja>tallo en los dos suelos. Los valores de CAB en Cr fueron más altos en las raíces de Fibrol en suelo</p>
---	---	--	--

alcalino, el CAB fue raíz>hoja>tallo en ambos tipos de suelo. Los valores más altos del CAB en **Mo** se presentaron en hojas de plantas de suelos alcalinos, el orden fue hoja>tallo>raíz en suelo alcalino y raíz>tallo>hoja en suelos ácidos. Los valores más altos para **Hg** fue en variedad Fedora 17 y **Ni** la variedad Santhica 27, en sus raíces de suelos ácidos.

Basándose en los valores de CAB, la capacidad potencial de **fitoestabilización** en suelos alcalinos presenta el siguiente orden Cu>Cr>Cd>Mo>Hg> Zn> Ni>Co>As>Pb, mientras que en el suelo ácido el orden: Zn>Cd>Cr>Ni>Hg>Cu>Mo>As>Co>Pb.

El CT más alto en ambos suelos fue para el **Mo**, los valores más altos se obtuvieron de suelo alcalino y los más bajos para el **Co**, en suelos ácidos el CT más bajo fue para el **Ar** y el **Cr**. En general, el CT fue inferior a 1, excepto para **Zn, Hg y Mo** en algunas variedades en suelo alcalino y **Cd, Zn, Hg y Mo** en algunas variedades en suelo ácido.

Respecto a la **fitoacumulación**, en suelos alcalinos, Fedora 17, Futura 75 y Santhica 27 son hiperacumuladores de Zn; Fibrol y Santhica 27 de Hg y todas las variedades son hiperacumuladoras de Mo. En suelos ácidos, Fibrol y Santhica 27 son

			<p>hiperacumuladores de Cd y Zn; Fibrol de Hg y todas las variedades hiperacumulan Mo.</p> <p>La absorción de metales es influenciada por el pH del suelo. Los resultados avalan al cáñamo como un candidato adecuado para los enfoques de fitoestabilización o fitoacumulación.</p>
<p>Husain, Weeden, Bogush, Deguchi, Soliman, Potlakalaya, Katam, Goldman y Rudrabhatla (2019) La lixiviación de metales en las zonas circundantes a través de la escorrentía del agua lluvia se convierte en un peligroso riesgo medioambiental y sanitario</p>	<p>Explorar el potencial del cáñamo industrial como una forma ecológica de remediar los suelos de las minas. Se usaron 6 variedades Fedora 17, Felina 32, Ferimon, Futura 75, Santhica 27 y USO 31</p>	<p>Se examinó la germinación de semillas, altura de plantas y días hasta la floración. Además, se examinó la absorción de MP el Ar, el Pb, el Ni, el Hg y el Cd, los cambios en el pH del suelo y el contenido total de cannabinoides en las variedades cultivadas en 2 tipos de suelos contaminados y 2 tipos de suelos comerciales, al aire libre y en invernadero. Suelos mina 1, mina 2, suelos comerciales Miracle-Gro Potting Mix y PRO-MIX HP Mycorrhizae... las semillas se cultivaron en macetas. El invernadero se mantuvo a 26 °C con fotoperiodo de 16 h de luz a 25-40 µEm-2s-1. La humedad relativa se mantuvo a 60%.</p> <p>Se tomaron muestras de suelo (tierra Miracle-Gro y tierra mina 1 del exterior y</p>	<p>La germinación de semillas es afectada por pH ácido, las plántulas que germinaron en suelo de mina 2 murieron, posiblemente debido al pH de 3,8 y a la consistencia compacta del suelo.</p> <p>No hubo diferencias significativas en altura de plantas entre las variedades sembradas en mina 1 y suelo PRO MIX HP, sin embargo, si hubo diferencia significativa entre suelo de mina 1 y Miracle-Gro. Los autores recomiendan las seis variedades para remediar suelos mineros.</p> <p>Tras 60 días de crecimiento, se produjo un aumento de pH en suelos (Miracle-Gro y Pro-Mix tanto en exterior como en invernadero, en mina 1 hubo un aumento donde crecían la Fedora 17, Ferimon y Futura 75, tanto en exterior como en el invernadero). La alteración del pH del suelo indica su potencial para aumentar la biodisponibilidad de MP, también indica</p>

del invernadero) y de hojas más cercanas al suelo de cada tratamiento (se extrajo el ARN total de 500 mg de tejido foliar). El pH se midió inicialmente antes del inicio del estudio y después de sesenta días. Se investigó la capacidad de absorción de Ar, Pb, Ni, Hg y Cd por parte de las plantas de la variedad Felina 32 tras sesenta días de crecimiento. Se cosechó una cantidad total de 500 mg de tejido de cogollos florales de la variedad Fedora 17 de interior y exterior cultivadas en tierra de mina 1 o Miracle-Gro para analizar el CBD y THC.

un posible uso en fitoestabilización (convertir los M del suelo en formas menos letales para plantas).

La concentración de Ni fue 2,5 veces mayor en las hojas de Felina 32 recogidas del suelo de mina 1 en el exterior, en comparación con las hojas recogidas de mina 1 en interior. Esto podría estar relacionado con la liberación de Ni ligado a una forma soluble. El Cd se detecta en el tejido de las hojas de suelos de la tierra de la mina tanto en el interior como en el exterior

El Ni fue absorbido en la mayor cantidad (1,5 mg/kg de peso seco), mientras que el As y el Hg no fueron detectables. La absorción de metales de la variedad Felina 32, de mayor a menor capacidad, son Ni >Cd >Pb >As =Hg.

La variedad Felina 32 expresó una mayor captación de Ni cuando se cultivó al aire libre (1,5 mg/kg de peso seco) en comparación con el invernadero (0,59 mg/kg de peso seco).

La variedad Felina 32 presentó una mayor absorción de Pb en suelo de tierra de mina 1 al aire libre (0,3 mg/kg de peso seco) que el suelo cultivado en invernadero de Miracle-Gro (0,19 mg/kg de peso seco).

La variedad Felina 32 mostró una alta tolerancia al Cd, presentó mayor cantidad de absorción de Cd (tierra de minas 1) cultivada en el invernadero (0,38 mg/kg de peso seco) que cuando se cultiva al aire libre (0,16 mg/kg de peso seco). Parece tener una mayor eficacia a 26 °C.

El contenido total de THC en cogollos florales de plantas en suelo Miracle-Gro al aire libre o en invernadero fue mayor que en cogollos florales de plantas cultivadas en suelo de mina 1 al exterior e interior. El contenido de CBD en los cogollos florales en tierra de mina 1, tanto en exterior como en invernadero, fue mayor que en cogollos florales cultivados en Miracle-Gro, los niveles de THC en mina 1 se mantuvieron por debajo de la norma europea (0,3%), en Miracle-Gro superaron los niveles (variedad Fedora 17).

Zielonka, Szulc, Skowrońska, Rutkowska, y Russel, (2020). Los lodos de depuradora son poco utilizados debido a que son	El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de tres cultivares de cáñamo para acumular metales pesados bajo la aplicación de lodos de depuradora (LD) y fosfoyesos (FY).	Se realizó el estudio de campo entre 2014 y 2016 en Polonia, el suelo se clasificó como Luvisol, la concentración de MP en suelo no superaba los límites permisibles. Se realizaron 5 tratamiento. To: suelo control; T1: 170 kg N /ha de LD T2: 170 kg N /ha LD y 100 kg/ha de FY	En el presente estudio, la acumulación de HM por parte del cáñamo fue la más alta para el Fe, seguido del Mn, Zn, Cr, Cu, Ni y luego el Cd. Sin embargo, al hacer la relación con los MP biodisponibles en el suelo, se encuentra que el Cd y el Cr se acumularon en mayor medida.
--	---	--	--

<p>potencialmente tóxicos y los fosfoyesos son un subproducto del procesamiento de roca fosfórica que se almacena en gran porcentaje alrededor de las fábricas suponiendo una amenaza potencial al ambiente.</p>	<p>Eligieron 3 especies de cáñamo con alta producción de biomasa y buena adaptabilidad al clima Beniko Białobrzესkie y Tygra, con densidad de 60 kg/ha. [Las precipitaciones fueron de 381mm, 287mm y 448 mm y las temperaturas variaron entre (-3,3 y 21°C); (1 y 19,3°C); (-3,2 y 19,2°C)]- > 2014-2015-2016</p>	<p>T3: 170 kg N /ha LD y 500 kg/ha de FY T4: 170 kg N/ha LD y 1000 kg/ha FY Antes de realizar la siembra se aplicaron el LD y el FY con concentraciones conocidas. Al cosechar se secaron las muestras y luego se analizó el Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn y Pb mediante espectrometría de absorción atómica tras su digestión en ácido nítrico concentrado, asimismo, se determinaron las formas biodisponibles de los MP en las muestras de suelo luego de la cosecha</p>	<p>El aumento de los FY dio como resultado una menor concentración de MP en las plantas respecto al suelo control, se piensa que los FY provocaron la inmovilización de los HM. El cultivar Tygra acumuló más Fe, Zn, Cr y Ni en las inflorescencias que las otras dos variedades y también tuvo un mayor rendimiento de biomasa. La cantidad de MP acumulados en los órganos del cáñamo aumentó linealmente con las concentraciones de MP disponibles en el suelo</p>
--	---	--	--

CAPÍTULO V

Análisis de Resultados

Para analizar de manera apropiada el potencial que tiene el cáñamo en la solución de problemas ambientales que genera la industria colombiana, se examina cada eslabón del ciclo del producto de manera holística, debido a que, el desarrollo sostenible se alcanza cuando los componentes social, económico y ambiental se equilibran.

Inicialmente, se debe adquirir la semilla más adecuada para las condiciones climáticas de la región en que se planea sembrar. Si bien Uruguay cuenta con una normativa avanzada en términos de cáñamo industrial, la variedad que han desarrollado no es destinada para fibra. *Por lo tanto, las semillas se deben obtener de Europa, Asia u Norteamérica.* Lo anterior, deja en evidencia la limitada investigación que se tiene en Colombia y en cierta medida Latinoamérica. Como punto a favor para el país, se admiten niveles de THC más alto. Por ejemplo, en Europa los niveles máximos permitidos de este cannabinoide se encuentran en 0,2% a 0,3% en peso seco. En cambio, la normativa colombiana establece el límite en 1%, permitiendo así, que se pueda experimentar con más variedades de cáñamo en el territorio colombiano.

En el ciclo de vida del cáñamo, uno de los procesos que más genera impactos negativos sobre el ambiente, es el cultivo. Debido a la demanda recurso hídrico y agroquímicos. Se calcula que requiere volúmenes de 300 mm a 760 mm, sin contar las precipitaciones (Schumacher y otros, 2020, p. 8); algo similar a los requerimientos hídricos del maíz, que requiere de 500 mm a 800 mm (Reyes, 2018). Aun así, si lo comparamos con el algodón, se verá una gran diferencia (requiere 2,5 veces más agua que el cáñamo). Pero, se debe tener en cuenta las altitudes en que se siembra. Por lo general, en el país se cultiva en zonas calurosas (el algodón lo requiere). De igual manera, los requerimientos hídricos del cáñamo variarían según la zona de cultivo.

Con relación a los fertilizantes, los problemas ambientales asociados son la eutrofización y gases peligrosos como el amoníaco cuando no se oxida totalmente a nitrato. Previo a la fertilización, se recomienda verificar el estado de fertilidad del suelo. A modo general, para una hectárea se requiere de 70 – 110 kg de nitrógeno, de fósforo 25 – 80 kg, de potasio 40 a 90 kg, de calcio 60 kilos y 10 kg de magnesio y azufre. Si se compara con las cantidades requeridas por el algodón, se observa que, para producir una tonelada de fibra de algodón (el promedio por ha en Colombia), se requiere de 150 kg de nitrógeno y 100 kg de potasio (Melgar, 2011), aunque no se encontraron datos fiables (hay fuentes que mencionan 300 kg de N, 250 kg de P y 250 kg de K por hectárea) del requerimiento de otros nutrientes, se puede afirmar que el requerimiento en cultivo de cáñamo es menor y, por ende el impacto negativo sobre el ambiente.

Prosiguiendo con los agroquímicos, se ha mencionado que el cultivo de cáñamo no requiere herbicidas debido a su rápido crecimiento. De igual manera, se indica que requiere poco o nulas cantidades de insecticidas, lo anterior lleva a minimizar el impacto negativo y a reducir costos. *No obstante, no se puede garantizar que esto suceda en el país, puesto que, estas conclusiones se pudieron haber tomado en otras condiciones climáticas.* Adicionalmente, los pocos cultivos realizados en el país en las primeras décadas del siglo pasado, no se encuentra mayor información sobre estos aspectos.

Cuando se busca obtener una buena calidad y rendimiento de fibra primaria, se debe realizar la cosecha cuando la especie florezca. *Respecto a la cañamiza no se encontraron datos sobre la cosecha óptima para la fabricación de ladrillos.*

En cuanto al rendimiento, debido a la alta densidad de siembra del cáñamo se puede obtener más toneladas por hectárea que el algodón. Es una especie que se puede aprovechar prácticamente en su totalidad, se debe tener presente que los porcentajes de cañamiza y fibra varían según la variedad.

Otra característica a destacar, es la gran aptitud que tiene el cáñamo para desarrollarse en distintas latitudes. Por lo tanto, será un cultivo apto para implementarse por cualquier agricultor del país. Por ejemplo, en el programa de sustitución de cultivos ilícitos. Las limitaciones de siembras radican en la falta de drenaje en los suelos o pH extremos.

El proceso de enriamiento más ecológico, es el que se realiza en el mismo campo de siembra ya que, en el proceso de degradación devuelve un porcentaje significativo de nutrientes. A pesar de ello, el proceso de enriado recomendado para fibra textil es aquel que se realiza sumergiendo el tallo en agua. Sin embargo, se deberían llevar a cabo investigaciones para verificar esta afirmación. Puesto que, este proceso es clave en la sostenibilidad, el enriamiento en agua requiere de una gran cantidad de agua que finalmente se contaminará con altas cargas de nutrientes. Finalmente, los procesos de agramado, espadillado y peinado se llevan a cabo por medio industrializado, por lo tanto, la demanda de energía en estos procesos es alto.

El cáñamo en la industria textil

Algodón

En las comparaciones de agroquímicos, requerimientos hídricos, rendimiento por hectárea y requerimientos climáticos, el cáñamo es la especie mejor calificada. Otro factor a destacar, es el tiempo, el cáñamo se debe cosechar en el periodo de floración y el algodón debe esperar a la semilla.

Poliéster

Al reemplazar el consumo de esta fibra por la del cáñamo, se está reduciendo el consumo de hidrocarburos, la generación de gases de efecto invernadero, la contaminación a los cuerpos hídricos y la bioacumulación de microfibras a través de la cadena alimenticia. Si bien se puede reciclar, el porcentaje es muy bajo y con cada lavada se seguirán desprendiendo microfibras. Por lo tanto, nunca se detendría la contaminación hídrica.

En el procesamiento, para obtener hilaturas, no se encontraron estudios que analicen la demanda energética en el procesamiento de estas fibras.

En general, los resultados de la matriz multicriterio revelan que la disponibilidad de fibra de cáñamo y el costo limitan en gran medida la demanda del sector textil. Lo anterior, se podría solucionar con una política agraria específica para este sector, acompañado del apoyo de Universidades y Entidades Gubernamentales que generen variedades de cáñamo adaptadas a cada región, asimismo, técnicas, maquinarias e investigaciones que permitan abaratar los costos, mejorar la calidad y garantizar propiedades similares en cada producción.

El Cáñamo en Materiales Compuestos

Los materiales compuestos, al igual que una gran variedad de objetos están realizando una transición hacia lo sostenible. En este caso, la fibra de cáñamo ha presentado *propiedades que permiten reemplazar los refuerzos de fibra de vidrio*. Al finalizar la matriz multicriterio se encontró que los únicos criterios que favorecen al cáñamo es el *desempeño ambiental y el costo*.

En sostenibilidad, se han hallado los datos más precisos para evidenciar la reducción de impactos ambientales negativos al implementar las fibras de cáñamo como refuerzo en lugar de las fibras de vidrio. Pero estos impactos mencionados, se limitan a hasta la fabricación de un 1 kg de cada fibra.

Adicionalmente, se presentan otras ventajas ambientales que van relacionadas con la densidad del cáñamo respecto a la fibra de vidrio (1.47 gr/cm³ - 2.5 gr/cm³ respectivamente), Ahora bien, debido a que las fibras de cáñamo no poseen tan altas propiedades mecánicas como la fibra de vidrio, se debe recurrir a aumentar el porcentaje del refuerzo, en el composite. Lo anterior genera dos efectos secundarios, primero, la reducción de matriz que por lo general son polímeros termoplásticos o termo-endurecibles y segundo, la reducción del peso en el composite, lo que conlleva a una reducción de energía y contaminación si el composite es implementado en un

objeto movable. Por ejemplo, Scarponi y Messano (2015) encontraron que, reemplazando un bastidor de acero por un composite de cáñamo con las mismas dimensiones, se aligeraba 8kg y podía llegar ahorrar hasta 4000 dólares en combustible (helicóptero) a lo largo de la vida.

Como se mencionó anteriormente, las propiedades mecánicas de las fibras de cáñamo son inferiores, a pesar de ello, estas propiedades se pueden ver seriamente influenciada por diversos factores (contenido de celulosa, contenido de agua, defectos, diámetro de la fibra ...). Por lo tanto, las futuras investigaciones deben enfocarse a estudiar cada uno de estos factores puesto que, se debe garantizar las mismas propiedades en la fibra, en todas las cosechas destinadas a composite, textiles o construcción.

El Cáñamo en Construcción

Según los resultados de la matriz multicriterio, la disponibilidad y la calidad son los dos criterios que tiene que solucionar el cáñamo para ser una variable más adecuada. Como se mencionó anteriormente, la disponibilidad va ligada al desarrollo de una cadena de producción apoyado en políticas pro cáñamo e investigación. En cuanto a la calidad, la principal desventaja de los ladrillos es la baja resistencia.

En términos de desempeño ambiental, los beneficios son mayores que el ladrillo a base de arcilla. Por un lado, el CO₂ es secuestrado por la cañamiza en la fotosíntesis y la cal absorbe el CO₂ a medida que se endurece, lo cual recompensa la contaminación generada en su extracción y cocción.

No se encontraron documentos en los que mencione alguna relación entre el cultivo o enriamiento y la mejora en propiedades de la cañamiza, tampoco de la vida útil de los ladrillos.

La construcción se podría convertir en una opción para el cáñamo que crece en suelo contaminado, se conoce que, la absorción de metales pesados no influye en las

propiedades mecánicas de las fibras y mantiene bajos los niveles de THC. Respecto a su empleo en textiles, se conoce que en algunos países la fibra con ciertos porcentajes de metales pesados es prohibida para este fin. Cabe mencionar que, diferentes autores mencionan que, la siembra en terreno contaminado se debe destinar a la generación de energía,

Fitorremediación

Realizando un análisis de la información, el cáñamo se puede definir como una especie que tolera altas concentraciones de metales pesados debido en parte a su tolerancia. Sin embargo, no se puede clasificar como planta hiperacumuladora.

El cáñamo ha demostrado absorber una gran cantidad de contaminantes (Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Ni, Cd, Hg, Mo, As, Pb y Co). Las variedades presentan diferentes cualidades en la fitorremediación, se ha encontrado buenos resultados con en Tygra, Felina 32, Fedora 17, USO 31.

El estrés por concentraciones altas de metales pesados puede llevar a fallas en la fotosíntesis, por ende, contenido de biomasa más bajo, e incluso necrosis en la mayoría de hojas.

Al observar que los factores climáticos afectan en la absorción de metales pesados, les corresponde a los centros académicos emprender una serie de investigaciones. Por ejemplo, el programa de Ingeniería Ambiental podría investigar en los suelos aledaños a la cuenca baja del río Bogotá, donde a finales del siglo pasado se comprobó la contaminación por metales pesados (García y otros, 1999).

En las investigaciones se ha demostrado que acumula metales en todas las partes, siendo la raíz una de las que más metales pesados concentra. Debido a su rápido crecimiento, biomasa superficial y tolerancia se ha recomendado viable para extracción de metales pesados.

Conclusiones

Mediante el trabajo desarrollado se puede concluir que el cáñamo posee un alto potencial ambiental, puesto que, al sustituir las materias primas (de los sectores descritos) por el cáñamo, se reduce en gran medida los impactos negativos ambientales. Cabe mencionar que, este potencial varía dependiendo de distintos factores, como lo son: empleo de pesticidas, uso de nutrientes, tipo de enriamiento, volumen del riego y procesamiento.

En base a la matriz multicriterio, la disponibilidad es el criterio que más desfavorece la implementación del cáñamo como materia prima, sin embargo, conforme aumente la siembra, avance el procesamiento y las investigaciones, el cáñamo será más competitivo en este criterio.

Enfocándonos en la industria textil, el cáñamo cuenta con una gran potencialidad para superar prácticamente todos los inconvenientes y así, producir una cadena de producción sostenible en esta industria.

Respecto a los materiales compuestos, al reemplazar el refuerzo de fibra de vidrio, con el refuerzo de fibra de cáñamo no solo se reducen una importante contaminación ambiental, sino también, se ahorra una importante cantidad de dinero.

El ladrillo de cáñamo tiene facultades importantes para absorber CO₂, inicialmente en el secuestro de este gas en la cañamiza (fotosíntesis) y segundo la carbonización que se va presentando en la cal. Adicionalmente, las cualidades higrotérmicas garantizan un ahorro en energía (calentadores, acondicionadores, ventiladores...).

A partir de la matriz multicriterio, se observó que los textiles y refuerzos de cáñamo son los fines que tienen mayor oportunidad de ser empleados en Colombia. Por otro lado, los ladrillos de cáñamo presentan menor resistencia, por ende, se limitarían a construcciones específicas.

El cáñamo es una especie con alto potencial para emplearse en la fitorremediación, si bien no es una planta hiperacumuladora, tolera altas concentraciones de metales pesados, otro aspecto a destacar, es la gran biomasa que genera y la rapidez de crecimiento, Por último, la capacidad de adecuarse en diferentes latitudes le permite llegar a cualquier suelo contaminado.

La creciente demanda de productos naturales y saludables, respetuosos con el ambiente, seguirá impulsando la producción de cáñamo y, por ende, el desarrollo de tecnología y maquinaria reducirá los costos de producción.

Es menester que se comparta este tipo de información para minimizar el estigma social y a su vez, promover la implementación de políticas agrarias para que finalmente, los centros de investigación, las políticas y la sociedad conduzcan a una cadena cañera social, económica y ambiental mente sostenible.

Recomendaciones

En Colombia se ha venido presentado una transición hacia la industrialización, por lo general, este paso consiste en imitar la producción de países que venden la tecnología, lo anterior, con lleva a que el país se rezague en la producción eficiente y limpia con el ambiente. Por ello, se recomienda que los centros de investigación adelanten estudios con el cáñamo. Primero, para desarrollar semillas adecuadas para los climas colombianos. Segundo, procesamiento más eficiente y tercero, descontaminación del suelo y aprovechamiento de la biomasa contaminada.

Se recomienda que el Gobierno promueva el uso del cáñamo por medio de las siguientes acciones: campañas informativas, apoyo económico para los centros de estudio, subsidio a campesinos que siembren cáñamo como a las industrias que lo procesan (se pueden subsidiar hasta que se establezca una economía sólida). A su vez, incentivar la siembra de cáñamo en cultivos de rotación y de manera orgánica.

Debido a que la disponibilidad de materia prima es el criterio que más detiene el empleo de cáñamo por la industria, se recomienda regular los precios de mercado para evitar un alto porcentaje de importación o contrabando.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo, H., Vásquez, A. y Ramírez, D. (2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. Universidad EAFIT.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825/39307>
- Aduanas y protección de fronteras de los Estados Unidos. (2019). Sabías que...La marihuana fue una vez una importación transfronteriza legal?
<https://www.cbp.gov/about/history/did-you-know/marijuana>
- Advanced Botanical and Biomass Research Institute [Instituto de Investigación Avanzada en Botánica y Biomasa]. (s.f.). Utilización de toda la planta [Figura].
<https://www.abbri.org/thought-leadership/whole-plant-use>
- Aeronáutica Civil. (2019). Anexo No.4 ANALISIS DEL SECTOR.
<https://community.secop.gov.co/Public/Archive/RetrieveFile/Index?DocumentId=33407882>
- Ahmad, R., Tehsin, Z., Malik, S., Asad, S., Shahzad, M., Bilal, M. ... y Khan, S. (2016). Potencial de fitorremediación del cáñamo (*Cannabis sativa* L.): identificación y caracterización de los genes que responden a los metales pesados. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 44(2), 195-201.
- AIMPLAS. (2016). Tipos de materiales compuestos. <https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos/>
- Alchimia. (2018). Anatomía de la planta de cannabis [Imagen].
<https://www.alchimiaweb.com/blog/anatomia-cannabis>
- Aldazabal, V. (2012). Hilvanando Historias. Textiles Recuperados en Mond House, Islas Orcadas del Sur. *Estudios Hemisféricos y Polares*, 3(4), 194-210.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4165694.pdf>
- Amado, J., Villafrades, P. y Tuta, E. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *Dyna*, 78(167), 53-61.
- Amrein Tranche, M. (2012). Estudio de la viabilidad del uso de una mezcla fenol/agua en el ensayo de solubilidad diferencial del poliéster. [Tesis doctoral], UPC, Departamento de Ingeniería, Textil y Papelería. <http://hdl.handle.net/2117/94736>
- Angelova, V., Ivanova, R., Delibaltova, V. y Ivanov, K. (2004). Bioacumulación y distribución de metales pesados en cultivos de fibra (lino, algodón y cáñamo). *Cultivos y productos industriales*, 19(3), 197-205
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.10.001>
- Arancibia, S., Contreras, E., Mella, S., Torres, P., & Villablanca, I. (2003). Evaluación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva. Memoria de Ingeniería Civil Industrial Universidad de Chile, Santiago.
- Arevalo, J. (2020). Impacto, desarrollo y obra sostenible del sector de la construcción en Colombia. *Emprendices*. <https://www.emprendices.co/impacto-desarrollo-y-obra->



- sostenible-del-sector-de-la-construccion-en-colombia/?unapproved=901279&moderation-hash=ac90537eb33289829b74bb1bf1d45432#comment-901279
- Asociación Europea de Cáñamo Industrial. (s.f.). Acerca del Cáñamo. <https://eiha.org/about-hemp-definition/>
- Asociación Europea de Cáñamo Industrial. (s.f.). Sobre EIHA. <http://eiha.org/about-us/>
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI]. (2019). Pronunciamiento: ANDI ve inconveniente propuesta de arancel a las confecciones. <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/6351-pronunciamiento->
- Ávila, R. (2000). El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras. El caso de Brasil. Informe técnico. Proyecto Regional Información sobre Tierras y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible (Proyecto Gcp/Rla/126/Jpn). Santiago, Chile.
- Baxter, W. y Scheifele, G. (s.f.). El cultivo del cáñamo industrial en Ontario. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Asuntos Rurales de Ontario. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/00-067.htm>
- Burbano O., Montes K., Pastrana, I. y Cadena J. (2018). Introducción y desarrollo de variedades de algodón Upland en el sistema productivo colombiano: Una revisión. Revista Ciencia y Agricultura; Volumen 15, número 1. https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2289/1/PPS_808_Introduccion_de_sarrollo_variedades_algodon.pdf
- Calderón, C. (2003). Utilización de la fibra de cáñamo en la industria textil. Una nueva opción para la problemática de los cultivos ilícitos en Colombia [Universidad de Los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/14014>
- Campos, A. (2014). El sector textil en Colombia: ¿Cómo ser más competitivos? Ensayo, Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12920/Ensayo%20Especializacion.%20EL%20SECTOR%20TEXTIL%20EN%20COLOMBIA%20%20%20%20COMO%20SER%20M%C3%81S%20COMPETITIVOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cannabric. (2017). Bloques para la Bio-Construcción. http://www.cannabric.com/media/documentos/696ef_tarifa_parcial_01_bloques_bioconstruccion.pdf
- Canapuglia. (s.f.). Variedades para Fibras y Hurd. <https://www.canapuglia.it/en/shop/industrial-hemp/certified-seeds/varieties-for-fibers-and-hurd>
- Canna connection (2020). *¿Para qué se usa el cáñamo industrial?* <https://www.cannaconnection.es/blog/11770-para-que-se-usa-el-canamo-industrial>

- Cannabis Magazine. (2016). Cáñamo como fuente de CBD.
<https://www.cannabismagazine.es/digital/canamo-como-fuente-de-cbd>
- Canapa Industriale. (2020). El mercado mundial del cáñamo crecerá \$ 3.3 mil millones en 4 años a pesar de covid-19. <https://canapaindustriale.it/2020/08/27/il-mercato-globale-della-canapa-crescera-di-33-miliardi-di-dollari-in-4-anni-nonostante-il-covid-19/>
- Caprino, G., Carrino, L., Durante, M., Langella, A., Lopresto, V. (2015). Comportamiento de bajo impacto de compuestos epoxi reforzados con fibra de cáñamo. Estructuras compuestas doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.029>
- Célino, A., Fréour, S., Jacquemin, F. y Casari, P. (2014). El comportamiento higroscópico de las fibras vegetales: una revisión. *Fronteras en química*, 1, 43.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3982556/>
- Cherrett, N., Barrett, J., Clemett, A., Chadwick, M. y Chadwick, M. (2005). Huella ecológica y análisis del agua del algodón, cáñamo y poliéster. Instituto Medioambiental de Estocolmo. <https://www.sei.org/publications/ecological-footprint-water-analysis-cotton-hemp-polyester/>
- Citterio, S., Santagostino, A., Fumagalli, P., Prato, N., Ranalli, P., y Sgorbati, S. (2003). Tolerancia a los metales pesados y acumulación de Cd, Cr y Ni por Cannabis sativa L. *Planta y Suelo*, 256(2), 243-252.
- Clarke, R. y Merlín, M. (2013). *Cannabis: evolución y etnobotánica*. (P.532) Universidad de Prensa California.
http://magicgreenery.com/download/i/mark_dl/u/4007014199/4631706098/Cannabis_Evolution&Ethnobotany_Clarke&Merlin2013.pdf
- Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica. (2020). *Seminario en línea: Producción de Cáñamo Industrial y sus Transformaciones* [Archivo de Video]. Youtube.
www.youtube.com/watch?v=Kfy4hsEM9jA
- Composite Integration [Integración Compuesta]. (s.f.). Sobre RTM (Resin Transfer Moulding [Moldeo por transferencia de resina]). <http://www.composites-rtm.com/menu-directo-a-about-rtm>
- Consejo Nacional de Ciencia y tecnología [CONACYT]. (s.f.). Algodón.
<https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/algodon>
- Conalgodón. (2020). Superficie, producción y rendimiento de algodón en Colombia 2010-2021. <http://conalgodon.com/wp-content/uploads/2021/03/Superficie-Producci%C3%B3n-y-Rendimiento-2010-2021.pdf>
- Confederación Colombiana del Algodón [CONALGODÓN]. (s.f.). Informe Costo de Producción. <http://conalgodon.com/estadisticas/#sc-tabs-1616460444376>
- Cortolima. (s.f.). Sector Industrial El Vergel.
https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_document

os/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.15SECTOR_INDUSTRIAL_EL_VERGEL.pdf

Crini, G., Lichtfouse, E., Chanet, G., y Morin-Crini, N. (2020). Aplicaciones del cáñamo en el sector textil, industria del papel, el aislamiento y los materiales de construcción, la horticultura, la nutrición animal, los alimentos y las bebidas, los nutraceuticos, la cosmética y la higiene, la medicina, la agroquímica, la producción de energía y el medio ambiente: una revisión. *Letras de Química Ambiental*, 18, 1451-1476.

Darby, H., Gupta, A., Cummings, E., Ruhl, L., & Ziegler, S. (2017). Ensayo de Variedades de Fibra de Cáñamo Industrial.

<https://scholarworks.uvm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1072&context=nwcsp>

Davila, M. (2016, May). Semillas de Cáñamo. *El Latino*

<https://login.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/login?url=https://www-proquest-com.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/docview/1791905186?accountid=152438>

Decreto No° 613 del 2017. Por el cual se reglamenta la Ley 1787 de 2016 Y se subroga el Título 11 de la Parte 8 del Libro 2 del Decreto 780 de 2016, en relación con el acceso seguro e informado al uso médico y científico del cannabis. 10 de abril del 2017.

<https://www.minjusticia.gov.co/Portals/o/Cannabis/Page/Decreto%20613%20de%202017.pdf>

Demir, İ. Y Doğan, C. (2020). Propiedades físicas y mecánicas del Hempcrete. *Revista Abierta de Gestión de Residuos*, 13 (1).

<https://benthamopen.com/FULLTEXT/TOWMJ-13-26>

Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (s.f.) Vidrio.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/Vidrio.pdf>

Díaz Rojo, J. A. (2004). Las denominaciones del cáñamo: un problema terminológico y lexicográfico. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/5486/RL_10-4.pdf;sequence=1

Economía y Negocios, 2019. Insumos, la clave en el sector constructor. *El Tiempo*.

<https://www.eltiempo.com/economia/los-insumos-son-clave-para-reactivar-el-sector-de-la-construccion-441030>

El Tiempo. (2020). La marca que comercializará ropa con cáñamo de cannabis en Colombia. <https://www.eltiempo.com/economia/empresas/ropa-elaborada-con-cannabis-entra-al-mercado-en-colombia-553616>

Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Colombia. (2020). Aplicaciones ingenieriles de la fibra de Cáñamo [Archivo de Video].

<https://www.youtube.com/watch?v=TW2oMJknjJM&t=3555s>

Fassio, A., Rodríguez, M. y Cerreta, S. (2013). Cáñamo (*Cannabis Sativa* L.). (Boletín de divulgación N° 113). Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de

Tecnología de INIA. Uruguay, Montevideo: INIA

https://www.researchgate.net/publication/272148231_Canamo_Cannabis_sativa_L

Fibra de vidrio. (2011). *Tecnología de los Plásticos*.

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>

Fleming, M. y Clarke, R. (1998). Pruebas físicas de la antigüedad del Cannabis sativa L.

Revista de la Asociación Internacional del Cáñamo, 5(2), 80-95.

https://www.researchgate.net/profile/Robert_Clarke12/publication/228603981_Physical_evidence_for_the_antiquity_of_Cannabis_sativa_L/links/54c70fac0cf238bb7do44505/Physical-evidence-for-the-antiquity-of-Cannabis-sativa-L.pdf

Fortenbery, T. y Bennett, M. (2001). ¿Vale la pena seguir estudiando el cáñamo industrial en los EE. UU.? Una revisión de la literatura.

https://www.academia.edu/20976550/Is_Industrial_Hemp_Worth_Further_Study_in_the_US_A_Survey_of_the_Literature

Fontoba, J. (2019). Caracterización mecánico-acústica de nuevos materiales Eco-Composites para soluciones constructivas [Tesis doctoral no publicada].

Universidad Politécnica Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/124815>

Franco, MA (2017). Economía circular a nivel micro: una visión dinámica de las luchas y desafíos de los operadores tradicionales en la industria textil. *Journal of Cleaner Production* [Revista de Producción Limpia], 168, 833–845. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.056

Fundación Canna. (s.f.). Δ -9-Tetrahidrocannabinol (THC). <https://www.fundacion-canna.es/d-9-tetrahidrocannabinol-the>

Fundación Canna. (s.f.). Cannabidiol (CBD). <https://www.fundacion-canna.es/cannabidiol-cbd>

Galić, M., Perčin, A., Zgorelec, Ž., & Kisić, I. (2019). Evaluación del potencial de acumulación de metales pesados del cáñamo (*Cannabis sativa* L.). *Revista de Agricultura de Europa Central*, 20(2), 700-711.

https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=323443

Ganeshgrow. (s.f.). Semillas Cáñamo Certificadas.

<https://ganeshgrowshop.com/es/semillas-ca%C3%B1amo-certificadas/>

Gañan, P., Jimenez, C., Giraldo, I., Jaramillo, M., Toro, L. y Cruz, J. (2003). Efecto de la modificación de la interfase en el comportamiento de materiales compuestos naturales. En Miravete y Cuartero (eds.), *Materiales Compuesto 03* (pp. 113-121). Actas del V Congreso Nacional De Materiales Compuestos.

<https://www.aemac.org/wp/wp-content/uploads/2015/05/MATCOMP03.pdf>

García, E., Ramos, M., Rodríguez, A., Calderón, J., Rodríguez, R. Caicedo, A., Simonds R., Rivera, J., Osorio, O., Varon, J. Figueroa, L. y Arce, C. (1999). Determinación de niveles de contaminación por metales pesados tóxicos en los principales

- subsistemas de producción de la planicie aluvial baja del río Bogotá. Corpoica.
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/16157?locale-attribute=en>
- Gaur, A. y Adholeya, A. (2004). "Perspectivas de hongos micorrízicos arbusculares en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados", *Ciencia Actual*, vol. 86(4), pp. 528–534. DOI: 10.2307/24107905
- Gedik, G. y Avinc, O. (2020). La fibra de cáñamo como fuente de materia prima sostenible para la industria textil: ¿podemos utilizar su potencial para una producción más ecológica? En *Sostenibilidad en las industrias textil y de la confección* (págs. 87-109). Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-38541-5_4
- Gonzales, C., Del Campo, J., Cardín, P., Fernández, O. y García, P. (2003). Relaciones composición-propiedades en materiales compuestos de matriz poliolefínica reforzados con fibras de celulosa. En Miravete y Cuartero (eds.), *Materiales Compuesto 03* (pp. 103-111). Actas del V Congreso Nacional De Materiales Compuestos. <https://www.aemac.org/wp/wp-content/uploads/2015/05/MATCOMPO3.pdf>
- Gutiérrez, I. M. (2015) La historia de la marihuana en Colombia: Consumo y cultivos entre los años 30 y 40 del siglo XX.
https://www.researchgate.net/publication/287201823_La_historia_de_la_marihuana_en_Colombia_Consumo_y_cultivos_entre_los_anos_30_y_40_del_siglo_XX
- HashMarihuana&HempMuseum. (s.f.). Cannabis Ruderalis.
<https://hashmuseum.com/es/la-planta/especies-de-cannabis/cannabis-ruderalis-o>
- HashMarihuana&HempMuseum. (s.f.). Cannabis Sativa.
<https://hashmuseum.com/es/conocimiento-del-cannabis/especies-de-cannabis/cannabis-sativa/>
- Hempfull. (s.f.). Somos Hempfull Colombia Sabor y Saber del Cañamo.
<https://hempfullcolombia.com/>
- Hemp Harvesting Technology [Tecnología de Cosecha de Cáñamo]. (s.f.). La cosechadora de cáñamo HHH 700. <https://henryshempharvester.com/harvester/>
- HempToday (s.f.). *Usos del cáñamo*. <https://hemptoday.net/es/usos-del-canamo/>
- HOY Diario del Magdalena. (Dic 18, 2019). Cannabis extraído de cáñamo orgánico llega a la industria cosmética con apoyo científico. *HOY Diario del Magdalena*.
<https://www.hoydiariodelmagdalena.com.co/archivos/311309>
- Husain, R., Weeden, H., Bogush, D., Deguchi, M., Soliman, M., Potlakalaya, S., Katam, R., Goldman, S. y Rudrabhatla, S. (2019). La tolerancia mejorada de las plantas de cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.) en el suelo de la mina abandonada conduce a la sobreexpresión de cannabinoides. *PLoS ONE* 14 (8): e0221570.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221570>

- Ingeniería Industrial Easy. (2017). Método Analítico Jerárquico "Método AHP" | Ejemplo Práctico [Video]. https://www.youtube.com/watch?v=xBk_Bv7ZYps
- Instituto Geológico y Minero de España [IGME]. (2011). Feldespato y Arenas Feldespáticas. <https://www.igme.es/PanoramaMinero/Historico/2011/FELDESPATO11.pdf>
- Ip, K. y Miller, A. (2012). Emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de las construcciones de muros de cáñamo-cal en el Reino Unido. Recursos, conservación y reciclaje, 69, 1-9. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344912001620>
- ISOHEMP. (s.f.). Construir con bloques de cáñamo: una envolvente aislante y eficiente. <https://www.iso hemp.com/en/building-hemp-blocks-insulating-and-efficient-envelope>
- Jiménez Correa, C. (2017). Perfil técnico ambiental para ladrillos de cerámica en el marco de las compras sostenibles. Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3430/PERFIL%20T%C3%89CNICO%20AMBIENTAL%20PARA%20LADRILLOS%20DE%20CER%20C3%81MICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Joshi, S., Drzal, L. Mohanty, A. y Arora, S. (2004). ¿Son los compuestos de fibra natural superiores a los compuestos reforzados con fibra de vidrio desde el punto de vista medioambiental? Compuestos Parte A: Ciencia aplicada y fabricación, 35(3), 371-376. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X03002951>
- KR y Ziner, R. (2020). El futuro de la Fibra. *Revista Hemp Today* [Revista Cáñamo Hoy]. (26), 1-70. <https://hemptoday.net/wp-content/uploads/2020/06/The-Future-of-Fiber-EIHA-Special-Edition.pdf>
- Kraenzel, D., Petry, T., Nelson, B., Anderson, M., Mathern, D., y Todd, R. (1998). El cáñamo industrial como cultivo alternativo en Dakota del Norte (nº 1189-2016-94080). <https://ageconsearch.umn.edu/record/23264/>
- Konop. (2016). *La cosechadora de cáñamo búlgara - COCO 1620*. <https://www.konop.bg/article/581/bylgarskiqt-konopen-kombajn-koko-1620>
- La Marihuana. (2020). Pakistán apuesta por la industria del cáñamo y cannabis medicinal. <https://www.lamarihuana.com/pakistan-apuesta-por-la-industria-del-canamo-y-cannabis-medicinal/>
- Legiscomex. (2012). Textiles y Confecciones en Colombia. <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/documento-completo-estudio-de-mercado-sector-textil-confecciones-colombia-2012-actualizado-legiscomex.pdf>
- Ley N°1787 del 2016. La presente ley tiene como objeto crear un marco regulatorio que permita el acceso seguro e informado al uso médico y científico del cannabis y sus derivados en el territorio nacional colombiano. 6 de julio del 2016.

- <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201787%20DEL%206%20DE%20JULIO%20DE%202016.pdf>
- Linger, P., Müssig, J., Fischer, H. y Kobert, J. (2002). Industria de Cáñamo (*Cannabis sativa* L.) cultivadas en suelos contaminados por metales pesados: calidad de la fibra y potencial de fitorremediación. *Cultivos y productos industriales*, 16(1), 33-42. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669002000055>
- Linger, P., Ostwald, A. y Haensler, J. *Cannabis sativa* L. que crece en suelos contaminados con metales pesados: crecimiento, absorción de cadmio y fotosíntesis. *Biol Plant* 49, 567–576 (2005). <https://doi.org/10.1007/s10535-005-0051-4>
- Linnæi, C. (1753). *Species Plantarum, exhibentes plantas rite cognitae, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum sistema sexuale digestas. Tomo II*. Ed (Holmiae 1753, pp 1027). <https://www.biodiversitylibrary.org/item/13830#page/469/mode/1up>
- Lockuán, F. (2013). La industria textil y su control de calidad. II Fibras textiles. https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/ii._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad/26
- López, O. (s.f.). Propuesta para el uso alternativo de la especie *Cannabis sativa* en Colombia. MAMACOCA, capítulo 6. http://www.mamacoca.org/FSMT_sept_2003/es/doc/lopez_uso_alternativo_cannabis_colombia_es.htm
- Manaia, J. Manaia, A. y Rodrigues, L. (2019). Fibras de cáñamo industrial: una visión general. *Fibras*, 7(12), 106. <https://www.mdpi.com/2079-6439/7/12/106/htm>
- Marín, A. (2018). Tema 11: Materiales compuestos poliméricos. Universidad de Alcalá. https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_profesores/prof121896/docencia/Tema%2011%20Mat.%20compuestos.pdf
- Max Uribe, J. F. (2020). Impacto ambiental generado por explotación de arena silíceo en la mina san pedro, ubicada en el municipio de Tocancipá, Cundinamarca. Universidad Nacional Abierta y a Distancia <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36724/jfmaxu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Medina, M. (2020). La apuesta por el algodón orgánico en Colombia. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/noticias/economia/la-apuesta-por-el-algodon-organico/>
- Mejía, J., Galeano, C., Burbano, E., Vallejo, F. y Arango, M. (2020). Interacción genotipo por ambiente de nueve variedades de algodón para los Valles interandinos en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 31-42. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v31i1.37178>
- Melgar, R. (2011). Fertilización del algodón. Uso complementario de aplicación Foliar de nutrientes. Fertilizar.ORG.

- Merfield, C. (1999). Cáñamo industrial y su potencial para Nueva Zelanda.
https://www.researchgate.net/publication/277111429_Industrial_hemp_and_its_potential_for_New_Zealand
- Messinger, L. (2016). Cómo tu ropa está envenenando nuestros océanos y el suministro de alimentos. *The Guardian* [*El Guardián*].
<https://www.theguardian.com/environment/2016/jun/20/microfibers-plastic-pollution-oceans-patagonia-synthetic-clothes-microbeads>
- Ministerio de Agricultura. (2019). Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales Cadena Algodón Textil y Confecciones.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Algodon/Documentos/2019-09-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente]. (2018). FASE 3. Diagnóstico de la información ambiental y social respecto a la actividad minera y la extracción ilícita.
https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mineria_sentencia_/10._Diagn%C3%B3stico_de_la_informaci%C3%B3n_ambiental_y_social_respecto_a_la_actividad_minera_y_la_extracci%C3%B3n.pdf
- Mincomercio. (2019). *Industria manufacturera enero de 2019*. Oficina de Estudios Económicos. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/433a0476-f1ef-4a27-8af5-b2783c341509/Enero.aspx>
- Moral, A., & Nogueira, M. (2007). Materiales de última generación y materiales eficientes: materiales compuestos-composites. Universidad de Granada, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Granada, España.
- Moreno Velasquez, J. P. (2016). Sector textil en Colombia: Un análisis de las importaciones y exportaciones entre los años 2008 a 2014.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15243/MorenoVelasquezJuanPablo.2016.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mundo Textil. (agosto 8, 2017). Fibras naturales: Cáñamo.
<https://mundotextilmag.com.ar/fibras-naturales-canamo/>
- Mycal. (s.f.). Proceso de obtención de cal. <https://mycal.com.pe/proceso-de-obtencion-de-cal/>
- Norma Técnica Colombiana [NTC] 6033. (2013). Etiquetas Ambientales tipo I. Sello Ambiental Colombiano (SAC). Criterios ambientales para ladrillos y bloques de arcilla. ICONTEC.
https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Sello_ambiental_colombiano/NTC_6033_-_Etiquetas_Ambientales_Tipo_I.pdf
- Ospina Pedraza, O. A. (2019). Diseño de modelo de negocio verde a partir de la producción de ladrillos a base cáñamo industrial (Bachelor's thesis, Universidad El Bosque).
<http://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2617>

- Pacheco, J. F., & Contreras, E. (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/35914>
- Pantoja, B. (1931). El cultivo del cáñamo en el Valle del Cauca. *Revista Cafetera de Colombia*, 3(28/29), 1063-1065.
<https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1030>
- Pérez, E. (1955). *Plantas útiles de Colombia*. Bogotá: Litografía Arco, 1978. 1-864
https://catalogoenlinea.bibliotecanacional.gov.co/client/es_ES/search/asset/132759
- Pérez, J. (2017). *Proyecto ecológico de depuración de tierras en el cultivo de tabaco mediante la rotación con cáñamo industrial*. Investigación, JYD GENETIKS SL.
<https://es.scribd.com/document/430111101/Biorremediacion-de-Tierras-Mediante-Rotacion-Con-Canamo-Industrial>
- Perilla N. (2013) ¿Colombia es competitiva en la industria del vidrio? Universidad Militar Nueva Granada.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11286/PerillaClarosNelcy2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pimienta, C. (2019). Ladrilleras de Colombia, unidas en nuevo Comité de la ANDI. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.
<http://www.andi.com.co/Home/Noticia/15597-ladrilleras-de-colombia-unidas-en-nuevo>
- Placet, V. (2009). Caracterización del comportamiento termo-mecánico de las fibras de cáñamo destinadas a la fabricación de composites de altas prestaciones. *Compuestos Parte A: Ciencia Aplicada y Fabricación*, 40(8), 1111-1118.
- Prácticas óptimas de gestión en la cosecha y almacenamiento del cáñamo industrial. (s.f.).
[https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/crop15539/\\$file/HempHarvestStorage.pdf?OpenElement](https://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/crop15539/$file/HempHarvestStorage.pdf?OpenElement)
- Puentes, F., Cepeda, J. y Téllez, J. (s.f.). Revisión histórica de usos folclóricos medicinales de preparados de cannabis y estado actual de indicaciones médicas aprobadas para preparados sintéticos perspectivas de los usos legales del cannabis - Perspectivas de los usos legales del Cannabis en J. Téllez (Ed.), *Marihuana – Cannabis - Aspectos Toxicológicos, Clínicos, Sociales Y Potenciales Usos Terapéuticos* (pp. 1-362). ISBN: 978-958-58480-5-4
- Quintar, M. y Rodríguez, M. (2017). Obtención de fibras de algodón con actividad antimicrobiana (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.).
<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6251/PI-QUINTAR-RODRIGUEZ%20.FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, A. (s.f.). *Materiales compuestos, los materiales del siglo XXI*.
<http://qro.cinvestav.mx/docs/minisitios/investigadores/manzano/MaterialesComp.pdf>

- Ramos, A. (2019). *Plan de Negocio para la Fabricación y Venta de Ladrillos a Base De Cáñamo en la Construcción de Viviendas Sostenibles en la Ciudad de Bogotá* [Proyecto de grado profesional, Universidad Piloto de Colombia].
<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4833/00005068.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ranalli, P., y Venturi, G. (2004). El cáñamo como materia prima para aplicaciones industriales. *Euphytica*, 140(1), 1-6.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-004-4749-8>
- Real Academia Española. (s.f.). Calidad¹. En Diccionario de la lengua española. Recuperado en 28 de octubre de 2020. <https://dle.rae.es/calidad>
- Resolución 000114 de 2020 [Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales]. Por la cual la Unidad Administrativa Especial Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales - DIAN adopta la Clasificación de Actividades Económicas CIIU Rev. 4 A.C. (2020) y sus notas explicativas, del Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, y se establecen otras clasificaciones propias de su competencia. 21 de diciembre de 2020.
- Resolución 1023 de 2010 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se adopta el protocolo para el monitoreo y seguimiento del Subsistema de Información sobre Uso de Recursos Naturales Renovables SIUR para el sector manufacturero y se dictan otras disposiciones. 28 de mayo de 2010.
<https://normas-apa.org/referencias/citar-leyes-documentos-legales/>
- Reyes, C. (2018). Los requerimientos hídricos del maíz. <https://panorama-agro.com/?p=2990>
- Rivera, L. (2013). El discurso jurídico sobre el cáñamo en la historia de México, de la conquista a la revolución (1521-1925) [Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0707339/0707339.pdf>
- Robinson, B. (1943). Boletín de agricultores del USDA No. 1935 del Proyecto Gutenberg: cáñamo. Washington, DC. <https://www.gutenberg.org/files/59625/59625-h/59625-h.htm>
- Rodriguez, D. (2018). Propuesta de transformación del proceso de producción de ladrillo para la población alfarera artesanal del corregimiento de Jongovito, Municipio de Pasto. Universidad Nacional Abierta y a Distancia [UNAD].
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/22983/1022385234.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez S., Sanabio L., Valín, J., y Díaz D. (2015). Fabricación de compuesto de matriz epoxi reforzado con fibras largas de henequén orientadas aleatoriamente. *Ingeniería Mecánica*, 18(2), 122-128.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442015000200007

- Rohrerseeds. (s.f.). Semillas de cáñamo industrial: variedades de fibra y grano.
<https://rohrerseeds.com/pages/industrial-hemp-seeds>
- Sánchez, J. (s.f.). Implicaciones Constitucionales y Socio-Jurídicas de la Prohibición y Destrucción de los Cultivos de Cáñamo en Colombia. p. 1-188
<https://www.eumed.net/libros-gratis/2008a/380/>
- Sánchez, N. (2006). Pesticidas obsoletos en Colombia. Situación actual y alternativas de tratamiento y disposición. *Revista de Ingeniería – Universidad de los Andes*.
<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n23/n23a2.pdf>
- Sánchez, J. (s.f.). Implicaciones Constitucionales y Socio-Jurídicas de la Prohibición y Destrucción de los Cultivos de Cáñamo en Colombia.
<https://www.eumed.net/libros-gratis/2008a/380/>
- Santiago, M. Marín, C. y Fernández, J. (2003). Los Composites. Características y aplicaciones en la edificación. *Informes de la Construcción*, 54(484), 45-62.
<https://core.ac.uk/download/pdf/237016278.pdf>
- Saxena, G., Purchase, D., Mulla, S. Saratale, G. y Bharagava, R. (2019). Fitorremediación de lugares contaminados por metales pesados: preocupaciones eco-ambientales, estudios de campo, cuestiones de sostenibilidad y perspectivas de futuro. *Revisión de la Contaminación Ambiental y Toxicología Volumen 249*, 71-131.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/398_2019_24
- Scarponi, C., y Messano, M. (2015). Evaluación comparativa entre la aplicación de materiales compuestos de fibra de vidrio E y de cáñamo en el interior de aviones de rotor. *Composites Parte B: Ingeniería*, 69, 542-549.
- Schäfer, T., y Honermeier, B. (2006). Efecto de la fecha de siembra y la densidad de plantas sobre la morfología celular del cáñamo (*Cannabis sativa* L.). *Cultivos y productos industriales*, 23(1), 88-98.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669005000592>
- Schumacher, AGD, Pequito, S. y Pazour, J. (2020). Fibra de cáñamo industrial: una alternativa sostenible y económica al algodón. *Revista de producción más limpia*, 268, 122180.)
- Semana. (2020). Hiladores de Sogamoso, listos para producir ropa con cáñamo de cannabis. <https://www.semana.com/empresas/articulo/ropa-producida-con-canamo-de-cannabis-en-colombia/309517/>
- Stupenengo, F. (2011). *Materiales y materia prima – Capítulo 10 Materiales Compuesto. Guía Didáctica. Ministerio de Educación. Buenos Aires, Argentina.*
<http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>
- Suresh, L. (2019). Fibra de Vidrio. Facultad de Farmacia Universidad Complutense.
- Ssuchy. (2019). Procesamiento del cáñamo en Ssuchy. [Archivo de Video]
<https://www.youtube.com/watch?v=CZy3PNFILhI>

- Symphony Fabrics. (2019). *Catálogo de telas de cáñamo*.
<http://www.symphonyfabrics.in/product/environmentally-friendly/>
- Tanasă, F., Zănoagă, M., Teacă, C. Nechifor, M., y Shahzad, A. (2020). Fibras de cáñamo modificadas destinadas a los compuestos de polímeros reforzados con fibras utilizados en aplicaciones estructurales: una revisión. I. Métodos de modificación. *Composites de polímero*, 41(1), 5-31.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pc.25354>
- Tancara, C. (1993). LA INVESTIGACION DOCUMENTAL. *Temas Sociales*, (17), 91-106.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0040-29151993000100008&lng=es&tlng=es
- Taylor, D., Blickman, T. y Jelsma, M. (2014). Auge y caída de la prohibición del cannabis - La historia del cannabis en el sistema de control de drogas de la ONU y opciones de reforma. Jubels, Amsterdam.
https://www.researchgate.net/publication/269810535_Auge_y_caída_de_la_prohibición_del_cannabis_La_historia_del_cannabis_en_el_sistema_de_control_de_drogas_de_la_ONU_y_opciones_de_reforma
- Tecnología agrícola Wittrock. (2013). Cosechadora de cáñamo Wittrock 4500. [Archivo de Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=kwE5-pytRdk>
- Tejero, G. y Bi, Z. (2020). Composite: matriz de resina poliéster insaturada con fibras de refuerzo vegetales (cáñamo). *Ingenia Materiales*, (2), 63-67.
http://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/view/4440
- Tema 7. Materiales compuestos. (s.f.). *Ciencia de Materiales*.
http://webdeptos.uma.es/qicm/Doc_docencia/Tema7_CM.pdf
- Toskano, G., & Bruno, G. (2005). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Trabajo de grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Universidad Politécnica de Valencia – UPV. (2011). Materiales compuestos: tipos y clasificación | 21/22 | UPV. [Archivo de Video].
<https://www.youtube.com/watch?v=kQ75hoKCIf8>
- Vallejo, R. y Franco, M. (2009). La triangulación como procedimiento de análisis para investigaciones educativas. *Redhecs*, 7(4), 117-133.
<http://ojs.urbe.edu/index.php/redhecs/article/view/84/87>
- Vargas, G. (2016). Genio y figura / un tesoro de la naturaleza. *El Norte*.
<https://login.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/login?url=https://www-proquest-com.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/docview/1802589207?accountid=152438>
- Ventura Ayala, A. (2014). Caracterización y evaluación energética de los vidrios de fachada en edificación (Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya).
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/103218/AldoVentura_TFM.pdf

- Videositpunto.com. (22 de enero de 2014). Introducción al proceso de análisis jerárquico usando Excel [Archivo de video].
<https://www.youtube.com/watch?v=XLsA833Wobg>
- Villalobos, E. (2011). Tesina: EL cáñamo industrial y su aplicación como alternativa de material en la construcción sostenible [Tesina, Universidad Politécnica de Cataluña]. https://issuu.com/svillalobosc/docs/ca__amo_industrial
- Vita, L. (2020). Primera exportación de flores de cáñamo a suiza; esperan ola de solicitudes para plantar. *Agronegocios*.
- Vojant, B., Sheikh, S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N. y Mukhlisin, M. (2011). Una revisión sobre la absorción de metales pesados (As, Pb y Hg) por las plantas a través de la fitorremediación. *Revista Internacional de Ingeniería Química*, vol. 2011(Artículo ID 939161), p.2. <https://doi.org/10.1155/2011/939161>
- Wang, J. (2020). Los precios del poliéster en Asia caen al mínimo de cuatro años; el mercado se mantendrá débil. *Servicios Independientes de Inteligencia Comercial*.
<https://www.icis.com/explore/resources/news/2020/03/12/10481248/asia-polyester-prices-fall-to-four-year-low-market-to-remain-weak>
- Westerhuis, W. (2016). Cáñamo para textiles: el tamaño de la planta importa (tesis doctoral, Universidad de Wageningen).
- Wicker, A. (2021). ¿Por qué, exactamente, el poliéster es tan malo para el medio ambiente? *Ecocult*. <https://ecocult.com/exactly-polyester-bad-environment/>
- Wild, J. (2015). Cannabis: CAÑAMO y La MARIHUANA. Radicalmente salvaje.
<https://radicallywild.com/es/cannabis-canamo-y-la-marihuana/>
- Williams, C., Summerscales, J. y Grove, S. (1996). Infusión de resina bajo herramientas flexibles (RIFT): una revisión. *Compuestos parte A: Ciencia aplicada y fabricación*, 27 (7), 517-524.
- William, J., Turner, W., Hounshell, R. y Neace, D. (2018). Pruebas de variedades de cáñamo industrial de la Universidad de Kentucky 2018 para la producción de fibra dedicada.
https://hemp.ca.uky.edu/sites/hemp.ca.uky.edu/files/2018_uk_fiber_trial.pdf
- Zielonka, D., Szulc, W., Skowrońska, M., Rutkowska, B., y Russel, S. (2020). Fitoacumulación con cáñamo de metales pesados procedentes de lodos de depuradora municipales y fosfoyesos en condiciones de campo. *Agronomía*, 10(6), 907.
- Zini, E. y Scandola, M. (2011). Compuestos verdes: una descripción general. *Compuestos de polímero*, 32 (12), 1905-1915. doi: 10.1002 / pc.21224.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pc.21224>
- Zsiros, Justin A. (2010). " Fibras naturales y fibra de vidrio: Una comparación técnica y económica ". Tesis y disertaciones. 2273. <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/2273>