

Evaluación de una alternativa de materia prima vegetal
en el sector textil, caso estudio empresa The Mob para
contribuir a una Gestión Ambiental Empresarial.

Santiago Rodríguez Ortiz
Angela María Rueda Ibagón



EVALUACIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE MATERIA PRIMA VEGETAL EN EL SECTOR TEXTIL, CASO ESTUDIO EMPRESA THE MOB PARA CONTRIBUIR A UNA GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL.

**Santiago Rodríguez Ortiz
Angela María Rueda Ibagón**

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, abril 2020

EVALUACIÓN DE UNA ALTERNATIVA DE MATERIA PRIMA VEGETAL EN EL SECTOR TEXTIL, CASO ESTUDIO EMPRESA THE MOB PARA CONTRIBUIR A UNA GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL.

**Santiago Rodríguez Ortiz
Angela María Rueda Ibagón**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director: Johann Enrique Gil Toquica

Línea de Investigación:
Gestión Integral Sustentable
Mercados Verdes

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia

Evaluación de una alternativa de materia prima vegetal en el sector textil, caso estudio empresa The Mob para contribuir a una Gestión Ambiental Empresarial.

Santiago Rodríguez Ortiz
Angela María Rueda Ibagón

2020

Acta de sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

(Dedicatoria)

*Su uso es opcional. En ella el autor del trabajo
dedica su trabajo en forma especial a quienes
considere y/o entidades*

Por ejemplo:

A mis padres. ...

Agradecimientos

En primer lugar, gracias a Dios por permitirnos realizar este proyecto sin complicaciones y a nuestros padres por siempre apoyarnos y alentarnos a culminar de manera gratificante este proyecto.

Gracias a nuestro director, por su tiempo, dedicación, aportes, compromiso y lo más importante respeto hacia nosotros, con su apoyo en toda la construcción de este proyecto desde el principio hasta el final, motivándonos siempre a mejorar cada día y a cumplir con nuestras metas planteadas.

Agradecemos a Juan José Pinzón por disponer su tiempo en ayudarnos, explicarnos y asesorarnos, con todo lo relacionado con el software utilizado en este proyecto, ya que sin él no hubiera sido posible el cumplimiento de los objetivos.

Finalmente agradecemos a nuestros profesores y compañeros que siempre nos apoyaron y creyeron en nosotros para la realización de las metas planteadas, por todos los aportes y comentarios realizados al momento de exponer nuestras ideas entre charlas informales.

Tabla de contenido

1	13
2	13
3	13
4	14
5	15
6	16
6.1	16
6.2	16
7	16
7.1	16
7.2	17
7.3	19
7.4	21
7.5	22
8	24
8.1	25
8.2	26
8.3	26
8.3.1	26
8.3.2	28
8.3.3	36
9	37
9.1	38
10	40
10.1	40
10.1.1	40
10.1.2	40

10.1.3	47
10.1.4	57
10.2	64
10.2.1	64
10.2.2	68
10.3	76
10.3.1	77
10.3.2	80
10.3.3	86
10.3.4	89
11	111
12	114
13	115
14	128
14.1	128
14.2	128
14.3	132
14.4	134
14.4.1	134
14.4.2	135

Listado de figuras

Figura 1. Ubicación empresa The Mob, Bogotá, Colombia	18
Figura 2. Síntesis de la metodología de matrices del rango de actuación	31
Figura 3. Fases del análisis del ciclo de vida (ACV)	38
Figura 4. Fases de investigación	39
Figura 5. Diagrama del ciclo de vida de la tela de algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)	44
Figura 6. Visualización de las unidades y categorías de impacto de metodología ReCiPE, presentadas por el software Simapro 9	58
Figura 7. Representación de la relación entre los enfoques midpoints y endpoints, y de sus categorías de impacto	59
Figura 8. Diagrama de red para la categoría de cambio climático, del ciclo de vida de la tela de algodón	61
Figura 9. Caracterización del ciclo de vida de la tela del algodón con enfoque de puntos intermedios	62
Figura 10. Normalización de la evaluación del ciclo de vida de 1000 kg de tela de algodón	63
Figura 11. Especificación por sustancia de la etapa del cultivo respecto a su contribución en la categoría de toxicidad de agua dulce	64
Figura 12. Diagrama del ciclo de vida de la tela de cáñamo (<i>Cannabis sativa</i>)	80
Figura 13. Caracterización del proceso de obtención de 1000 kg de tela de cáñamo, con un valor de corte del 7 %	87
Figura 14. Caracterización del ciclo de vida de la tela de Cáñamo con enfoque de puntos intermedios	88
Figura 15. Normalización del ciclo de vida de la tela de Cáñamo con enfoque de puntos intermedios	89
Figura 16. Caracterización de la comparación de los procesos de obtención de 1000 kg de tela de algodón y de Cáñamo	90
Figura 17. Análisis por sustancias de la categoría acidificación terrestre	93
Figura 18. Análisis por sustancias sistema tela de algodón categoría acidificación terrestre	94
Figura 19. Análisis por sustancias representativas de la categoría eutrofización de agua dulce	95
Figura 20. Análisis por sustancia categoría eutrofización de agua dulce sistema de algodón	96
Figura 21. Análisis de sustancias representativas cáñamo para la categoría de Eutrofización marina	97
Figura 22. Análisis por sustancia algodón categoría ecotoxicidad marina	98
Figura 23. Análisis por sustancias y categoría de impacto ecotoxicidad marina, producto tela de cáñamo	99
Figura 24. Análisis por sustancias y categoría de impacto ecotoxicidad marina, producto tela de algodón	100
Figura 25. Análisis por sustancias y categoría de impacto toxicidad humana carcinógena, producto tela de cáñamo	101
Figura 26. Análisis por sustancias y categoría de impacto toxicidad humana carcinógena, producto tela de algodón	101

Figura 27. Análisis por sustancias y categoría de impacto toxicidad humana no carcinógena, producto tela de cáñamo	102
Figura 28. Análisis por sustancias y categoría de impacto toxicidad humana no carcinógena, producto tela de algodón	103
Figura 29. Análisis por sustancias y categoría de impacto agotamiento de recurso minerales, producto tela de cáñamo	104
Figura 30. Análisis por sustancias y categoría de impacto agotamiento de recurso minerales, producto tela de algodón	105
Figura 31. Normalización de la comparación de los procesos de obtención de 1000 kg de tela de algodón y de cáñamo	106
Figura 32. Caracterización para análisis de sensibilidad con el método Ecoindicador 99	108
Figura 33. Normalización para análisis de sensibilidad con el método Ecoindicador 99	108

Listado de tablas

Tabla 1. Composición química en porcentaje de algunas fibras naturales	21
Tabla 2. Matriz del marco legal y normativo de la investigación	23
Tabla 3. Dimensiones, variables e indicadores por cada componente del objetivo específico 1	28
Tabla 4. Estructura de la matriz para consignar información bibliográfica de la primera fase de la evaluación de alternativas	29
Tabla 5. Matriz comparativa del análisis de cumplimiento de los resultados obligados.....	32
Tabla 6. Matriz información recolectada segunda fase	33
Tabla 7. Matriz de evaluación del cumplimiento deseable de las alternativas consideradas	35
Tabla 8. Dimensiones, variables e indicadores por cada componente del objetivo específico 2	36
Tabla 9. Variables, dimensiones e indicadores por cada componente del objetivo específico 3.....	37
Tabla 10. Matriz metodológica de la investigación	40
Tabla 11. Inventario subsistema de cultivo para la producción de 1000 kg de tela de algodón (Gossypium hirsutum)	49
Tabla 12. Inventario subsistema de transporte para la producción de 1000 kg de tela de algodón (Gossypium hirsutum)	51
Tabla 13. Inventario subsistema de extracción de fibra para la producción de 1000 kg de tela de algodón (Gossypium hirsutum)	51
Tabla 14. Inventario subsistema de producción de tela para la producción de 1000 kg de tela de algodón (Gossypium hirsutum)	52
Tabla 15. Bibliotecas seleccionadas en Simapro para la elaboración del ACV	54
Tabla 16. Matriz energética Perú – Colombia	55
Tabla 17. Procesos de Simapro 9 modificados	56
Tabla 18. Resultado de la matriz comparativa del análisis de cumplimiento de los resultados obligados	69

Tabla 19. Resultado matriz de evaluación del cumplimiento deseable de las alternativas consideradas	74
Tabla 20. Inventario subsistema de cultivo para la producción de 1000 kg de tela de cáñamo (Cannabis sativa)	81
Tabla 21. Inventario subsistema de transporte para la producción de 1000 Kg de tela de cáñamo (Cannabis sativa)	82
Tabla 22. Inventario subsistema de extracción de la fibra para la producción de 1000 Kg de tela de cáñamo (Cannabis sativa)	83
Tabla 23. Inventario subsistema de producción de tela para la producción de 1000 Kg de tela de cáñamo (Cannabis sativa)	84

Siglas y abreviaturas

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
ANDI	Asociación Nacional de Empresarios en Colombia
BR	Brasil
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CO	Colombia
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
EICV	Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación
GEA	Gestión Ambiental Empresarial
GEI	Gases Efecto Invernadero
GLO	Global
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
ISO	Organización Internacional de Normalización en español

MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
NMVOC	Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos
NTC	Norma Técnica Colombiana
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
PE	Perú
PIB	Producto interno Bruto
PML	Producción Más Limpia
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PYMES	Pequeñas y Medianas Empresas
SETAC	Sociedad de Toxicología Ambiental y Química en español
SINA	Sistema Nacional Ambiental de Colombia
UF	Unidad Funcional
VOC's	Compuestos Orgánicos Volátiles

1 Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo principal la evaluación de una alternativa de materia prima en el sector textil, del caso de estudio de la empresa The Mob, esto para contribuir a una Gestión Ambiental Empresarial. Para su cumplimiento, se procedió a realizar un Análisis de Ciclo de Vida del proceso de la elaboración de tela de algodón desde la fase del cultivo, pasando por diferentes procesos mecánicos, hasta la obtención del producto final. De esta manera, se evaluaron posteriormente once alternativas de materia prima vegetal, seleccionando la que cumplió con la mayor cantidad de criterios, para compararla con el algodón por medio del software SimaPro 9 y el método ReCiPe midpoint individualista, e identificar los impactos ambientales más contribuyentes. Como resultados principales, se obtuvo que el cáñamo (*Cannabis Sativa*) cumplió con todos los criterios frente a las demás alternativas y, por ende, la comparación entre este y el algodón, arrojó que la etapa del cultivo en los dos casos, genera una contribución en todas las categorías de impacto mayor al 60%, dada principalmente por el uso de fertilizantes nitrogenados y de maquinaria agrícola que utiliza combustible diésel. Así, las categorías de impacto más representativas fueron el agotamiento de recursos minerales y la acidificación terrestre. Respecto a esto, se observó una contribución del 100% por parte del algodón a 14 categorías de impacto, mientras que el cáñamo a 4, considerando la producción de tela de cáñamo menos impactante que el algodón y se recomienda su uso.

Palabras clave: *Materia prima vegetal, ACV, algodón.*

2 Abstract

The main objective of the present project is the evaluation of an alternative of vegetable raw material in the textile sector, from the case study of the company The Mob, this to contribute to a Business Environmental Management. For its compliance, a Life Cycle Analysis of the cotton fabric manufacturing process must be carried out from the cultivation phase, through different mechanical processes, until obtaining the final product. In this way, alternatives of vegetable raw material were subsequently evaluated once, selecting the one that met the highest number of criteria, to compare with cotton using the Simapro 9 software and the ReCiPe's individualistic midpoint method, and identify the most contributing environmental impacts. As main results, it was obtained that hemp (*Cannabis Sativa*) fulfilled all the criteria compared to the other alternatives and therefore, the comparison between this and cotton, showed that the cultivation stage in both cases generates a contribution in all impact categories more than 60%, mainly due to the use of nitrogen fertilizers and agricultural machinery that uses diesel fuel. Thus, the most representative impact categories were the depletion of mineral resources and land acidification. Regarding this, a 100% contribution by cotton will be seen to 14 impact categories, while hemp to 4, the production of hemp fabric will be considered less impactful than cotton and its use is recommended.

Keywords: *Vegetable raw material, LCA, cotton*

3 Introducción

La presente investigación se encuentra enmarcada en la microempresa The Mob, la cual ofrece productos textiles hechos con algodón de la especie *Gossypium Hirsutum*, la más utilizada en la industria y uno de los productos básicos en la economía de diferentes países. Sin embargo, su cultivo es considerado como uno de los más intensivos en la actualidad debido al uso de grandes cantidades de agua, pesticidas y fertilizantes, generando importantes impactos a la salud humana, a los ecosistemas y a la disponibilidad de recursos (Belalcázar, *et al*, 2018).

Por esta razón, el fin de este proyecto es evaluar una alternativa de materia prima vegetal en el sector textil, que genere una contribución menor a los impactos ambientales, para reemplazar el uso del algodón. Esto mediante un análisis de ciclo de vida, uno de los métodos más conocidos a la hora de evaluar las cargas ambientales de un producto o servicio. Además, aporta información para la toma de decisiones en cuanto a temas como ecoeficiencia, producción más limpia, gestión ambiental empresarial, entre otros. Este método toma más relevancia cuando es utilizado para un producto importante en un sector en particular, en este caso la tela en el sector textil.

Por otra parte, fue necesario evaluar y comparar distintas alternativas de materia prima vegetal con características óptimas y de esta manera, escoger la más adecuada en cuanto a criterios económicos y ecológicos, con el fin de comparar los procesos de obtención de tela del algodón y la especie seleccionada mediante la última fase del ACV (interpretación).

De esta forma, la recolección de información bibliográfica que suministra datos certeros acerca del proceso de elaboración de tela a base de algodón fue importante, debido a que esto específicamente era im, para la recolección de los datos de primer plano y, por ende, la construcción del Inventario de Ciclo de Vida identificando los flujos de materia y energía en cada proceso. Siguiendo con la tercera etapa del ACV, la Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida permite determinar los puntos críticos de los diferentes procesos, mediante la contribución de cargas ambientales a categorías de impacto establecidas por metodologías específicas. Finalmente, y con respecto a estos resultados, se realiza la interpretación del ciclo de vida, etapa en la que se hacen análisis, recomendaciones, conclusiones y en este caso, la comparación de las dos especies. Cabe resaltar que los estudios de análisis de ciclo de vida en Colombia frente a este sector en particular son muy limitados, generando algunas desventajas y limitaciones en la disponibilidad de los datos en el presente proyecto, cuya base es la información bibliográfica.

4 Planteamiento del problema

La industria textil es una de las principales actividades económicas a nivel mundial, el consumo per cápita en el año 2015 llegó a los 13,1 kg/hab/año y por esta razón, produce una gran cantidad de impactos, como son las emisiones atmosféricas que son conformadas en su mayoría por compuestos orgánicos volátiles (VOCs), y vertimientos generados por los subprocesos de lavado, blanqueo, teñido y estampado (Cordero, 2013).

Una de las materias primas más utilizadas en el proceso de la elaboración de textiles es el algodón, el cual representa aproximadamente el 40% de la producción mundial. Para producir 1 kg de tela se requieren 11.000 litros de agua, y en la fase del cultivo, se consumen el 24% de insecticidas y 11% de pesticidas existentes a nivel mundial, dejando como residuos una serie de efluentes tóxicos (Carrera, 2017).

En Colombia la industria textil es una de las más destacadas debido a su importante generación de empleo, su aporte a la economía nacional y su capacidad de reinventarse. El fortalecimiento en los últimos años le ha permitido consolidarse como una de las ramas de mayor participación dentro de la industria manufacturera alcanzando una participación del 3,6% según el DANE (Semana, 2019), e igualmente, representa el 19.5% del aparato productivo del país (Osorio, 2018).

En Colombia, según el DANE y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2002), la producción de algodón equivale a 12043 hectáreas y 27707 toneladas, es la materia prima vegetal más utilizada actualmente por sus propiedades, pero que genera impactos al ser un monocultivo y consumir grandes cantidades de agua por hectárea. Por lo tanto, la principal problemática en las empresas de confección o de venta de ropa, como el caso de la microempresa The Mob es la falta de conocimiento y de disponibilidad de textiles elaborados con otras materias primas, utilizando la más accesible y la más reconocida en el mercado.

5 Justificación

A partir de la época de los años noventa, en el mundo se empiezan a adoptar normas y estándares internacionales enfocados en la protección y prevención de la contaminación del ambiente. Se tienden a asumir conceptos de gestión ambiental como la Producción más limpia, el ecodiseño y la ecología industrial, debido a las grandes cantidades de dinero que las organizaciones invierten por el tratamiento de residuos al final del tubo (Granada, 2009). Por esta razón, para que las empresas mejoren e incorporen la gestión ambiental, es necesario el uso de herramientas para cumplir con su desempeño y, por ende, facilitar la implementación y visión de diferentes alternativas que reduzcan los impactos que se producen en la actualidad.

Evidenciando esto, una de las herramientas más utilizadas es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) debido a que se encarga de examinar y analizar los aspectos ambientales y los impactos potenciales de un producto o servicio (Sanes, 2012). Es una metodología utilizada a nivel mundial y se encuentra estandarizada mediante las guías de la serie ISO 14000. Fundamentalmente analiza un sistema y evalúa los impactos de los sistemas productivos, ayudando en la toma de decisiones a diferentes organizaciones (Cardona, Sánchez & Sánchez, 2007).

A pesar del enfoque económico del sector textil en la actualidad, cada vez se tienen más en cuenta los impactos ecológicos generados a través de sus procesos productivos durante todo el ciclo de vida, pero específicamente en las fases del cultivo y de la elaboración del textil (Carrera, 2017). De esta forma, la utilización del ACV ayuda en la investigación a identificar los impactos actuales del algodón en las fases críticas del proceso mencionadas anteriormente, para realizar una comparación con una materia prima vegetal sustentable. Esto, debido a que, para generar un cambio más influyente y fuerte, la materia prima o el inicio del ciclo de vida del producto es el punto importante, porque trae consigo cambios para las demás fases del sistema al ser una reacción en cadena, ofreciendo un producto eficaz en cuanto a sustentabilidad y ecología (Cobos, 2013). Aunque no se deduce con esto que el textil sea ecológico o sustentable debido al cambio de la fibra (Fletcher, 2008).

6 Objetivos

6.1 *Objetivo General*

Evaluar una alternativa de materia prima vegetal en el sector textil, caso estudio empresa The Mob para contribuir a una Gestión Ambiental Empresarial.

6.2 *Objetivos Específicos*

- Realizar un diagnóstico del algodón como materia prima en el sector textil en las etapas del cultivo y de la producción de tela.
- Efectuar un análisis comparativo entre diferentes materias primas vegetales.
- Identificar la materia prima con menor carga ambiental, mediante una comparación entre el algodón y la especie seleccionada.

7 Marco de referencia

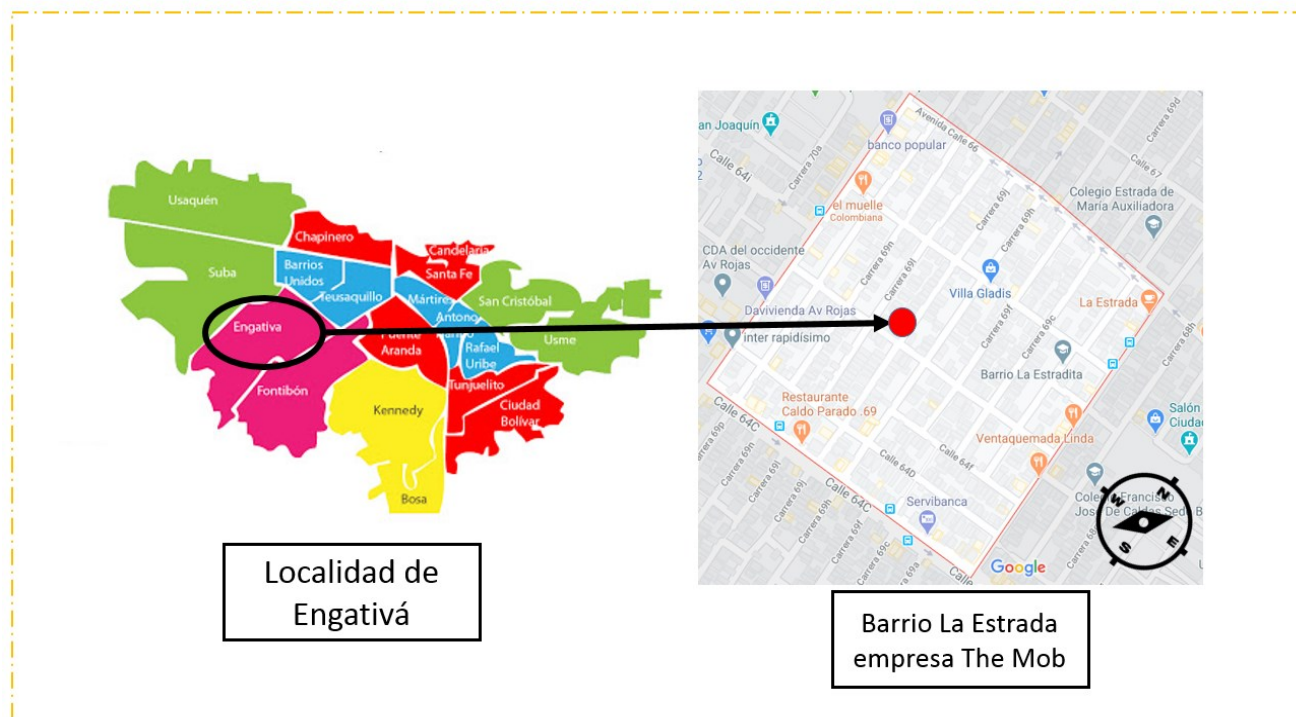
7.1 *Marco geográfico*

The Mob es una microempresa que se encuentra registrada en la cámara de comercio y se enmarca en las empresas PyMES, debido a que es una organización que no tiene incidencia significativa en el mercado (no vende grandes volúmenes) y cuyas actividades no requieren grandes sumas de capital (en cambio, predomina la mano de obra). Genera sus ventas a través de medios virtuales, trabaja con productos textiles como camisetas, buzos y gorras elaborados con algodón tradicional (*Gossypium Hirsutum*), y los obtiene por medio de terceros que se encargan del proceso de elaboración de la ropa.

La microempresa se encarga de diseñar y estampar los productos textiles debido a que cuenta con la maquinaria para hacerlo. Como distribución, se contrata una empresa externa que entrega los productos a domicilio o si es el caso, realiza envíos a todo el país. Por otra parte, la misión principal de The Mob es brindar a los clientes un producto de calidad y exclusividad, algo diferente a lo que se ve en cualquier parte, enfocándose en ofrecer el mejor servicio a la hora de realizar una venta.

La empresa The Mob se encuentra ubicada en el barrio La Estrada en el noroccidente de la ciudad de Bogotá específicamente en la localidad de Engativá (calle 70 no 69i-18). Engativá es la localidad número 10 de Bogotá, limita al norte con el río Juan Amarillo el cual separa a la localidad de Suba, al oriente limita con las localidades de Barrios Unidos y Teusaquillo, al sur con Fontibón y hacia el occidente con el río Bogotá y municipio de Cota. Tiene una extensión total de 3.612 hectáreas lo cual corresponde a 4,18% del área del distrito capital, de estas hectáreas 671 ha corresponden a suelo protegido. Además, esta localidad presenta un territorio con buena presencia de sistema hidrológico que está compuesto por los ríos Salitre Juan Amarillo y el río Bogotá. Por otra parte, también cuenta con tres humedales el Jaboque, Santa María y Juan Amarillo (Secretaría Distrital de Planeación, 2009).

Figura 1. Ubicación empresa The Mob, Bogotá, Colombia.



Fuente. Google Maps (2020) & Tierra Colombiana.org, 2016.

7.2 Antecedentes y Estado del arte

Algunos de los estudios más relevantes respecto al tema, se dan a nivel internacional, en países aledaños como **Ecuador**, en el que se encuentra una gran cantidad de estudios de fibras naturales o de alternativas para reemplazar las más comunes como el caso del algodón (*Gossypium Hirsutum*) y la aplicación en el sector textil. Como es el caso del artículo “Registro y documentación de fibras sustentables” (Cobos, 2013), “Reutilización de remanentes textiles: modelo de gestión para la ciudad de Cuenca” (Cordero, 2013), y en México “Fibras Textiles Naturales Sustentables y Nuevos Hábitos de Consumo” (Marín & González, 2013). De igual forma, para la identificación de los requisitos de calidad de una fibra textil con respecto a sus características físicas y químicas, son relevantes trabajos como el “Manual control de calidad en productos textiles y afines” (Alonso, 2015) en el que se determinan la longitud, finura, porcentaje de celulosa y lignina como las principales.

Para la realización del ACV se encuentran artículos de la biblioteca de la Universidad El Bosque en los que se han realizado estudios de otros procesos productivos, pero que sirven como guía metodológica del proyecto como es el caso de “Análisis de Ciclo de Vida de la elaboración del queso tipo cuajada en una finca ganadera del municipio de Puerto López, Meta como herramienta de gestión ambiental de la empresa” (Pinzón, 2018), “Análisis de ciclo de vida en la producción de bocadillo como herramienta de la gestión ambiental empresarial: Estudio de caso para tres PYMES de la asociación Guajava, en el núcleo de desarrollo provincial de Vélez Santander” (Hernández & Duque, 2014), y otros de autores (Marín, 2017).

De esta forma, la idea que da pie a la investigación se da porque uno de los integrantes del grupo investigativo es dueño de la empresa The Mob, quiere incentivar la implementación de alternativas sostenibles para reemplazar el uso del algodón (*Gossypium Hirsutum*), y así conocer los beneficios ecológicos y económicos a nivel de impactos ambientales y el valor agregado que puede llegar a tener la empresa.

Para realizar este apartado del estado del arte, se realiza un **filtro con las temáticas más importantes** para el proyecto. Como es el caso de la investigación la cual está orientada bajo el contexto de la industria textil y de las fibras textiles vegetales se implementó la búsqueda de los estudios que se han realizado al respecto, buscando las metodologías basadas en la implementación del análisis de ciclo de vida en el proceso de creación de tela de algodón de manera regional y global, por otra parte también se destinaron filtros para la búsqueda de las materias primas vegetales más óptimas para reemplazar el uso del algodón en esta industria.

En un contexto latinoamericano en el país de **Ecuador** se generó una investigación encaminada por Guerra (2011) “*Optimización de un método químico para la extracción de la fibra de formio (phormium tenax)*” en donde se establecen criterios de algunas especies vegetales (algodón, cáñamo, lino, abacá, yute, formio, coco) que son óptimas para ser utilizadas como fibras textiles, se realiza una comparación entre diferentes especies evaluando sus composiciones de celulosa, hemicelulosa, lignina, entre otros. Lo cual determina cuáles especies tienen mejores composiciones que otras, por lo tanto, con esto se puede concluir cuales sirven más para fibras textiles en la creación de tela o cuales pueden funcionar para la fabricación de otros materiales textiles como cuerdas.

En este mismo país también se identifica una investigación generada por Cobos (2013) “*Registro y documentación fibras sustentables. Visión local y global.*” En la cual se establecen las fortalezas de diferentes materias primas sostenibles (las que tengan mayor demanda) para reemplazar posiblemente una parte de la producción de las convencionales (algodón, lino, lana y poliéster). También se identifican los impactos que causa cada una de las fibras, sus propiedades físicas y químicas. Para finalmente identificar y plantear opciones alternas en los que los impactos a nivel social, económico y ecológicos sean menores en comparación a la fibra principalmente utilizada. De igual forma, se determinan las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas de su implementación en la industria textil ecuatoriana, como el planteamiento de estrategias claves para la potenciación del sector.

Por otra parte, en un contexto internacional en el país de **África** se realizó una investigación encaminada por la PE INTERNATIONAL AG (2014) “*Cotton made in África*” en el cual el objetivo principal de este estudio fue crear un análisis de ciclo de vida para el producto de algodón desmotado, esto desde la fase de cultivo hasta el proceso de desmotado, estableciendo como unidad funcional 1000 kg de algodón desmotado, todo para llegar a un fin de evaluar los impactos ambientales que se generan en todo el procedimiento de la cuna a la puerta, esto mediante la evaluación del análisis del ciclo de vida. Este procedimiento se realizó utilizando el software GaBi y mediante la metodología CML 2001 para establecer las categorías de impactos (Cambio climático, eutrofización, acidificación, uso del agua) y así efectuar la evaluación de impactos del ACV. En cuanto a los resultados arrojados por la investigación, la categoría de impacto que más representó afectación fue la eutrofización, esto debido a que durante la fase de cultivo se genera en gran porcentaje la erosión del suelo por la gran cantidad de fertilizantes, pesticidas y herbicidas utilizados durante esta fase.

A nivel **nacional** específicamente en la ciudad de Bogotá D.C en el estudio “*Minimización de impactos a través de la optimización del ciclo de vida de la tela de algodón*” de Belalcázar *et al.* (2018), el objetivo de este es identificar los impactos generados durante todo el proceso productivo de la tela de algodón mediante el uso del análisis de ciclo de vida (ACV) como herramienta metodológica. Para llevar a cabo esta investigación de la cuna a la puerta se hizo uso del software Umberto NTX LCA, además se utilizó el método ReCiPe el cual permite evaluar las categorías de impacto daño a la salud humana, daño a los ecosistemas y daño a la disponibilidad de recursos. Para el análisis se escogió como unidad funcional 1000 kg de tela de algodón.

Como resultados se obtuvo que la categoría más impactada por este procedimiento fue la categoría de recursos, por la mayor influencia de usos de combustibles fósiles, además también se establece que en la fase de cultivo también se generan grandes impactos por la cantidad de fertilizantes, herbicidas y pesticidas que son necesarios para llevar este procedimiento a cabo. Con los impactos significativos se plantea la implementación de mejoras en la producción de tela de algodón teniendo en cuenta el agua y la energía como los insumos críticos por tener alta demanda en diferentes fases productivas, algunas de estas mejoras son el riego por goteo y la implementación de maquinaria que consume 10% menos de energía que la actual.

De esta manera, estos artículos aportan de manera significativa al proyecto debido a que se pueden evidenciar los impactos efectuados en el proceso productivo del algodón mediante un análisis de ciclo de vida como es evidenciado en las investigaciones anteriormente mencionadas. También se analizan cuáles materias primas vegetales pueden reemplazar las convencionales en la industria textil como lo es el caso del algodón. Por lo tanto, es de gran apoyo evidenciar las metodologías implementadas en los diferentes artículos y los resultados obtenidos.

7.3 Marco teórico

Existen diferentes teorías haciendo referencia al tema expuesto, primero dentro del campo de la industria textil existen varias fibras que son comerciales como el algodón, el lino o el abacá, estas son abundantemente aprovechadas. Pero también existen fibras provenientes de fuentes vegetales como es el caso del cáñamo, lino o el formio (*Phormium tenax*) que en la actualidad algunas de estas no son aprovechadas de manera eficaz, principalmente por el alcance que han tenido las fibras convencionales y el dominio desde años anteriores de materias como el algodón (Guerra, 2011). De esta forma, y para solucionar esta problemática, se debe realizar una **Gestión Ambiental Empresarial**, la cual tiene el propósito de fomentar un uso eficiente de todos los recursos (energía, agua, materias primas, insumos y equipos en general), lo cual se refleja en una operación limpia y así mismo unos productos y/o servicios que generen menos impactos al ambiente. También se puede contribuir a esta gestión ambiental empresarial, mediante el uso de herramientas como lo es el análisis de ciclo de vida (ACV) la cual puede evaluar los impactos generados en el proceso productivo de un producto o servicio, y de esta forma, realizar un análisis para contribuir en la toma de decisiones o identificación de alternativas en una organización. (Universidad Autónoma de Occidente, 2014).

Por otra parte, es necesario hacer énfasis en la **producción más limpia**, según Montoya *et al.* (2007) en su documento oportunidades de producción más limpia en tintorerías del sector textil, recalca que la implementación de prácticas de producción más limpia se refleja en la reducción de los costos operativos,

la protección de la salud humana y la calidad del ambiente, mejorando la imagen de la compañía y cumplimiento con los requisitos legales.

Además, cabe recalcar que la producción más limpia es una herramienta eficaz dentro de las grandes, medianas y pequeñas empresas, ya que brinda un servicio de optimización en los procesos, con una visión de ahorro e ingresos para la empresa. De igual forma, se dice que la industria textil representa un gran nicho de oportunidades para la producción más limpia en cada uno de sus procesos, ya que se presentan experiencias exitosas a nivel mundial y nacional de empresas que han inculcado o implementado producción más limpia, mostrando los beneficios cuantitativos y ambientales, en muchos casos se identificaron prácticas para mejorar el desempeño de recursos, promover el ahorro de agua y energía y realizar un buen manejo de los residuos producidos en dicha industria (Morillo, 2012).

Por último, entrando en la temática de las **fibras textiles** biodegradables como es el caso de las fibras de origen vegetal, las cuales son una gran alternativa para reemplazar el algodón en la industria textil, debido a que no necesitan tanta demanda química como lo necesita el algodón. Entrando más a fondo en el tema las fibras de origen vegetal, se encuentran conformadas principalmente por celulosa, hemicelulosa, lignina, entre otros, estos compuestos pueden variar de diferentes maneras, dependiendo del tipo y origen de la fibra, como se evidencia en la siguiente tabla (Guerra, 2011).

Tabla 1. Composición química en porcentaje de algunas fibras naturales.

Fibra	Celulosa %	Lignina %	Hemicelulosa %	Pectinas %	Humedad %
Algodón	92,9	--	2,6	2,6	7,8 - 8,5
Lino	71,2	2,2	18,6 - 20,6	2,3	8,0 - 12,0
Cáñamo	70,0 - 74,9	3,7 - 5,7	17,9 - 22,4	0,9	6,2 - 12,0
Yute	61,0 - 71,5	8,1 - 13,0	13,6 - 20,4	0,2	12,5 - 13,7
Ramio	68,6 - 76,2	0,6 - 0,7	13,1 - 16,7	1,9	7,5 - 17
Abacá	63,0 - 70,1	5,7 - 6,0	20,0 - 21,8	0,6 - 1,0	5,0 - 10,0
Coco	32,0 - 43,0	40,0 - 45,0	0,2 - 0,3	3,0 - 4,0	8,0
Banano	63,64	5,0	19,0	--	10,0 - 11,0

Fuente. Guerra, 2011

Las fibras naturales están conformadas por microfibrillas de celulosa impregnadas en una matriz de lignina y hemicelulosa, al mismo tiempo estas microfibrillas están unidas entre sí por puentes de hidrógeno, lignina y pectina, por lo tanto, es factible predecir el comportamiento de cualquier fibra con solo saber la cantidad de cada componente dentro de esta, además estas fibras también poseen características físicas las cuales se distinguen por tener una gran longitud en comparación con su sección

transversal, se establece que entre mayor sea su longitud y menor su diámetro más fina será la fibra textil (Guerra, 2011).

Estas fibras naturales han desempeñado un papel muy importante en la sociedad desde el origen de la civilización ya que estas son las fuentes de hilos, tejidos, y no tejidos utilizados en la industria textil. Además, debido a la creciente tendencia mundial que involucra la elaboración de productos amigables con el ambiente, estas fibras naturales tienen un impulso en la estimulación de sus cultivos, transformación, uso y comercialización, todo debido a sus características peculiares de productividad (Guerra, 2011).

A diferencia de las fibras naturales que producen los agricultores, se encuentran las fibras sintéticas, estas se producen en masa y es por esto que durante la última mitad de siglo, este tipo de fibras han alcanzado un gran auge, debido principalmente a los costos más bajos, resistencias más altas, longitudes y colores uniformes, esto afecta directamente a la gente que depende de la producción y procesamiento de las fibras naturales y a la misma vez trae consigo afectaciones ecológicas ya que los productos realizados con estas fibras sintéticas se demoran un periodo muy largo en descomponerse (hasta 5 años). Es por esto, que es importante enfatizar nuevas alternativas como lo son las fibras naturales ya que el consumo de energía es menor y existen menos emisiones de dióxido de carbono y no contaminan por ser 100% biodegradable (López, 2012).

7.4 Marco conceptual

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados del proyecto, se tienen en cuenta conceptos importantes como lo es el caso de la **gestión**, la cual hace referencia según Díaz & Granados (2017), a “la aplicación secuencial del proceso administrativo, planear, organizar, dirigir, y controlar en cada una de las áreas funcionales de una empresa que son mercadeo, producción y logística, financiera y contable y de gestión humana”.

Con base a esto nace el concepto **gestión ambiental**, que se define según Benavides (2011), como “la estrategia a través de la cual se organizan las actividades antrópicas que afectan el ambiente con el objetivo de lograr una adecuada calidad de vida”. Con respecto a lo anterior, existen diferentes herramientas que pueden ser óptimas para implementar una gestión ambiental como lo es el caso del **ciclo de vida** que según la NTC ISO 14040 del 2007, “son etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final”.

De ahí se deriva la herramienta **análisis de ciclo de vida (ACV)** según la NTC ISO 14040 del 2007 “es la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida”, este se deriva de varias fases como lo son fase de definición del objetivo y alcance, fase del análisis del inventario, fase de evaluación del impacto ambiental y la fase de interpretación. En adición a esto, el ACV se compone del **análisis del inventario de ciclo de vida (ICV)** según la NTC ISO 14040 del 2007 “es la fase del análisis del ciclo de vida que implica la recopilación y la cuantificación de entradas y salidas para un sistema del producto a través de su ciclo de vida.”

Estos análisis siempre van enfocados a procesos de los cuales muchas veces necesitan **materias primas** para su debido desarrollo, estas se comprenden como aquellos recursos naturales (extraídos de la

naturaleza) pueden ser de origen vegetal, animal, mineral o fósil, de los cuales obtenemos los materiales que empleamos para construir los productos que serán consumidos o comprados posteriormente (Blasco, 2010). Una subclase son las **materias primas de origen vegetal**, que según Paucar (2015) son las que “están basadas químicamente en el carbono y el hidrógeno, como el conjunto de los seres vivos, proceden de las actividades agrarias (agricultura, ganadería y silvicultura) y de la pesca”. Siguiendo en este contexto, las **fibras naturales** pueden ser tomadas como materia prima de origen vegetal si se les da un uso en un proceso. Se definen según Guerra (2011), como “aquellas sustancias muy alargadas producidas por plantas y animales, que no son sometidas más que a procesos simples de acondicionamiento, y que se pueden hilar para obtener hebras, hilos o cordelería”, más específicamente, se encuentran como subclase las **fibras naturales vegetales** las cuales son las que se extraen de las diversas partes de una planta. Entre estas se encuentran las que se extraen de la velloidad de algunas semillas, como el caso del algodón, de los tallos como en el caso del lino o del cáñamo, también de fibras de follajes como el sisal o el Formio y fibras de cáscara como el coco (Guerra, 2011).

Muchas veces dependiendo de sus características, también pueden ser llamadas como **fibra textil** que se define como aquella materia susceptible de ser hilada, es decir, que tras ser sometida a procesos físicos y/o químicos, se obtienen hilos y de estos, los tejidos. Las propiedades que determinan si una fibra es hilable, son: su flexibilidad, su resistencia, su elasticidad, y en especial su finura (diámetro) en relación a su longitud (Villegas & González, 2013). De esta forma, una de las fibras naturales más utilizadas a nivel mundial son las del **algodón** convencional, también conocido como algodón Upland de la especie *Gossypium Hirsutum*. La cual, empezó a tener una repercusión económica en Colombia hasta la actualidad (Burbano; et al, 2018).

7.5 Marco legal-normativo

El sector textil en Colombia es una industria fundamental en la economía, debido a que su crecimiento en los últimos años representa más del 3% del PIB, (Espinell, Aparicio & Mora, 2018) es por esto que tiene un gran potencial en el mercado internacional y debe cumplir con una serie de leyes o normativas. De igual forma, para garantizar a las diferentes organizaciones su productividad en el mercado, se deben tener en cuenta el ciclo de vida, la calidad de los productos o servicios y con esto, el nivel de satisfacción de los clientes y sus requerimientos. De esta manera, contar con certificaciones de calidad tales como la NTC ISO 9001, o la serie de la NTC ISO 14000 que genera valor agregado con respecto a la gestión ambiental en una organización (Giraldo, 2014).

Para la construcción del marco legal y normativo, se tienen en cuenta las temáticas de pequeñas y medianas empresas, consumo y producción sostenible, industria textil y fibras textiles. Así en la siguiente tabla se presentan normas, leyes, planes, documentos CONPES, políticas y decretos que aportan, contextualizan y hacen parte de la investigación.

Tabla 2. *Matriz del marco legal y normativo de la investigación.*

Ley, normativa	Organismo emisor	Definición	Aporte al proyecto
Ley 99 de 1993	Congreso de Colombia	Se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA.	Para identificar las diferentes determinaciones o estudios que el Ministerio de Ambiente ha realizado con respecto a la gestión de los recursos.
Ley 905 de 2004	Congreso de la República	Promoción del desarrollo de micro, pequeña y mediana empresa colombiana.	Para la identificación de la definición y clasificación de la microempresa, que presenta el Sistema Nacional de MIPYMES y mediante la cual fue creado.
Decreto 1076 de 2015	Presidente de la República de Colombia	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en Colombia. abarca regulaciones sobre ordenamiento territorial, vertimientos, emisiones, licenciamiento, incentivos, conservación de los recursos naturales en predios rurales, entre muchos otros temas de importancia ambiental.	Identificación de mínimos permisibles y de la legislación para el sector productivo textil.
NTC 5220 de 2003	ICONTEC	Definiciones y clasificación de fibras textiles naturales y manufacturadas.	Para identificar el tipo de fibra (natural/manufacturada) bajo una norma técnica y según las determinaciones específicas.
NTC 14040 de 2007	ISO ICONTEC	Trata en términos de gestión ambiental, el Análisis de Ciclo de vida, sus principios y el marco de referencia.	La identificación de las 4 fases del análisis de ciclo de vida y todo lo que contiene.
NTC 14044 de 2007	ISO ICONTEC	En términos de gestión ambiental, trata el Análisis de Ciclo de Vida, los requisitos para elaborarlo, y sus respectivas directrices.	Guía de elaboración del ACV y las directrices que identifican cada una de sus fases y todo lo que debe contener cada una de estas.
NTC 5637 del 2008	ICONTEC	Criterios ambientales para artesanías, manualidades, hilos, telas, y otros productos del diseño, elaborados en fibras de fique con tecnología artesanal.	Guías para identificar los criterios que deben tener los hilos o cualquier producto realizado con fique o cualquier fibra parecida.
Política Nacional de	Ministerio de Ambiente y	Prevenir y minimizar los impactos y riesgos a los seres humanos y al	Identificar que la Producción Más Limpia es importante en un sistema

Ley, normativa	Organismo emisor	Definición	Aporte al proyecto
Producción Más Limpia 1997	Desarrollo Sostenible	ambiente, garantizando su protección, el crecimiento económico, el bienestar social y la competitividad empresarial a partir de la introducción de la dimensión ambiental en los sectores productivos, como un desafío a largo plazo.	productivo y conlleva a beneficios en una organización.
Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, 2010.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Su principal objetivo es desarrollar e implementar estrategias de formación, investigación, gestión y proyección social en producción y consumo sostenible en instituciones de Educación Superior.	Mediante la cual se sustenta el desarrollo e incentivo de estrategias de producción y consumo sostenibles como es el caso de la tela.
CONPES 3700 de 2011	DNP	Estrategia Institucional para la articulación institucional de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia, como su objetivo es facilitar y fomentar la formulación e implementación de las políticas, planes, programas, incentivos, proyectos y metodologías en materia de cambio climático, logrando la inclusión de las variables climáticas como determinantes para el diseño y planificación de los proyectos de desarrollo.	Identificación de estrategias para la sostenibilidad en Colombia.
Plan Nacional de Negocios Verdes 2014	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Define los lineamientos y proporciona herramientas para la planificación y toma de decisiones que permitan el desarrollo, el fomento y la promoción tanto de la oferta como de la demanda de los Negocios Verdes y Sostenibles en el país.	Da la definición y las características de un negocio verde.

Fuente. *Elaboración propia, 2020.*

8 Metodología

La metodología planteada para el proyecto es realizada a partir de diferentes conceptos e investigaciones, dando ideas teóricas, para determinar los pasos necesarios para la ejecución de las actividades y por lo tanto, el cumplimiento de cada uno de los objetivos. De esta forma, a continuación, se evidencian los componentes de la metodología utilizados en la investigación.

8.1 Enfoque, alcance y método de la investigación

La investigación tiene enfoque **mixto** (es decir cuantitativo y cualitativo), en donde el cualitativo representa un conjunto de procesos. Este último, según Sampieri *et al* (2013) se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), estos estudios pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos.

Por otra parte, el enfoque cuantitativo es caracterizado por analizar la realidad desde una visión objetiva, este es secuencial y probatorio, y además parte de una idea que se va simplificando y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se miden variables en un contexto determinado y por último se analizan las mediciones obtenidas (Sampieri *et al.*, 2013).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, esta investigación tiene un enfoque mixto, debido a que es necesaria la implementación de procesos para cumplir con los objetivos planteados del proyecto, los cuales deben ser rigurosos y bien estructurados. Un ejemplo claro de esto, es el análisis de ciclo de vida del algodón debido a que, para desarrollar este procedimiento, es necesario implementar fases o procesos descritos en las normas que se usaron como herramientas para el desarrollo del mismo. Además, cabe recalcar que el proyecto puede generar hipótesis a medida que va avanzando y buscando información. De esta manera, y teniendo en cuenta los objetivos planteados en el proyecto, es bueno aclarar que en algunas fases del proyecto se utilizan herramientas las cuales arrojan directamente datos cuantitativos. Por lo tanto, se genera en gran medida el análisis de datos obtenidos, en este caso la cuantificación del análisis de ciclo de vida (ACV).

Por otra parte, el alcance del proyecto es **correlacional** que según Sampieri, Zapata & Mendoza (2013), tiene como característica la asociación de conceptos o variables y la cuantificación de relaciones entre diferentes conceptos y variables. Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables. Para evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, en los estudios correlacionales primero se mide cada una de éstas, y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones. Tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba. (Sampieri *et al*, 2013)

Con lo mencionado anteriormente, es claro que el proyecto tiene un alcance correlacional debido a que presenta variables que tienen que ser relacionadas. Por ejemplo, la afectación que genera la implementación de la alternativa planteada en la industria textil, relacionada con los impactos ambientales que genera su uso. También se tendrá en cuenta la parte económica, la disponibilidad de la fibra y ciclo de vida de ésta.

Por último, el método de la investigación que se utiliza para el desarrollo de este proyecto es **analítico deductivo**, donde se entiende por método deductivo como el método en el cual los investigadores parten de proposiciones generales o más universales para llegar a una afirmación particular (Sampieri *et al*, 2013). De esta forma, el método analítico consiste en la separación de sus elementos para observar su naturaleza, relaciones, particularidades, etc. Es la observación minuciosa de un hecho en particular. Este

conlleva al análisis de matrices de alternativas, que se diseñan mediante referencias bibliográficas, la naturaleza de cada materia prima, relaciones y particularidades, para concluir o determinar la mejor alternativa según los parámetros o las variables que se evalúan (Abril, 2007).

8.2 Unidad de análisis

Las Unidades de Análisis (U.A) son los elementos sobre los que se focaliza el estudio (Universidad de las Américas Puebla, 2018). De esta forma, para determinar la U.A es necesario tener en cuenta el objetivo general que deriva a la finalidad del proyecto, que en este caso es la materia prima seleccionada a evaluar tomada como alternativa sostenible. Esto, debido a que toda la investigación conlleva a la identificación y conclusión de lo que propone esta temática.

8.3 Diseño metodológico

El proyecto de investigación tiene un diseño **no experimental**, debido a que no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente por el investigador. Por otro lado, en la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, debido a que ya sucedieron, al igual que sus efectos. (Sampieri et al, 2013)

8.3.1 Objetivo específico 1

Teniendo en cuenta el objetivo número uno “realizar un diagnóstico del algodón como materia prima en el sector textil en las etapas de cultivo y de producción de la tela” se pretende realizar las tres primeras fases del análisis de ciclo de vida a la tela de algodón en el sector textil. Para esto, se usa la metodología de la NTC ISO 14040 y 14044 como base para el desarrollo de estas fases del ACV para así determinar los impactos que genera el proceso de creación de tela a base de algodón (*Gossypium hirsutum*) en el sector textil.

Cabe recalcar que se realizará un ACV de tipo **conceptual**, que según Tumminello & Ghezze (2018) “se utiliza cuando se pretende identificar qué acciones son clave para reducir el impacto ambiental del ciclo de vida de un producto. La principal característica es que en este tipo de análisis de ciclo de vida se utilizan datos ya disponibles en bases de datos o datos que son encontrados en estudios similares al que se está llevando a cabo, además en cuanto a los resultados, se identifican los datos críticos sobre los que se necesita mejorar. Por lo tanto, este ACV permite centrar el análisis en los aspectos que son realmente importantes del ciclo de vida”.

De esta forma, para el cumplimiento del primer objetivo específico se utilizan las tres primeras fases del ACV establecidas en la norma NTC ISO 14040 y 14044 las cuales son:

La definición del objetivo y alcance: en esta fase se presentan los motivos por los cuales se realiza el análisis, también se explica para que se van a usar los resultados obtenidos y a quien van dirigidos estos. En esta fase es necesario definir cuáles son los procesos que forman parte del ciclo de vida del producto que se analizará., así mismo especificar los límites de estos procesos. Por otra parte, el alcance debe estar

claramente definido para garantizar la amplitud, la profundidad y el detalle del estudio lo cual es compatible con el objetivo final establecido (Tumminello & Ghezze, 2018).

El Análisis del Inventario de Ciclo de Vida: esta fase se encarga de la recopilación de los flujos de entrada (energía, recursos naturales o materiales) y las debidas salidas (emisiones al agua, suelo y aire) que forman parte del proceso para llegar al producto final. Además, en esta fase se incluye una recolección de datos que permitan cuantificar el nivel de interacción que tiene el producto con el medio ambiente (Tumminello & Ghezze, 2018).

Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida: En esta etapa se evalúan los impactos potenciales que pueden ser directos o indirectos causados por los flujos de entrada y salida. Este es un proceso cuantitativo y/o cualitativo en donde se evalúan los impactos y las debidas consecuencias ambientales que se pueden causar durante el ciclo de vida de un producto. Se tiene como objetivo principal de esta fase es evaluar los impactos ambientales potenciales causados por los proceso, productos o actividades que se analizan, esto utilizando la información recopilada durante la fase de inventario (Tumminello & Ghezze, 2018). En adición a lo anterior, cada impacto ambiental está asociado con uno o más efectos ambientales y las personas encargadas del estudio son las encargadas de elegir el nivel de detalle y los impactos que hay que evaluar de acuerdo con los objetivos y el alcance planteados en la primera fase (Tumminello & Ghezze, 2018).

Por último, para realizar la evaluación de impacto es necesario la implementación de alguna metodología (CML 2001, ReCiPe, USEtox, entre otras) las cuales proporcionan diversas categorías de impacto que son recogidas en esta fase del ACV, algunas de ellas pueden ser: cambio climático (KgCO_2eq), acidificación (kgSO_2eq), eutrofización ($\text{kg PO}_4\text{3eq}$), formación de ozono (Kg CFC 11 eq), niebla fotoquímica (NMVOC), consumo de agua (L), consumo de recursos renovables y no renovables (Kg) y consumo de recursos energéticos renovables y no renovables (Mj) (Tumminello & Ghezze, 2018).

Cabe recalcar que para el desarrollo del ACV se hará uso de un software especializado en esto llamado **SimaPro 9**, este proporciona guías que facilitan su uso y además incorpora bases de datos que son útiles para el desarrollo de la fase número dos del ACV (inventario de ciclo de vida), el cual es uno de los más complejos ya que en este es necesaria información relevante sobre el proceso a estudiar, por lo tanto como ya mencionado el software posee bases de datos como lo son Ecoinvent 3, ELCD, Agri-footprint, Industry data 2.0, USLCI, entre otras. Por otra parte, también es relevante en este software la facilidad de evaluar los impactos ambientales del proceso a estudiar ya que en este se incluyen también varias metodologías con sus respectivas categorías de impacto, incluso permite evidenciar los resultados de manera gráfica para tener una mejor comprensión de estos.

Por otra parte, las variables e indicadores que se tendrán en cuenta dependen del inventario del análisis de ciclo de vida (ICV) de la tela de algodón, lo cual se puede evidenciar en la siguiente tabla.

Tabla 3. Dimensiones, variables e indicadores por cada componente del objetivo específico 1.

Temática	Variable	Dimensión	Indicador
Ecológica	Agua	Consumo de agua	m^3/ha
	Agroquímicos (herbicidas y pesticidas)	Cantidad utilizada	Kg/ha o l/ha
	Combustible	Consumo	Galones/mes
	Energía	Consumo de energía	MJ/ha
	Aire	Emisiones	CO_2
Económica	Costo de Operación	Ahorro económico	Pesos Colombianos (COP)
	Insumos	semillas de algodón	Cantidad de semillas necesarias para producción
		Abonos	Unidades de fertilizante (UF)
		Fertilizantes	UF/ha

Fuente. Elaboración propia, 2019.

8.3.2 Objetivo específico 2

Para darle cumplimiento al objetivo específico dos, se diseñó una matriz para consignar la información que se obtiene mediante diferentes fuentes bibliográficas, con el fin de obtener resultados más acertados y de mayor validez de los datos. La cual contiene once especies, que son las fibras textiles de mayor relevancia y se evidencia a continuación.

Tabla 4. Estructura de la matriz para consignar información bibliográfica de la primera fase de la evaluación de alternativas.

Materia prima sector textil	Celulosa (%)	Lignina (%)	Longitud promedio (mm)	Altitud promedio para su desarrollo (msnm)	Diámetro (micras)	Presencia en Colombia
Alternativa vegetal	Información bibliográfica recolectada					

Fuente. *Elaboración propia, 2020*

Las variables evidenciadas en la matriz, se tuvieron en cuenta con el fin de establecer las mejores alternativas a nivel de calidad de la fibra respecto a sus características físicas, químicas y al igual que su disponibilidad en el país. De esta forma, se argumenta la importancia de las variables como se evidencia a continuación:

% Celulosa y Lignina:

- La composición química específicamente de celulosa y lignina juega un papel importante, debido a que otorga buenas propiedades mecánicas a las fibras naturales. La cantidad de celulosa determina la resistencia mecánica de la fibra, mientras que la lignina protege la fibra del ambiente principalmente del agua. (Guerra, 2011)
- Para el caso específico de la Lignina, se evidencia que es un componente que brinda rigidez a la fibra textil, lo que hace que la flexibilidad sea menor. Por lo tanto, para el proceso de extracción de las fibras textiles la presencia de lignina hace que el proceso sea más complejo al tener que removerla. (Lockuán, 2013)

Longitud (mm) y finura (micras):

- Se puede determinar que la longitud de la fibra vegetal está en relación inversa con la finura. Es decir, la calidad de la fibra es determinada en gran parte por poseer una mayor longitud a comparación de la finura. (Lockuán, 2013)
- En algunos parámetros de la calidad de la fibra se presenta que lo ideal es que tengan mayor longitud que diámetro. (Alonso, 2015)
- Según Marín & González (2013) “las propiedades que determinan si una fibra es hilable, son: su flexibilidad, su resistencia, su elasticidad y en especial su finura (diámetro) en relación con su longitud”.

Altitud para su desarrollo:

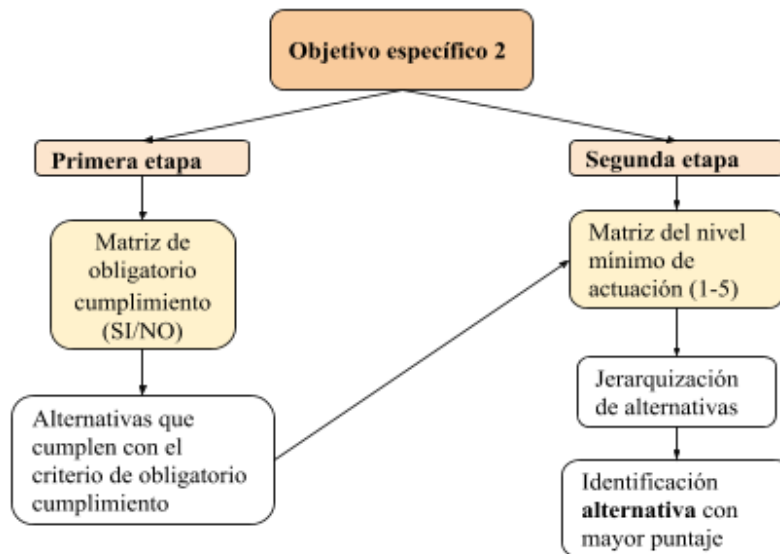
Para determinar las condiciones de desarrollo de la planta, la altitud es un factor importante para identificar la facilidad de obtención con respecto a las diferentes características geográficas que existen en el país, debido a la resistencia y adaptabilidad que algunas especies pueden presentar.

Presencia en Colombia:

Se evalúa la presencia en Colombia, para identificar la facilidad del acceso que indirectamente demuestra un beneficio económico, ecológico y social para la organización.

Para realizar un filtro entre las especies que más cumplen con ciertos criterios, se utiliza la **metodología de matrices del rango de actuación** mediante la cual se relacionan diferentes variables en dos etapas. En la primera etapa se analiza cada alternativa de acuerdo a los resultados obligados (mínimo cumplimiento de las variables) previamente definidos. Si se cumple con la condición se anota un **SI** en la celda correspondiente y del caso contrario se anota un **NO** (Adaptado de Kepner y Tregoe, 1981). En la siguiente figura se explica de una mejor forma, cada etapa de la metodología y en qué consiste.

Figura 2. Síntesis de la metodología de matrices del rango de actuación.



Fuente. Elaboración propia, 2020.

En la primera etapa, se establecen **seis criterios** de obligatorio cumplimiento, es decir variables en este caso necesarias para determinar la calidad y la facilidad de utilización de la fibra, para finalmente escoger las alternativas (materias primas) que aprueben la mayoría de los criterios. De esta forma, se asigna lo siguiente:

Rangos de cumplimiento obligado - Primera etapa

SI: Cumplimiento obligado del criterio.

NO: No cumplimiento del criterio.

Valores de referencia para la evaluación

Para identificar si se cumple (SI) o no se cumple (NO) con los criterios determinados, se estableció un valor de referencia para cada uno, mediante el promedio de los valores. Esto se encuentra explicado para cada uno a continuación:

% Celulosa

Para determinar el rango de cumplimiento obligado de este criterio, se realiza un promedio entre los diferentes datos obtenidos de celulosa. De esta forma, el % de celulosa de la alternativa debe ser mayor al promedio establecido y se calificará con un SI.

%Lignina

El rango de cumplimiento obligado en este caso, se identifica mediante el promedio de los datos. El porcentaje de lignina debe ser menor al promedio, si cumple con esta condición se calificará con un SI.

Longitud (mm)

El rango de cumplimiento obligado para la longitud, se identifica mediante el promedio de datos. Con respecto a ese dato, y para calificarlo con un SÍ debe ser mayor.

Finura (micras)

El rango de cumplimiento obligado para la finura, se identifica mediante el promedio de datos. Con respecto a ese dato, y para calificarlo con un SÍ debe ser menor.

Altitud para su desarrollo

El rango de cumplimiento obligado en este caso, debe contener la altura promedio de Bogotá (2.600 msnm) para ser calificado con un SÍ.

Presencia en Colombia

Para calificar este criterio con un SI, la especie vegetal debe tener presencia en la región Andina.

Según esto, la matriz para evaluar las once alternativas por medio de la metodología del cumplimiento evaluado se evidencia a continuación. Observando que las alternativas se encuentran en las filas y los criterios de cumplimiento obligado en las columnas respectivamente.

Tabla 5. *Matriz comparativa del análisis de cumplimiento de los resultados obligados.*

Materia prima sector textil	El contenido de celulosa	El contenido de lignina	la longitud de la fibra	Que entre el rango de altitud	Diámetro	Presencia en región Andina	Evaluación según criterio de calificación
	es mayor a 59%	es menor a 16%	es mayor a 10 mm	este 2600 (msnm)	menor 21 (micras)		
Alternativa vegetal	Resultado del cumplimiento obligado (SI/NO)						

Fuente. *Elaboración propia, 2019.*

Criterios de calificación

En esta etapa del análisis se considera que con dos respuestas negativas (teniendo como mínimo dos respuestas marcadas como NO) la alternativa no es viable para el proyecto específico planteado y por ende, no pasa el filtro para seguir a la segunda etapa de evaluación.

Rangos de calificación-Segunda etapa

En la segunda etapa las alternativas seleccionadas (según los criterios mencionados) son nuevamente valoradas de acuerdo a su aproximación con los resultados deseables del proyecto. En este caso, la sostenibilidad del cultivo y la implementación de la fibra textil. Para esto, en la segunda matriz, a cada alternativa se le asigna una calificación de 1 a 5 para los resultados deseables, estos se multiplican con su respectivo peso específico establecido según la importancia del criterio. Finalmente se jerarquizan las alternativas y se escoge la que tiene un mayor puntaje.

Al igual que en la primera fase, se realiza una primera matriz para consignar la información recolectada de manera bibliográfica y para facilitar la posterior evaluación, estas se evidencian a continuación.

Tabla 6. *Matriz información recolectada segunda fase.*

Matriz de información recolectada											
Materia prima sector textil	Consumo de agua (m3/ha)	Temperatura óptima para su desarrollo (°C)	Cantidad de individuos en una hectárea	Planta para diversos usos	Afectaciones durante el cultivo	Especie nativa de Colombia	Monocultivo o	Costos (semilla o planta)	Periodo de desarrollo de la planta (días)	Información bibliográfica sobre el ACV	Parte de la planta de la que se obtiene la fibra
Materias primas escogidas	Información recolectada de fuentes bibliográficas.										

Fuente. *Elaboración propia, 2020.*

Rangos de cumplimiento del nivel máximo esperado de actuación.

Se determina el peso específico para cada uno de los criterios según su importancia en el proyecto, y mediante los valores de calificación, se identifica el nivel de cumplimiento de los resultados esperados.

Los rangos de calificación de la matriz de alternativas se establecen a criterio propio de esta forma:

Rangos de calificación de las alternativas considerados [1-5]

1-Mal cumplimiento

2-Bajo cumplimiento

3-Mediano cumplimiento

4-Buen cumplimiento

5-Excelente cumplimiento

Los valores del peso específico de cada uno de los criterios se establecen según los autores, siendo 1 el de menor importancia y 100 el de mayor importancia de esta forma:

Consumo de agua (m³/ha):

Este criterio además de influir económicamente en el cultivo, lo hace ecológicamente debido a que a mayor consumo de agua aumentan los impactos al ecosistema y, por ende, los costos asociados. Por lo dicho anteriormente, este criterio obtiene un peso específico de 14.

Temperatura óptima para su desarrollo (°C):

Este criterio obtuvo un peso específico de 6 debido a que la mayoría de alternativas son adaptables a casi todas las condiciones climáticas.

Cantidad de individuos en una hectárea:

La importancia de este criterio es alta, debido a que influye directamente en la parte económica con respecto al rendimiento del cultivo y por esto, tiene un peso específico de 11.

Planta para diversos usos:

Este criterio obtiene un peso específico de 12 porque mediante este, se puede evidenciar que la alternativa puede ser útil en su totalidad, aprovechando diferentes componentes de la materia prima.

Afectaciones durante el cultivo:

Las afectaciones durante el cultivo determinan un mayor uso de pesticidas, que está relacionado directamente con la parte económica y ecológica en la producción del cultivo, por lo tanto, obtiene un resultado de peso específico de 10.

Especie nativa de Colombia:

Este criterio juega un papel importante debido a que las especies no nativas generan diferentes condiciones en el ecosistema. Debido a esto, obtiene un valor de 6.

Monocultivo:

La importancia del criterio es moderada (10) porque determina si es beneficioso o no en los componentes ecológicos, económicos en cuanto al rendimiento del cultivo.

Costos (semilla o planta):

El valor de la semilla o la planta impacta directamente el componente económico con respecto al cultivo, pero no determina si hay afectaciones en el componente ecológico, por esta razón se da un valor de peso específico de 7.

Periodo de desarrollo de la planta (días):

El periodo de desarrollo de la planta está ligado al rendimiento del cultivo y, por ende, a una mayor producción de la fibra lo cual beneficia la parte económica. Debido a esto, la calificación otorgada es de 7.

Información bibliográfica sobre un ACV:

Este criterio tiene mayor valor de peso específico (17) por su importancia en el desarrollo del proyecto y la facilidad de obtención de datos en el tercer objetivo específico.

En la siguiente matriz se valoran las alternativas en relación con 10 criterios de cumplimiento deseable, y con esto y el peso específico de cada una, se realiza la jerarquización de estas determinando la más adecuada para el reemplazo del algodón en el caso específico.

Tabla 7. *Matriz de evaluación del cumplimiento deseable de las alternativas consideradas.*

Calificación C [1-5] de las alternativas consideradas		
Cumplimiento deseable (BxC)	Peso (B)	Alternativas escogidas
Consumo de agua (m3/ha)	14	Puntaje otorgado por los autores, mediante el análisis de la información bibliográfica
Temperatura óptima para su desarrollo (°C)	6	
Cantidad de individuos en una hectárea	11	
Planta para diversos usos	12	
Afectaciones durante el cultivo	10	
Especie nativa de Colombia	6	
Monocultivo	10	
Costos (semilla o planta)	7	
Periodo de desarrollo de la planta (días)	7	
Información bibliográfica sobre el ACV	17	
TOTAL (BXC)	100	Total ponderado

Fuente. *Elaboración propia 2020.*

Finalmente, la jerarquización se da, escogiendo la alternativa con puntaje más alto. Por otro lado, se utilizaron por cada componente del ambiente las siguientes variables, dimensiones e indicadores, como se muestran a continuación.

Tabla 8. *Dimensiones, variables e indicadores por cada componente del objetivo específico 2.*

Temática	Variable	Dimensión	Indicador
Ecológica	Componentes químicos de la fibra	Celulosa Lignina	% (Porcentaje)
	Componentes físicos de la fibra	Longitud	Mm
		Finura	micras
	Agua	Consumo de agua	m3/ha
	Temperatura	Temperatura óptima para su desarrollo	°C
	Afectaciones durante el cultivo	Plagas Insectos	# de afectaciones
Económica	Disponibilidad en el país	Localización	Presencia en alguna región del país
	Disponibilidad en el departamento de Cundinamarca	Altitud para su desarrollo	En el rango de altitud entre 2600 msnm
	Rendimiento	Cantidad de individuos en un área determinada	# de individuos/ha
		Periodo de desarrollo de la planta	Días
	Optimización	Uso como subproducto	# de diferentes usos de la planta
	Insumos	Costos semilla	COP (Pesos colombianos)

Fuente. *Elaboración propia, 2019.*

8.3.3 Objetivo específico 3

En el objetivo específico número tres, se pretende “identificar la materia prima más sostenible mediante una comparación entre el algodón y la especie seleccionada”, esto se realizará mediante la implementación de la última fase del ACV la cual según la NTC ISO 14040 y 14044 corresponde a la fase de interpretación, en donde los datos recopilados en las anteriores fases son analizados con el fin de establecer unas directrices que ayudan a mejorar el comportamiento ambiental del sistema o producto analizado. El objetivo principal de esta fase es representar la implementación de medidas de mejora o más específicamente contribuir, con datos sólidos y verificables a la orientación de las soluciones que reduzcan los impactos ambientales de manera significativa y con esto conseguir el crecimiento del bienestar evitando la degradación del medio ambiente.

Lo cual se realizará proponiendo la alternativa elegida en el objetivo específico número dos y realizando una comparación con el algodón esto mediante, la herramienta del software **SimaPro 9**, en donde solo con contar con la fase de inventario (ICV) de la alternativa en este caso específico, es posible realizar una comparación entre las dos especies y así evidenciar cual genera más impactos al medio ambiente en su proceso de elaboración de tela. Con esto se determinará si es viable darle un reemplazo o no al uso del algodón en la industria textil, mediante el uso de una materia prima vegetal (alternativa) que desde su primer proceso (cultivo) hasta el último (producción de tela) genere menos afectaciones al ambiente. Por otra parte, las variables e indicadores que se tendrán en cuenta dependen del inventario del análisis de ciclo de vida (ICV) de la tela de la alternativa seleccionada, lo cual se puede evidenciar en la siguiente tabla.

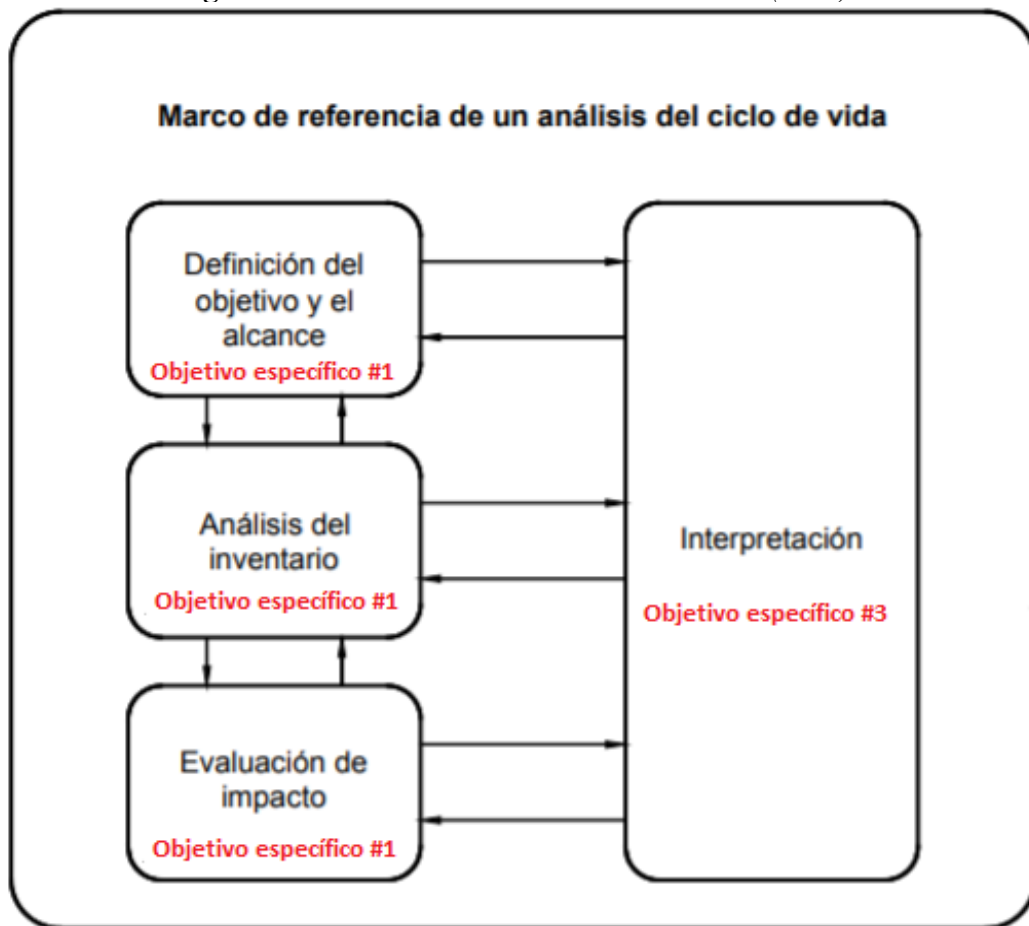
Tabla 9. Variables, dimensiones e indicadores por cada componente del objetivo específico 3.

Temática	Variable	Dimensión	Indicador
Ecológica	Agua	Consumo de agua	m ³ /ha
	Agroquímicos (herbicidas y pesticidas)	Cantidad utilizada	Kg/ha o l/ha
	Combustible	Consumo	Galones/mes
	Energía	Consumo de energía	MJ/ha
	Aire	Emisiones	CO ₂
Económica	Costo de Operación	Ahorro económico	Pesos Colombianos (COP)
	Insumos	semillas de algodón	Cantidad de semillas necesarias para producción
		Abonos	Unidades de fertilizante (UF)
		Fertilizantes	UF/ha

Fuente. *Elaboración Propia, 2019.*

Para dar una mejor perspectiva de las fases del análisis ciclo de vida que serán tenidas en cuenta entre el objetivo específico número uno y tres se presenta la siguiente imagen.

Figura 3. *Fases del análisis del ciclo de vida (ACV).*

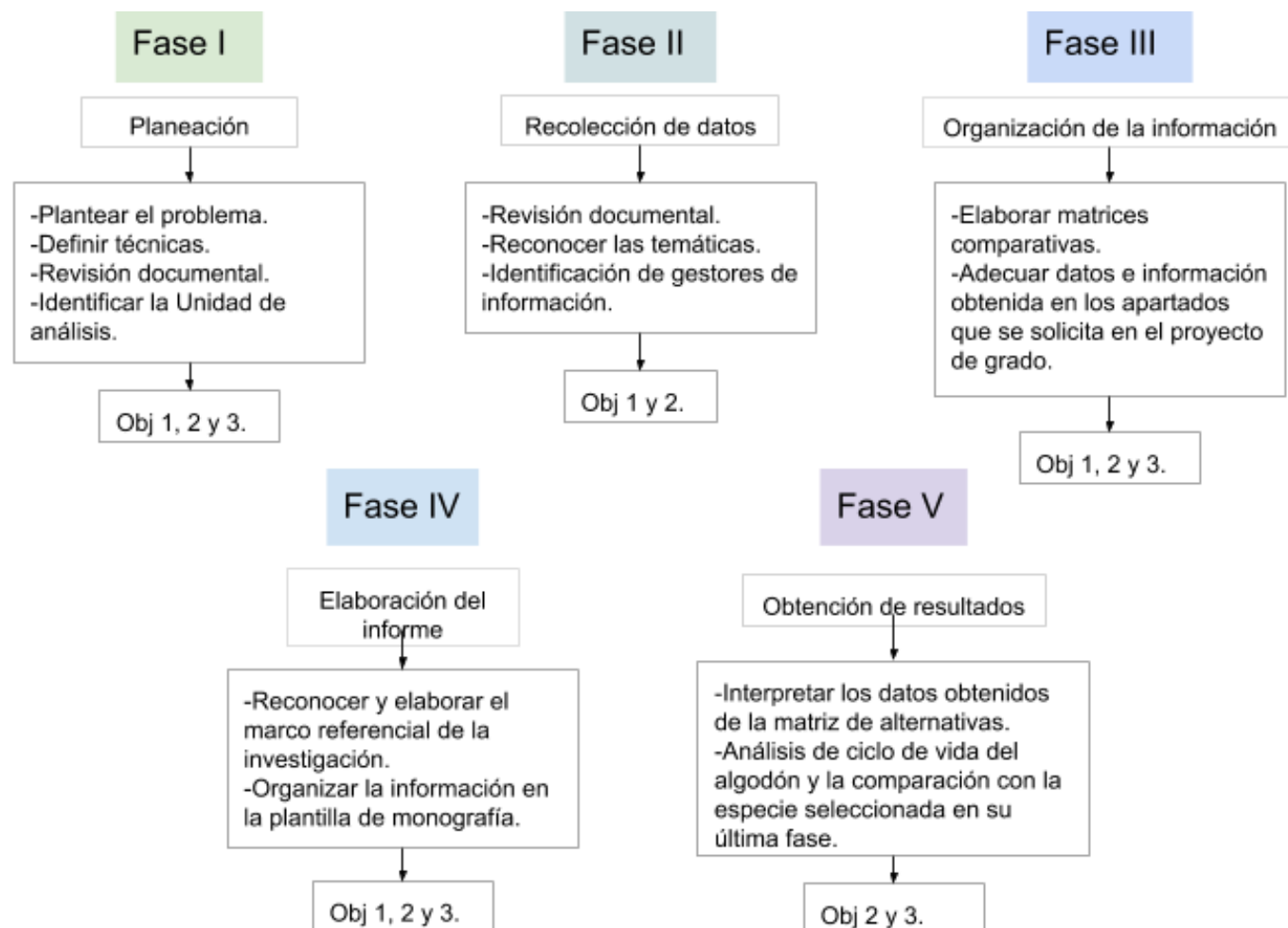


Fuente. *Adaptado de NTC-ISO 1440, 2007.*

9 Plan de trabajo

Las fases de investigación están conformadas por acciones que se realizan para cumplir con los objetivos específicos y por ende el objetivo general, para resolver las preguntas de investigación. De esta forma, las diferentes actividades y técnicas que desarrolla el proyecto en cada una de sus fases, se describen a continuación mediante la Figura 4.

Figura 4. *Fases de investigación.*



Fuente. Elaboración propia, 2019.

9.1 Matriz metodológica

Mediante la siguiente matriz metodológica que se evidencia en la tabla 5, se establecen las técnicas, instrumentos y resultados esperados de cada una de las actividades que responden a cada uno de los objetivos específicos, para darle cumplimiento al objetivo general de la investigación.

Tabla 10. Matriz metodológica de la investigación.

Objetivo general: Evaluar una alternativa de materia prima vegetal en el sector textil, caso estudio empresa The Mob para contribuir a una Gestión Ambiental Empresarial.

Objetivos específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
1 Realizar un diagnóstico del algodón como materia prima en el sector textil en las etapas de cultivo y de la producción de la tela.	Buscar información del proceso industrial-textil del algodón.	Análisis documental	Artículos Científicos y Proyecto de Grado	Obtener un diagnóstico del algodón como materia prima en el sector textil, por medio de las tres primeras fases del ACV, reconociendo así las entradas y salidas (inventario) del proceso, y todos los impactos que genera este proceso industrial.
	Revisar las normas ISO 14040 y 14044, para determinar las fases del Análisis de Ciclo de vida y sus requisitos.	Observación directa y análisis documental	NTC ISO 14040 y 14044	
	Identificar las fases de diagnóstico del ACV y sus requerimientos, buscar y descargar el software Simapro.	Análisis documental	NTC ISO 14040 y 14044	
	Realizar las 3 primeras fases del ACV (objetivo y alcance, Inventario y Evaluación de Impacto)	Análisis de datos	Tablas, artículos con la información, Software SimaPro	
2 Efectuar un análisis comparativo entre diferentes materias primas vegetales.	Buscar información, de materias primas naturales potenciales en el sector textil.	Observación directa y Análisis documental	Artículos Científicos y Proyecto de Grado	Conocer la materia prima vegetal con mejores características según los criterios seleccionados.
	Identificar la metodología más adecuada para hacer una evaluación multicriterio de las alternativas.	Observación directa y Análisis documental	Artículos Científicos y Proyecto de Grado	
	Seleccionar los criterios más relevantes, para añadir a la matriz de evaluación multicriterio.	Análisis e interpretación de la matriz	Matriz comparativa	
	Realizar la matriz con los criterios y la metodología seleccionada.	Metodología de matriz multicriterio	Excel	
	Seleccionar la materia prima con mayor puntaje, como resultado de la matriz de alternativas.	Análisis e interpretación de la matriz	Matriz de alternativas	
3 Identificar la materia prima con	Elaborar un inventario (entradas y salidas) de las fases del cultivo y la elaboración del	Análisis documental	Artículos científicos e información	Determinar la alternativa más sostenible entre el

Objetivos específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
menor carga ambiental entre el algodón y la especie seleccionada.	textil de la especie seleccionada.		bibliográfica.	algodón y la especie seleccionada, según la herramienta Simapro.
	Realizar un análisis de los datos obtenidos del ciclo de vida de la especie seleccionada.	Análisis de datos	Software Simapro.	
	Hacer una comparación mediante el software Simapro, la especie con mejores características.	Análisis de datos	Software Simapro.	

Fuente. Elaboración Propia, 2019.

10 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada uno de los objetivos específicos, y todo lo relacionado con la elaboración de estos.

10.1 Resultado objetivo específico 1

En el presente resultado se presentaron las tres primeras etapas del ACV objetivo, alcance y evaluación de impactos del proceso de obtención de la tela de algodón, como se evidencian a continuación:

10.1.1 Objetivo del ACV

Determinar los impactos ambientales generados de forma cuantitativa, en la producción de tela a base de algodón (*Gossypium hirsutum*), con el fin de realizar una comparación con una alternativa de fibra vegetal (resultado del objetivo específico 2), estableciendo los puntos críticos en los procesos, para identificar la que genera una menor contribución a los impactos ambientales. De esta forma, se pretenden evidenciar y dirigir los resultados con fines educativos a la comunidad de la Universidad El Bosque, a manera de trabajo de investigación. También, a la empresa PyMES The Mob, la cual utiliza el algodón como materia prima y pretende utilizar otra alternativa vegetal que contribuya significativamente a minimizar impactos.

10.1.2 Alcance del ACV

El alcance de este ACV se realizó **de la cuna a la puerta**, (Cradle to gate) debido a que el sistema (elaboración de tela de algodón sin teñir) tenido en cuenta, incluye cuatro subsistemas principales: la etapa de cultivo de algodón (siembra y cosecha), transporte (de la mota de algodón), la producción de la fibra y la producción del producto final textil (tela de algodón). No se incluyó un alcance mayor debido

a los extensos o múltiples usos que se le podrían dar al producto final del algodón, y los subprocesos que se emplean en estos (Belalcázar, 2018).

10.1.2.1 Unidad funcional

De esta forma, se tomaron como referencia todos los autores e investigaciones relacionadas con el ACV y la comparación de diferentes estudios. Esto para establecer que la **UF** (unidad funcional) que para este estudio fue de **1000 kg de tela de algodón** (*Gossypium hirsutum*) producido en una hectárea de cultivo (1 ha). Principalmente debido a que es la unidad de medida más habitual para este producto según Belalcázar, Duque, Gómez, & Londoño, (2018); en relación con otros autores como Textile Exchange (2014) y PE international AG (2014), los cuales tomaron como UF 1000 kg de algodón desmotado (pelusa de algodón) según los requisitos de calidad ILCD (2011) (PréConsultans, 2019).

Debido a que en este ACV se realizó una comparación entre el algodón y una alternativa de fibra textil, según la NTC ISO 14044 al realizar comparaciones se debe establecer la misma unidad funcional que en este caso son 1000 kg de tela (todos los procesos y materiales relacionados para su obtención), y por ende, el mismo alcance es decir, de la cuna a la puerta. La identificación de esto, se realizó con base al algodón debido a que es el proceso principal de diagnóstico y, por ende, la selección de la alternativa de materia prima más adecuada, se elaboró como resultado del objetivo específico 2 del proyecto de investigación.

Los datos del inventario y otros, se tomaron de diferentes estudios relacionados al tema a nivel mundial, y local, además de los datos suministrados por las diferentes bases de datos que ofrece el software **SimaPro 9**, que más adelante serán detalladas en el desarrollo del inventario (ICV). De esta forma, se identificaron los cuatro principales subsistemas para la producción de tela, los cuales fueron escogidos por representar los procesos más importantes según los autores mencionados anteriormente. El primero de estos subsistemas consta de todo el proceso de **cultivo (siembra y cosecha)**; el segundo, se enfoca en el proceso de **transporte del cultivo a la fábrica** donde se realizan todos los otros procesos; el tercero, se basa en la **producción de la fibra de algodón** y por último el proceso de **producción de la tela de algodón**. La integración de estos subsistemas se basa en Belalcázar *et al.* (2018).

10.1.2.2 Descripción proceso de elaboración de tela de algodón

En adición a lo anterior, cualquier derivado del algodón inicia con la fase de **cultivo**, la cual está compuesta por la siembra y adecuación del terreno, ya después entra el proceso de cosecha para la obtención de la materia prima (mota del algodón). Cabe recalcar que la información relacionada con esta fase, fue comparada entre estudios como PE international AG (2014), Textile Exchange (2014), Zhang, Liu, Xiao & Yuan (2015), Van Eynde (2015) y Belalcázar *et al.* (2018). Llegando a la conclusión, de que los datos más relevantes fueron los de Belalcázar *et al.* (2018), debido a que el estudio fue realizado en el país de Colombia.

Por lo tanto, para el desarrollo de este subsistema según Belalcázar *et al.* (2018), se necesita una gran variedad de insumos como principalmente las semillas de algodón (*Gossypium Hirsutum*), donde son tomadas alrededor de **225000 semillas o 20 kg** para ser cultivadas en una hectárea y cumplir con la UF, lo cual se relaciona con lo establecido por PE international AG (2014) y Textile Exchange (2014). En el primer estudio se cultivan alrededor de 15 kg/ha de semillas (realizado en África) y en el segundo se saca un promedio entre cinco países (USA, India, Tanzania, China y Turquía), estimando un promedio de 19 kg/ha. De esta forma, las condiciones geográficas son muy distintas, pero se puede comparar con lo dicho

por Belalcázar *et al.* (2018), porque se evidencia que la diferencia no es abismal y la UF es similar en los 3 estudios.

También, se necesitan insumos **fertilizantes y herbicidas**, en este caso se tomaron datos arrojados por Belalcázar *et al.* (2018), debido a que el tipo de suelo y sus nutrientes varía dependiendo del lugar o el país como es el caso de los otros estudios encontrados. En el estudio de referencia se destacan el óxido de fósforo, óxido de potasio, dinitrógeno y en cuanto a los herbicidas se encuentran el Diurón, Trifluralina, Fluometuron, Pendimetalin, Metanoarsonato Monosódico, Alacloro y Perfluidone. En esta etapa, es de vital importancia el uso de **maquinaria** (subsolador (arado) y cosechadora) y por último, un recurso vital para el desarrollo adecuado del cultivo, es el **recurso hídrico**, el cual también puede variar según las condiciones del suelo. Por lo tanto, como se mencionó anteriormente son relevantes los datos arrojados por el estudio de referencia debido al lugar de desarrollo de dicho proyecto.

Esto le da continuidad al siguiente subsistema que es el de **transporte**, debido a que el cultivo se realiza en un lugar específico y los siguientes procesos deben ser realizados en una industria textilera. Se estimó una distancia de **100 km**, relacionando los estudios de Textile Exchange (2014) y Belalcázar *et al.* (2018), donde se estima la misma distancia estándar promedio. Ésta es la única etapa considerada de transporte, debido a que los procesos posteriores al cultivo (obtención de la fibra de algodón y proceso de elaboración de la tela de algodón) se realizan dentro de la misma fábrica de textil.

Como tercer subsistema se encuentra el proceso de **obtención de la fibra**, en el cual entra la materia prima (mota algodón) y es desmotada. Este proceso se realiza para limpiar un poco el algodón, que proviene con mucha suciedad y separar lo que es la semilla de la mota de algodón para obtener la fibra. Se puede evidenciar según Belalcázar *et al.* (2018), PE international AG (2014), Textile Exchange (2014) y Moritz & Cordula (2013), Van Eynde (2015), que para la realización de esto es necesario el uso de una máquina desmotadora. En este caso, el consumo de energía de ésta y otras máquinas fue tomado de Belalcázar *et al.* (2018).

Con la salida de este subsistema (fibra de algodón) se le da paso a la última etapa que es la **producción de la tela**. Ésta consiste en varios procesos primero que todo, se encuentra el **hilado y el tejido**, en este caso Belalcázar *et al.* (2018), Zhang *et al.* (2015) y Van Eynde, (2015) evalúan esta fase de producción, pero teniendo en cuenta que las UFs son diferentes (1000 Kg de tela, una camiseta de algodón y 1 kg de tela cruda). Otros estudios como PE international AG (2014), Textile Exchange (2014), Moritz & Cordula (2013), estudian hasta el proceso de desmotado del algodón.

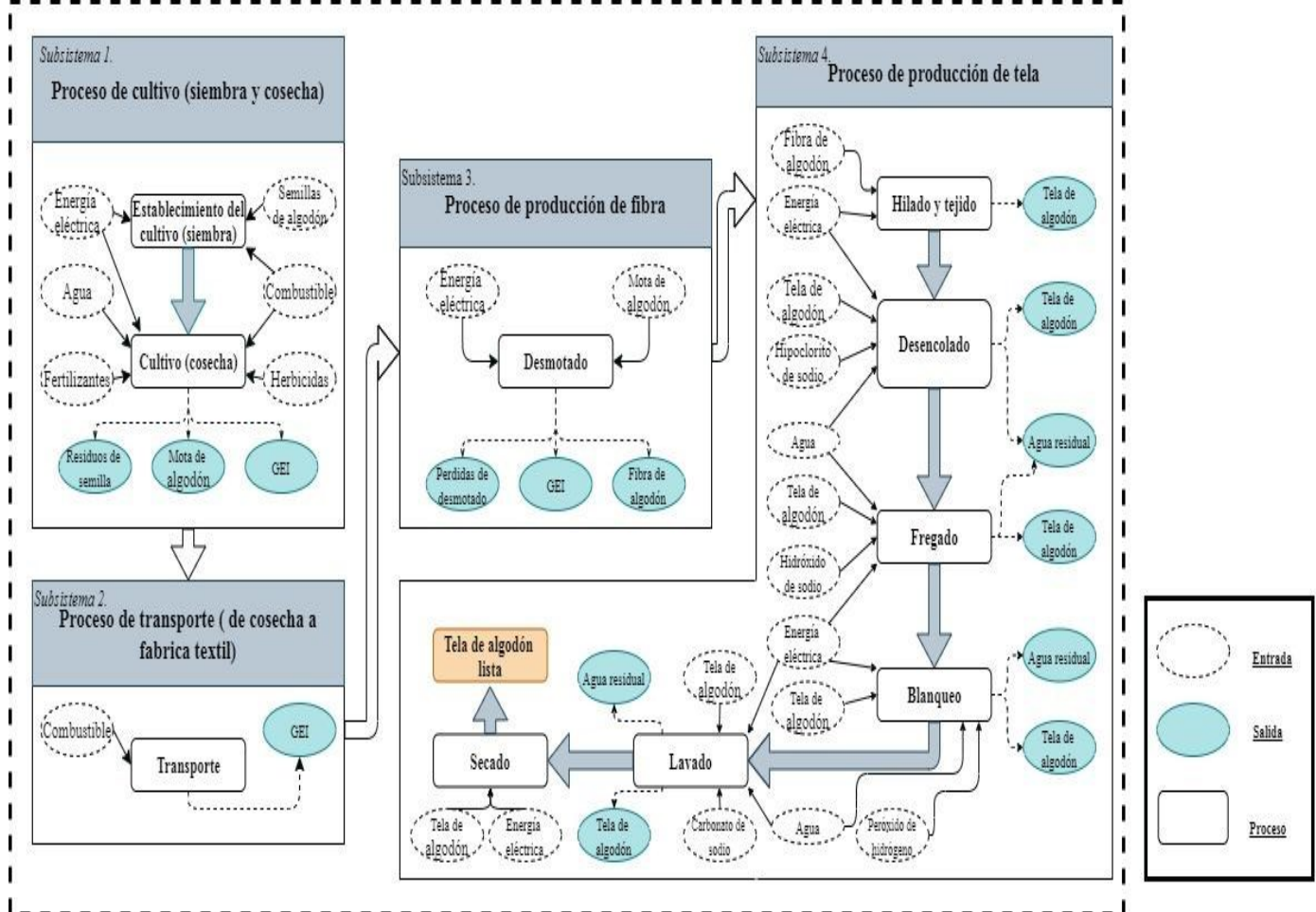
Una vez se termina el proceso del tejido, la tela queda con imperfecciones y necesita otros procesos para poder llegar al producto final. Entonces, pasa a un proceso de **desencolado** donde se eliminan las impurezas más externas, para tener un mejor acabado según Lockuan (2012), para realizar este proceso, se necesita de un insumo químico (Hipoclorito de Sodio $NaClO$), y una cantidad de agua necesaria para que este reaccione. Terminado este proceso se da paso al **fregado**, su función principal es eliminar las impurezas o suciedades (grasas y motas) que al no ser correctamente eliminadas pueden causar manchas o imperfecciones en la tela, aquí se utiliza el Hidróxido de sodio $NaOH$ (Lockuan, 2012).

Continuando el proceso, sigue el paso del **blanqueamiento**, el cual es necesario para obtener un color claro en la tela, también funciona para homogeneizar las variaciones no deseadas de tono. Este proceso necesita la presencia de peróxido de sodio (H_2O_2) y agua.

Para darle seguimiento a la elaboración de la tela, una vez pasada por el proceso de blanqueo se necesita proceder a un **lavado**, que según Lockuan (2012) es usado para remover del tejido las materias insolubles que pueden estar en solución o emulsión con otras impurezas. Para esto es necesario el implemento de un detergente industrial (carbonato de sodio Na_2CO_3) combinado con agua para la realización de dicho proceso. Una vez terminada esta fase se procede al **secado** de la tela que es el último paso del sistema, esta fase es necesaria debido a que las fibras textiles absorben cantidades altas de agua y así se obtiene como producto final la tela de algodón (*Gossypium hirsutum*).

Cabe recalcar que el proceso estudiado llega hasta esta fase, por lo tanto, el producto no pasa por procesos de tinturado ni de confección. Con el fin de generar un mayor entendimiento del proceso de elaboración de tela de algodón y las fases del ciclo de vida seleccionadas se presenta a continuación la figura 5.

Figura 5. Diagrama del ciclo de vida de la tela de algodón (*Gossypium hirsutum*).



Fuente. Elaboración propia, 2020

10.1.2.3 Límites del sistema

En el presente estudio cabe recalcar que se tuvieron en cuenta los procesos relacionados con la producción, uso y transporte (en algunos casos) de materiales como los fertilizantes, combustible, energía, herbicidas, abono y químicos dados por el software SimaPro 9 (datos de fondo). De igual forma, se incluyeron los **flujos de materiales y de energía** necesarios para las cuatro fases más importantes que derivan en la producción de la tela de algodón (cultivo, transporte, producción de la fibra y de la tela), así como algunos desechos y emisiones asociados. Esto incluye: la **cantidad del combustible** (diésel) usado para las máquinas de arado y la cosechadora en su labor en la fase de cultivo (en una hectárea), la electricidad utilizada también en esta maquinaria para su funcionamiento, el agua para riego del cultivo, la cantidad de abonos o fertilizantes utilizados en la hectárea del cultivo, al igual que los herbicidas (debido a la cantidad de malezas que atacan la planta del algodón), la cantidad de semillas de algodón (*Gossypium Hirsutum*) necesarias para elaborar los 1000 kg de tela de algodón (datos de primer plano).

Además, también se **incluye** la cantidad generada de desecho de las semillas, que equivalen al 62% de la producción de algodón quedando solo un 38% que es aprovechable como mota (Belalcázar *et al*, 2018), las emisiones del cultivo (GEI) específicamente de CO_2 , y el transporte a la desmotadora (es el único transporte que se incluye). También se incluye la electricidad necesaria para el funcionamiento de la maquinaria implementada para el respectivo procedimiento de elaboración de tela, así como la cantidad de agua y químicos que se necesitan para cada proceso industrial, además se tendrán en cuenta también las cantidades del agua residual que se generan de estas fases.

Por otro lado, se **excluye** principalmente la producción de subproductos derivados del proceso de fabricación de la tela de algodón y todo lo que tenga que ver con procesos de disposición final del producto o reciclaje del mismo, ya que esto implica agregar nuevos procesos y cargas ambientales que no están relacionadas con este proyecto (Belalcázar *et al.*, 2018). Un ejemplo de esto, se puede evidenciar en el caso del final de vida de los residuos de la desmotadora, los cuales dejan el sistema libre de carga y sin ningún beneficio para el producto. Estos residuos consisten en semillas rotas, fibras y restos de plantas, que al almacenarse o procesarse, pueden estar asociados con otros subsistemas y cargas ambientales adicionales. Por esto, solo se tienen en cuenta las pérdidas de motas algodón en el desmotado que según Belalcázar *et al*, (2018) son del 10% de lo que entra, que en este caso son 1100 kg.

La fabricación y mantenimiento de bienes capitales como infraestructura, maquinaria y vehículos para el transporte tampoco está incluida, lo que se evidencia comúnmente en los ACV de procesos (Lope, 2009). En este caso, el impacto de la provisión de bienes como edificios, igual se espera que sea bajo, debido a que el almacenamiento tiene lugar en la zona de producción (en los casos del cultivo y de la planta textilera). Entonces, el efecto escala puede resultar en impactos bajos por kg con respecto al producto final (Textile Exchange, 2014) por lo tanto, tampoco son tenidos en cuenta. Estas consideraciones en relación con el esfuerzo del análisis desde la fabricación y la recolección de datos requeridos (completamente) para evaluar el impacto de los bienes de capital en todo el sistema, justifica la exclusión de estas variables del ACV. Además, en los estudios realizados por Textile Exchange (2014), Belalcázar, *et al* (2018), PE International AG (2014) no se incluye la fabricación de éstos. El trabajo humano, tampoco se tiene en cuenta debido a que no genera un impacto significativo en el estudio, no se tienen los datos del personal que trabaja en la planta y ningún estudio base del proyecto (de los anteriores mencionados) los ha tenido en cuenta y SimaPro 9 tampoco provee estos datos. Por lo tanto, se encuentra fuera de su alcance, al igual que todo lo relacionado con los materiales de embalaje.

Con respecto a la distribución y al transporte de los productos, se consideró entre el cultivo y el desmotado, (tomando como estándar) una distancia de 100 km del cultivo a la zona de producción de la tela en dónde se realizan los procesos de producción de fibra y tela, justificando la exclusión de la infraestructura. El calor no se tuvo en cuenta en ningún proceso, debido a que la disponibilidad de estos datos es muy poca y complica el plan de trabajo estipulado para cumplir los objetivos. El tratamiento de residuos sólidos, aguas residuales y todo lo que tiene que ver con su disposición final no se tuvo en cuenta, porque además de no estar incluido en el alcance del ACV ni estar relacionado con el objetivo, no se tiene la información necesaria para realizar la cuantificación específica de estos aspectos.

A pesar de que los autores mencionados anteriormente no incluyen los compuestos químicos en los procesos de la producción de la tela de algodón, se identificaron lo más relevantes, los que se utilizan en mayor cantidad y generan mayores impactos con respecto a los vertimientos que son un punto crítico en el sector textil. De esta manera, se realizaron aproximaciones de los valores y la cantidad utilizada con respecto a la Unidad Funcional (1000 kg de tela de algodón), debido a la poca información encontrada y a que es un proyecto de revisión bibliográfica. Se incluye igualmente todo lo relacionado con la fabricación de estos productos químicos, así como el transporte y procesos industriales para su elaboración, información como se mencionó antes, aportada por el software.

10.1.2.4 Método de asignación

Ya identificadas las inclusiones y exclusiones de manera específica, es necesario determinar el **método de asignación y de selección de datos**. Como se mencionó anteriormente, la no inclusión de los bienes capitales como son la fábrica y los lugares de almacenamiento en la etapa del cultivo, ni elementos como el embalaje, conllevan a la identificación de los aspectos a tener en cuenta para la selección de los datos de fondo. Los cuales se manejan en las librerías del software (SimaPro 9), en el que se pueden encontrar dos tipos de modelos que hacen frente a los procesos multifuncionales, es decir, aquellos procesos que se encuentran en más de un producto y que pueden estar interconectados en los ciclos de vida (un producto depende de otro) (Hernández & Duque, 2014). Estos modelos son: los modelos consecuentes o de expansión del sistema y los **modelos de atribución o asignación**. En este caso, los últimos (que son los que se acomodan al estudio), se utilizan cuando se desean comparar los impactos de dos productos de la misma Unidad Funcional (PRéConsultans, 2019). De esta manera, se atribuyen cargas ambientales a los cuatro subsistemas y no al algodón en su totalidad, esto para identificar los puntos críticos en cada uno. Es así, como se consideraron los insumos y residuos como **entradas, salidas y no como sistemas complejos** (Jacquemin et al., 2012).

Como punto a aclarar, la información generada para el ICV fue tomada y relacionada de información bibliográfica confiable, ya que en las diferentes bases de datos utilizadas (Google académico, ProQuest, Science Direct, SpringerLink, Scopus), se encuentran estudios específicamente enfocados al ACV de la producción de tela de algodón o derivados de este. Por otra parte, ninguna información fue tomada por terceros o por visitas técnicas debido a que el proyecto se basó específicamente en la elaboración de un ACV de tipo **conceptual**, en donde se utilizan datos ya disponibles en bibliotecas de Simapro o datos que son encontrados en estudios similares al que se está llevando a cabo (Tumminello & Ghezzeo, 2018).

Teniendo en cuenta lo anteriormente establecido, se procedió a realizar una comparación entre los estudios encontrados sobre el ACV que tomaron el algodón como materia prima, como se evidencia en

el **anexo B**, donde se elaboró una matriz comparativa entre los estudios de Textile Exchange (2014), Belalcázar, *et al* (2018), y PE International AG (2014), Zhang, *et al* (2015), Van der Velden, Patel & Vogtländer (2014) y Moritz & Cordula (2013). De estos se identificaron aspectos generales del ACV como objetivo, alcance, unidad funcional, límites del sistema, método seleccionado para la evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV), categorías de impacto seleccionadas y procesos incluidos y excluidos para el ACV (ver **anexo B**). En este caso, se tomó en cuenta el lugar donde fue realizado el estudio y la fuente de los datos, recalando que el de Belalcázar, *et al* (2018) fue el único estudio encontrado (en las bases de datos mencionadas anteriormente) realizado en el país de Colombia. Por esta razón, se tomó la decisión de seleccionarlo como referencia principal y comparar las otras investigaciones encontradas con este. Esto debido a que, los demás estudios comparados tomaban datos de diferentes países como África, China, Brasil, Estados Unidos y en el cultivo las propiedades del suelo, el clima, la temperatura y otras son primordiales.

Por lo tanto, para el caso del ICV se compraron los insumos utilizados para cada proceso y su cantidad establecida, teniendo en cuenta que ningún estudio planteó la UF con respecto a la tela de algodón exceptuando a Belalcázar, *et al* (2018). Cabe resaltar la importancia de las bibliotecas entregadas por el software SimaPro 9, que fueron utilizadas para la recolección de la información de fondo del proyecto, en el que se seleccionaron: USLCI, Ecoinvent V3, Agri-footprint e Industry data 2.0, siendo Ecoinvent 3 la más consultada y utilizada en el software debido a su enfoque atribucional (PRÉConsultans, 2019).

Con respecto a la EICV, los autores consultados como se muestra en el **anexo B**, utilizan metodologías como CML2001, USEtox e IPCC (2006). Belalcázar, y sus colaboradores (2018) seleccionaron la base de datos Ecoinvent 3 y la metodología ReCiPe que sugieren por su fácil interpretación, su amplia aceptación solidez científica y enfoque orientado al daño ambiental. Además, agrupa las subcategorías seleccionadas como indicadores midpoint para los efectos intermedios y las categorías agregadas como indicadores endpoint para los efectos finales o agregados, lo que permite la comparación entre las mismas. De esta forma, los procesos de normalización (a nivel de Europa y el mundo) y ponderación transforman los resultados en unidades neutras comparables, que hacen que no se comprometa la validez de la investigación debido al alcance que se establece y su generalidad (como en el caso del presente proyecto) (Belalcázar *et al*, 2018).

En el presente ACV se seleccionó la metodología **ReCiPe 2016** en su actualización, que representa factores de caracterización a nivel global, así como el indicador Midpoint y Endpoint, escogiendo el primero debido a su enfoque en efectos intermedios y descartando incertidumbre y subjetividad de los resultados. Con respecto a las opciones de valor, que se encargan de agrupar tipos similares de supuestos y elecciones, se escogió (I) es decir, la perspectiva individualista. Según esto, las categorías de impacto más utilizadas son: Aumento de retención de infrarrojos, el agotamiento del ozono estratosférico, acidificación y smog fotoquímico (Haya, 2016).

10.1.2.5 Suposiciones

Es importante tener en cuenta que la bibliografía consultada no entrega todos los datos relacionados con las entradas necesarias para el desarrollo de los procesos. Como es el caso del documento base del proyecto realizado por Belalcázar *et al* (2018), en el cual se estima el proceso de transporte, pero no se evidencia el recorrido, el estado del vehículo ni el modelo, datos muy importantes y que deben ser expuestos a la hora de realizar el ICV.

Para esto, se realizaron suposiciones como las siguientes: en primer lugar, ya que la referencia bibliográfica no resalta el origen del transporte, se estimó que comienza desde el lugar donde es realizado el proceso del cultivo. Es decir, este es el encargado de transportar la mota de algodón a la fábrica textil en una distancia de 100 km (Valor estándar mencionado anteriormente), donde se realizan los respectivos procesos para la elaboración de la tela. En adición a esto, las características del transporte como el tipo de vehículo, su porcentaje de ocupación, el recorrido, entre otras, fueron determinadas con respecto al software y bibliografía consultada. Así, que supuso que es un vehículo de tamaño pequeño, debido a que la carga que debía llevar era aproximadamente 1 tonelada, y con un 50% de capacidad “Load Factor” (representado como LF en el software por sus siglas en inglés), porque según la base de datos Agri-footprint (PRÉConsultans, 2019), un camión de tamaño pequeño tiene una capacidad de 3 toneladas. Por último, la emisión estándar del vehículo que utiliza diésel como combustible fue seleccionada como EURO2, porque el parque automotor de Colombia en los últimos años, se ha caracterizado por componerse en su gran mayoría por vehículos de carga antiguos (Cifuentes, 2018).

Por otra parte, fue necesaria la implementación de otras suposiciones en los procesos de descolado, fregado, blanqueo y lavado, donde necesariamente se deben utilizar insumos químicos para estas etapas según Lockuan (2012), y en la bibliografía base Belalcázar, *et al* (2018) no se tienen en cuenta.

Por lo tanto, se tomaron los insumos más significativos en estos procesos según Lockuán (2012), el descolado con peróxido de hidrógeno, el fregado con hidróxido de sodio, el blanqueo con peróxido de hidrógeno y el lavado con carbonato de sodio. De esta manera, se estimaron mediante cálculos las entradas y salidas de estos procesos según la UF, identificando en los datos de fondo encontrados en las bases de datos del software SimaPro 9, en donde se establece la cantidad necesaria de estos químicos. En el lavado, se realizó una suposición para determinar la cantidad de agua necesaria en este proceso. Para conocer la cantidad de agua residual cuantificada como salida, se tomó el dato de absorción de la tela que según OEIDRUSBC (2008) es de 7 a 8.5%, se tomó el promedio de estos dos (7.75%), suponiendo así la salida del agua, esto se evidencia en el **anexo C**.

Como suposiciones que se tomaron del estudio base de Belalcázar. *et al*, (2018), se tiene en cuenta que de la semilla de algodón como desecho (1795 kg), el 38% es aprovechable como mota de algodón (es decir 1100 kg), y de este valor el 10% representa las pérdidas en el proceso de descolado. Por otra parte, y con respecto a los fertilizantes evidenciados en el mismo estudio mencionado anteriormente, se cuantifica el fertilizante y para algunos el componente activo respectivo. En el software, el componente activo va incluido en cada dato de masa del herbicida, razón por la cual se hizo una relación como se evidencia en la columna de observaciones del ICV.

10.1.3 Inventario del Análisis de Ciclo de Vida

En esta etapa se tomaron en cuenta las diferentes entradas y salidas dentro del proceso de la tela de algodón, en donde se manejaron datos consultados bibliográficamente tomados como datos de primer plano y de las bases de datos de SimaPro 9 como datos de fondo (Agri-footprint, Ecoinvent, Industry data 2.0 y Methods).

10.1.3.1 Datos de primer plano

Cuando se habla de los datos de primer plano, se hace referencia a los datos obtenidos de alguna fuente bibliográfica, ya que este análisis de ciclo de vida es de tipo **conceptual**, y no se cuenta con la información de visitas técnicas. A continuación, se determinaron los datos de todos los procesos relacionados con la elaboración de 1000 kg de tela de algodón:

Tabla 11. *Inventario subsistema de cultivo para la producción de 1000 kg de tela de algodón (Gossypium Hirsutum).*

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Subsistema 1: Cultivo				
Materia prima				
Entrada	Tierra arable	1	ha	
Entrada	Abono: N_2	60	kg	
Entrada	Abono: P_2O_5	25	kg	
Entrada	Abono: K_2O	47	kg	
Entrada	Fertilizante: N_2	300	kg/ha	Datos tomados de estudio de referencia (Belalcázar et al; 2018) para la producción de 1000 kg de tela de algodón
Entrada	Fertilizante: P_2O_5	250	kg/ha	
Entrada	Fertilizante: K_2O	250	kg/ha	
Entrada	Herbicida: Diurón	1.25	kg/ha	
Entrada	Herbicida: Trifluralina	5.47	kg/ha	Se tuvo en cuenta la densidad del químico $\rho = 1,36 \text{ kg/l}$ para ser multiplicado por la cantidad de herbicida 3.75 l/ha y ser sumado con la cantidad de componente activo que es 0.375 kg/ha (Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Herbicida: Fluometuron	2.0	kg/ha	(Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Herbicida: Pendimetalin	6	kg/ha	(Belalcázar et al; 2018)

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Entrada	Herbicida: Monosodium methanearsonate (MSMA)	7.74	kg/ha	Se tuvo en cuenta la densidad del químico $\rho = 1,5 \text{ kg/l}$ para ser multiplicado por la cantidad de herbicida 4.5 l/ha y ser sumado con la cantidad de componente activo de 0.99 kg/ha (Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Herbicida: Alacloro	6.452	kg/ha	Se tuvo en cuenta la densidad del químico $\rho = 1,133 \text{ kg/l}$ para ser multiplicado por la cantidad de herbicida 4 l/ha y ser sumado con la cantidad de componente activo de 1.92 kg/ha (Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Herbicida: Perfluidone	4.25	kg/ha	
Entrada	Semillas de algodón	20	kg/ha	
Entrada	Agua para riego	6500	m^3 /ha	Del desecho de semillas de algodón se asume que el 38% no es aprovechable como mota de algodón.
Salida	Desecho de semillas de algodón	1795	kg	(Belalcázar et al; 2018)
Salida	Mota de algodón	1100	kg	
Emisiones				
Salida	Emisiones de cultivo	2000	kg CO_2	(Belalcázar et al; 2018)
Energía				
Entrada	Subsolador (para arado)	1291.97	MJ/ha	(Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Cosechadora de algodón	1109.80	MJ/ha	(Belalcázar et al; 2018)
Combustibles fósiles				

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Entrada	Subsolador (Para arado)	7.395	kg de diesel/ha	Se tuvo en cuenta la densidad del diesel en Colombia $\rho = 0,850 \text{ kg/l}$ y se multiplicó por la cantidad de diesel 8.70 l/ha, esto para ingresar los datos al software (Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Cosechadora de algodón	420.835	kg de diesel/ha	Se tuvo en cuenta la densidad del diesel en Colombia $\rho = 0,850 \text{ kg/l}$ y se multiplicó por la cantidad de diesel 495,1 l/ha, esto para ingresar los datos al software (Belalcázar et al; 2018)

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Tabla 12. Inventario subsistema de transporte para la producción de 1000 kg de tela de algodón (*Gossypium Hirsutum*).

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Subsistema 2: Transporte				
Combustibles fósiles				
Entrada	Distancia	100	Km	Valor estándar de distancia del cultivo a la industria textil según Belalcázar <i>et al</i> (2018) y Textile Exchange (2014)

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Tabla 13. Inventario subsistema de extracción de fibra para la producción de 1000 kg de tela de algodón (*Gossypium Hirsutum*).

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Subsistema 3: Extracción de la fibra				
Materia prima				
Entrada	Mota de algodón	1100	Kg	Las pérdidas de algodón se consideran 10% de la

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Salida	Pérdidas de algodón	100	kg	mota. (Belalcázar et al; 2018)
Salida	Algodón desmotado (fibra de algodón)	1000	Kg	
Energía				
Entrada	Desmotadora	290000	MJ/ha	(Belalcázar et al; 2018)

Fuente. Elaboración propia 2020.

Tabla 14. Inventario subsistema de producción de tela para la producción de 1000 kg de tela de algodón (*Gossypium Hirsutum*).

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Subsistema 4: Producción tela de algodón				
Hilado y tejido				
Materia prima				
Entrada	Algodón desmotado	1100	Kg	(Belalcázar et al; 2018)
Salida	Tela de algodón	1000	Kg	
Energía				
Entrada	Hiladora	89000	MJ/ha	(Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Trenzadora	32000	MJ/ha	
Desencolado				
Materia prima				
Entrada	Tela de algodón	1000	kg	(Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Agua	0.8	m³	(CAR/PL, 2002)
Salida	Tela de algodón	1000	kg	(Belalcázar et al; 2018)
Salida	Agua residual	0.738	m³	Suposición del proyecto ver anexo C
Energía				
Entrada	Desencolado	3500	MJ/ha	(Belalcázar et al; 2018)

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Fregado				
Materia prima				
Entrada	Tela de algodón	1000	kg	(Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Agua	5.5	m^3	(Belalcázar et al; 2018)
Salida	Tela de algodón	1000	Kg	(Belalcázar et al; 2018)
Salida	Agua residual	5.073	m^3	Suposición del proyecto ver anexo C
Energía				
Entrada	Fregadora	17000	MJ/ha	(Belalcázar et al; 2018)
Blanqueo				
Materia prima				
Entrada	Tela de algodón	1000	kg	(Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Agua	14.7	m^3	(Belalcázar et al; 2018)
Salida	Tela de algodón	1000	kg	(Belalcázar et al; 2018)
Salida	Agua residual	13.56	m^3	Suposición del proyecto ver anexo C
Energía				
Entrada	Blanqueadora	26000	MJ/ha	(Belalcázar et al; 2018)
Lavado				
Materia prima				
Entrada	Tela de algodón	1000	kg	(Belalcázar et al; 2018)
Entrada	Agua	7	m^3	Suposición del proyecto
Salida	Tela de algodón	1000	kg	(Belalcázar et al; 2018)
Salida	Agua residual	6.4525	m^3	Suposición del proyecto ver anexo C
Energía				
Entrada	Lavadora	1000	kWh	(Belalcázar et al; 2018)

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Secado				
Materia prima				
Entrada	Tela de algodón	1000	kg	(Belalcázar et al; 2018)
Salida	Tela de algodón lista	1000	kg	
Energía				
Entrada	Secadora	12000	MJ/ha	(Belalcázar et al; 2018)

Fuente. *Elaboración propia, 2020.*

10.1.3.2 Datos de fondo

Estos datos son los que provienen de la base de datos del software SimaPro 9, por lo tanto, para verificar los que se incluyeron en el proyecto, primero se escogieron las bibliotecas correspondientes a las bases de datos que se evidencian en la siguiente tabla:

Tabla 15. *Bibliotecas seleccionadas en SimaPro 9 para la elaboración del ACV.*

Biblioteca	Descripción
Agri-footprint	Incluye datos de cultivos y sus respectivos procesamientos, incluye inventarios de procesos unitarios vinculados con el cultivo, sistemas de producción ambiental y procesamiento de productos animales, además incluye datos sobre transporte, producción de fertilizantes y materiales auxiliares.
Ecoinvent 3	Contiene datos de producción de energía, transporte, materiales de construcción, producción de productos químicos, metales, frutas y hortalizas. Por otra parte, utiliza un modelo de atribución para conocer lo impactos ambientales en un ciclo de vida.
Industry data 2.0	Información sobre asociaciones industriales
Methods	Contiene varios métodos de evaluación de impacto

Fuente. *Adaptado de SimaPro 9.*

Seguido de seleccionar las bibliotecas para la elaboración del ACV, es fundamental definir los procesos que fueron modificados dentro del software. Principalmente se debe definir la **producción de energía eléctrica mixta** para Colombia, esto es de vital importancia ya que muchos procesos del ACV tienen como entrada la energía. Esto, debido a que los países presentan diferentes fuentes de energía eléctrica como el caso de la energía solar, eólica, hídrica, a base de carbón, entre otras, permitiendo conllevar no solo al deterioro de recursos, sino también a la degradación de distintos ecosistemas. Por lo tanto, el caso específico de Colombia, no se encuentra dentro del software SimaPro 9, lo que llevó a buscar esta fuente en países latinoamericanos, siendo Perú el país más similar en cuanto producción de energía.

Tabla 16. Matriz energética Perú - Colombia.

Fuente	Colombia		Perú	
	Producción (GWh)	Porcentaje %	Producción (GWh)	Porcentaje %
Recurso Hídrico	23009,6	80,32	230189	48,47
Biogás	51,2	0,18	1978	0,42
Solar	241	9,17	9805	2,06
Carbón	772,9	2,7	123127	25,93
Gas natural	1132,7	3,95	91354	19,24
Eólica	1054,1	3,68	18423	3,88
Total de producción	28646,8	100	474876	100

Fuente. *García, et al., 2016.*

Como se puede evidenciar en la **tabla 16**, la generación energética de Colombia se basa principalmente en el recurso hídrico teniendo este un 80% de la producción total de energía, mientras que en el caso de Perú su energía se deriva más que todo del carbón, gas natural e igualmente del recurso hídrico (Pinzón, 2018). En el caso de Perú, las emisiones que están relacionadas con el uso de carbón son exponenciales, mientras que en el caso de Colombia, los impactos de las hidroeléctricas se basan en la alteración de los ecosistemas acuáticos y terrestres, la alteración del flujo hidrológico por la inundación y puesta en marcha de los proyectos, la pérdida de hábitats, conllevan a una mayor carga de sedimentos, alteración de las comunidades de la zona y de los ciclos naturales de los ríos, entre otros (Osorio, 2018).

Ya teniendo la producción de electricidad mixta de Colombia, fue necesario aplicar su integración en el software SimaPro 9, debido a que la gran mayoría de procesos para elaborar tela de algodón llevaban consigo energía necesaria para el funcionamiento de diferente maquinaria. Además, como suposiciones se incluyó que la energía necesaria era de alto voltaje para relacionarlo directamente con el software.

Cabe mencionar que para la realización del proyecto fue necesaria la modificación de algunos procesos del software como se evidencia en la tabla 17, para llevar a cabo el proyecto, resaltando que la abreviación **{GLO}** hace referencia global, esto quiere decir que involucra procesos de varios países, **COL** es la abreviación para Colombia, **PE** corresponde a Perú y **{ROW}** Rest Of the World, muy similar a **GLO**. En algunos casos específicos como el de los herbicidas, se tomaron procesos de Europa **{RER}**, debido a que el software no brindaba más datos para este tipo de insumos necesarios en el proceso de cultivo.

Tabla 17. Procesos de Simapro 9 modificados.

Proceso de Simapro 9	Proceso modificado
Cotton fibre {RoW} cotton production Cut-off, U	Mota de algodón Cultivo (etapa I)
Nitrogen fertiliser, as N {GLO} nutrient supply from manure, solid, cattle Cut-off, U	Abono N_2 (vaca) cultivo de algodón
Nitrogen fertiliser, as N {GLO} nutrient supply from potassium nitrate Cut-off, U	Fertilizante cultivo de algodón
Phosphate fertiliser, as P_2O_5 {RoW} ammonium nitrate phosphate production Cut-off, U	Fertilizante P_2O_5 cultivo de algodón
Phosphate fertiliser, as P_2O_5 {GLO} nutrient supply from manure, solid, cattle Cut-off, U	Abono P_2O_5 (vaca) cultivo de algodón
Potassium fertiliser, as K_2O {GLO} nutrient supply from potassium nitrate Cut-off, U	Fertilizante K_2O cultivo de algodón
Potassium fertiliser, as K_2O {GLO} nutrient supply from manure, solid, cattle Cut-off, U	Abono K_2O cultivo de algodón
Diuron, at plant/RER Mass	Diuron cultivo de algodón
Alachlor, at plant/RER Mass	Alacloro cultivo de algodón
Trifluralin, at plant/RER Mass	Trifluralina cultivo de algodón
Pendimethalin {RoW} production Cut-off, U	Pendimetalin cultivo de algodón
Fluometuron, at plant/RER Mass	Fluometuron cultivo de algodón

Proceso de Simapro 9	Proceso modificado
Sodium arsenide {GLO} market for Cut-off, U	MSMA (monosodium arsenide) cultivo de algodón
Herbicide, at plant/RER Energy	Herbicida-perfluidone cultivo de algodón
Irrigation {RoW} market for Cut-off, U	Irrigation cultivo de algodón
Diesel {GLO} market group for Cut-off, U	Diesel {GLO} market group for Cut-off, U cosechadora
Diesel {GLO} market group for Cut-off, U	Diesel {GLO} market group for Cut-off, U subsolador
Cotton seed {RoW} cotton production Cut-off, U	Semillas de algodón
Transport, truck <10t, EURO2, 50%LF, default/GLO Mass	Transporte cultivo (etapa II)
Diesel {GLO} market group for Cut-off, U	Diesel, transporte
Cotton fibre {RoW} cotton production Cut-off, U	Fibra de algodón cultivo (etapa III)
Electricity, high voltage {PE} production mix APOS, U	Electricity, high voltage {COL} production mix APOS, U
Textile, woven cotton {GLO} production Cut-off, U	Tela de algodón cultivo (etapa IV)

Fuente. *Elaboración propia (2020).*

Es importante aclarar que la mayoría de los procesos escogidos tienen como referencia en el software *Cut-off, u* esto, debido a que se refiere a un enfoque de producción primaria. Así que, de esta forma se escogieron estos procesos por el uso datos de materiales “ordinarios”, lo que hace referencia a que el producto no proviene de otro proceso. Por lo tanto, también se utilizaron los procesos llamados *production o market for* para estar seguros de que se refieren al proceso de la fabricación del material a escoger (los procesos *market* tenían dentro de ellos la producción del material, pero también incluían el transporte al mercado por lo que esto fue modificado). Por otra parte, a lo que hace referencia la *U* es a unidad, es decir, que el proceso se toma como unitario y no como un sistema *S*.

En el caso de la energía se tomó la denominación *APOS U*, debido a que se trata de un proceso específico, y tiene un enfoque atribucional en el que las cargas ambientales se atribuyen a los procesos relacionados y al proceso principal (ecoinvent.org, 2019).

Además, en caso de que no se encontrara la entrada o el material que se necesitaba para un proceso, se recurrió a buscar un proceso parecido y realizarle las modificaciones determinadas según los datos del ICV. Por ejemplo, en el software el herbicida MSMA (Mnosodium Arsenide) no se encontró, pero sí estaba contenido su componente principal conocido como Sodium Arsenide.

10.1.4 Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida del algodón

Para la realización de la Evaluación de los Impactos del proceso de producción de 1000 kg de tela de algodón, fue utilizado el método **ReCiPe 2016 Midpoint (I) Individualist** con normalización global para los factores de referencia del año 2010. Esta metodología se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML2001 y Eco-indicador 99 e integra el enfoque orientado al problema ambiental y al daño (EcoRaee, 2013). Por tanto, el enfoque de puntos intermedios (midpoint) de esta metodología, (ReCiPe) está constituido por 18 categorías de impacto, con su respectiva unidad:

Figura 6. Visualización de las unidades y categorías de impacto de la metodología ReCiPe, presentadas por el software SimaPro 9.

Nombre	Ud.
Global warming	kg CO2 eq
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq
Ozone formation, Human health	kg NOx eq
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq
Terrestrial acidification	kg SO2 eq
Freshwater eutrophication	kg P eq
Marine eutrophication	kg N eq
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB
Land use	m2a crop eq
Mineral resource scarcity	kg Cu eq
Fossil resource scarcity	kg oil eq
Water consumption	m3

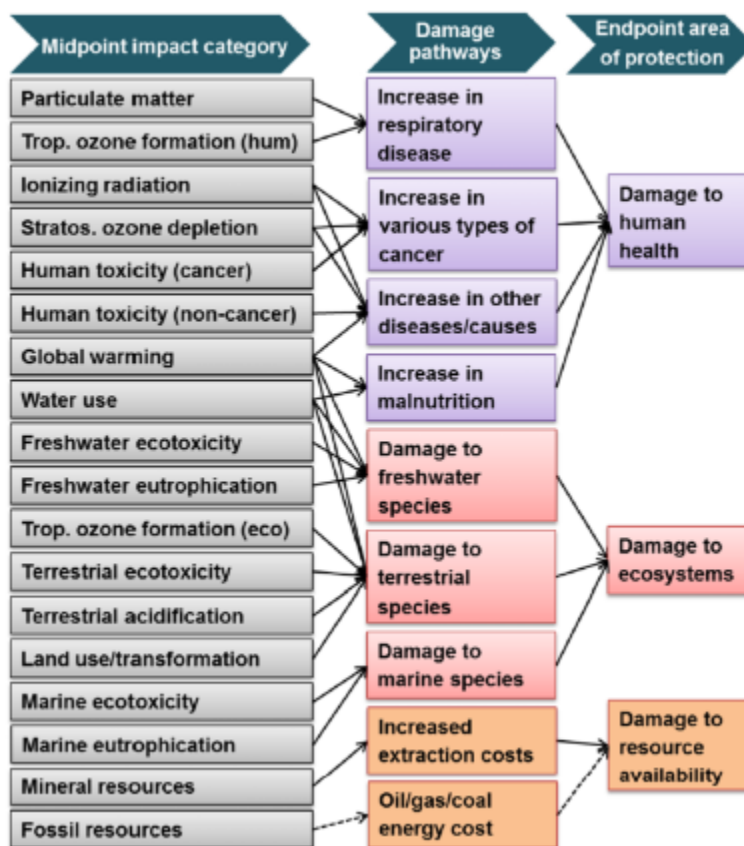
Fuente. PréConsultans, 2019.

De igual forma, las metodologías utilizadas para realizar el EICV de las bibliografías consultadas, como se mencionó en el alcance, fueron ReCiPe 2016 (Belalcázar, et al, 2018) (Van Eynde, 2015), CML2001 (Textile Exchange, 2014); (PE International AG, 2014), CML2001 y USEtox (Zhang, 2015), e IPCC

2006 (Moritz & Cordula, 2013). Utilizando todos estos enfoques Midpoint, excepto Belalcázar, sus colaboradores (2018), quienes tomaron los dos enfoques (Midpoint y Endpoint), para determinar las afectaciones directas a la salud humana, ecosistemas y aumento del costo de los recursos, con respecto a cada categoría de impacto.

Así como en el presente ACV se tomó el enfoque de puntos intermedios, debido a la baja incertidumbre de los datos que representa, la fiabilidad y precisión de los resultados, a pesar de que su interpretación es un poco más complicada es el más utilizado en las EICV (Ecoraee, 2013).

Figura 7. Representación de la relación entre los enfoques midpoints y endpoints, y de sus categorías de impacto.



Fuente. Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Struijs & van Zelm. 2016.

La metodología **ReCiPe** de efectos intermedios con percepción **individualista** maneja las etapas de caracterización y normalización, y utiliza un sistema de normalización que recalcula los impactos por ciudadano, bien a nivel europeo o a nivel mundial (Ecoraee, 2013). Se escogió a **nivel mundial** debido a la ubicación, el alcance del ACV y porque el europeo no se encuentra respaldado por el software en su última actualización. Por otra parte, y como se ha mencionado anteriormente, para realizar la EICV, se utilizó el software **SimaPro 9.0.0.48** herramienta desarrollada por PréConsultans, por ser el software con mayor participación a nivel mundial y por su sistema operativo, que se compone de una gran cantidad de

bases de datos y bibliotecas, de todo el mundo y que tiene un algoritmo altamente eficiente, que permite evaluar una gran cantidad de procesos unitarios al mismo tiempo (Curran, 2012).

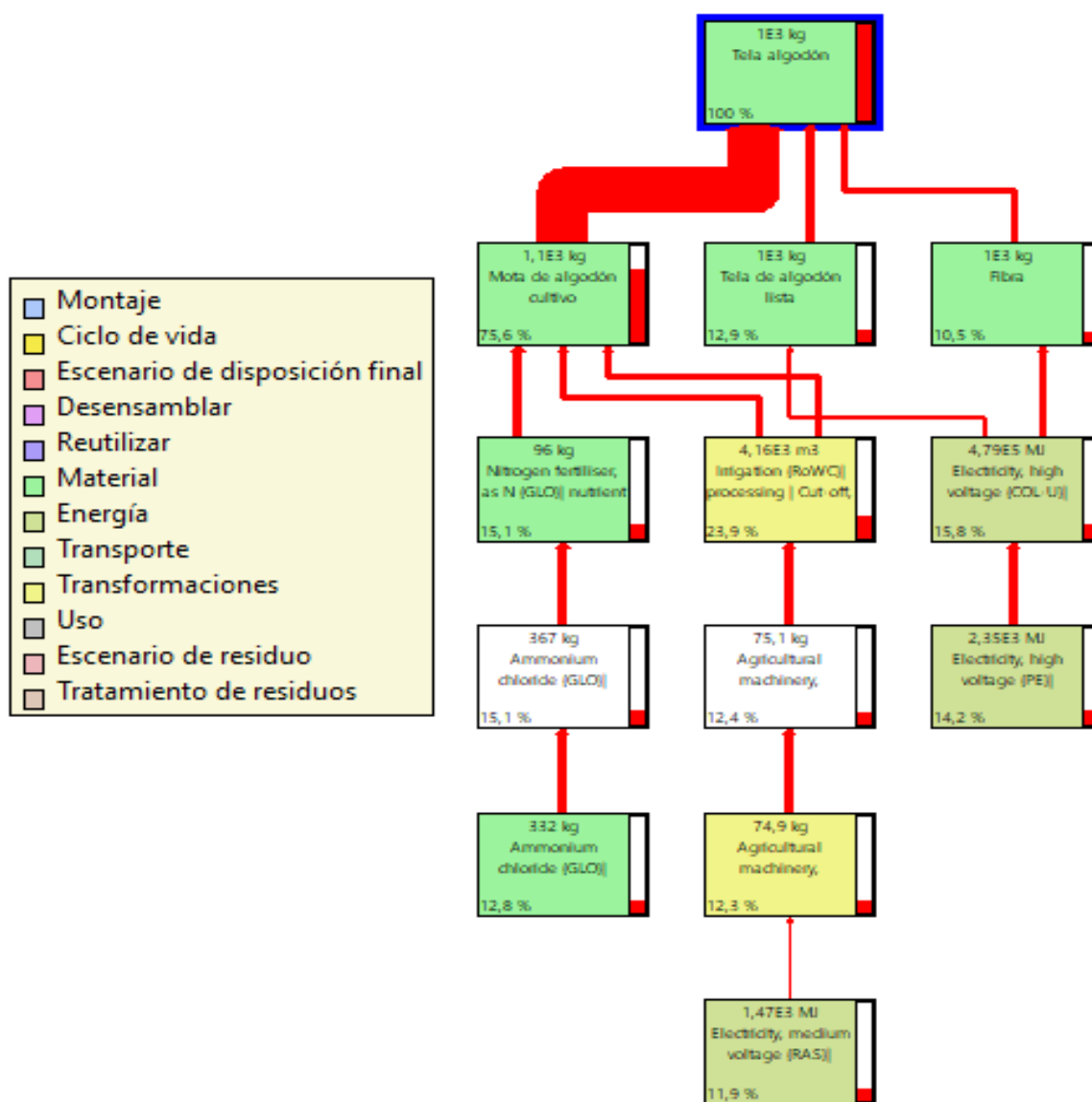
Los resultados para este apartado, serán expuestos mediante un diagrama de red y gráficas tomados del software. El **diagrama de red**, es una representación de los flujos de procesos, entradas y salidas más relevantes respecto a las cargas ambientales de cada uno, que fueron delimitadas en el objetivo y el alcance. De esta forma, se presenta una jerarquización en dos niveles, en el primero se encuentra el sistema en general, mientras que en el segundo los procesos que lo componen, las etapas y materiales respectivos para la obtención de la tela de algodón.

Para dar a conocer las gráficas, se tuvo en cuenta la caracterización que es un elemento obligatorio de la EICV, al igual que la normalización que es un elemento opcional según la NTC ISO 14044. De esta manera, para dar continuidad al proceso de los diagramas de red, las gráficas se presentan de la misma manera, una más general (sistema completo) y la otra más específica siguiendo con la contribución a cada una de las categorías de impacto de las etapas específicas del sistema.

10.1.4.1 Diagrama de red

En la **red de procesos** de la tela de algodón que se puede ver a continuación, se fijó un umbral de corte de visualización según un porcentaje determinado de contribución de carga ambiental para una categoría de impacto predeterminada por el software, que además permitió visualizar las etapas y sus contribuciones. En este caso es la de **calentamiento global**, por medio de la opción de caracterización del software en la metodología. Así, se consideró un nivel de detalle de **7 %**, lo que permite reflejar todos los procesos que son intervenidos o que aportan ese porcentaje o más sobre el total del ciclo de vida modelado.

Figura 8. Diagrama de red para la categoría de cambio climático, del ciclo de vida de la tela de algodón.

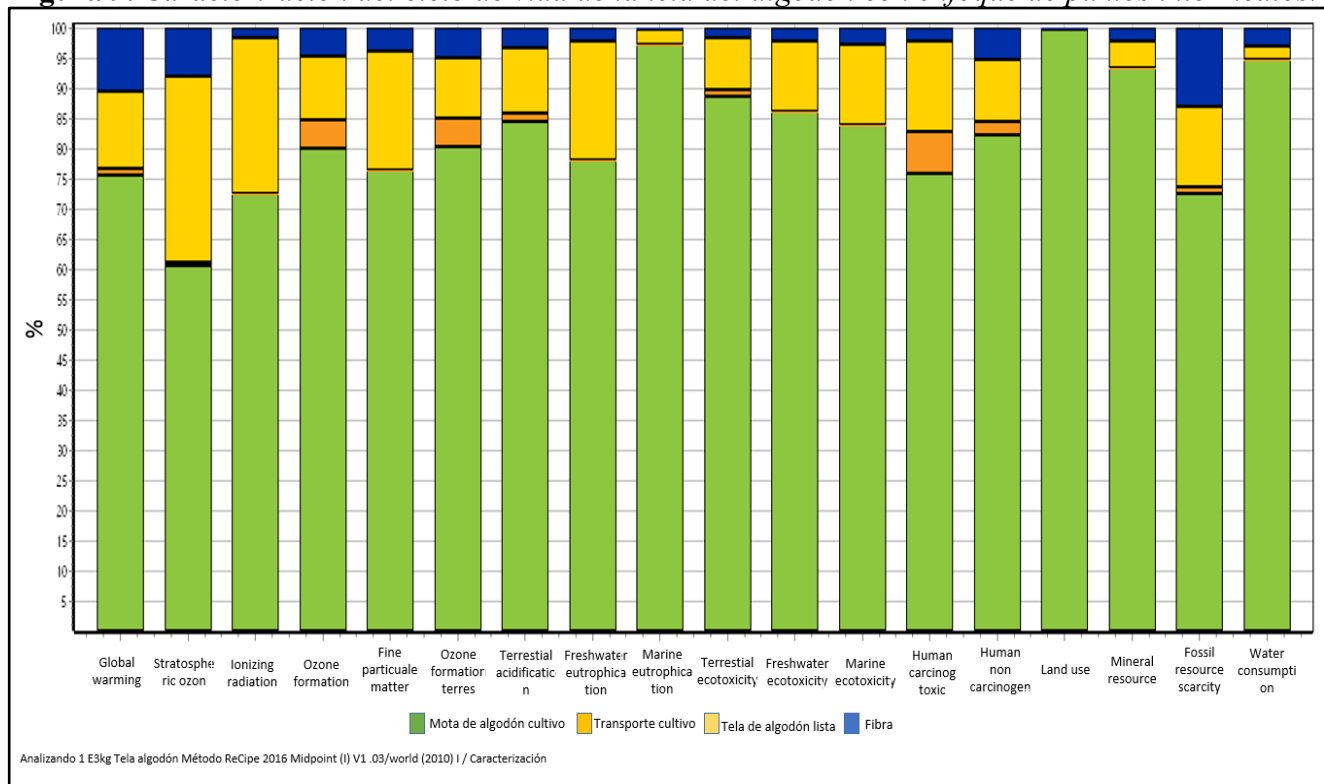


Fuente. Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9.

En el diagrama de red expuesto en la figura 6, la mayor contribución para el impacto en la categoría de calentamiento global con 75,6% es la etapa o subsistema de cultivo (mota de algodón), con valor **2930 kg de CO₂eq** debido a los procesos asociados al uso de fertilizantes nitrogenados por su proveniencia del amonio en su fabricación. De igual forma, el proceso de irrigación tiene un aporte significativo equivalente al 12,9% dada la gran cantidad de agua que necesita el algodón para su desarrollo y la maquinaria requerida. Por otro lado, en la **etapa de la tela (12,9%)** con **499 kg** del proceso más representativo es el fregado por su utilización de hidróxido de sodio en altas cantidades, seguido por el peróxido de hidrógeno en los procesos de blanqueo y desencolado. La etapa de menor contribución a este impacto es la de la fibra, en la que se atribuye a la energía utilizada en el proceso de desmotado. Por último, la etapa de la obtención de la fibra aporta el 10,5%, **409 kg de CO₂eq** por la electricidad utilizada en el desmotado. Desde este momento, la percepción de la etapa que más impactos genera en la obtención de la tela de algodón es el cultivo, debido su alto grado de contribución.

Mediante las representaciones gráficas, se realizó la comparación entre las categorías de impacto (que se observan en el eje y) en relación con las etapas que conforman el sistema principal el cultivo (verde), transporte (naranja), obtención de fibra (azul) y tela (amarillo), y los procesos involucrados por medio de la **caracterización** de todos los impactos y sus categorías representando su aporte en porcentaje (eje x) como se observa en la siguiente figura.

Figura 9. Caracterización del ciclo de vida de la tela del algodón con enfoque de puntos intermedios.

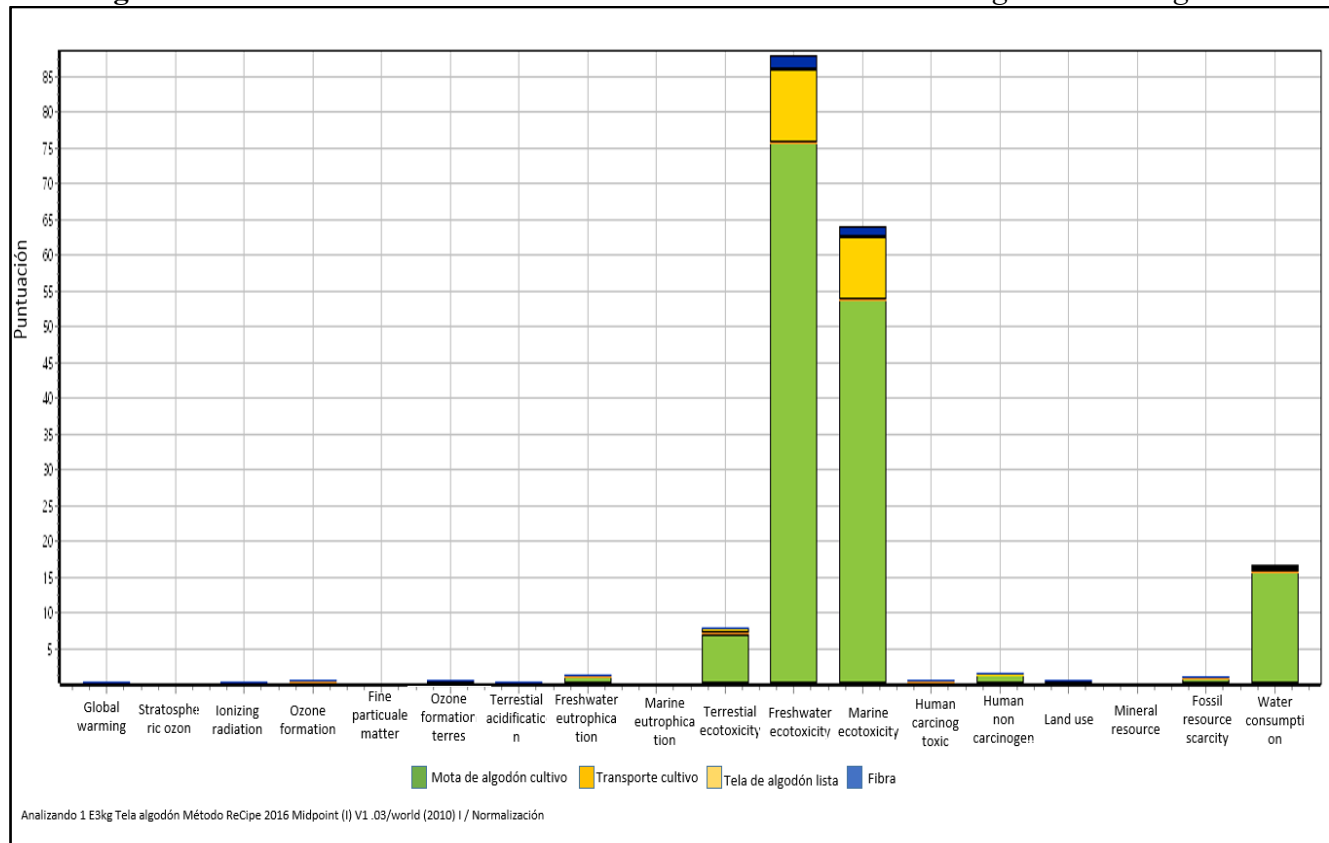


Fuente. Elaboración propia, 2020, obtenido de SimaPro 9.

En la gráfica se identifica, que la etapa del **cultivo** tiene una contribución mayor a un **60%** impactando casi totalmente (**99,8%**) al uso de la tierra con, el cual es un impacto significativo y característico de este proceso y en menor grado al agotamiento de la capa de ozono (**60,5%**). La segunda etapa con mayor representatividad es la de la obtención de la tela, presentando su mayor aporte en la categoría de pérdida de la capa de ozono (**30,9%**) y menor en la de eutrofización marina (2,6%). Seguido de la obtención de la fibra, con mayor contribución al agotamiento de recursos fósiles (13,2%), menor en el uso de la tierra (0%) y la eco toxicidad terrestre (1,62%). Por último, la etapa de transporte, con mayor representatividad en la toxicidad humana no carcinógena (6,9%), y menor en el uso de la tierra (0%), consumo de agua, eutrofización marina, uso de recursos minerales, radiación ionizante y otras, con menos del 1% de aporte.

Como elemento opcional de la EICV, la **normalización** permite simplificar la interpretación de los resultados obtenidos, y es el procedimiento necesario para establecer el aporte de una categoría de impacto a una problemática ambiental determinada. Para esto, se realiza la cuantificación de la contribución de cada proceso a las categorías de impacto, sin tener en cuenta las unidades o indicadores de cada una. De esta manera, en la figura 10 se presenta este elemento identificando las categorías de mayor impacto y las etapas que lo generan.

Figura 10. Normalización de la evaluación del ciclo de vida de 1000 kg de tela de algodón.

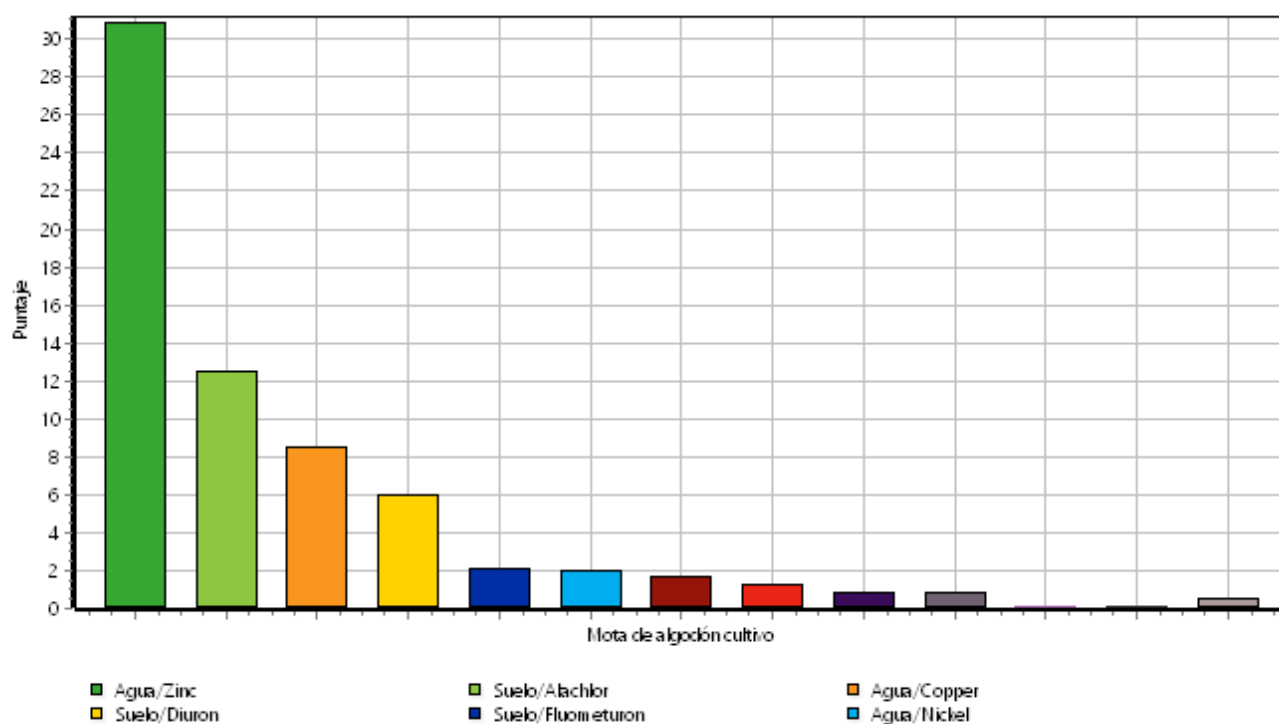


Fuente. Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.

Al observar los resultados normalizados de la caracterización, la categoría con mayor contribución es la de la toxicidad de agua dulce con un puntaje de 67,5, por parte de la etapa de cultivo, por la gran cantidad

de fertilizantes que se utilizan, especialmente el Alacloro (Figura 11). Seguido de la obtención de la tela con 10,2 puntos, debido a los químicos que se utilizan y sus componentes como el Zinc que mayor carga ambiental genera, la fibra con 1,97 puntos y por último el transporte con 0,33 puntos. La segunda categoría de impacto con media contribución es la eco toxicidad marina, en la que la etapa del cultivo tiene mayor puntaje, seguido de la categoría de consumo de agua, la toxicidad terrestre con baja y las demás categorías exceptuando el agotamiento de la capa de ozono, el material particulado y la disminución de recursos minerales.

Figura 11. Especificación por sustancia de la etapa del cultivo respecto a su contribución en la categoría de toxicidad de agua dulce.



Analizando 1 E3 lig Tela algodón; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (II V1.03 / World (2010) I / Normalización

Fuente. Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.

La mayor carga ambiental para todas las categorías de impacto es evidentemente de la etapa del cultivo, específicamente y como se puede observar en la figura 11, es debido al uso de una gran cantidad de fertilizantes para el desarrollo productivo de la planta especialmente el Diurón, Alacloro, Fluometuron, y sus componentes como el Zinc, Cobre y Níquel.

10.2 Resultados objetivo específico 2

Para el desarrollo del objetivo específico número 2 fue necesario hacer una revisión bibliográfica detallada, para poder realizar de manera efectiva la comparación de las alternativas de materia prima vegetal, y de esta manera evaluarlas para obtener como resultado la más apta según los criterios planteados en este segmento, se realizaron dos matrices de evaluación, como bien ya mencionado en la metodología (ver apartado 8.3.2), en primer lugar era necesario buscar la información de las once materias primas seleccionadas para ser comparadas ((madera del Eucaliptus *globulus*), Bonote (coco), yute (*Corchorus capsularis*), cáñamo (*Cannabis sativa*), sisal (*Agave sisalana*), formio (*Phormium tenax*), abacá (*Musa textillis*), kapok (*Ceiba pentandra*), lino (*Linum usitatissimum*), bambú (*Guadua angustifolia kunth*), fique (*Furcraea bedinghausii*)).

Cabe aclarar que estas especies o materias primas vegetales fueron seleccionadas debido a su morfología y sus características mecánicas de resistencia, elasticidad y también flexibilidad, según Alonso (2015), de todas estas fibras vegetales se pueden obtener mediante procedimientos, hilos, mallas, cuerdas o manufacturas semejantes, todo esto depende de sus propiedades mecánicas y químicas, lo cual proporciona la información para concluir si la fibra es apta para una realización textil, en este caso específico tela para prendas de vestir. Por lo tanto, con lo consultado en los artículos de Alonso (2015), Guerra (2011), Guevara (2013), Peña (2007), entre otros, se procedió a realizar la comparación debida.

10.2.1 Matriz de cumplimiento obligatorio

En la búsqueda de información se encontraron datos específicos y puntuales para los criterios propuestos en la metodología como el porcentaje de celulosa (%), de lignina (%), la longitud promedio de las fibras (mm), altitud promedio para su desarrollo (msnm), diámetro (micras) y presencia en Colombia por lo tanto en esta primera parte se determinó buscar alrededor de dos autores por criterio y comparar lo propuesto por estos. El valor asignado en la matriz de información se sacó del promedio de los datos arrojados por los autores. La información establecida para realizar la comparación se puede evidenciar en el **anexo D**.

10.2.1.1 Madera de eucalipto (*Globulus*)

En la bibliografía consultada se encontró que diferentes autores plantean distintos datos acerca de los criterios comparados, en el caso de la celulosa, según Area (2004) y Gómez, Ríos & Peña (2012) el porcentaje de este componente de la madera del eucalipto, es de 42,5 % para el primero y 45% para el segundo, por lo tanto, como mencionado anteriormente el dato que se asignó en la matriz fue el promedio de estos dos. Por otra parte, los autores mencionados anteriormente plantean igualmente el contenido de lignina, el primero de ellos estima 23,9 % y el segundo 27 %, como se evidencia no son datos con un rango de diferencia muy grande, por la misma razón se decidió aplicar el promedio igualmente. En otro de los criterios evaluados Barahona (2005) establece que las fibras de la madera del eucalipto pueden llegar a tener un diámetro de 19,59 micras y una longitud de 0,81 mm a 1,06. También era necesario buscar información geográfica de la materia prima, por lo tanto, Gómez *et al* (2012) establece que esta planta se puede desarrollar en altitudes de 2000 a 3300 metros sobre nivel del mar (msnm) y que su presencia en Colombia se presentaba en las regiones andina y pacífico.

10.2.1.2 Bonote (*coco*)

En el caso de la cáscara de coco (bonote), Guerra (2011) plantea un porcentaje de celulosa de 37,5 % y de lignina 42,5%, para realizar una comparación, Villegas & Vélez (2007) estimaron que la cáscara de coco poseía un 32,3% de celulosa y 42,5 % para lignina, para la celulosa se realizó un promedio y se asignó a la matriz de información igualmente que la lignina, todo esto detallado en el **anexo D**. Por otra parte, Alonso (2015) estima las características físicas de esta fibra, dice que presenta en diámetro un rango de 12 a 24 micras y de longitud 0,5 a 1 mm. En cuanto a las características para el desarrollo de esta planta se estima que se desarrolla en altitudes de 0 hasta los 1200 msnm y de igual forma, se establece que en Colombia esta especie se puede encontrar en las regiones pacífico y caribe (Granados & López, 2002).

10.2.1.3 Yute (*Corchorus capsularis*)

Para el caso de esta materia prima, Guerra (2011) establece en su estudio que el porcentaje de celulosa en esta materia prima es de 66,5% y de lignina 10,55%, para corroborar estos datos también se revisó el documento de Alonso (2015) en el cual presenta que tiene un 71% de celulosa y 12,5 % de lignina, igual que las plantas analizadas anteriormente se realiza un promedio de estos datos. Este último autor también propone los datos físicos de las fibras de la planta, dice que tienen un diámetro de 10-32 micras y una longitud de 1 a 5 mm. Por otra parte, se encontró que en Colombia este crece en diferentes regiones como andina, caribe y pacífico, además necesita una altitud entre 1000 a 2500 msnm para su desarrollo según Rueda (2004).

10.2.1.4 Cáñamo (*Cannabis sativa*)

El cáñamo presenta un porcentaje alto de celulosa, esto declarado por Páez (2007) presentando un porcentaje de 72,4% y Alonso (2015) estipula que contiene 70% y además un 9% de lignina del cual se sacó promedio con lo dicho por Guerra (2011) 4,7%. En el estudio presentado por Alonso (2015) también se recalcan las propiedades físicas de la fibra del cáñamo, las cuales contienen de 25 a 30 micras de diámetro y de longitud 15 a 50 mm, la altura para su desarrollo es muy amplia con un rango entre 1000 a 3000 msnm según Fassio *et al* (2013), y además esta planta se puede encontrar en diferentes regiones de Colombia como Andina, Caribe y Pacífico (Guevara, 2018).

10.2.1.5 Sisal (*Agave sisalana*)

En cuanto a esta planta Guerra (2011) estima porcentajes para la cantidad de celulosa y lignina de un 75,2% y 11%, como afirmamiento, Alonso (2015) presenta un 75% de celulosa y 6,5% de lignina, en cuanto a la parte física de las fibras obtenidas de esta planta se encuentra que tienen un diámetro en un rango de 20 a 32 micras y longitud de 1 a 5 mm. Según Giraldo (2017) y Corpoica (2004) esta planta se encuentra en las regiones Andina y Caribe del país de Colombia y se puede desarrollar a altitudes desde 0 hasta 3500 msnm.

10.2.1.6 Formio (*Phormium Tenax*)

Esta planta también conocida como el lino de Nueva Zelanda presenta un porcentaje de celulosa de 71,3% de celulosa establecido por Guerra (2011) y 61,58% por parte de López (2012) que además este mismo

autor entrega en su documento un porcentaje de lignina del 11,59% que comparado con el estudio de Guevara (2013) en el cual se encuentra un porcentaje de 10,52% de lignina, el cual es un rango muy cercano comparado con lo dicho por el anterior autor. Para conocer los porcentajes de los componentes físicos de las fibras encontradas en esta planta se consultó el documento de Alonso (2015) en el cual se estipula un diámetro de 15 a 20 micras y una longitud de la fibra de 8 a 10 mm, además de esto el Herbario JBB en línea – Jardín Botánico José Celestino Mutis establece que esta especie solo se encuentra en la región Andina del país colombiano y se desarrolla desde 0 hasta los 2700 metros sobre nivel del mar lo cual la hace muy adaptable a diferentes altitudes según Guerra (2011).

10.2.1.7 *Abacá (Musa textilis)*

Según Ojeda (2012) esta planta presenta un porcentaje de 62,27% de celulosa, para dar solidez a este dato se consultó también el estudio de Guerra (2011) donde establece un 66,55% de este componente químico, además en este mismo estudio también se encuentra la cantidad de lignina, un 5,85%, pero contrarrestando, en el estudio de FAO (2020) se recalca un 15% de lignina, se procedió a realizar el promedio como en todos los casos descritos en esta apartado del proyecto, con el fin de tener solo un dato en la matriz de la información recolectada (**anexo D**). Por otra parte, fue necesario conocer el diámetro y la longitud de la fibra, por lo tanto, Alonso (2015) dice que estas fibras tienen de 15 a 30 micras de diámetro y que su longitud puede ir desde 5 a 12 mm. Por último, Manrique, Rivera (2012) detallan la altitud a la cual esta planta puede crecer y en qué regiones de Colombia se puede encontrar, estableciendo que se puede desarrollar desde 0 hasta los 2000 msnm y que se encuentra en todas las regiones del país, lo cual es un muy buen punto a destacar de esta planta.

10.2.1.8 *Kapok (Ceiba pentandra)*

Para poder comparar esta planta con las demás fue necesario buscar referencias bibliográficas que arrojaran datos en cuantos aspectos químicos y físicos, encontrando que puede tener entre 41,9% y 35% de celulosa y de lignina entre 21,5% y 26,24% según Castro (2007) y Honorato *et al* (2015). Por otro lado, Alonso (2015) entrega los datos en cuanto a diámetro (20 a 40 micras) y longitud (15 a 30 mm) de las fibras de esta planta. Además de esto se necesitaba conocer en qué regiones de Colombia se podía encontrar y a que alturas se podía desarrollar, para realizar la comparación con las otras plantas o materias primas vegetales, por lo tanto, se encontró que el kapok se encuentra en las regiones Andina, en parte del Pacífico y del Caribe, y además se puede desarrollar a partir de 0 hasta 1000 msnm según Rosero *et al* (2017).

10.2.1.9 *Lino (Linum usitatissimum)*

El lino presenta rangos de celulosa entre 71,2% y 60%, de lignina de 2,2% a 2% según lo consultado en los artículos de Guerra (2011) y Peña (2007), para las propiedades físicas se consultó Alonso (2015) quien determina que las fibras de esta planta pueden tener entre 12 a 25 micras de diámetro y de 20 a 40 mm de longitud. Esta planta también se puede encontrar en la región Andina y Pacífico de Colombia, además de esto es muy resistente a diferentes climas ya que se puede desarrollar desde 0 hasta los 3500 msnm según lo estipulado por Gazzani (2015) y la Universidad Nacional de Colombia (2007).

10.2.1.10 *Bambú (Guadua angustifolia Kunth)*

Esta planta posee un gran porcentaje de celulosa entre el 47,9 % y 43,35% y un porcentaje de lignina medio de 29,6% a 23,71% como lo establece Caballero (2010) y Guerra (2011) en sus respectivas investigaciones, otro aspecto de esta planta, son las características físicas de la fibra ya que se pueden encontrar fibras hasta de 3 mm de longitud y 10 micras de diámetro lo cual es estimado en el estudio de Estrada et al (2010). Además, tuvo en cuenta si esta especie se encuentra en diferentes regiones del país, para poder tener un acceso más fácil a ella en caso de que esta fuera la más óptima comparada con las otras 10, Pandoja & Acuña (2005) establecen en su estudio que esta especie se encuentra solo en la región central Andina de Colombia y que se puede desarrollar desde una altitud de 0 hasta 2200 metros sobre el nivel del mar para su desarrollo.

10.2.1.11 *Fique (Furcraea bedinghausii)*

Según Muñoz et al (2014) esta planta posee un porcentaje alto de celulosa (68,36%-73,8%) lo cual es muy bueno, debido a que entre más alto sea el porcentaje es mejor ya que puede ser muy útil como fibra textil, pero ya también se tienen que considerar los otros criterios como tal. De lignina este mismo autor nos entrega un dato de 7,2% a 11,3%. De igual forma, consultando el estudio de Muñoz (2014) las propiedades físicas de la fibra de esta planta son de 16000 a 42000 micras de diámetro y de longitud 2,4 mm lo cual genera una desventaja frente a las demás materias primas estudiadas ya que para generar una fibra textil fina de calidad se necesita un diámetro pequeño y una longitud grande. Por último, en el caso de disponibilidad en el país según este último autor citado se encuentra en las regiones Andina, Pacífico y Caribe, además necesita una altitud entre 1300 a 2800 msnm para que esta planta se pueda desarrollar según Mojica & Paredes (2004).

Siguiendo con la metodología planteada en el apartado 8.3.2, una vez obtenida la información de las materias primas vegetales potenciales para ser usadas en el sector textil, se da paso a la realización de la comparación mediante el método de análisis de mínimo cumplimiento de los resultados obligados descrito también en el apartado mencionado anteriormente. Al realizar este procedimiento se pudo obtener lo evidenciado en la tabla 18.

Tabla 18. Resultado de la matriz comparativa del análisis de cumplimiento de los resultados obligados.

Análisis del cumplimiento de los resultados obligados (SI/NO)							
Materia prima sector textil	El contenido de celulosa es mayor a 59%	El contenido de lignina es menor a 16%	La longitud de la fibra es mayor a 10 mm	Que entre el rango de altitud este 2600 (msnm)	Diámetro menor 21 (micras)	Presencia en región Andina	Evaluación según criterio de calificación
Madera Eucalipto Globulus	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO CUMPLE
Bonote (Coco)	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO CUMPLE

Materia prima sector textil	El contenido de celulosa es mayor a 59%	El contenido de lignina es menor a 16%	La longitud de la fibra es mayor a 10 mm	Que entre el rango de altitud este 2600 (msnm)	Diámetro menor 21 (micras)	Presencia en región Andina	Evaluación según criterio de calificación
Yute (Corchorus capsularis)	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO CUMPLE
Cáñamo (Cannabis Sativa)	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI CUMPLE
Sisal (Agave sisalana)	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO CUMPLE
Formio (P. Tenax)	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI CUMPLE
Abacá (Musa textilis)	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO CUMPLE
Kapok (Ceiba pentandra)	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO CUMPLE
Lino (Linum usitatissimum)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI CUMPLE
Bambú (Guadua Angustifolia Kunth)	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO CUMPLE
Fique (Furcraea bedinghausii)	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO CUMPLE

Fuente: *elaboración propia, 2020.*

Cabe recordar los criterios de evaluación para esta matriz de cumplimiento obligatorio, en la metodología se estableció que con **dos respuestas negativas (NO)**, la alternativa a evaluar **no es óptima** para la realización del proyecto, por lo tanto, se le asigna una calificación de no cumplimiento.

10.2.2 Matriz del cumplimiento deseable

Como se puede evidenciar en la tabla 18, solo tres especies cumplen con la mayoría de los criterios establecidos para realizar el filtro y son aptas para continuar con la comparación debida. En este caso se trata de las especies Cáñamo (*Cannabis Sativa*), Formio (*Phormium tenax*) y Lino (*Linum usitatissimum*), la primera de estas mencionada solo obtuvo una calificación negativa en el criterio de diámetro menor a 21 micras ya que esta especie posee fibras de 27.5 micras según lo establecido por Alonso (2015), pero

aun así en todos los otros criterios obtuvo un resultado positivo, comparada con la segunda especie mencionada, está igualmente solo obtuvo una calificación negativa, esto debido a que la longitud de las fibras encontradas en esta planta no son mayor a 10 mm, según Alonso (2015) poseen fibras hasta de 9 mm de longitud, y por último, un caso a destacar es la última especie mencionada, esta obtuvo un resultado positivo en todos los criterios, cumpliendo con cada uno de ellos.

Una vez terminada la primera comparación y evaluación respectiva se le dio paso a la segunda etapa con las tres alternativas seleccionadas, (Lino, Cáñamo y Formio) estas fueron nuevamente valoradas, pero ahora de acuerdo a su aproximación con los resultados deseables del proyecto. En este caso, la sostenibilidad del cultivo y la implementación de la fibra textil.

De la misma forma que se desarrolló la primera etapa, se busca en primer lugar la información clave para proceder a la realización de evaluación de las tres alternativas seleccionadas. En este caso se necesitaba información específica sobre cada alternativa, se buscó información acerca del consumo de agua del cultivo de cada especie (m^3/ha), temperatura óptima para su desarrollo, cantidad de individuos en una hectárea (densidad del cultivo), si la especie era adecuada para otros usos, las afectaciones que podría sufrir durante la fase de cultivo, si la especie era nativa de Colombia o no, si el cultivo se presenta en manera de monocultivo o si se podía asociar con otras especies, el costo de la semilla o de la planta en el mercado colombiano, su periodo de desarrollo en el cultivo y por último si en las fuentes bibliográficas existe información acerca de estudios relacionando la alternativa con análisis de ciclos de vida (ACV). La selección de estos criterios de búsqueda se especifica en el apartado 8.3.2. La información establecida para realizar la evaluación se puede evidenciar en el **anexo D**.

10.2.2.1 Cáñamo (*Cannabis sativa*)

Esta especie se caracteriza por no necesitar mucha cantidad de agua a la hora de su desarrollo en el cultivo, hay evidencias según Van Eynde (2015) de lugares establecidos en China donde esta planta puede ser cultivada sin el proceso de irrigación, esto debido a que puede desarrollarse fácilmente con la precipitación del lugar, pero esto no es posible en todos los lugares por lo tanto García (2016), establece que esta especie necesita alrededor de 1500 a 3000 m^3/ha para todo su desarrollo, con un promedio establecido de 2250 m^3/ha . Además de esto también es necesario conocer a qué temperaturas se puede dar el cultivo del cáñamo esto se tomó del estudio de Fassio *et al* (2013) donde determina que la temperatura óptima para el crecimiento de esta especie es de 14°C, además también establece que esta planta se puede cultivar en altas densidades entre 200 a 750 plantas/ m^2 con un promedio de 475 plantas/ m^2 .

Otro aporte de este último autor son las afectaciones que esta especie puede tener durante su cultivo, esto bien depende de la zona geográfica donde sea plantada. Presenta varias implicaciones durante su cultivo ya que este se ve afectado por una amplia variedad de plagas (alrededor de 150 especies de insectos y ácaros), entre las más comunes se encuentran las arañas, estas se encargan de morder y dañar la hoja, así mismo ocurre con los áfidos los cuales son llamados pulgones, de esta plaga existen alrededor de seis especies diferentes, por otra parte también existen plagas que se encargan de afectar directamente el tallo del cáñamo y la semilla de este, como el caso del Barrenador del cáñamo (*Grapholita delianella*), también se pueden encontrar diferentes especies de escarabajos, polillas y aves que pueden afectar directamente el desarrollo del cultivo.

En cuanto a enfermedades fúngicas se determinó que existen alrededor de 88 especies de hongos que pueden afectar el cáñamo, entre las más importantes se encuentran el Moho gris (*Botrytis cinera*) el cual se ha convertido en la enfermedad más común del cannabis, atacando los racimos florales y los tallos, otras enfermedades comunes son: el cancro del cáñamo (*sclerotinia sclerotiorum* o *Fusarium*) y *Septorios*, que producen podredumbre de raíz y tallo. Por último, esta especie también se puede ver afectada por diferentes virus (cinco), los cuales afectan toda la planta y son casi imposibles de erradicar (Fassio *et al.*, 2013).

Por otra parte, Acosta (2013) en su estudio explica que la planta de cáñamo puede servir para diversas aplicaciones, esto dependiendo de la parte de la planta, en el caso de la semilla esta puede ser usada para la generación de aceite, del cual se puede derivar biodiesel, productos técnicos, cosméticos, alimentación humana y animal. El tallo también posee varias funcionalidades, a este se le puede extraer la fibra para producción textil, fabricación de papel o materiales de construcción, estos últimos también se pueden desarrollar con la cañamiza proveniente del tallo mismo. Aparte de todo esto la planta entera puede ser utilizada para generar energía (biomasa).

Ahora bien, en cuanto a características generales de la planta, esta se originó principalmente en Asia (China) donde era usada para generar productos textiles alrededor del año 4000 A.C según Van Eynde (2015). En cuanto a más información relacionada con el cultivo García (2016) establece que esta especie se puede adaptar de manera muy eficaz a las rotaciones de cultivo lo cual es destacable ya que de esta manera el suelo no se ve afectado significativamente, una de las rotaciones más utilizadas con el cáñamo son las de cáñamo, luego trigo y por último maíz.

Por otro lado, en cuanto a los costos asociados a la planta, se pudo encontrar que aproximadamente un millón de semillas de esta especie tienen un costo de 120 EU, por lo tanto, llevando esto a precios nacionales se pudo estimar que el costo de una semilla es de 100 COP lo cual hace que su acceso sea muy económico para realizar su producción. Otro dato a tener en cuenta era el periodo que se demoraba la planta en desarrollarse, según García (2016) esta especie requiere entre 110 a 180 días para llegar a su fase de maduración.

Por último, se estimó que era de suma importancia establecer como un criterio de búsqueda de información, todo lo que estuviera relacionado con el ACV de la especie, ya que es necesario tener en cuenta estos datos para la posterior realización del proyecto (objetivo 3). En cuanto al cáñamo en este apartado tuvo un buen resultado ya que se encontró voluminosa información sobre lo que estuviera relacionado con el análisis de ciclo de vida. Un estudio a destacar es el de Van der Werf & Turunen (2007) en el cual tienen como objetivo determinar los impactos ambientales provenientes de la realización de 100 kg de hilo de cáñamo en Francia, en este caso comparan tres tipos de cáñamo plantado y procesado de maneras diferentes. Otro estudio relevante fue el establecido por Van Eynde (2015), en este con el uso de la metodología de ACV, se desea comparar los impactos ambientales provenientes del desarrollo de 1 kg de tela realizada con cáñamo y algodón en China, teniendo en cuenta desde el proceso de cultivo hasta la finalización del proceso con la tela desarrollada. Existen otros proyectos que utilizan el cáñamo como materia prima para realización de diferentes productos y evalúan el proceso con la herramienta ACV algunos de ellos propuestos por los autores Silva *et al.* (2010), Van der Werf (2014) y Acosta (2003).

10.2.2.2 *Formio (Phormium tenax)*

El lino de Nueva Zelanda no necesita grandes cantidades de recurso hídrico para su adecuado desarrollo ya que esta planta es muy resistente a condiciones extremas de sequía, según Guerra (2011) esta planta se debe regar de 2 a 3 veces por semana y Álvarez *et al.* (2012) dice que esta especie puede llegar a consumir $1000m^3/ha$ de agua en condiciones de cultivo, además Guerra (2011) agrega que la temperatura óptima para el desarrollo de esta planta es de $18^{\circ}C$ aunque especifica que el formio no requiere un clima específico para su crecimiento, también establece que en una hectárea se pueden plantar alrededor de 3500 arbustos teniendo una distancia promedio de un metro o dos entre cada línea del cultivo para generar un buen desarrollo, lo cual puede ser una desventaja debido a que no se puede plantar en altas densidades como el cáñamo por ejemplo.

Este mismo autor en su estudio, “optimización de un método químico para extracción de fibra de formio” establece que esta planta antiguamente se utilizaba para elaboración de productos textiles como bolsos o cuerdas, además fue considerada como la fuente de ingresos más importante del país Nueva Zelanda, sin embargo, años más adelante y en la actualidad como tal, se empezó a utilizar comúnmente como planta ornamental (Guerra, 2011).

Por otra parte, el Formio no es una planta propensa al ataque de plagas, aunque en la base y en las hojas pueden aparecer animales como la cochinilla algodonosa y caracoles. De esta forma, para luchar contra este tipo de plagas se deben aplicar productos insecticidas que sean penetrantes. Puede también verse afectada por hongos del suelo (Phitophthora, Rizoctonia, Verticillum) cuando no disponen de buen drenaje y se acumula agua en el sustrato. Se puede prevenir su aparición plantándola en terrenos bien drenados y libres de estas enfermedades, no abusando de abonos nitrogenados, y asegurando, en cambio, una presencia suficiente de fósforo, que fortalece el sistema radicular. Además de esto el periodo de desarrollo de la planta es de 1460 días ya que la cosecha de las hojas se debe realizar pasados cuatro años. (Guerra, 2011)

Continuando con la información encontrada sobre esta especie, Peña (2012) establece que el cultivo del Formio tiene un bajo impacto ecológico, debido a que permite una buena convivencia de la vegetación nativa con ellos, por lo tanto, los cultivos de esta especie no se presentan en monocultivos si no por el contrario puede ser cultivada con otras especies, esto para no impactar de manera significativa el suelo.

Algo clave que se tuvo en cuenta en este proyecto fue la parte económica, el costo que tenía cada planta o semilla de la planta, según diferentes fuentes (páginas de mercado virtual como Amazon o Mercado Libre) y algunos viveros de la ciudad de Bogotá, el precio de la semilla de Formio ronda alrededor de los 613,7 COP, haciéndola muy accesible económicamente.

Una de los criterios de búsqueda más importante como ya mencionado anteriormente era la información que se podía encontrar en cuanto a estudios sobre ACV que involucraran la especie, en este caso no se encuentra una gran cantidad de información de ACV del Formio en el sector textil, debido a su uso ornamental. A pesar de esto, se han realizado diferentes estudios para la elaboración de biocompositos propuestos por Assaedi *et al.* (2015).

10.2.2.3 Lino (*Linum usitatissimum*)

Para el caso del lino se investigó su consumo de agua por hectárea de cultivo, según Peña (2007) durante todo el ciclo de formación de la planta se necesita alrededor de 400 a 450 L/ha generado un promedio de 425 L/ha, esto llevándolo a la unidad necesaria nos arrojaría un total de $4250 \text{ m}^3/\text{ha}$, lo cual es un dato bastante alto a la hora de realizar la comparación con las otras especies. En cuanto a la temperatura para su desarrollo se encontró que esta se desarrolla a $27,65^\circ\text{C}$ aproximadamente según Sorlino (2001).

Por otra parte Albuquerque & Pascual (1996) en cuanto a la cantidad de plantas que se pueden encontrar en una hectárea, establecen que alrededor de 400-500 plantas/ m^2 con un promedio de 450 plantas/ m^2 , y esto llevándolo a la unidad necesaria arrojaría un resultado de 4500000 plantas/ha lo cual es un número bastante el alto, por lo tanto esta especie se puede sembrar en densidades altas y esto es beneficioso económicamente, ya que no es necesario mucho terreno para obtener una buena cantidad de materia prima. Además, para darle valor agregado a esta especie Lino (1959), establece que esta planta también es usada para otros usos no solamente para fines textiles, sino también para la producción de aceite el cual proviene de la semilla, la cual también puede ser utilizada para alimento (humanos o animales) más conocida como linaza, para medicina también puede ser útil el aceite o para la realización de pinturas.

En cuanto a las afectaciones que puede tener el cultivo, Gazzani (2015) en su estudio relata que esta planta puede tener implicaciones por cierto tipo de plagas que la pueden atacar, pero que la mayoría no influye directamente en su desarrollo, algunas de estas son gusanos de tierra (*Laphygma frugiperda* y *Feltia experta*), la chupadera (*Rhizotocnia* Sp) y también enfermedades como el Wilt y la Roya.

También según Peña (2007) esta planta puede presentar otras plagas como las pulgillas (*Aptonia euphorbiae*, *Longitarsus parvulus parvulus*) que se alimentan del tallo y de las hojas, y los Thrips sp (*Thrips lini*, *Thrips angusticeps*) que también afectan el desarrollo de la planta. En adición a esta información Gazzani (2015), incluye información acerca del cultivo de esta especie, el cual es policultivo, ya que los cultivos de lino que son dedicados específicamente a la producción de fibra, son cultivos de poca permanencia lo cual permite que los suelos sean óptimos para el desarrollo de otros cultivos. Y el mismo autor declara los costos para esta planta, dice que existen dos tipos de semilla para el cultivo de esta especie, una es de mayor calidad (pedigree) que la otra (corriente) el precio de la primera, la de alta calidad por kilo es de 2.10 coronas suecas que esto es igual a 747 COP, lo cual comparado con las otras especies es un costo más alto, pero aun así sigue siendo económico pensando en una producción a gran escala para la obtención de esta materia prima.

Por otra parte, el origen del lino se presentó en la región del mediterráneo europeo hace alrededor de 8000 o 10000 años, esto según León *et al.* (2018). También era necesario conocer el tiempo que tarda esta especie en desarrollarse, concluyendo que este proceso puede demorarse alrededor de 81 días según Albuquerque & Pascual (1996), este tiempo es bastante corto lo cual es benéfico ya que en el año se pueden realizar varias cosechas para la obtención de esta materia prima.

En última instancia se consultó todo lo relacionado con ACV que incluyeran el lino, obteniendo varios estudios que incluyen esta especie, uno de estos a destacar es el propuesto por Van der Werf & Turunen (2007) ya que en este se pretende analizar la producción de hilo proveniente del lino por lo tanto tienen en cuenta todos los procesos necesarios desde la fase del cultivo, todo esto lo comparan con el cáñamo igualmente ya que se establece que las dos especies son muy parecidas y requieren procesos parecidos

para la creación de textiles, además de esto también se encontraron otros estudios propuestos por Deng *et al.* (2016), Goglio *et al.* (2015) y Gu *et al.* (2018).

Una vez obtenida la información necesaria se continúa con el proceso descrito en el apartado **11.4.2.2**, para tener como resultado la evaluación proveniente de la matriz de nivel mínimo de actuación, por lo tanto, recordando un poco el rango de calificación, a cada alternativa se le asigna una calificación de 1 a 5 para los resultados deseables, estos se multiplican con su respectivo peso específico establecido según la importancia del criterio. Finalmente se jerarquizan las alternativas y se escoge la que tiene un mayor puntaje. La asignación del peso específico también se describe en la metodología en el apartado ya mencionado anteriormente. Al realizar el procedimiento de calificación se pudo obtener lo evidenciado en la tabla 19.

Tabla 19. Resultado matriz de evaluación del cumplimiento deseable de las alternativas consideradas.

Calificación C [1-5] de las alternativas consideradas

Cumplimiento deseable (BxC)	Peso (B)	Cáñamo (Cannabis Sativa)	Formio (P. Tenax)	Lino (Linum usitatissimum)
Consumo de agua (m3/ha)	14	4	5	3
Temperatura óptima para su desarrollo (°C)	6	5	5	1
Cantidad de individuos en una hectárea	11	5	2	4
Planta para diversos usos	12	5	3	3
Afectaciones durante el cultivo	10	1	5	2
Especie nativa de Colombia	6	1	1	1

Cumplimiento deseable (BxC)	Peso (B)	Cáñamo (Cannabis Sativa)	Formio (P. Tenax)	Lino (Linum usitatissimum)
Monocultivo	10	5	5	5
Costos (semilla o planta)	7	5	3	1
Periodo de desarrollo de la planta (días)	7	3	1	5
Información bibliográfica sobre el ACV	17	4	1	3
TOTAL (BXC) %	100	391	309	297

Fuente. *Elaboración propia, 2020.*

El proceso de calificación se realizó de la siguiente manera, 1 para mal cumplimiento, 2 para bajo cumplimiento, 3 para mediano cumplimiento, 4 para buen cumplimiento y 5 para excelente cumplimiento, obteniendo los siguientes resultados:

Consumo de agua (m3/ha):

En cuanto al cáñamo se le dio una calificación de 4 esto debido a que la demanda de agua no es alta con respecto a las demás alternativas. Por otra parte, el Formio se calificó con 5 debido a que es la planta que menos recurso hídrico necesita para su desarrollo, por lo tanto, se le asignó la mejor calificación que existía. En último en cuanto a lino se estimó una calificación de 3, ya que con respecto a las demás alternativas es la que más consume agua.

Temperatura óptima para su desarrollo (°C):

En el criterio de temperatura óptima para el desarrollo se estableció que el cáñamo obtiene una calificación de 5, debido a que la temperatura para su crecimiento adecuado se encuentra entre el rango de la temperatura de la ciudad de Bogotá y sus zonas aledañas, igualmente para el caso del Formio. Cabe recalcar que era importante saber si se podía cultivar en el departamento de Cundinamarca para tener un

acceso más fácil a esta materia prima y así evitar impactos generados por el transporte. Por otra parte, en el caso del lino este obtuvo una calificación de 1 debido a que se desarrolla en temperaturas muy altas.

Cantidad de individuos en una hectárea

Este criterio igualmente tenía una importancia alta ya que, si el rendimiento de la especie en el cultivo es alto, esto puede traer consigo grandes beneficios económicos, por estos motivos el cáñamo fue calificado con 5, debido a que comparado con las demás alternativas tiene el mayor rendimiento, en cambio el formio obtuvo una calificación de 2, ya que el número de especies en una hectárea es muy bajo, lo que disminuye la productividad del cultivo. Por último, el lino obtuvo una calificación de 4 debido a que se pueden cultivar un gran número de plantas en una hectárea, pero aun así el cáñamo supera su productividad.

Planta para diversos usos:

En este caso el cáñamo obtuvo un 5 gracias a que tiene diferentes usos, no solamente es dedicado a la fabricación de textiles por medio de sus fibras, lo cual también es importante debido a que en la producción de textiles muchas veces salen **coproductos** de la materia prima, los cuales pueden ser aprovechados económicamente sin desperdiciarlos. Por dicha razón el formio y el lino obtuvieron una calificación de 3 ya que en el caso del formio es usado actualmente solo como especie ornamental, y algunos productos textiles, y el lino debido a que su mayor uso se genera en la industria alimenticia y en un menor porcentaje se le da un uso textil.

Afectaciones durante el cultivo:

Esta categoría es importante ya que de este criterio depende el uso de pesticidas o herbicidas para tener un buen desarrollo de la planta en la fase de cultivo, por lo tanto, en el caso del cáñamo se calificó 1 debido a que la atacan **150 plagas, 88 hongos, 5 virus y 4 bacterias**. Esto superando en gran proporción a las otras alternativas, pero cabe recalcar que el cáñamo con un buen cuidado puede desarrollarse sin la necesidad de pesticidas o herbicidas, igualmente esto depende del lugar donde se realice la plantación y de las condiciones climáticas, ya que a veces esto puede favorecer la presencia de organismos peligrosos para esta especie.

En cuanto al formio, este obtuvo una calificación de 5 ya que comparado con el lino y el cáñamo es el que menos complicaciones tiene durante su cultivo, lo cual es muy beneficioso debido a que no se necesitarían químicos para su adecuado desarrollo. Y por último el lino obtuvo 2 debido a que la atacan una gran cantidad de plagas, pero en menor cantidad comparado con el cáñamo.

Especie nativa de Colombia:

El cáñamo, el formio y el lino obtuvieron una calificación de 1 debido a que ninguna de estas especies es nativa de Colombia, a pesar de que son muy adaptables a diferentes condiciones climáticas y no son especies invasoras.

Monocultivo

En cuanto a este criterio las tres alternativas (cáñamo, formio y lino) obtuvieron una calificación de 5 debido a que son especies que permiten el desarrollo de otras en la misma zona, y no son tan demandantes en general, esto es favorable ya que no perjudica el suelo, por ejemplo, en el caso del cáñamo su cultivo aporta nutrientes favorables para que el suelo mantenga su composición y en otros casos hasta puede llegar a combatir la erosión de este.

Costos (semilla o planta):

En el caso de los costos efectivamente la semilla del cáñamo es la más económica en el mercado obteniendo una calificación de 5, debido a que en comparación con otras alternativas presenta un menor costo su semilla. En cuanto al formio obtuvo 3 por su costo intermedio y el lino un 1 por que su costo es mayor que las otras alternativas. Pero de igual forma como se evidencio las tres alternativas presentan costos económicos, lo cual es muy beneficioso para realizar su producción en debido caso.

Periodo de desarrollo de la planta (días):

Teniendo en cuenta este criterio el cáñamo fue calificado con 3 debido a que el periodo de desarrollo es intermedio, aunque comparado con el formio es menor, por esta razón se calificó con 1 ya que es el que tarda más tiempo en desarrollarse. Por último, el lino es la más efectiva en cuanto a este criterio ya que tiene un tiempo de desarrollo muy bajo lo cual hace que tenga un rendimiento alto, por tal motivo se le asignó un 5.

Información bibliográfica sobre un ACV:

Uno de los criterios más importantes en esta evaluación debido a que era esencial para la continuación del desarrollo del proyecto, por lo tanto, el cáñamo obtuvo un 4 por que se encuentra información del ACV, pero no muy detallada del inventario que es la fase con información vital para el desarrollo de la investigación, en el caso del lino 3 ya que se encuentra información al respecto, pero no muy detallada de la elaboración de tela como proceso o sistema principal.

En cuanto al formio se calificó con 1 ya que la mayoría de la información encontrada es referente a la elaboración de biocompositos y no sobre la elaboración de textiles lo cual era sumamente necesario para el proyecto.

Observando la tabla 19 se puede reflejar que el cáñamo fue la ganadora seguida por el formio y por último el lino, en esta caso la materia prima escogida (cáñamo) cumple con las condiciones necesarias para ser comparada con el algodón en el desarrollo del objetivo 3, ya que esta mostró ser la más eficiente ante las otras dos alternativas, su uso es beneficioso para el suelo, económicamente es viable, tiene un rendimiento excepcional y por último se puede obtener muchos productos no sólo textiles si no medicinales, entre otros ya mencionados anteriormente.

10.3 Resultado objetivo específico 3

En el resultado del presente objetivo, se realizó la comparación entre los procesos de producción de 1000 kg de tela algodón y de cáñamo, mediante la herramienta del Software SimaPro 9 que tiene la opción de realizar una comparación entre dos procesos, utilizando una misma metodología. En este caso, se utilizó **ReCiPe midpoint** con percepción individualista, y por esta razón se realizó en este apartado el análisis

y la interpretación de los resultados que representan la fase 4 del ACV. Según la ISO 14040, para darle cumplimiento al objetivo general. De esta forma, el objetivo, alcance, UF, inclusiones y exclusiones, son iguales en los dos sistemas (Cáñamo y algodón). Por eso, en esta sección se realizó la descripción del proceso de obtención de 1000 kg de tela de Cáñamo, el respectivo diagrama de procesos, el ICV, y la EICV.

10.3.1 Proceso elaboración tela de cáñamo

El proceso de elaboración de tela a partir del cáñamo (*Cannabis Sativa*) se compone por cuatro fases, de la cuna a la puerta igual que el proceso del algodón con el cual fue comparado, en primera instancia se encuentra el **cultivo**, para la obtención de la materia prima (tallo del cáñamo). El cáñamo se caracteriza por ser una planta muy resistente y por no depender de pesticidas para su adecuado crecimiento, puede llegar a beneficiar el suelo con nutrientes, además se dice que este puede recuperar suelos erosionados, otra característica a destacar es que es muy adaptable a casi cualquier clima, claramente hay condiciones climáticas que favorecen más su desarrollo, pero en general es una planta muy resaltable por sus características (Van Eynde, 2015). Retomando el proceso, para la fase de cultivo se tuvo en cuenta un espacio de 1,3 hectáreas con una entrada de 234 Kg de semillas, lo cual es una cantidad alta, pero a la vez es benéfica, debido a que el cáñamo en altas densidades estimula su crecimiento, esto gracias a la competencia que se genera entre plantas por obtener rayos de luz solar, y trae como resultado la obtención de tallos más altos, por lo tanto, fibras más largas y delgadas (Amaducci, Scordia, Liu & Zhang, 2014).

Para el proceso de establecimiento del cultivo, se ara la tierra a una profundidad de 26 a 36 cm para luego con ayuda de maquinaria agregar los respectivos fertilizantes al suelo, los cuales son nitrato de amonio para aumentar la carga de nitrógeno, triple superfosfato para un incremento de los niveles de fosfato, cloruro de potasio para el caso del potasio y óxido de calcio, cabe resaltar que estos fertilizantes dependen del lugar de la cosecha y las características del suelo ya que por regiones esto varía, en este caso se tomó como referencia el estudio de Van der Werf & Turunen (2007) en el cual realizan un estudio del ACV para la producción de 100 Kg de hilo de cáñamo, en este se toman datos de un estudio financiado por la unión europea llamado HEMP-SYS, con el objetivo de desarrollar productos textiles a base de cáñamo altamente competitivos y sustentables en el mercado textil. Se recalca que no se encontraron estudios realizados en américa latina con respecto al ACV del cáñamo o al cultivo de este, ya que en la gran mayoría de países de esta región es prohibido su cultivo, por lo tanto, esta etapa del proyecto se basó en datos con respecto a Europa y China, siendo este último el mayor productor de fibras de cáñamo para uso textil (Van Eynde, 2015).

Un dato a resaltar en este proceso es el uso del agua para riego, en muchos casos en Europa y China según Van Eynde (2015) se estima que el cáñamo puede desarrollarse solamente con la irrigación natural, por lo tanto esto depende mucho del clima y la precipitación de la zona donde se esté generando el cultivo, pero es importante tener en cuenta que García (2016), recalca que un cultivo de cáñamo (*Cannabis Sativa*) necesita alrededor de 1500 a 3000 m^3/ha de agua para riego lo cual es un dato bastante aceptable, comparado con otros cultivos como el del algodón en el cual se consumen grandes cantidades de este recurso.

Ahora bien, en cuanto al rendimiento del cultivo es necesario destacar que el cáñamo puede crecer en densidades muy grandes, según Struik, Amaducci, Bullard, & Stutterheim (2000) llegando a producir

hasta 25 toneladas o más de materia prima (tallos de cáñamo), al momento de hacer la extracción de los tallos existen pérdidas de la materia de un 19% aproximadamente (Van der Werf & Turunen, 2007). Como salida de este proceso aparte de la materia prima, se encuentran las emisiones tanto al agua como al suelo, debido a los fertilizantes aplicados para desarrollar el cultivo de manera efectiva, se generan emisiones al agua de nitrato de nitrógeno y de fosfato, en cuanto al suelo se emite amonio, óxido nitroso y óxido de nitrógeno (Van der Werf & Turunen, 2007).

Continuando con el proceso de cultivo las plantas son extraídas del campo una vez alcanzan una altura de 120 a 140 cm, se juntan en gavillas y son dispuestas a pasar a la siguiente fase, el **transporte**, se recorre una distancia estándar desde la zona del cultivo hacia la industria donde se le realizan los otros procedimientos.

Una vez llegada la materia prima comienza el tercer proceso del sistema la **extracción de la fibra (cortado)**, primero se dispone a colocarse el 81% de materia prima que se extrajo de la cosecha (mencionado anteriormente se pierde el 19%) en el suelo para realizar un proceso de enriado o fermentación. Según Van Eynde (2015) antes en Europa y China se utilizaban métodos para disminuir las cantidades internas de agua en el tallo, esto para crear un acceso más fácil a las fibras, lo realizaban metiendo los tallos de cáñamo en piscinas grandes con agua aproximadamente a 28°C y allí una bacteria natural actuaba. En la actualidad se ha dejado de utilizar este método debido a las labores intensivas que éste conllevaba y por los recursos que se necesitaban para calentar el agua de las piscinas. Actualmente se utiliza un método llamado retracción por rocío o enriado por rocío, en donde se disponen los tallos por varias semanas al aire libre para que la precipitación actúe en ellos, y así mantenerlos húmedos, si la precipitación es baja se llevan a cabo proceso de rocíos, todo esto en función de que bacterias naturales actúen debidamente y se rompa la matriz de pectina, de esta manera se obtiene un acceso más fácil a las fibras a la hora de cortar los tallos, este proceso además ayuda a que el porcentaje de celulosa en las fibras aumenta lo cual da como resultado fibras de mayor calidad Van Eynde (2015).

Una vez fermentados los tallos y secados por la luz solar se pasan al proceso de cortado, el cual según Van der Werf & Turunen (2007), es un proceso muy parecido al del caso del lino, incluso se puede realizar el procedimiento de corte con la misma maquinaria para los dos casos. Primero se pasan por rodillos estriados para romper el tallo y dividirlo en tiras, ya una vez realizado este paso se pasan al corte el cual se hace con una maquinaria que tiene cuchillas, esto genera que se separen las fibras largas y cortas del cáñamo, de las cuales estas últimas pueden ser utilizadas para la elaboración de cordeles o hilos gruesos, en el estudio de referencia recalcan que en este proceso solo se genera 9% de fibras largas de la entrada de materia prima (tallos cortados), 23% de fibra corta y 40% de agramiza, la cual es la caña rota que queda como desperdicio en el corte del cáñamo, puede ser aprovechada comercialmente para lecho de animales. Por último, Van der Werf & Turunen, (2007) estima que desde el proceso de enriado, secado y corte se generan 28% en residuos, que se estiman en polvo y pérdida de materia vegetal.

Terminado el proceso de cortado y ya teniendo las fibras separadas, se toman únicamente las fibras largas ya que estas son las adecuadas para elaborar un textil de calidad, y se procede a la última fase, **producción de tela de cáñamo**, que está compuesta por varios procesos. En primer lugar, se encuentra el peinado (hackeo), el cual se realiza para darle suavidad, uniformidad y forma recta a la fibra, en el estudio realizado por Van Eynde (2015) esta fase se realiza de forma mecánica gracias a la utilización de una máquina eléctrica (no se especifica modelo ni referencia). Según Van der Werf & Turunen (2007) en este

proceso se generan residuos de fibra (polvo) en un 10% de la entrada (en este caso son las fibras largas), 40% de “remolque” que son las fibras que se quedan en el proceso de peinado, estas también pueden ser aprovechadas económicamente ya que pueden servir para la fabricación de sábanas gruesas, cordones o cuerdas, y por último en 50% se genera astilla (sliver), que en este caso es la fibra larga peinada.

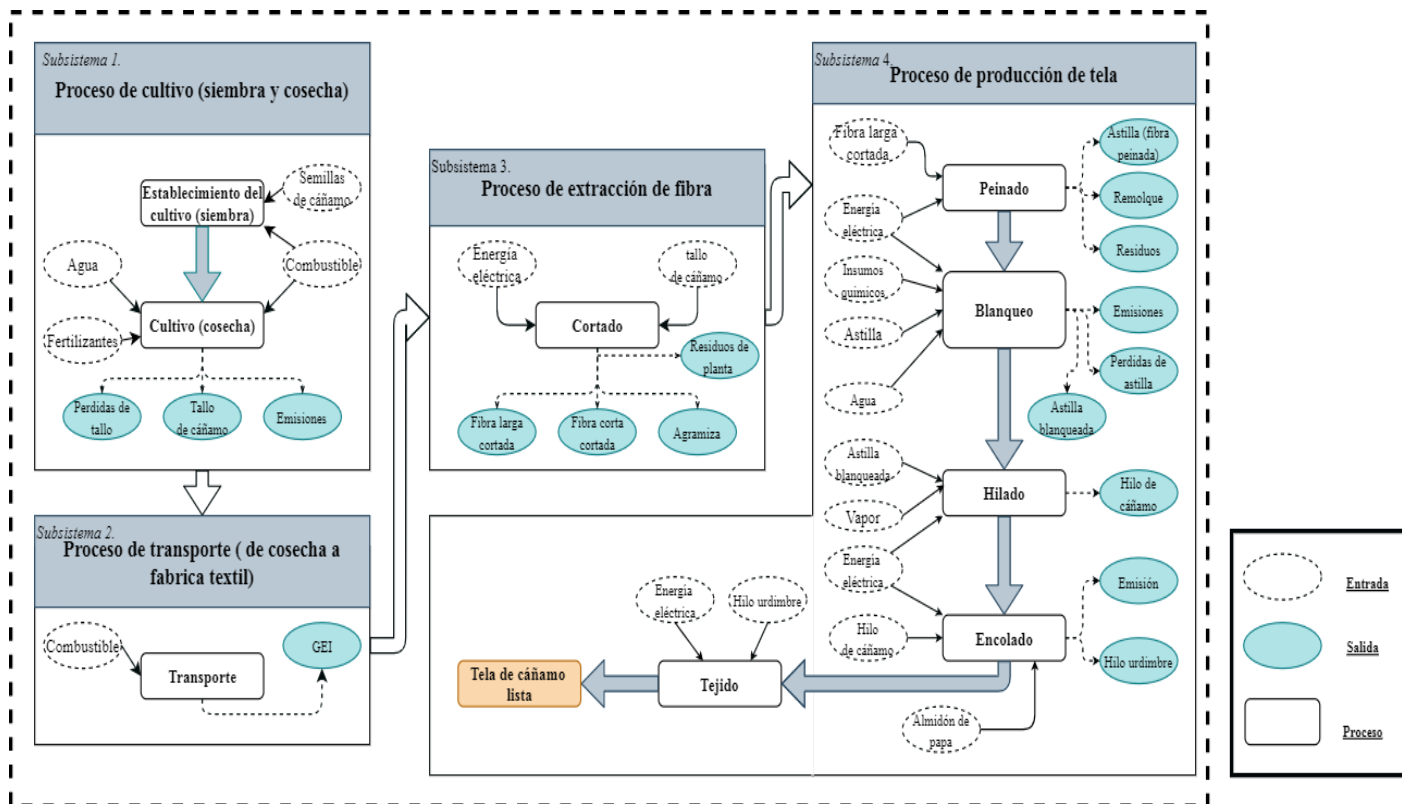
Una vez obtenida la astilla se procede al proceso de blanqueo, según Van der Werf & Turunen (2007) se necesita realizar antes de este proceso un enrollamiento de bobinas de la astilla, para crear homogeneidad, en este procedimiento se pierde el 5% de materia prima (astilla), por otra parte para el realizamiento del blanqueo es necesario el uso de varios insumos ya que este proceso se realiza básicamente para eliminar suciedad, pectinas residuales y hemicelulosas que provienen de procesos anteriores y de esta manera conseguir hilos más finos y fuertes, en el estudio de Van Eynde (2015) establecen que es necesaria la implementación de agua a 90°C (30L/1,33kg de astilla), peróxido de hidrógeno, soda cáustica y hipoclorito, los cuales generan como salida emisiones al agua que están compuestas por iones de sodio, iones de cloro y demanda química de oxígeno, en este estudio igualmente tienen establecidas las cantidades de energía necesarias para el funcionamiento de la máquina y el calentamiento del agua.

Terminado el proceso de blanqueo, la astilla es pasada al proceso de hilatura este según Van der Werf & Turunen (2007) y Van Eynde (2015) es realizado por el método de anillo húmedo el cual es un método lento a comparación de otros y costoso, pero genera fibras de muy alta calidad, en el estudio de Van Eynde (2015) se estima la cantidad de energía para el funcionamiento de la maquinaria y el vapor consumido. Por otra parte, Van der Werf & Turunen (2007) resalta que en este proceso se pierde el 15% de materia prima (astilla blanqueada), debido a la retención de agua por parte del hilo.

Obtenido el hilo de cáñamo se procede a realizar un proceso de encolado de urdimbre, esto es realizado para que el hilo quede menos vellosos y pierda grosor, es necesario el uso de un almidón, en el caso de Van Eynde (2015) se tomó almidón de papa, su función principal es proteger el hilo y evitar la fricción entre ellos, en este estudio se tiene en cuenta el consumo de energía por parte de la máquina pero no detallan datos de esta, además también establecen como emisión al agua una demanda química de oxígeno, pero nunca se establece cuánto es el consumo de agua por parte del proceso.

Ya al final de la fase se encuentra el proceso de tejido en donde entra el hilo una vez encolado, y utilizando una máquina eléctrica se procede al tejido de la tela de cáñamo (*Cannabis sativa*) obteniendo este como producto final. Cabe resaltar que el proceso estudiado llega hasta esta fase ya que no pasa por procesos de tinturado ni confección igual que el algodón anteriormente analizado, esto para proceder a realizar la comparación de los dos productos más fácilmente. Con el fin de generar un mayor entendimiento del proceso de elaboración de tela de cáñamo, se presenta a continuación la figura 12.

Figura 12. Diagrama del ciclo de vida de la tela de cáñamo (*Cannabis sativa*).



Fuente. Elaboración propia, 2020

10.3.2 Inventario de Ciclo de Vida

En esta etapa se tuvieron en cuenta las diferentes entradas y salidas dentro del proceso de la tela de cáñamo, en donde se manejaron datos consultados bibliográficamente, tomados como datos de primer plano y de las bases de datos de SimaPro 9 como datos de fondo (Agri-footprint, Ecoinvent, Industry data 2.0 y Methods) ver apartado 10.1.3.2.

10.3.2.1 Datos de primer plano

Cuando se habla de los datos de primer plano como ya explicado anteriormente, hace referencia a los datos obtenidos de alguna fuente bibliográfica, ya que este análisis de ciclo de vida es de tipo **conceptual**, no se cuenta con la información de visitas técnicas. A continuación, se determinaron los datos de todos los procesos relacionados con la elaboración de 1000 kg de tela de cáñamo:

Tabla 20. *Inventario subsistema de cultivo para la producción de 1000 kg de tela de cáñamo (Cannabis sativa).*

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Subsistema 1: Cultivo				
Materia prima				
Entrada	Tierra arable	1,3	ha	Se hizo la equivalencia, según Van Eynde (2015) en 1 hectárea se puede tener un rendimiento de 25 ton de materia prima, y el rendimiento en este caso eran 33 ton.
Entrada	Fertilizante: N (nitrato de amonio)	156	kg/ha	No se usan pesticidas para este cultivo, las estimaciones del consumo de fertilizantes fueron obtenidas del documento de Wahby (2007).
Entrada	Fertilizante: P_2O_5 (triple superfosfato)	104	kg/ha	
Entrada	Fertilizante: K_2O (cloruro de potasio)	117	kg/ha	
Entrada	Semillas de cáñamo para siembra	234	kg/ha	Equivalencia con los datos presentados por Van der Werf & Turunen (2017)
Entrada	Agua para riego	2250	m^3/ha	Según García (2016) establece un riego de 1500 a 3000 m^3/ha
Salida	Pérdidas de tallo verde	6455,2	kg/ha	Crecen alrededor de 33974,75 kg/ha pero a la hora de retirarlos se generan pérdidas (19%) (Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Tallo verde retirado	27519,55	kg/ha	Resultado del rendimiento menos las pérdidas (Van der Werf & Turunen, 2017)
Emisiones				
Salida	Vertimiento del cultivo al recurso hídrico de nitrato de nitrógeno	40	kg/ha	(Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Vertimiento del cultivo al recurso hídrico de fosfato	1,25	kg/ha	El estudio relata que por cada kg de P aplicado se genera emisión de fosfato en 0.01 kg (Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Vertimientos del cultivo al suelo de amonio	5,78	kg/ha	El estudio relata que por cada kg de N aplicado se genera emisión de amonio en 0.02 kg (Van der Werf & Turunen, 2017)

Salida	Vertimientos del cultivo al suelo de óxido nitroso	3,61	kg/ha	El estudio relata que por cada kg de N aplicado se genera emisión de óxido nitroso en 0.0125 kg (Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Vertimientos del cultivo al suelo de óxido de nitrógeno	0,361	kg/ha	El estudio relata que las emisiones de óxido de nitrógeno son el 10% del óxido nitroso (Van der Werf & Turunen, 2017)
Combustibles fósiles				
Entrada	Diesel	234	kg de diesel/ha	Tractor que riega los fertilizantes y el encargado de recoger la cosecha (Van der Werf & Turunen, 2017)

Fuente. *Elaboración propia, 2020*

Tabla 21. *Inventario subsistema de transporte para la producción de 1000 Kg de tela de cáñamo (Cannabis sativa).*

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Subsistema 2: Transporte				
Combustibles fósiles				
Entrada	Distancia	100	km	Suposición del proyecto

Fuente. *Elaboración propia, 2020.*

Tabla 22. *Inventario subsistema de extracción de la fibra para la producción de 1000 kg de tela de cáñamo (Cannabis sativa).*

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Subsistema 3: Extracción de la fibra (cortado)				
Materia prima				
Entrada	Tallo verde retirado	27519,55	kg	(Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Fibra larga cortada	2476,76	kg	Según el estudio sale el 9% como fibra larga de la entrada principal (Van der Werf & Turunen, 2017)

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
& Turunen, 2017)				
Salida	Fibra cortada corta	6329,49	kg	Según el estudio sale el 23% como fibra corta de la entrada principal (Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Agramiza	11007,82	kg	Según el estudio sale el 40% de agramiza de la entrada principal (Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Residuos de planta y polvo (28%) durante el proceso de lavado hasta el corte	7705,47	kg	Según el estudio en esta fase se pierde el 28% de la entrada principal de cáñamo ($27519,55 \times 28\% = 7705,47$) (Van der Werf & Turunen, 2017)
Energía				
Entrada	Maquina cortadora	3301,2	kWh	En el artículo especifican que la máquina (italiana) tiene un rendimiento de cortar 1 Ton/hora y que gasta 120 kwh ($27.5 \times 120 \text{ kwh} = 777,6$) (Van der Werf & Turunen, 2017)

Fuente. *Elaboración propia, 2020.*

Tabla 23. *Inventario subsistema de producción de tela para la producción de 1000 Kg de tela de cáñamo (Cannabis sativa).*

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Subsistema 4: producción de tela de cáñamo				
Hackeo (peinado)				
Materia prima				
Entrada	Fibra larga cortada	2476,76	kg	(Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Residuos de fibra polvo (10%)	247,676	kg	Según el artículo en el peinado de la fibra se pierde el 10% de esta como polvo (Van der Werf & Turunen, 2017)

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Salida	Astilla (fibra peinada)	1238,38	kg	Según el artículo solo el 50% sale como fibra peinada (Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Remolque (fibras que quedan en el peinado)	990,704	kg	Según el artículo el 40% corresponde al remolque (Van der Werf & Turunen, 2017)
Energía				
Entrada	Consumo energético	1,35	kWh	Según Van Eynde (2015) en este proceso se gastan 4.5 MJ de energía por 2292 Kg de fibra cortada en general, el resultado se pasó a kWh
Blanqueo				
Materia prima				
Entrada	Astilla	1238,38	kg	
Entrada	Agua para blanqueo	27,93	m ³	Segun Van Eynde (2015) entra 1,33 kg de astilla y para el lavado de esta se necesitan 30 L a 90°C, resultado se pasó a m ³
Entrada	Peróxido de hidrogeno	27,93	kg	Según Van Eynde (2015) entra 30 g de peróxido de hidrógeno para 1,33 kg de astilla, resultado se pasó a kg
Entrada	Soda cáustica	83,8	kg	Segun Van Eynde (2015) entran 90g para 1,33 kg de astilla como entrada al proceso, resultado se pasó a kg
Entrada	Hipoclorito	11,17	kg	Segun Van Eynde (2015) entra 12 g para 1,33 kg de astilla, resultado se pasa a kg
Salida	Pérdida de astilla en proceso de enrollamiento	61,919	kg	Según el artículo es necesario enrollar la astilla para crear homogeneidad antes del blanqueo y en este proceso se pierde 5% del material (Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Astilla Blanqueada	1176,47	kg	(Van der Werf & Turunen, 2017)
Salida	Vertimiento al recurso hídrico de iones de sodio	56,98	kg	Segun Van Eynde (2015) sale 61,2g por 1,33 kg de astilla, resultado se pasó a kg

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Salida	Vertimiento al cuerpo hídrico de iones de cloro	8,75	kg	Segun Van Eynde (2015) salen 9,4 g por 1,33 kg de astilla, resultado se pasó a kg
Salida	Demanda química de oxígeno en el cuerpo hídrico	24,76	kg	Segun Van Eynde (2015) salen 26,6g por 1,33 kg de astilla, resultado se pasó a kg
Energía				
Entrada	Energía para blanqueo	2146,73	kWh	Según Van Eynde (2015) dice que para blanquear 1,33 Kg de astilla se gastan 8,3 MJ de energía eléctrica, resultado se pasó a kWh
Hilado				
Materia prima				
Entrada	Astilla blanqueada	1176,47	kg	
Salida	Hilo sin humedad del 15%	1000	kg	Según el estudio se pierde el 15% de material debido a la retención de agua por parte del hilo ($1176,47 - (1176,47 * 15\%) = 1000$ kg (Van der Werf & Turunen, 2017)
Energía				
Entrada	Hiladora anillo humedo	881,48	kWh	Según Van Eynde (2015) la máquina del hilado consume 14,4 MJ para hilar 1,08 kg de materia prima, resultado se pasó a kWh
Warp sizing (encolado urdimbre)				
Materia prima				
Entrada	Hilo de cáñamo	1000	kg	
Entrada	Almidón de papa	90	kg	Según Van Eynde (2015) es necesario el uso de almidón en este proceso por lo tanto usan 90g por 1 kg de hilo de cáñamo, resultado se pasó a kg
Salida	Vertimiento al recurso hídrico DQO	7,2	kg	Segun Van Eynde (2015) se genera una emisión 7,2g a la hora de encolar 1 kg de hilo, resultado se pasó a kg
Salida	Hilo urdimbre	1000	kg	(Van Eynde, 2015)

Entrada/salida	Insumos	Cantidad	Unidad	Observaciones
Energía				
Entrada	Consumo energético	1000	kWh	Según Van Eynde (2015) se gasta 3.6 MJ para tratar 1 kg de hilo, resultado se pasó a kWh
Tejido				
Materia prima				
Entrada	Hilo urdimbre	1000	kg	(Van Eynde, 2015)
Salida	Tela de cáñamo	1000	kg	(Van Eynde, 2015)
Energía				
Entrada	Consumo energético	14027,78	kWh	Según Van Eynde (2015) para tejer 1 kg de hilo de cáñamo se necesito 50,0 MJ, resultado se pasó a kWh

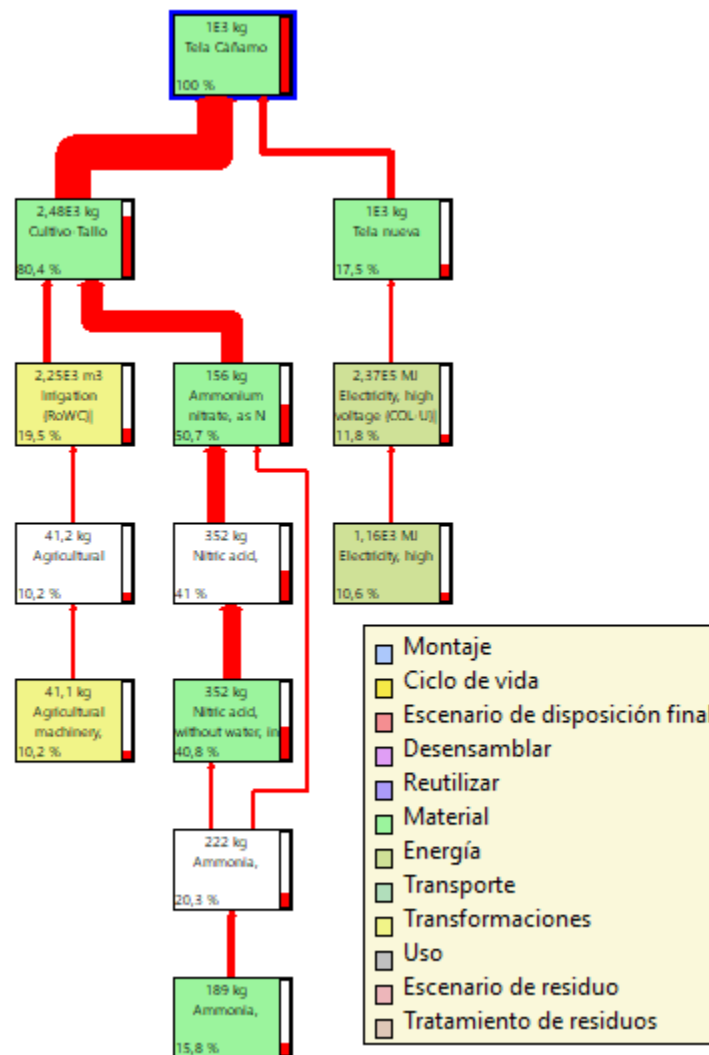
Fuente. *Elaboración propia, 2020.*

10.3.3 EICV Cáñamo

Para el desarrollo de la Evaluación de Impactos de la obtención de 1000 kg de tela de cáñamo, se utilizó la metodología **ReCiPe 2016 Midpoint (I) Individualist**, al igual que el algodón. De esta forma, en la bibliografía consultada (Van Eynde, 2015), (Van der Werf & Turunen, 2007) se evidencia el uso de esta misma metodología, con enfoque de puntos intermedios. La caracterización y normalización también fueron desarrollados en el presente apartado, permitiendo identificar los puntos críticos del proceso. Para su identificación y comprensión, se expuso el diagrama de red y gráficas tomados del software Simapro 9.

Para obtener el diagrama se utilizó un valor de corte de 7% que permitió visualizar los flujos y procesos principales. A pesar de evidenciar que la categoría de impacto con mayor relevancia es la de ecotoxicidad terrestre, se decidió graficar el diagrama de red con la de **calentamiento global** debido a que se utilizó esta misma en la EICV del algodón, y al ser una comparación se deben identificar bajo los mismos criterios los puntos críticos y las contribuciones de los procesos a los impactos.

Figura 13. Caracterización del proceso de obtención de 1000 kg de tela de cáñamo, con un valor de corte del 7 %.



Fuente. Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.

Como se observa en la figura 13 la etapa que más contribuye a la categoría de calentamiento global es la del cultivo con 80,4% con **2070 kg de CO₂eq**, siendo el uso de fertilizantes como el nitrato de amonio (50,7%) uno de los materiales más representativos a la carga ambiental, seguido de la irrigación con un aporte de 19,5%. Del otro lado, se identifica el subsistema de elaboración de la tela con una contribución al impacto de 17,5% con **450 kg de CO₂eq**, dada la gran cantidad de energía que se consume en los procesos que lo conforman (hilado, tejido, encolado, peinado y blanqueo).

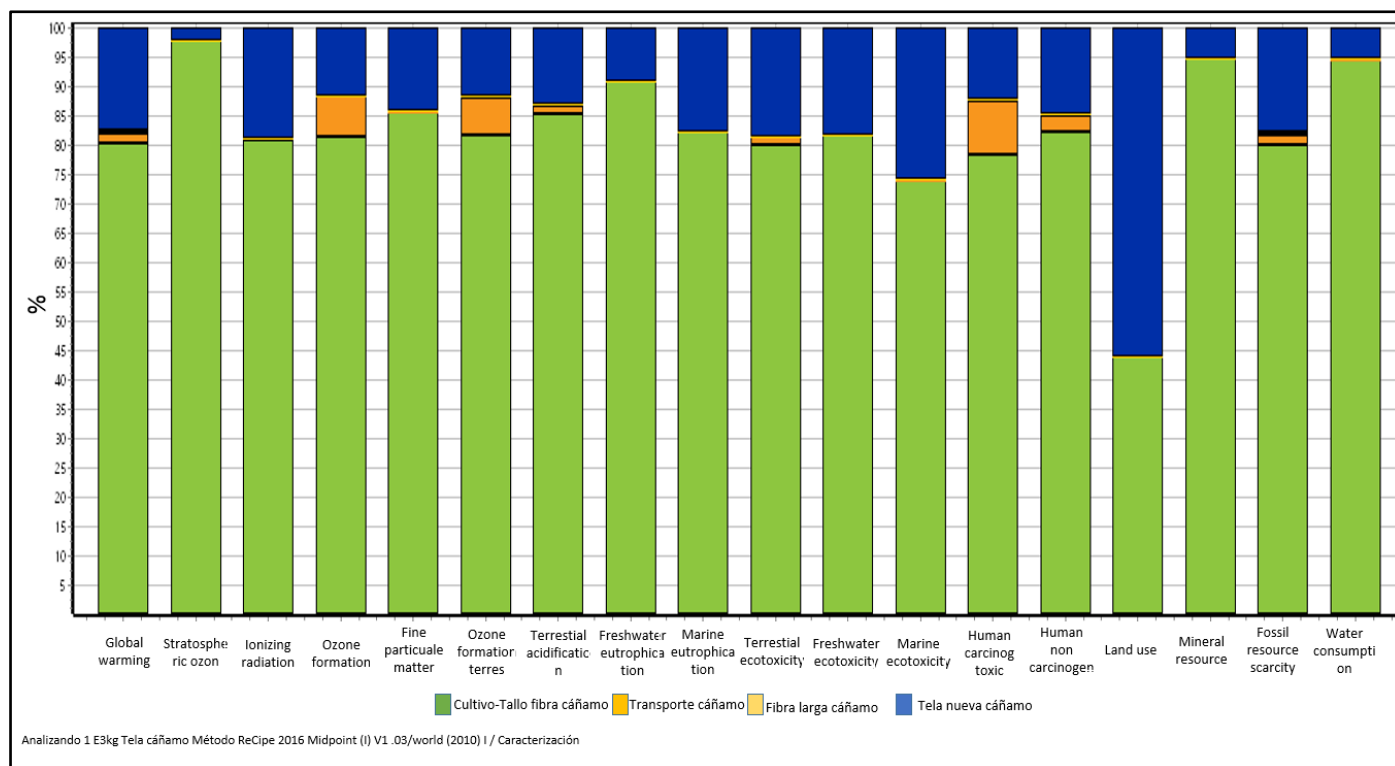
Se pudo evidenciar desde este momento que el punto crítico para los dos sistemas evaluados (algodón y cáñamo) es la etapa de cultivo con una carga ambiental mayor al 70%. La diferencia entre los dos es que en el caso del algodón el aporte significativo a la categoría lo realizan las etapas de cultivo (75,6%), tela

(12,9%) y fibra (10,5). Mientras que en el cáñamo lo otorga el cultivo (80,4%), la tela (17,5%) y el transporte (1,52%).

10.3.3.1 Caracterización

En la figura 14 se presenta la caracterización de los impactos, identificando el aporte significativo de la etapa del **cultivo** como se mencionó anteriormente, en mayor medida en la categoría del agotamiento de la capa de ozono (97,7%), este proviene de la utilización de los fertilizantes para el adecuado desarrollo del cultivo, seguido por el agotamiento de recursos minerales (94,7%), el consumo de agua (94,5%) y la eutrofización de agua dulce (90,08%). En menor medida, el aporte está dado a las categorías de ecotoxicidad marina (73,8%) y el uso de la tierra (43,8%). En la etapa de la tela, el mayor aporte se da a la categoría de uso de la tierra (56,2%), a la ecotoxicidad marina (25,9%) y a la terrestre (18,5%). Las de menor representatividad son la disminución de la capa de ozono (2,23%), debió a la utilización de los químicos implementados en esta etapa y su elaboración, luego sigue agotamiento de recursos minerales (5,26%), y consumo de agua (5,34%). Para el transporte, las categorías de la toxicidad humana carcinógena (9,38%), la formación de ozono proveniente de actividades humanas (6,76%), y la formación de ozono por parte de los ecosistemas terrestres (6,6%) son las de mayor contribución. Las de menor contribución son la ecotoxicidad terrestre (1,39%), la acidificación terrestre (1,54%) y calentamiento global (1,52%). Finalmente, la fibra no tiene un aporte significativo mayor a 1% en ninguna de las categorías de impacto.

Figura 14. Caracterización del ciclo de vida de la tela de Cáñamo con enfoque de puntos intermedios.

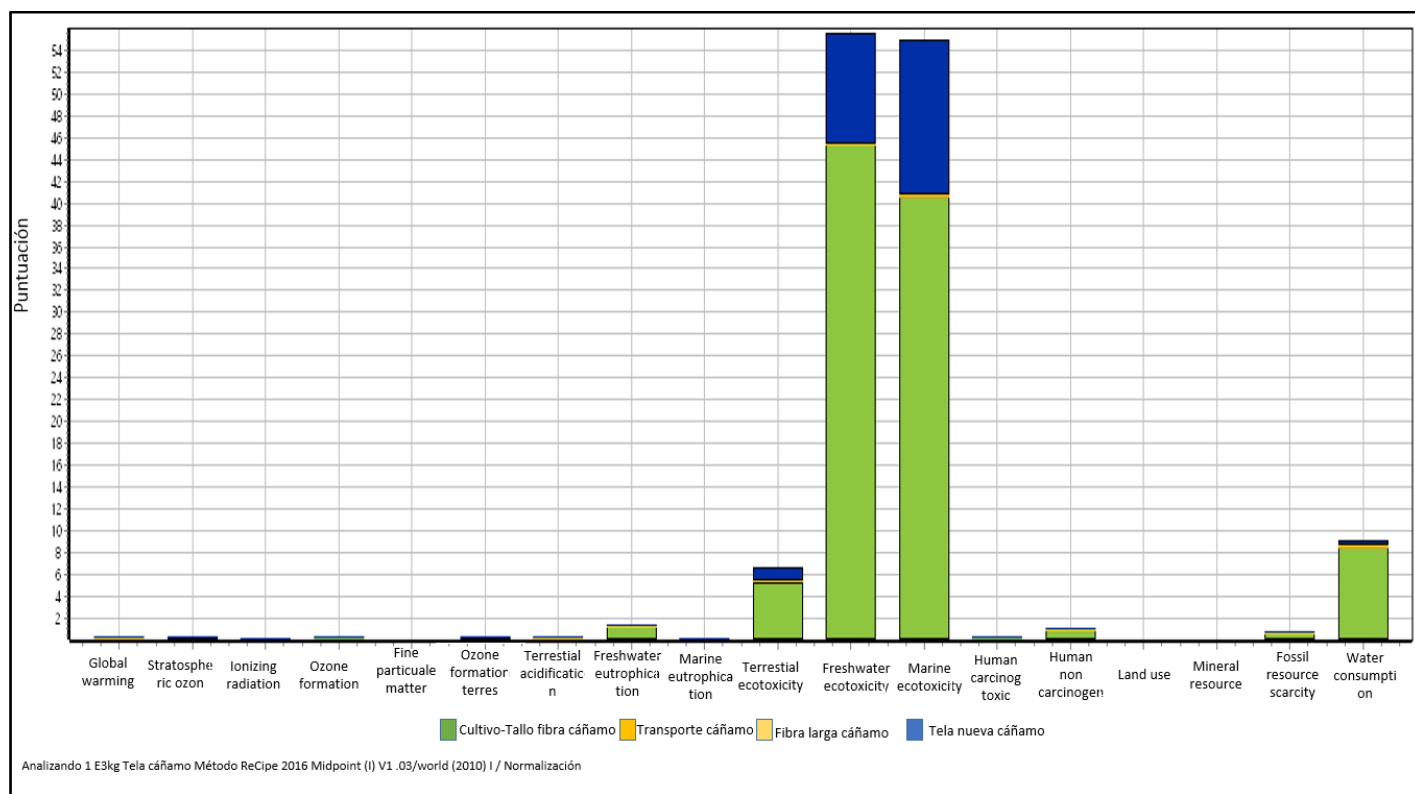


Fuente. Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.

10.3.3.2 Normalización

Al realizar la normalización de la caracterización presentada anteriormente, se identificaron las etapas con mayor aporte a cada una de las categorías de impacto. La etapa del cultivo con sus mayores contribuciones en la ecotoxicidad de agua dulce (45,3 puntos), la ecotoxicidad marina (40,5 puntos), seguido del consumo de agua (8,54 puntos), eutrofización del agua dulce (1,25 puntos) y las demás categorías en las que no tiene una contribución mayor a 1 punto o que no tiene ninguna como el uso de la tierra y el material particulado. La otra etapa con representatividad alguna es la de la obtención de la tela, en la categoría de ecotoxicidad marina (14,2 puntos), ecotoxicidad de agua dulce (10,1 puntos), ecotoxicidad terrestre (1,23 puntos), y las demás con un aporte menor a 1 punto. Cabe recalcar que en la normalización para las etapas de la fibra y el transporte la carga ambiental no es significativa, razón por la cual no se identifican en la gráfica y no son representativas. Esto se puede ver reflejado en la figura 15.

Figura 15. Normalización del ciclo de vida de la tela de Cáñamo con enfoque de puntos intermedios.



Fuente. Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.

10.3.4 Interpretación ACV

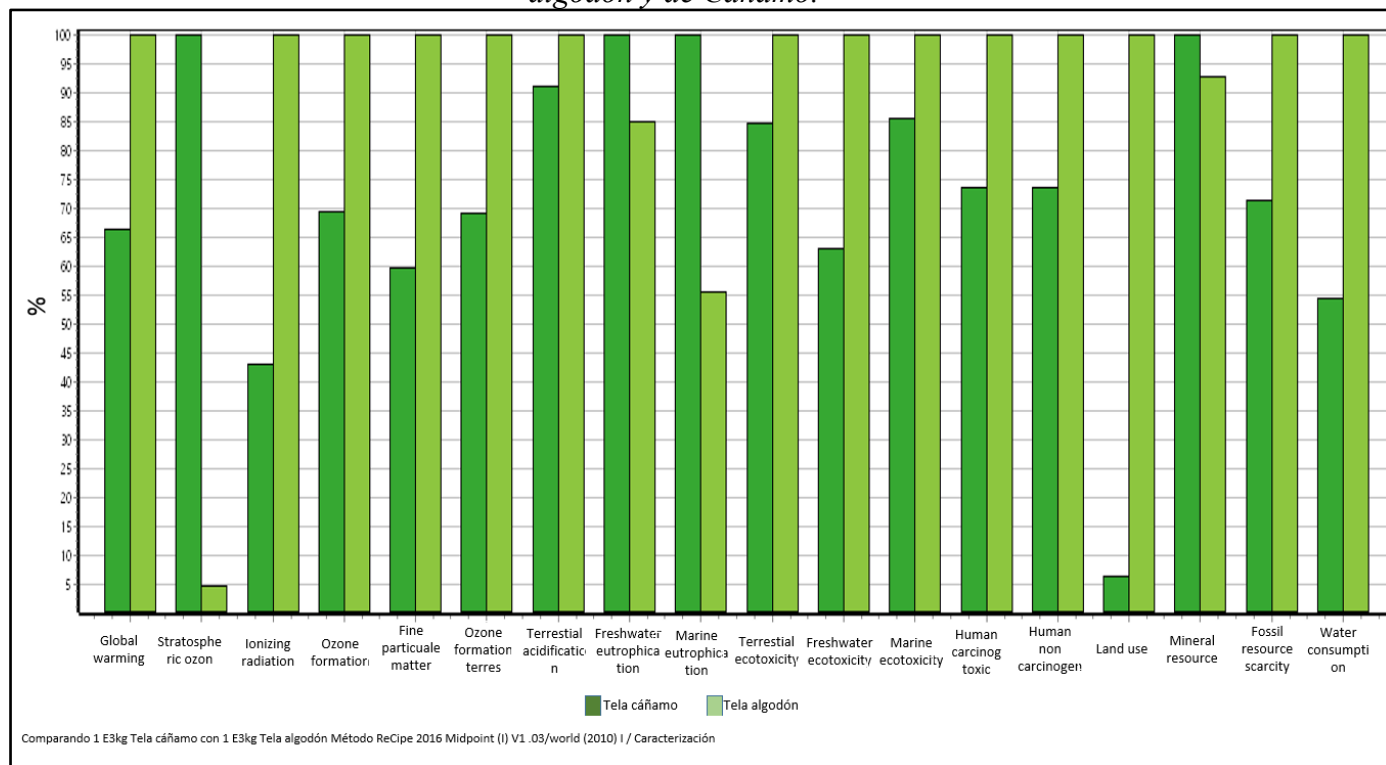
Se compararon los procesos de obtención de 1000 kg de tela de algodón (*Gossypium hirsutum*) y 1000 kg de tela de cáñamo (*Cannabis Sativa*), por medio del software Simapro 9. Para interpretar de una mejor manera los resultados, se realizaron los elementos de caracterización y normalización de los datos. Esto,

teniendo en cuenta los inventarios y las evaluaciones previamente realizadas de los dos sistemas a comparar.

10.3.4.1 Caracterización

Para cada categoría de impacto se realizó la comparación de los porcentajes de contribución de los dos sistemas a evaluar. Se identificó de primera base que el aporte a las categorías de impacto por parte del algodón es mucho más alto que el del cáñamo. Por esta razón, los porcentajes y los datos obtenidos en la evaluación se identificaron posteriormente.

Figura 16. Caracterización de la comparación de los procesos de obtención de 1000 kg de tela de algodón y de Cáñamo.



Fuente. Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.

10.3.4.1.1 Calentamiento global

En el caso del **cáñamo**, el aporte a esta categoría fue de **66,3%** con **2750 kg CO₂eq**, determinando una mayor representatividad por parte de todas las emisiones provenientes de combustibles fósiles y procesos relacionados con los fertilizantes, en las etapas del cultivo y el transporte. Mayormente de dióxido de carbono, monóxido de nitrógeno y metano, conocidos como gases de efecto invernadero contribuyentes directos al calentamiento global (Benavides & León, 2007).

La mayor contribución en la etapa de obtención de la tela de Cáñamo es en el cultivo con más de 70%, dado por los procesos relacionados con los fertilizantes (producción, transporte y uso). Cabe aclarar que estos procesos son primordiales en la fase, suponiendo que, al aumentar el área de cosecha de la planta,

los niveles de emisiones de estos gases pueden llegar a ser exponenciales, aumentando así los factores que aportan al calentamiento global.

En este caso de la tela de algodón, el aporte según la figura 15, es del **100%** debido a que es más alto que el del cáñamo, con un valor de **3870 kg CO₂eq**. Con respecto a las sustancias, el dióxido de carbono tiene una contribución a la categoría de impacto bastante alta, debido a la combustión del diesel de la maquinaria agrícola (cosechadora y subsoladora), y a todos los procesos de elaboración, transporte y vertimiento de los fertilizantes al suelo.

Entre los resultados de las sustancias más representativas de la categoría, se evidencia el gran aporte del **dióxido de carbono** en los dos sistemas evaluados, teniendo en cuenta que en el algodón estas emisiones resultan tener mayor representatividad, al igual que las de metano provenientes de combustibles fósiles y de procesos como el abono de estiércol de vaca. En cambio, las emisiones de monóxido de di nitrógeno no son representativas en este sistema, en comparación con el cáñamo. Identificando como puntos críticos para esta categoría, los materiales ya mencionados anteriormente por su contribución en un nivel global del 16% a las emisiones al aire en un cultivo (Córdoba & Blanco, 2009).

10.3.4.1.2 Disminución de la capa de ozono

En cuanto a la categoría de la disminución de la capa de ozono, el **cáñamo** obtuvo **100%** de contribución con un total de **0,0215 kg de CFC₁₁ eq**, dado por los procesos relacionados al uso, y producción del hidróxido de sodio proveniente del proceso de blanqueo en la etapa de elaboración de la tela que contribuye de gran manera. De igual forma, se observa representatividad del almidón de papa, químico utilizado en el encolado.

En el caso del **algodón** la contribución fue de **4,75%** con **0,00102 kg de CFC₁₁ eq** (menor que el cáñamo y por esto, su porcentaje de contribución es 100%). Esto reflejado principalmente en la etapa de cultivo, debido a la utilización de fertilizantes donde el ácido nítrico presentó mayor aporte al impacto reflejado en esta categoría, gracias a la interacción de óxidos de nitrógeno con el ozono y la humedad atmosféricos en presencia de sustancias catalíticas como radiaciones ultravioletas (IDEAM, 2010). De igual forma, las sustancias remanentes, es decir, procesos cuya contribución individual no es muy significativa, pero que al sumarlos entre sí aportan a la categoría

10.3.4.1.3 Radiación ionizante

Para esta categoría, el aporte del **cáñamo** fue de **43%** con **46,3 Kbbq Co-60 eq**, unidad que expresa la emisión al año por kiloBecquerel de Cobalto 60. Esto se da por el uso de fertilizantes de fosfato con una contribución de 14, 6%, amonio de 22,4% y todo lo relacionado con los procesos de irrigación en el cultivo 33,7%. La industria productora de fertilizantes, al realizar la extracción de minerales fosfatados aumentan la exposición a la radiación ionizante (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012).

La contribución del **algodón** es del **100%** con **108 Kbbq Co-60 eq** debido a los procesos de fertilizantes, y el aumento de radiación ionizante que generan las industrias del petróleo, gas natural, carbón y la energía que estas producen (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012).

10.3.4.1.4 Formación de ozono fotoquímico, salud humana

Esta categoría está determinada por la variación en la tasa de ingesta humana de ozono debido al cambio en la emisión de precursores NO_x y NMVOC, bajo la influencia de la radiación solar, que puede llegar a producir distintas afecciones al aparato respiratorio (Pré Consultants, 2019) Con respecto al cáñamo, este contribuye en un **69,4%** a esta categoría con un valor de **5,53 kg NO_xeq** , por los procesos de uso, producción y transporte del ácido nítrico que hace parte de los fertilizantes de amonio.

Para el **algodón**, su contribución es de **100%** con un valor de **7,97 kg NO_xeq** proveniente de sustancias que contienen amonio y ácido nítrico, que en este caso se utilizan para la elaboración de fertilizantes nitrogenados y que como en el caso del Cáñamo, contribuyen a la formación de precursores de la formación del ozono fotoquímico.

10.3.4.1.5 Formación de material particulado

El **cáñamo** tuvo una contribución de **59,8%** con un valor de **0,989 kg $PM_{2.5}eq$** proveniente del nitrato de amonio, seguido de la producción de energía y combustión de coque. Esto, de las etapas del cultivo, producción de la fibra y de la tela. Por lo general, este tipo de partículas provienen de fuentes naturales y antropogénicas, tales como la combustión de carbón, de diésel y la producción de algunos fertilizantes nitrogenados (Arciniegas, 2012).

Por otra parte, el **algodón** contribuye a esta categoría un **100%** con **1,65 kg $PM_{2.5}eq$** , debido a la producción de energía por el proceso de combustión del diésel de la maquinaria agrícola (cosechadora y subsolador) y de la irrigación.

10.3.4.1.6 Formación de ozono fotoquímico, ecosistemas terrestres

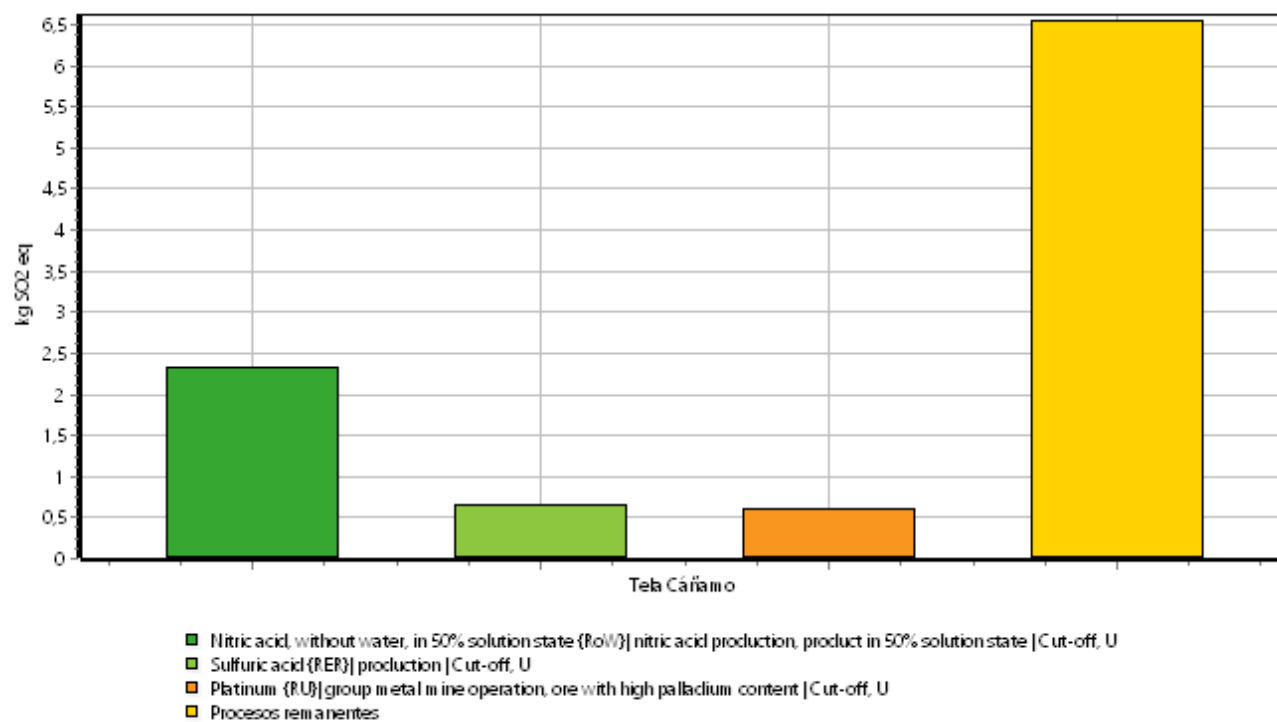
En esta categoría, el **cáñamo** contribuye un **69,1%** con un valor de **5,7 kg NO_xeq** que indican la formación de los contribuyentes del ozono (mencionados anteriormente) por parte de los ecosistemas terrestres. Los mayores aportes provienen del proceso de transporte, debido al diesel utilizado, al proceso de combustión que se realiza y nuevamente de la producción del ácido nítrico para los fertilizantes, identificando que es uno de los puntos críticos y que genera más aporte en las categorías de impacto hasta el momento interpretadas.

Para el **algodón**, la contribución fue de **100%** con un valor de **8,24 kg NO_xeq** aportados por el diesel utilizado en la maquinaria de agricultura relacionando este proceso como un punto crítico en el cultivo, específicamente por el uso del combustible mencionado y el transporte.

10.3.4.1.7 Acidificación terrestre

Esta es una de las categorías con mayor representatividad, debido a que el aporte del **cáñamo** es de **91,1%** con un valor de **10,1 kg SO_2eq** , consiste en la deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno y sulfuro en este caso, en el suelo. Como mayores contribuyentes, se identifican las etapas del cultivo, específicamente por el ácido nítrico, amonio líquido y el uso de químicos en la etapa de obtención de la tela, como el ácido sulfúrico. Estos son utilizados o se dan, por el uso de fertilizantes principalmente el amonio aportando 47,4%, seguido de los fertilizantes fosfatados con 15,5%.

Figura 17. *Análisis por sustancias de la categoría acidificación terrestre.*

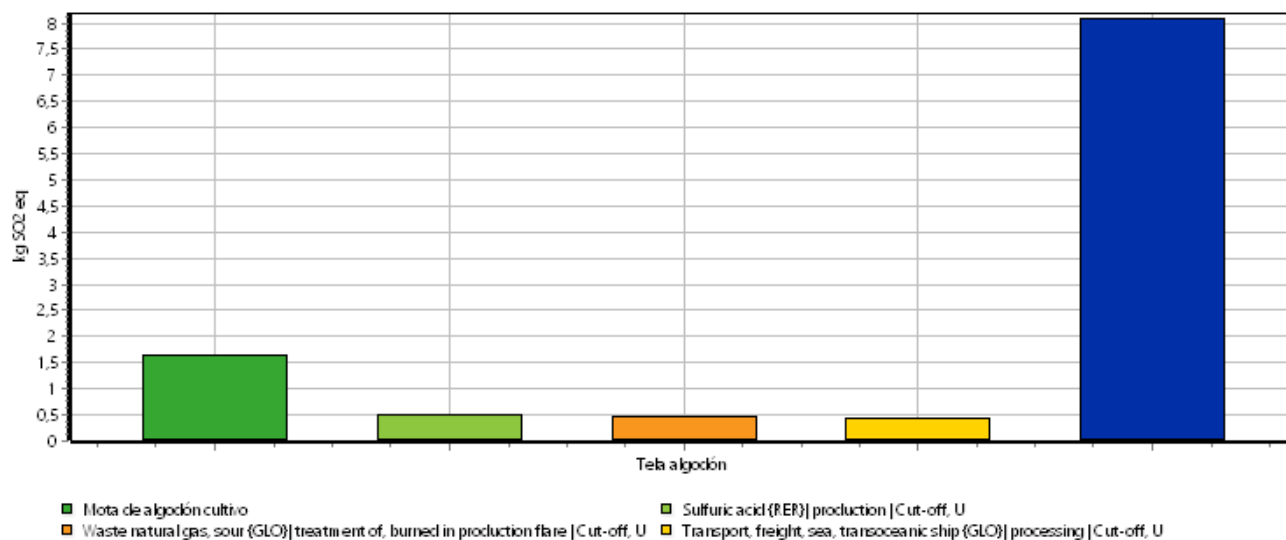


Comparando 1 E3 kg Tela Cáñamo con 1 E3 kg Tela algodón; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (U) V1.03 / World (2010) I / Caracterización

Fuente. *Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.*

En el caso del **algodón**, la contribución es del **100%** con un valor de **11,1 kg SO₂eq** debido a que una de las mayores fuentes de generación antrópica de acidez es el uso de fertilizantes nitrogenados como los amoniacales, los cuales perjudican altamente al suelo provocando consecuencias como la deforestación y la erosión (Iturri, 2015).

Figura 18. *Análisis por sustancias sistema tela de algodón categoría acidificación terrestre.*



Com parando 1 E3 kg Tela Cáñamo con 1 E3 kg Tela algodón; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (B V1.03 / World (2010) I / Caracterización

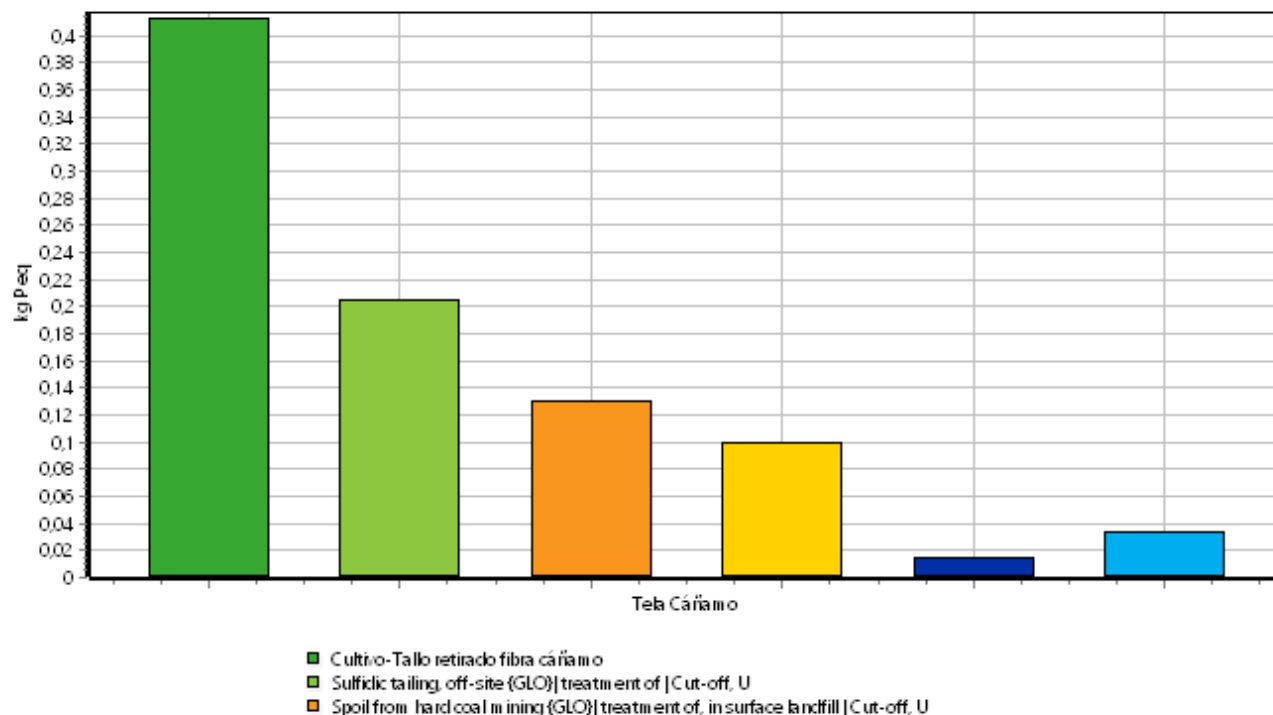
Fuente. *Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.*

Se observa en la figura 18 una contribución mayor por parte de las sustancias remanentes (barra de color azul), las cuales se presentan de esta forma por el software debido a que es una suma de todas las que no aportan una contribución significativa dentro del valor de corte (menos del 4%). Aclarando esto, se identifica el cultivo en los dos sistemas como una fase crítica, debido al grado de representatividad a la categoría de impacto y de los procesos que la conforman, como los fertilizantes.

10.3.4.1.8 Eutrofización del agua dulce

Esta categoría es una de las que mayor carga ambiental tiene, el **cáñamo** otorga el **100%** de representatividad con un valor de **0,895 kg P eq** que indica la persistencia de los vertimientos al agua dulce de los nutrientes que contienen fósforo.

Figura 19. *Análisis por sustancias representativas de la categoría eutrofización de agua dulce.*

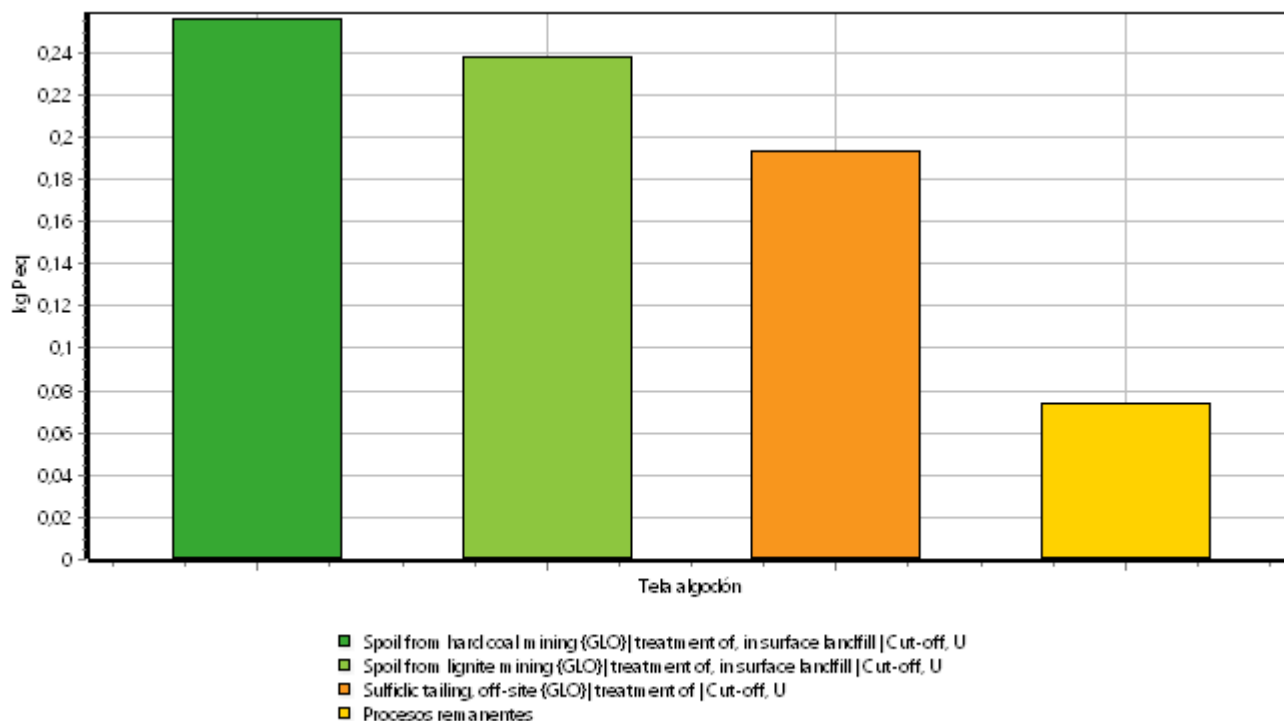


Comparando 1E3 kg 'Tela Cáñamo' con 1E3 kg 'Tela algodón'; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (I) V1.03 / World (2010) I / Caracterización

Fuente. *Elaboración propia, obtenido se SimaPro 9, 2020.*

Como se observa en la figura 19 la contribución a esta categoría de impacto proviene de la etapa del cultivo por el uso de fertilizantes fosfatados y todo lo relacionado con la producción de estos. Esta categoría se tuvo en cuenta significativamente por su alta representatividad, indicando los fertilizantes como sustancias críticas que generan una gran cantidad cargas ambientales para el sistema.

Figura 20. *Análisis por sustancia categoría eutrofización de agua dulce sistema de algodón.*



Comparando 1E3 kg Tela Cáñamo' con 1E3 kg Tela algodón'; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (II V1.03 / World (2010) I / Caracterización

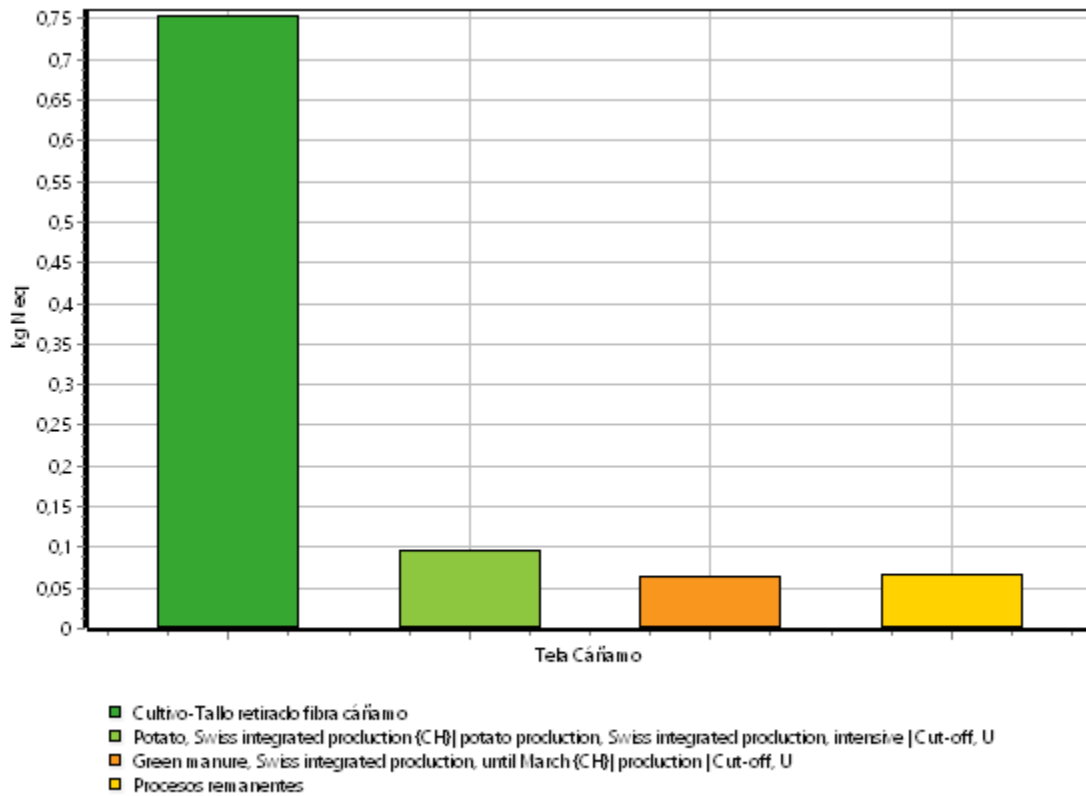
Fuente. *Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.*

Por otra parte, el algodón aporta **85%** a esta categoría con un valor de **0,761 kg P eq** y como se observa en la figura 20 los procesos de producción de los fertilizantes otorgan la mayor contribución, la barra de color verde, indica los residuos de sustancias utilizadas en el proceso y su tratamiento en un relleno sanitario.

10.3.4.1.9 Eutrofización marina

Esta categoría también tiene un alto grado de representatividad, el cáñamo aporta el **100%** con un valor de **0,981 kg N eq**, que tiene en cuenta la persistencia de los vertimientos que contengan nitrógeno. En la **Figura 21**, se evidencia la gran contribución de la etapa de cultivo (conjuntamente) debido a los fertilizantes de nitrato que son utilizados. De igual forma, los procesos del cultivo relacionados con el almidón de papa y los cultivos.

Figura 21. *Análisis de sustancias representativas cáñamo para la categoría de Eutrofización marina.*

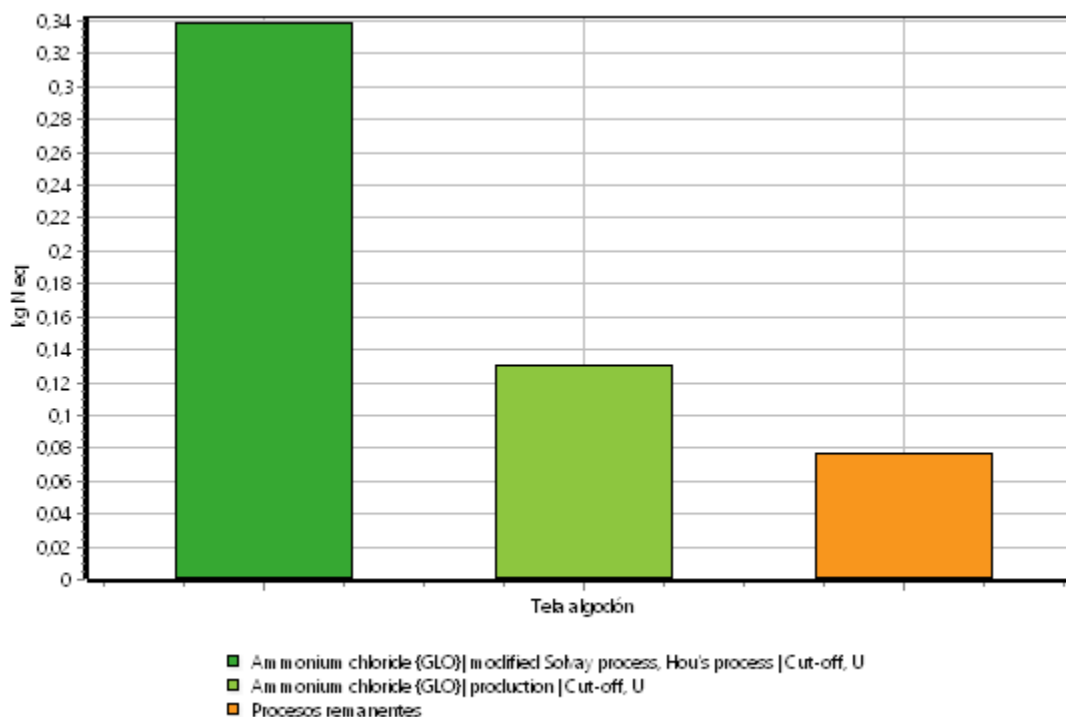


Comparando 1 E3 kg Tela Cáñamo' con 1 E3 kg Tela algodón'; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (II V1.03 / World (2010) I / Caracterización

Fuente. *Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.*

En la figura 21, se observa que esta vez todo el proceso del cultivo fue tenido en cuenta gracias a la gran contribución de los fertilizantes en general utilizados, que aportan todos cargas muy significativas de nutrientes, Por otro lado, gracias a que el cáñamo es una planta que no necesita mucho aporte de fertilizantes esta categoría puede llegar a influenciar más y a tener mayores cargas ambientales. (Cobos, 2013)

Figura 22. *Análisis por sustancia algodón categoría ecotoxicidad marina.*



Comparando 1E3 kg Tela Cáñamo' con 1E3 kg Tela algodón'; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (II V1.03 / World (2010) I / Caracterización

Fuente. *Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.*

Para el algodón, el aporte fue de **55,6%** con un valor de **0,545 kg N eq**, que como se observa en la **figura 22** proviene del cloruro de amonio, dado por el uso excesivo de fertilizantes para la etapa de cultivo, generando un exceso de nutrientes en las aguas y haciendo que la vegetación impide el paso del sol, evitando la generación de oxígeno en el agua que impacta directamente a la fauna y flora del ecosistema.

10.3.4.1.10 Ecotoxicidad terrestre

En cuanto a esta categoría en particular se puede evidenciar que el cáñamo obtuvo un porcentaje más bajo de contribución con un **84,8%** con un resultado de **3690 kg 1,4-DCB** (Diclorobenceno emitido), comparado con el algodón con un porcentaje de contribución obtenido de **100%** y con un valor respectivo de **4350 kg 1,4-DCB**, en general estos porcentajes son provenientes del uso de sustancias químicas en algunos procesos.

En este caso en específico el cobre y el amonio son los generadores en gran parte del impacto en esta categoría, en general estos provienen de los fertilizantes que son necesarios para el adecuado desarrollo del cultivo, en el caso específico del amonio, este es generado del nitrato de amonio, el cual es aplicado para incrementar los niveles de nitrógeno del suelo. Por otra parte, también pueden existir contribuciones de estas sustancias mencionadas anteriormente por los procesos de transporte debido a que incluye la entrada de diésel junto con todo el proceso para su elaboración, el proceso de la obtención de la fibra

(debido a la energía) y por los químicos utilizados en la etapa de encolado. Estas sustancias pueden reflejar grandes impactos en el suelo, en el caso del amonio este puede acidificar gravemente los suelos, por lo tanto, es importante tener buenas prácticas agrícolas en el caso de la etapa de cultivo (Boccolini, 2016).

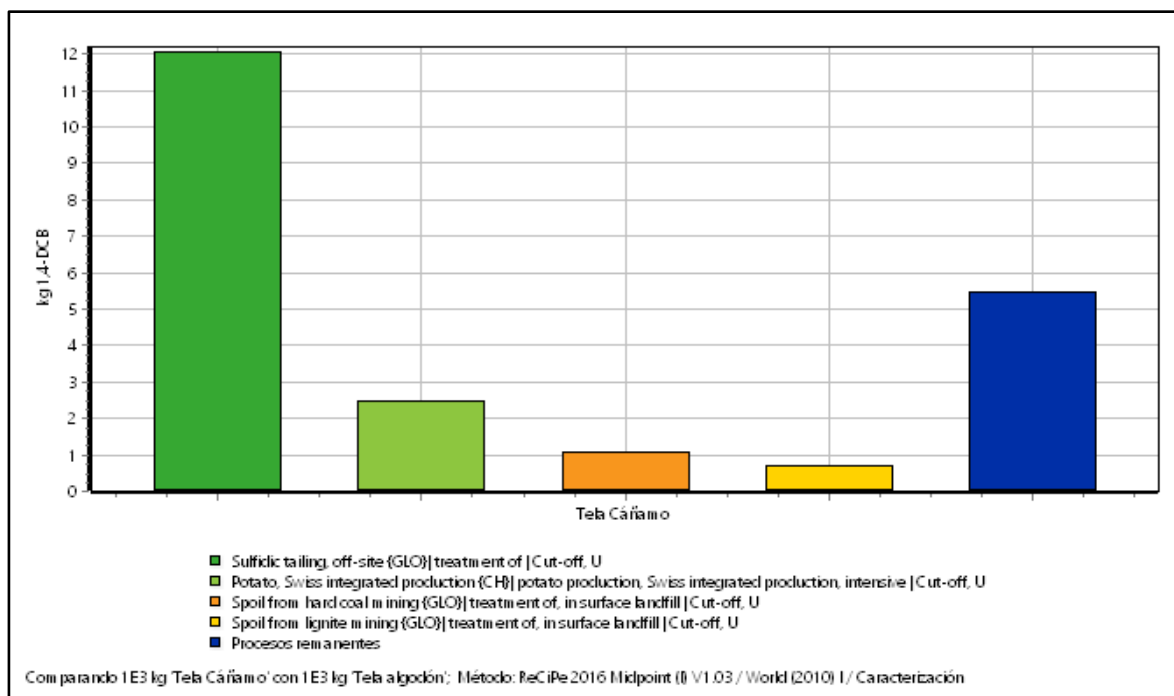
10.3.4.1.11 Ecotoxicidad de agua dulce

En esta categoría hubo una contribución mayor por parte del algodón obteniendo un porcentaje de **100%** con un valor respectivo de **89,3 kg 1,4-DCB**, por el contrario, con una diferencia no tan significativa se encontraba el cáñamo con un **63,2%**, obteniendo un resultado de **56,4 kg 1,4-DCB**. En términos generales estos porcentajes de contribución se generaron debido a sustancias compuestas por sulfuros y carbón, en mayor medida provenientes del proceso de cultivo, para el caso del algodón en específico, también se pudo generar impacto debido a que esta especie en su fase de desarrollo necesita la presencia de herbicidas y fertilizantes para poder sobrevivir, al cambio en la producción de cáñamo no es de vital importancia incluir herbicidas o pesticidas ya que es una especie muy resistente, pero de igual manera hay que tener en cuenta el lugar y sus condiciones para el desarrollo.

10.3.4.1.12 Ecotoxicidad marina

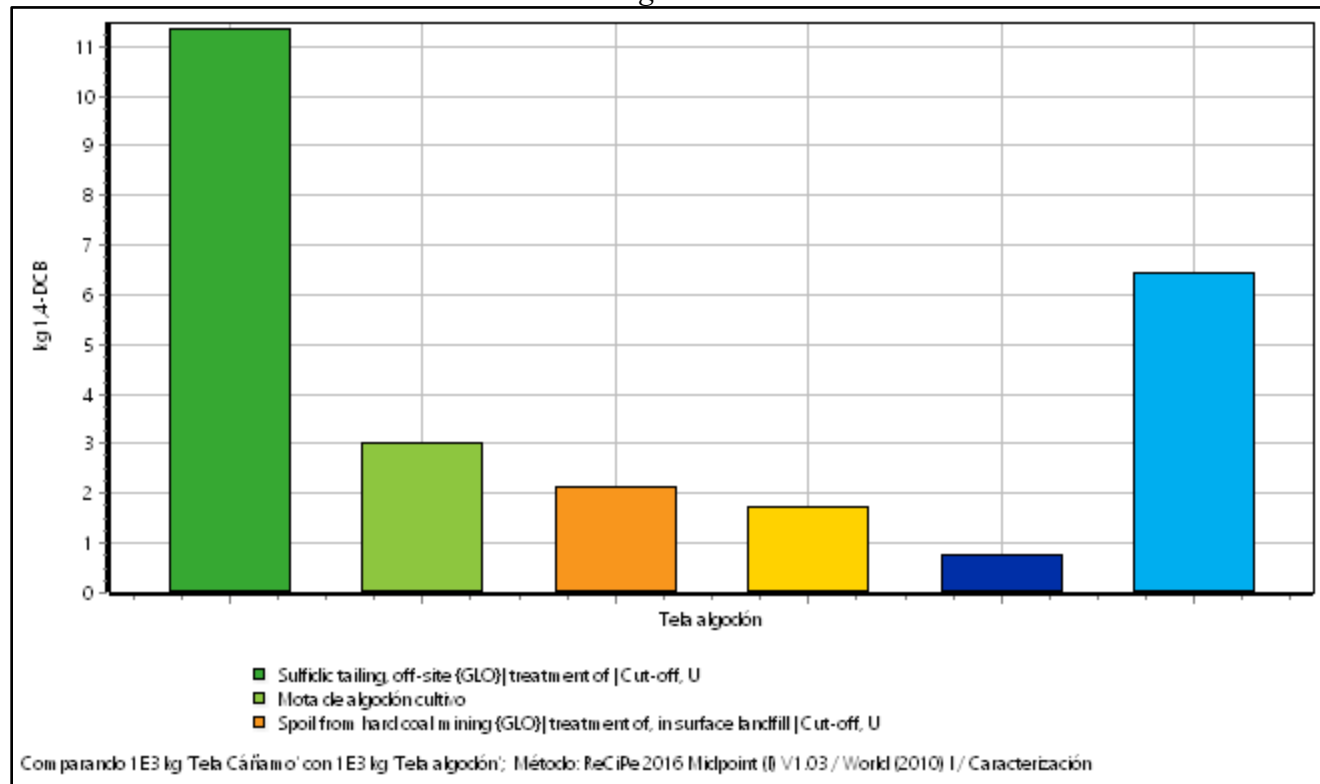
Esta es una de las categorías que mayor impacto obtuvo según la caracterización de la comparación evidenciada en la figura 16, arrojando resultados con un rango de diferencia menor, de **85,7%** para el cáñamo y **100%** para el algodón de contribución, y así mismo valores respectivos de **21,8 kg 1,4-DCB** y **25,4 kg 1,4-DCB**, esto se da debido al impacto generado por las sustancias con compuestos sulfurosos en caso más específico proveniente de fertilizantes o herbicidas y por otra parte por el almidón de papa utilizando en el proceso de elaboración de tela de cáñamo, lo anterior mencionado se puede ver reflejado en las figura 23 y 24.

Figura 23. *Análisis por sustancias y categoría de impacto ecotoxicidad marina, producto tela de cáñamo.*



Fuente. Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.

Figura 24. Análisis por sustancias y categoría de impacto ecotoxicidad marina, producto tela de algodón.



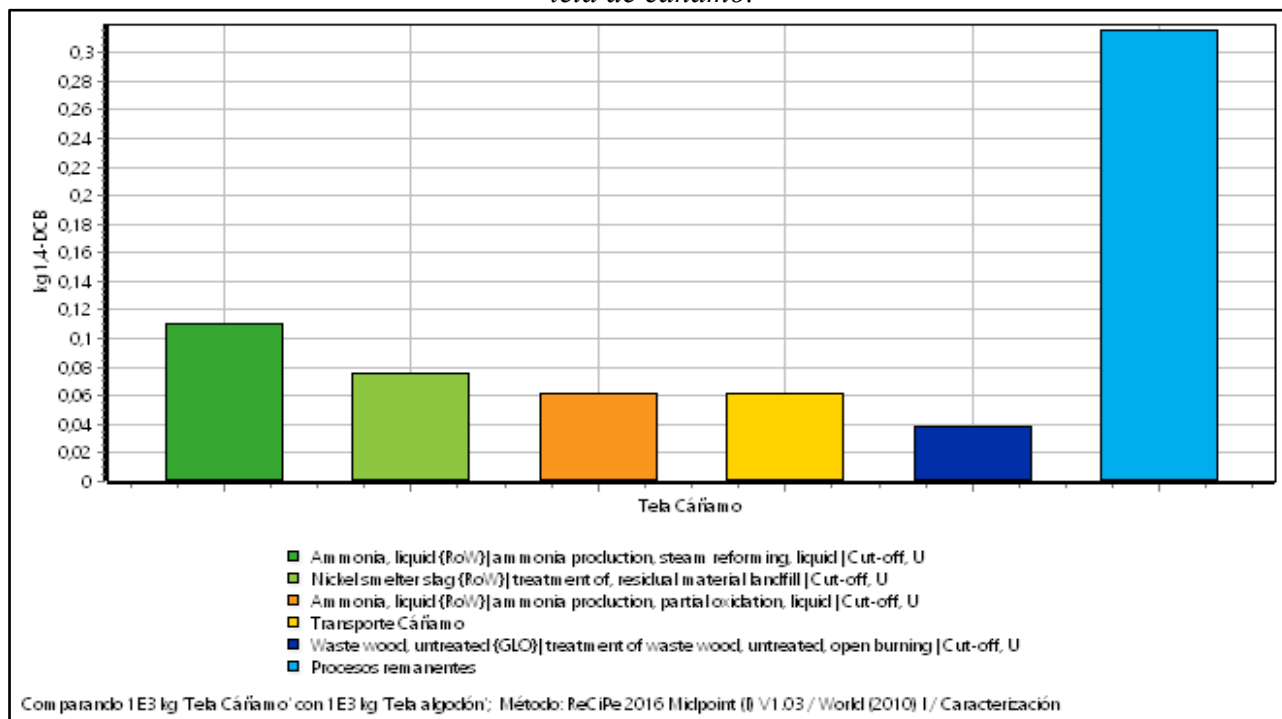
Fuente. Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.

Lo anteriormente evidenciado son las sustancias que según el proceso (algodón o cáñamo) son las más significativas en el impacto de la categoría de ecotoxicidad marina, determinando así que el exceso del uso de fertilizantes en la agricultura es un problema que puede traer asociado desequilibrios en el suelo, perjudicando su fertilidad, y además provocando contaminación en el medio ambiente, donde las aguas utilizadas para el consumo humano, animal y vegetal pueden igualmente estar afectadas (Yepis, Fundora, Pereira & Crespo, 1999).

10.3.4.1.13 Toxicidad humana carcinógena

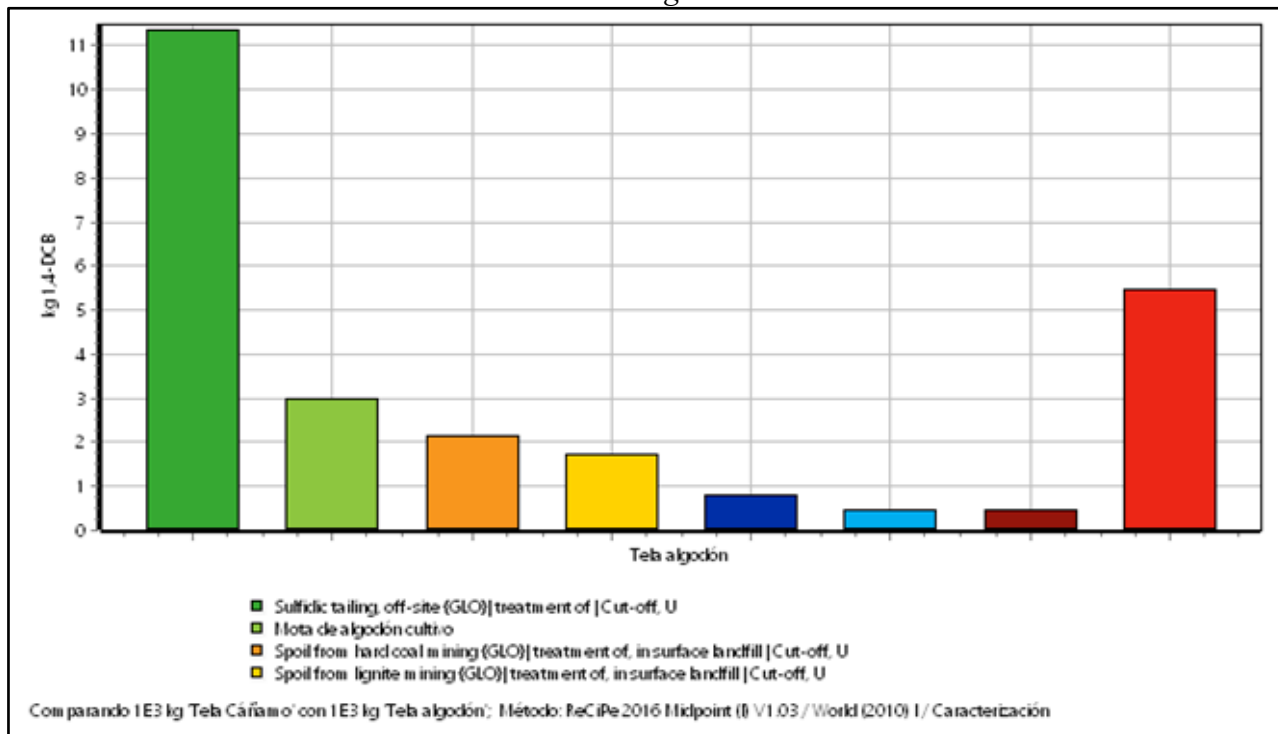
Los porcentajes de toxicidad humana carcinógena entre los dos productos no presentan una gran brecha de diferencia, pero si se evidencia que el algodón tiene un mayor aporte a esta categoría con un porcentaje de **100%** y un valor total de **0,902 kg 1,4-DCB**, al cambio el cáñamo con un porcentaje de **63,6 %** y un resultado de **0,664 kg 1,4-DCB** presenta menor contribución a esta categoría. Como principal contribuyente de esta categoría, se trata de las sustancias amonio, carbón y níquel, lo cual se presenta en las figuras 25 y 26.

Figura 25. Análisis por sustancias y categoría de impacto toxicidad humana carcinógena, producto tela de cáñamo.



Fuente. Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.

Figura 26. *Análisis por sustancias y categoría de impacto toxicidad humana carcinógena, producto tela de algodón.*



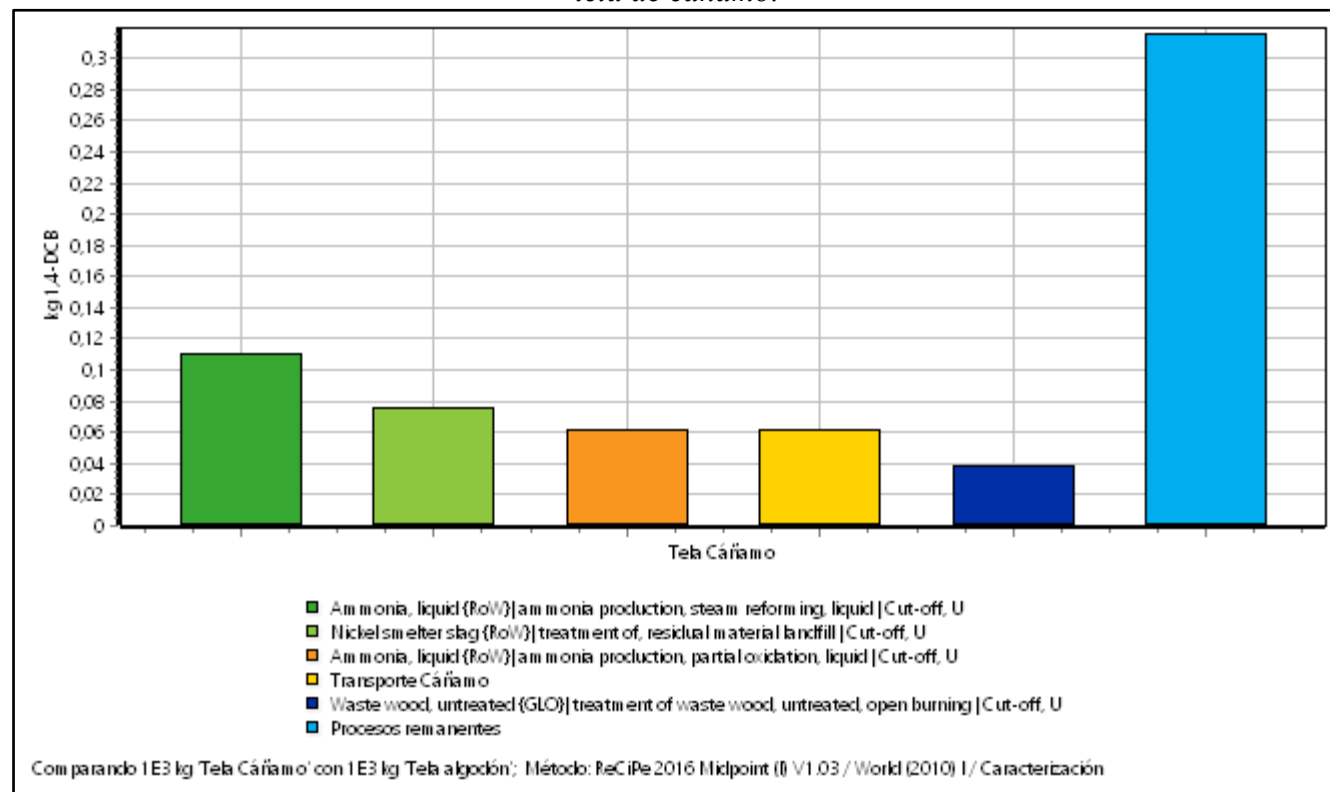
Fuente. *Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.*

Evidenciando las figuras anteriormente propuestas y las sustancias más contribuyentes a la categoría de impacto analizada, se puede determinar que estos químicos son provenientes de la fabricación y implementación de fertilizantes y herbicidas, en la etapa de cultivo de algodón, por lo tanto el humano está expuesto a este tipo de emisiones generadas por estas sustancias pudiendo contraer graves enfermedades, según Guzmán, Guevara, Olguín & Mancilla (2016) muchos de los químicos tienen efectos adversos que dañan la piel, los pulmones y los ojos, el uso excesivo de estos compuestos los ha convertido en una problemática mundial dada su toxicidad para aquellas personas que los manejan, por encontrarse expuestos continuamente al componente y/o ingrediente activo de dichas sustancias, llegando a causar intoxicaciones o problemas carcinógenos que generan signos y síntomas puntuales, hasta dar lugar a secuelas o efectos crónicos.

10.3.4.1.14 Toxicidad humana no carcinógena

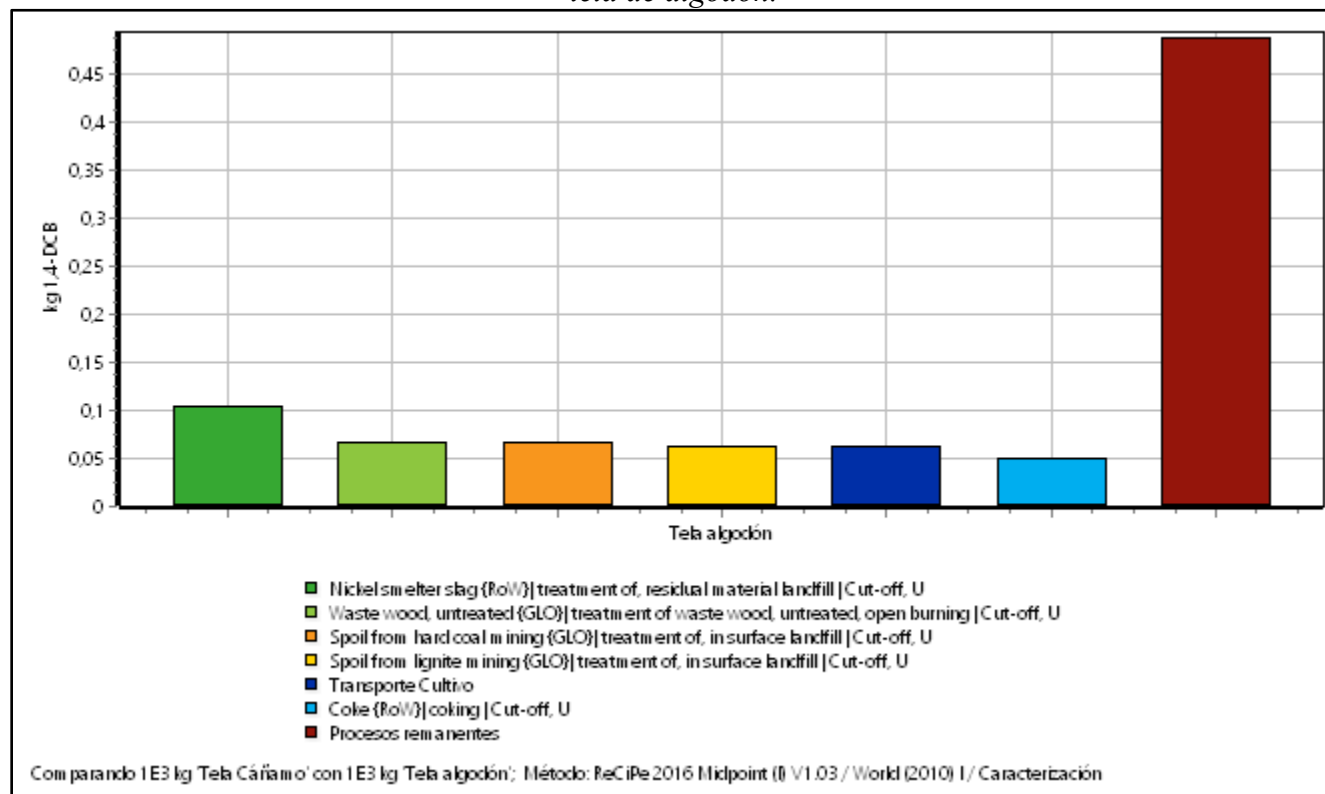
Esta categoría como se evidencia en la figura 16 tienen una contribución en los dos sistemas comparados obteniendo así un porcentaje de **100%** para el algodón y **73,6%** para el cáñamo, con un valor de **43,8 kg 1,4-DCB** y **32,3 kg 1,4-DCB** para el proceso de elaboración de dichos productos, en este caso específico se deriva un alto porcentaje debido a la presencia de sustancias como el amonio líquido, el níquel o sustancias derivadas del transporte utilizado en el proceso. En las figuras 27 y 28 se puede detallar de mejor manera la información.

Figura 27. *Análisis por sustancias y categoría de impacto toxicidad humana no carcinógena, producto tela de cáñamo.*



Fuente. *Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.*

Figura 28. *Análisis por sustancias y categoría de impacto toxicidad humana no carcinógena, producto tela de algodón.*



Fuente. *Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.*

Como se puede ver reflejado en las figuras anteriores, las sustancias que más aportan al impacto en esta categoría son el níquel y el amonio líquido, en menor aporte también se encuentra sustancias provenientes del transporte, que bien pueden ser algunas emisiones generadas por la combustión del diésel. En el caso específico del amonio líquido y el níquel se puede determinar que estas pueden provenir del uso de fertilizantes o pesticidas, como bien se sabe ya este proceso es el que más impactos genera, por lo tanto, en cuanto a esta categoría en específico, es una de las que más porcentaje tiene de contribución, esto queriendo decir que gran cantidad de los impactos del sistema generan daños no cancerígenos al ser humano. Por lo tanto, según Guzmán *et al* (2016), el uso de agroquímicos a nivel mundial, ha ocasionado diversos daños o alteraciones en el ambiente y en el ser humano; en éste último, estudios epidemiológicos revelan diversos daños y enfermedades como la hepatitis, malformaciones congénitas, discapacidad mental y órganos dañados.

10.3.4.1.15 Uso de la tierra

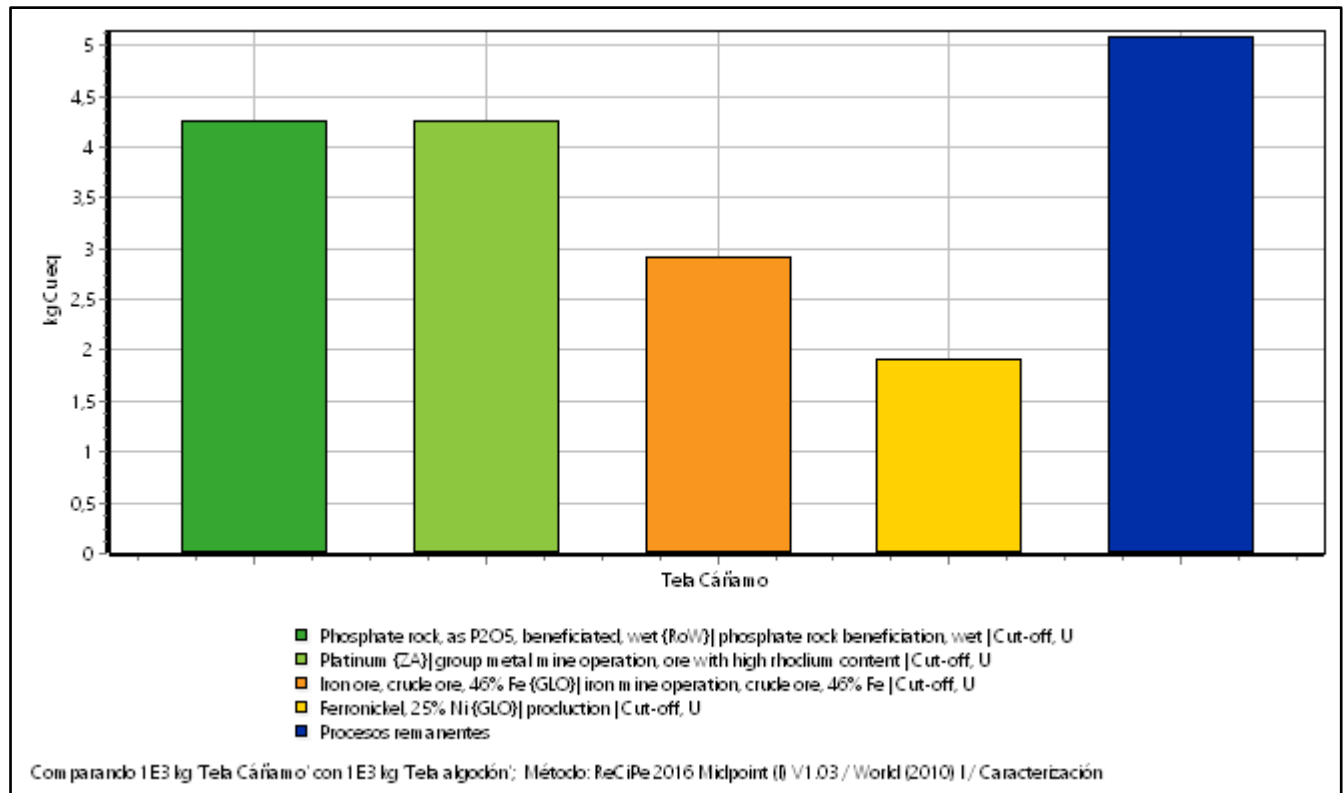
En esta categoría se pudo evidenciar una gran discrepancia entre los porcentajes de contribución de impacto arrojados en la caracterización de la comparación entre los dos productos, en el caso del cáñamo **6,32%**, con un valor total de **212 m²^año** y en el caso del algodón **100%**, con un resultado de **3350 m²^año**, por lo tanto se puede evidenciar que el cáñamo impacta de manera más leve en cuanto a esta categoría, ya que tiene un mayor rendimiento que a comparación del algodón, para darle validez a este

resultado Andariego (2018) plantea que el cáñamo puede producir un 250% más de fibra que el algodón, utilizando la misma cantidad de suelo.

10.3.4.1.16 Agotamiento de recursos minerales

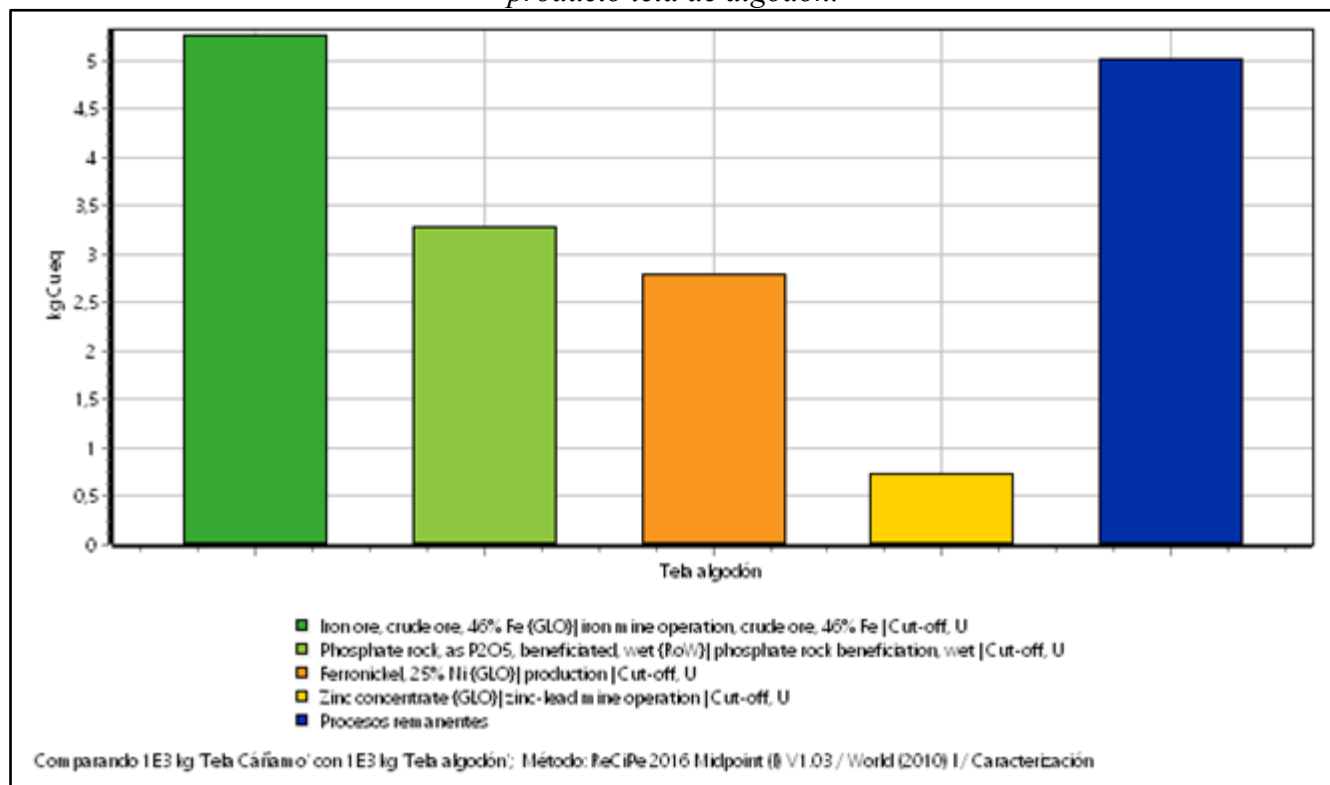
Esta categoría es una de las que mayor contribución tienen de impacto en los dos sistemas estudiados, esto quiere decir que no existe una brecha tan amplia entre los dos resultados, por una parte el cáñamo con un **100%** de contribución y un valor total de **18,4 kgC_u eq**, y el algodón con un **92,7%** y un resultado de **17,1 kgC_u eq**, en este caso las sustancias que más generan el agotamiento de recursos minerales, son el fosfato y el hierro, esto a derivación del proceso de cultivo de las diferentes especies, esto se puede evidenciar de manera más clara en las figuras 29 y 30.

Figura 29. Análisis por sustancias y categoría de impacto agotamiento de recurso minerales, producto tela de cáñamo.



Fuente. Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.

Figura 30. *Análisis por sustancias y categoría de impacto agotamiento de recursos minerales, producto tela de algodón.*



Fuente. *Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.*

En las figuras anteriormente propuestas, se evidencia que las sustancias que más impacto generan en los recursos minerales, son derivadas de los fertilizantes o pesticidas necesarios para llevar a cabo la producción de la materia prima (fibra de algodón o cáñamo), para el posterior desarrollo del proceso, por lo tanto, se evidencia que existe un exceso de fosfato y hierro, esto conlleva a un agotamiento de los otros minerales. Según Castro (2018) cuando las tierras que se manejan mal no pueden soportar los cultivos u otro tipo de plantas. Este agotamiento tiene una serie de consecuencias más allá de la limitada producción de alimentos o materia prima. Aumentando también el riesgo de erosión del suelo.

10.3.4.1.17 Agotamiento de recursos fósiles

Esta categoría también obtuvo un resultado sin mucha diferencia entre los dos sistemas ya que el algodón contribuye en un **100%** al impacto, con un valor total de **1000 kg oil eq** y el cáñamo un **71,4%** con un resultado de **715 kg oil eq**. Las principales sustancias que generan este impacto son las mismas mencionadas en la categoría agotamiento de recursos minerales (fósforo y hierro), esto debido a que los fertilizantes y pesticidas no solo afectan los minerales sino también los recursos fósiles en gran medida.

10.3.4.1.18 Consumo de agua

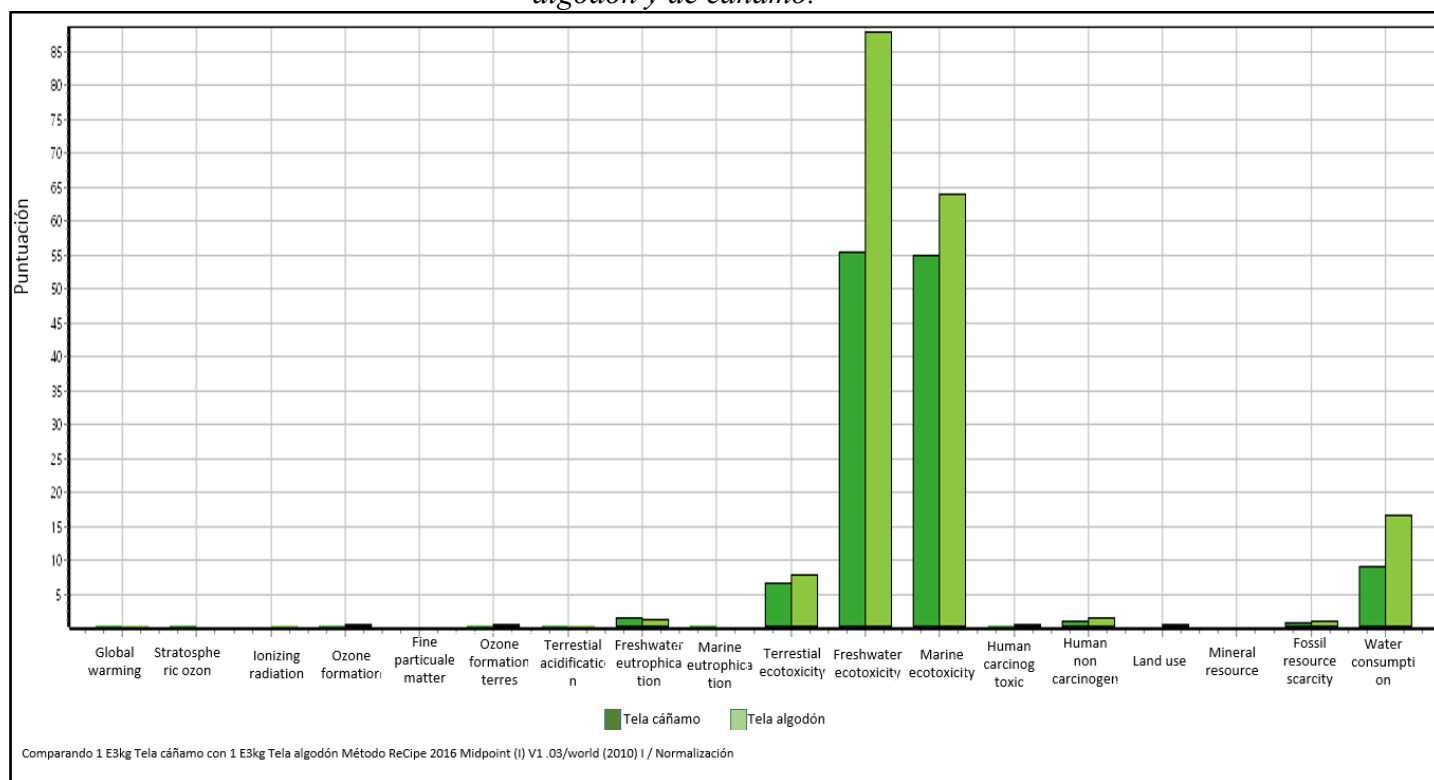
Por último, se encuentra la categoría de consumo de agua, la cual ambientalmente es una de las más importantes, debido a que el recurso hídrico es de suma importancia a nivel mundial. En cuanto a la contribución de impacto se pudo evidenciar que el algodón tiene un mayor porcentaje, de **100%** con un

resultado de $4430 m^3$, y el cáñamo con **54,5%** y un valor total de $2410 m^3$, esto refleja claramente que el algodón necesita mayor consumo de agua para producir tela, comparado con el cáñamo. Aún así el proceso que más cantidad de agua necesita es el proceso de cultivo, ya que para el adecuado desarrollo del algodón es necesario realizar irrigaciones con altos volúmenes de agua, caso contrario para el cáñamo que según Van Eynde (2015), este es capaz de desarrollarse sin la necesidad de irrigación, puede hacerlo solamente con la precipitación, pero bien esto ya depende del lugar donde se realice el cultivo y sus condiciones climáticas. En términos generales necesita menos cantidad de recurso hídrico para su total desarrollo, comparado con el algodón que necesita cantidades elevadas.

10.3.4.2 Normalización

A continuación de muestra la representación realizada, de la normalización de datos caracterizados de la comparación entre las dos alternativas bajo una misma unidad funcional.

Figura 31. Normalización de la comparación de los procesos de obtención de 1000 kg de tela de algodón y de cáñamo.



Fuente. Elaboración propia, obtenido de Simapro 9, 2020.

El proceso de normalización se utiliza para identificar las categorías de impacto más relevantes, por lo tanto en la figura 31, se puede determinar que la ecotoxicidad de agua dulce fue la categoría con mayor contribución, aportando un puntaje de 87,9 puntos para el caso del algodón y 55,5 en el cáñamo, también se presentan otras categorías importantes como lo son consumo de agua (cáñamo 9,04 puntos y algodón 16,6), ecotoxicidad marina (Cáñamo 54,9 puntos y algodón 64,1) y ecotoxicidad terrestre (cáñamo 6,63 puntos y algodón 7,82). Por otra parte, las demás categorías no presentan una contribución mayor de impacto ya que tienen un puntaje por debajo de 2 puntos.

Se recalca que el **algodón** en todas las categorías obtuvo un **valor más alto** que el **cáñamo**, lo cual refleja que en el proceso de elaboración de tela de algodón, se presentan más impactos hacia las categorías mencionadas anteriormente, hay que tener en cuenta que la normalización no utiliza unidades, ya que esta pretende comparar las categorías de impacto de una forma equitativa y determinar cuál es la más significativa.

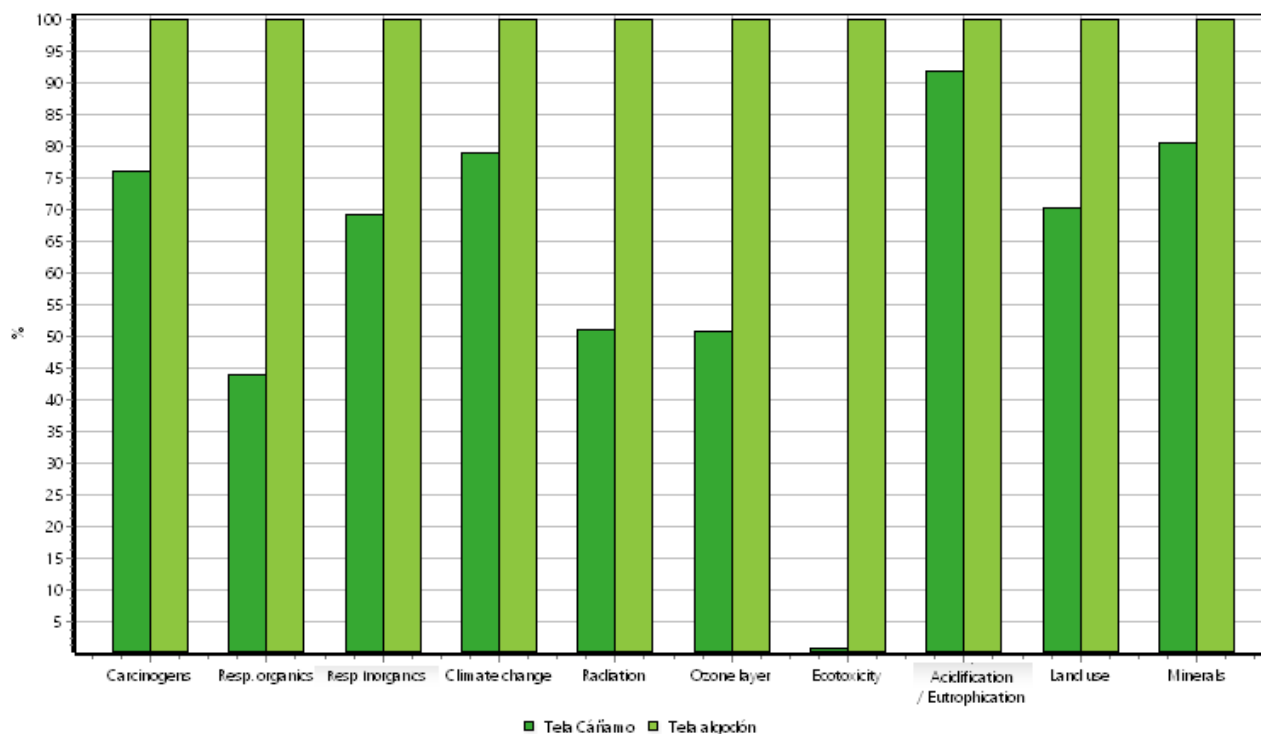
10.3.4.3 Análisis de sensibilidad de los datos

Según la NTC ISO 14043:2000 es necesario escoger una técnica para darle robustez a los resultados de la evaluación de impactos del ACV. Por lo tanto, en este caso específico se escogió el análisis de sensibilidad, el cual es un procedimiento para determinar la manera en la que los cambios en los datos o en las elecciones metodológicas, afectan a los resultados de la EICV.

Para este análisis se determinó el cambio en la metodología como proceso para analizar la sensibilidad de los datos, e identificar los puntos críticos. De esta forma se utilizó el método Ecoindicador 99 (I) V2.10, con un conjunto de ponderación promedio que permite identificar el daño de diferentes actividades o presiones en diferentes categorías de impacto. Esta metodología evalúa los daños en enfoque midpoint, que se divide en diez categorías (sustancias carcinógenas, efectos respiratorios de químicos orgánicos, efectos respiratorios de químicos inorgánicos, cambio climático, radiación, acidificación/eutrofización, pérdidas de la capa de ozono, ecotoxicidad, uso de la tierra y minerales) las cuales atribuyen finalmente a tres categorías de daño, a la salud humana, la calidad de los ecosistemas y el daño a los recursos, tomando esto para poder realizar una adecuada comparación con los resultados de la EICV. Por otra parte, no se realizaron variaciones en los datos del inventario (ICV) con el fin de reconocer los cambios en el puntaje otorgado a diferentes categorías de impacto.

En las figuras 32 y 33 se evidencia la caracterización de los resultados con el método ya mencionado y posteriormente la normalización de estos datos.

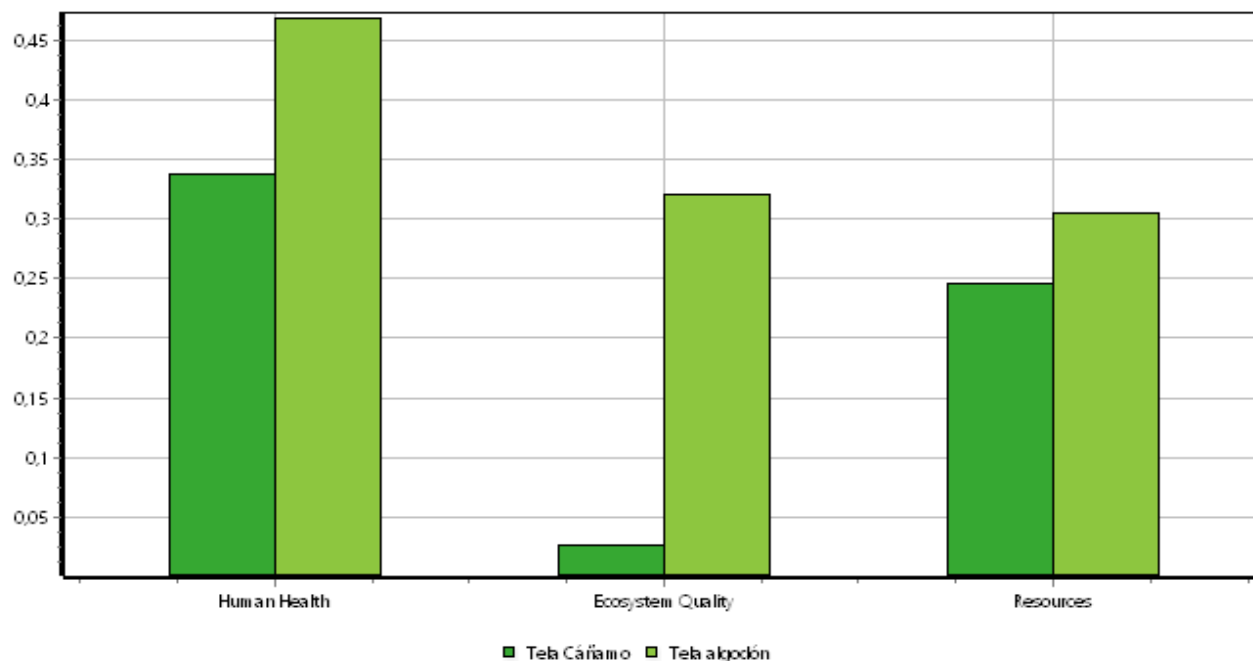
Figura 32. Caracterización para análisis de sensibilidad con el método Ecoindicador 99.



Comparando 1E3 kg Tela Cáñamo' con 1E3 kg Tela algodón'; Método: Eco-indicator 99 (II) V2.10 / Europe EI99 I/A / Caracterización

Fuente. Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.

Figura 33. Normalización para análisis de sensibilidad con el método Ecoindicador 99.



Comparando 1E3 kg Tela Cáñamo' con 1E3 kg Tela algodón'; Método: Eco-indicator 99 (II) V2.10 / Europe EI99 I/A / Normalización

Fuente. *Elaboración propia, obtenido de SimaPro 9, 2020.*

Evidenciando la figura 32, se puede determinar que la mayor contribución a la categoría de impacto se da por parte de la tela del algodón, obteniendo así un 100% de carga ambiental en todas las categorías de impacto. Comparando la caracterización realizada con el método ReCiPe 20016 midpoint (figura 16), el proceso de tela de algodón obtuvo una menor contribución en la categoría de pérdida de capa de ozono, seguido de eutrofización marina, eutrofización de agua dulce y agotamiento de los recursos minerales, analizando que con la metodología de Ecoindicador 99, el daño que generan las actividades del algodón es más representativo, según la perspectiva de aporte al daño que tiene esta metodología, contrastando el método de ReCiPe 20016 en su enfoque de puntos intermedios a evaluar impactos.

Por otra parte, en cuanto a la tela de cáñamo la menor contribución se da en la categoría ecotoxicidad, con un aporte de 0,728% mientras que en el EICV se dio un resultado menor para el caso de la categoría de uso de tierra con un porcentaje de 6,32%. En cambio, en cuanto a mayor daño ambiental en el caso de la metodología Ecoindicador 99 se obtuvo como resultado las categorías de acidificación/eutrofización (92%), minerales (80,65) y cambio climático (78,8%), con un alto aporte al daño, lo cual tiene relación con metodología presentada en el EICV, ya que tienen un aporte de 100% de impacto, presentado en las categorías eutrofización marina, eutrofización de agua dulce, agotamiento de la capa de ozono y agotamiento de recursos minerales.

A nivel general un dato relevante a analizar es la cantidad de categorías que manejan los dos métodos, siendo ReCiPe 2016 la que más categorías aborda (18). Evidenciando así que la contribución al daño en el caso de la metodología Ecoindicador 99 puede ser mayor dado a que abarca una mayor carga ambiental dentro de cada categoría.

Por último, analizando los resultados obtenidos la eutrofización es una categoría de impacto que tuvo un resultado alto en las dos metodologías al igual que el agotamiento de recursos minerales, por lo tanto, esto genera credibilidad en los resultados obtenidos en la interpretación del ciclo de vida a la hora de realizar la comparación entre los dos productos. En adición a esto en el caso de las categorías similares, se encontró que la contribución a la toxicidad humana cancerígena es parecida a la categoría establecida por Ecoindicador 99 en la cual es llamada sustancias carcinógenas y la diferencia entre los dos valores es de 2,4%, seguido del calentamiento global y cambio climático, con una diferencia de 12,5%, al igual que las categorías radiación ionizantes y radiación, con una diferencia de 8,2%.

Ahora bien, visualizando la figura 33, para el caso de la tela de algodón, esta presentó mayor daño a la categoría de salud humana con un puntaje de contribución de 0,468, al cambio en la metodología ReCiPe 2016 una categoría que contribuye directamente a la salud humana es el consumo de agua con una puntuación en este caso de 16,6, indicando que para esta metodología no es la categoría que ejerce mayor impacto. La calidad del ecosistema tiene un puntaje de 0,32, y sus mayores contribuyentes con respecto a los resultados obtenidos por la otra metodología son ecotoxicidad marina con 64,1 puntos de contribución y ecotoxicidad de agua dulce con 87,9 puntos. Finalmente, para el agotamiento de recursos, el proceso de tela de algodón tiene una atribución de 304 puntos.

Con respecto al cáñamo, la mayor puntuación pertenece a la categoría de salud humana con un daño de 338 puntos de atribución, seguido por el agotamiento de recursos con 0,245 puntos de atribución y

finalizando se encuentra la calidad de los ecosistemas con una puntuación de 0,0266. Comparando esto con la normalización de la metodología ReCipe, la categoría con mayor puntaje es la ecotoxicidad de agua dulce con 55,5 (ecosistemas), seguido de la ecotoxicidad marina con 54,9 (ecosistemas) y ecotoxicidad terrestre con 6,63 (ecosistemas). Por otra parte, relacionándolo con la salud humana se encuentra el consumo de agua con un puntaje de 9,04.

Se observa a nivel general, que las dos metodologías difieren con respecto a la categoría que mayor carga ambiental tiene, en ReCipe el mayor puntaje se enfoca en el daño a los ecosistemas, mientras que en la metodología de Ecoindicador 99, se da en la salud humana. Por lo tanto, se concluye, que las diferencias de los resultados se enfocan en el procedimiento de la normalización, esto debido a la diferencia del enfoque y el puntaje otorgado al impacto o daño de cada categoría. Siendo la metodología ReCipe la que mayor puntaje otorga. A pesar de esto, al momento de evaluar y realizar la caracterización con un enfoque de puntos intermedios (midpoint), las cargas ambientales tienen valores y un puntaje muy cercano. Identificando la credibilidad de los datos, al obtener coincidencia en los puntos críticos, cabe recalcar que la obtención de diferentes resultados no implica una modificación de la información tomada para realizar el ICV.

11 Análisis y discusión de resultados

En el sistema de producción de tela de algodón, la etapa más representativa en el estudio fue la del **cultivo**, con una gran contribución a la categoría de impacto, uso de la tierra con un 98,9%, así mismo como el consumo de agua con 94,6 %, recursos fósiles 93,3 % y cambio climático 75,6%. Con menor contribución se encontró la categoría de pérdida de la capa de ozono 60,5%. De igual forma Belalcázar et al (2018), utilizando la misma metodología de evaluación propuesta en el proyecto, determina que la etapa más contribuyente es la del cultivo, identificando que la categoría de daño más influyente es la de recursos fósiles con 182,65 puntos, aportando 50% de impacto, seguido del uso de la tierra con 60,48 puntos y por último cambio climático con 58,61 puntos. Verificando que este estudio interpreta la etapa de cultivo, como un punto crítico en su sistema, dado principalmente por el consumo de agua y de combustible. Sin embargo, en el presente estudio los materiales y los procesos químicos, giran en torno a los fertilizantes, herbicidas, uso de maquinaria agrícola y consumo de agua.

Además, en el artículo de Textile Exchange (2014), se plantea de igual forma, que la carga ambiental en el cultivo, es la más predominante, debido a las emisiones de óxido nitroso, que aportan al potencial de acidificación y que provienen de los fertilizantes nitrogenados, utilizados comúnmente en los procesos agrícolas. Contribuyendo de igual forma al uso de fertilizantes con altos componentes de amonio. Por otra parte, otro impacto significativo es el uso de combustibles fósiles de la maquinaria de riego, cosechadora y subsolador. Dando validez a los resultados obtenidos en el estudio, las similitudes entre este y el anterior mencionado, fortalecen y apoyan los datos obtenidos, debido a la robustez de esta investigación (Textile Exchange, 2014), ya que en esta se realiza una revisión crítica por parte de tres expertos con un rango de conocimiento muy elevado.

En cuanto al **transporte** los impactos son insignificantes, debido a que esta etapa solo incluye el proceso relacionado con la extracción y uso del diésel. Además, la distancia estándar propuesta no representa una contribución significativa, a comparación de las otras etapas y sus aportes. Esta etapa tuvo una mayor

contribución en la categoría de toxicidad humana carcinógena con un 6,9%, este valor en comparación a los otros obtenidos por las demás etapas evaluadas en el sistema no es significativo y la descarta como un punto crítico en el sistema.

Para la **obtención de la fibra**, se pudo determinar que la contribución no fue muy elevada, dado a que el proceso de desmotado utiliza únicamente energía. Por esta razón, su mayor impacto se da en el agotamiento de recursos fósiles, con una puntuación de 13,2 %.

Según Belalcázar *et al* (2018) el proceso menos impactante, es la producción de la fibra, comparado con la etapa de cultivo y obtención de tela, de igual manera en esta fase se generan pérdidas de la materia prima (mota de algodón). Según la suposición realizada en el presente estudio y en el de Belalcázar *et al* (2018), no se realiza un aprovechamiento de esos residuos, que constituyen el 38% de la producción, estableciendo un punto de mejora y optimización para el proceso.

La etapa de la **producción de la tela de algodón**, tiene una contribución importante en ciertas categorías de impacto, debido al uso, producción y elaboración de diferentes químicos, utilizados en la industria textil comúnmente, los cuales son primordiales para asegurar la calidad del producto, de igual forma el consumo de agua y energía también contribuyen a la carga ambiental. Por esta razón, es la segunda fase más contribuyente, específicamente en las categorías de pérdida de capa de ozono (30,9%) y radiación ionizante (25,7%). Según Tumminello & Ghezzi (2018), los principales impactos ambientales se dan por el consumo de energía, y el uso de químicos en los procesos que conforman la etapa de obtención de la tela, suponiendo que, si no se hubiera incluido en el estudio la etapa de cultivo, el subsistema de la producción de tela sería el más crítico, dando pie a la proposición de soluciones y establecimiento de alternativas.

Teniendo en cuenta lo anterior, la obtención de tela algodón es uno de los procesos más contaminantes en la actualidad, puesto que requiere grandes cantidades de agua, energía, combustible, materias primas, herbicidas y fertilizantes, generando importantes impactos al ambiente, como el uso de la tierra y el agotamiento de recursos minerales. Por esto, es necesaria la identificación de alternativas que minimicen los impactos más significativos.

Al observar los resultados obtenidos en el objetivo específico 2, se puede evidenciar que el **cañamo** es la alternativa más adecuada para reemplazar el uso del algodón en el sistema de elaboración de tela, esto al ser comparada con otras, debido a sus características físicas, químicas, su demanda con respecto a la etapa del cultivo, propiedades para su desarrollo, usos que se le pueden dar a la fibra, y otras. Como se puede evidenciar en la matriz de cumplimiento obligatorio, en la que obtuvo la mayoría de criterios a su favor y con esto, se dio paso a la matriz del cumplimiento deseable en la que de igual forma obtuvo la mejor calificación.

Según Cayuela (2016), esta especie tiene propiedades favorables, debido a que puede ser útil para diferentes aplicaciones. Además, podría tener una importancia económica a nivel mundial, debido a que no genera impactos significativos al ecosistema, en su fase de cultivo sin la necesidad de una gran cantidad de fertilizantes. De esta forma, el cañamo tiene más rendimiento por hectárea que cualquier otra fibra, de 1200 a 2000 kg por hectárea, es decir el uso de tierra es menor que la del lino y el formio. Debido a esto, implica más ingresos que otras fibras y es destinado a muchos otros productos, ya que la planta puede ser utilizada en su totalidad (semilla, hoja y tallo) y como subproducto de procesos como

sus derivados medicinales y otros, lo cual contribuye a una producción más limpia como alternativa (Gálvez, 2013).

Además de todo esto, el cáñamo es óptimo para cultivar en las condiciones que se dan en el departamento de Cundinamarca teniendo en cuenta las características del suelo, temperatura, y altitud. De esta forma, incentivar la producción de esta fibra en la región y con esto aumentar el uso de materias primas vegetales en las que en su proceso disminuyan los impactos. En relación a algunas características del suelo necesario para el desarrollo de esta especie, según García (2016) el cáñamo prefiere una estructura franco limosa, franca arcillosa o arcillo limosa. Y como es el caso, en Cundinamarca los suelos son normalmente profundos y de buena textura (francos arcillosos) (IGAC, 2012).

Como se evidencia respecto al cumplimiento de todos los criterios y la escogencia de estos, según Marín en el año 2013, al momento de evaluar cualquier tipo de fibra lo más importante es cuantificar el consumo de agua, la tierra necesaria para cultivar y las características que hacen que sea hilable como son su longitud y finura. De esta manera, la fibra proveniente de la especie *Cannabis Sativa* es cotizada actualmente como la máxima fibra ecológica, por no requerir gran cantidad de químicos para cultivarse y por poderse utilizar para producir desde prendas de alta calidad, hasta telas resistentes y cuerdas fuertes.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, al hacer la comparación entre el cáñamo y el algodón, se identifica que la etapa que contribuye de mayor forma a los impactos es la del cultivo, mediante las diferentes sustancias y procesos que la componen. De esta manera, se estableció que, en la etapa de la EICV, en la caracterización el algodón tuvo un 77% de contribución a los valores que otorgan el 100% de aporte a las categorías de impacto. Identificando el agotamiento de recursos minerales como la categoría de mayor contribución, seguido de la acidificación terrestre y por último ecotoxicidad marina. Estas categorías para Van Eynde (2015) son: eutrofización marina causada principalmente por las emisiones de nitrógeno provenientes de los fertilizantes, la de acidificación terrestre aportada por las sustancias que están compuestas por amoníaco, óxidos nítricos y que se derivan de los fertilizantes minerales nitrogenados y las emisiones de dióxido de azufre provenientes del uso de energía y combustible. De igual forma, la ecotoxicidad de agua dulce por parte del metacoloro y los metales pesados y la terrestre por los vertimientos que generan los pesticidas.

Con esto mencionado, se comprueban las similitudes del aporte de impacto por categoría, lo que justifica los métodos de selección de datos y todo lo relacionado con la calidad de datos del estudio.

En la normalización, Van Eynde (2015) establece que la categoría con mayor contribución es la de ecotoxicidad de cuerpos de agua dulce, seguida de la ecotoxicidad marina. Al relacionar esto con el presente proyecto, se evidencian similitudes en los resultados, lo que indica la robustez de estos debido a la tendencia que se mantendría en el caso de cambiar los datos.

Según los resultados obtenidos en el objetivo específico 3 y lo anteriormente expuesto, se determinó que el cáñamo es la opción más viable, debido a que el algodón presenta una mayor contribución a los impactos, determinando así la desventaja que presenta frente a la alternativa. A pesar de esto, el único impacto más bajo que presenta, es la categoría de uso del suelo, teniendo unos valores muy cercanos a los del algodón.

Por otra parte, el cáñamo presenta desventajas como el porcentaje aprovechable para la producción textil (se obtiene solo el 9% de fibras largas, de todo el cáñamo cosechado) con respecto a la producción. Y es necesario el uso de una mayor cantidad de químicos y de electricidad para los procesos de obtención de la tela. Por esta razón, a pesar del rendimiento del cultivo de esta especie, las propiedades físicas y químicas de la planta no son superiores a las del algodón. Aun así, se propone su uso gracias a las diferentes ventajas que tiene, como la generación de coproductos de lo que se utiliza en el proceso textil.

12 Conclusiones y recomendaciones

A manera general, el diagnóstico realizado para el algodón arrojó los resultados esperados, en cuanto a los puntos críticos del sistema evidenciado, que el uso de la tierra (98,9%), así mismo como el consumo de agua (94,6 %) se ven gravemente impactados por el mismo. Con ayuda del software SimaPro 9, se lograron detallar impactos que no eran tan evidentes o que no se podían percibir a simple vista, gracias a la implementación de los datos de fondo entregados por las diferentes bases de datos. Un ejemplo de esto, fue el proceso de irrigación, el cual incluye procesos como el transporte, la extracción, el método de extracción y fuente, que le dieron una mayor carga ambiental de la que se estimaba. A pesar de esto las consideraciones y suposiciones, realizadas en el ACV pueden afectar la cuantificación de las salidas de impactos en una forma significativa.

El ACV es una herramienta muy completa, aunque demande conocer los procesos a detalle, permite identificar puntos críticos en un sistema, y evaluar opciones que contribuyen en menos presiones al ambiente. Además, da la opción de acomodar el proyecto a criterio del autor, teniendo las justificaciones pertinentes. Por otra parte, los componentes del ACV permiten corregir y verificar en cada momento ciertos puntos de los cuales no se tiene validez.

Asimismo, una limitación del ACV realizado en el proyecto, fue el uso de datos bibliográficos únicamente (datos secundarios), impidiendo la percepción de algunos procesos, materiales y productos que no se contemplan en los documentos consultados.

Por otra parte, en cuanto a la comparación del cáñamo con el algodón, se evidenció que el cáñamo es el que menos contribuye a la carga ambiental de las 18 categorías de impacto midpoint del método utilizado. De esta forma, se recomienda a la microempresa The Mob, buscar las oportunidades de obtención de tela de cáñamo en el país para darle valor agregado, y más competitividad en el mercado. De igual forma, si no es posible la implementación de esta alternativa, buscar otras como el lino o el formio para contribuir a la gestión empresarial ambiental y así aportar beneficios a la microempresa.

Por último, a modo de conclusión, cabe recalcar que, para evidenciar cambios en los impactos del proceso de obtención de tela de algodón, se debe establecer el enfoque, en la búsqueda de soluciones para la etapa de cultivo, que es la que más genera impactos en este sistema. Determinando la posibilidad de incluir mejoras, como la reducción del uso de fertilizantes con el aumento del uso de abonos o proponiendo alternativas que no requieran en gran cantidad el uso de estos insumos.

Ahora bien, en cuanto a recomendaciones, es aconsejable que estos estudios se den a conocer en el sector textil a empresarios que se encuentren interesados en alternativas con bajos impactos ambientales y que

muestren todos los beneficios relacionados con su uso. Derivado a esto, a mayor oferta de textiles con esta materia prima, la visibilidad de esta alternativa en el mercado también va a aumentar por parte del consumidor, y por ende su demanda puede llegar a incrementar.

Además, en adición a esto en cuanto a la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida, esta es muy beneficiosa para determinar la viabilidad de diferentes procesos y se recomienda su uso, con respecto a la identificación de alternativas en una organización en la industria textil. Aun así, existen diversos sesgos de información referentes al uso de materias primas vegetales diferentes al algodón, que en las áreas más críticas (cultivo y fabricación del textil) generan menos impactos que éste. Por lo tanto, se recomienda la generación de estudios de ACV para alternativas textiles, diferentes a las convencionales. Ya que actualmente no existe una gran cantidad de investigaciones al respecto, y en el país, Belalcázar et al (2018) son los únicos autores que realizan un ACV del proceso de obtención de la tela de algodón.

Finalmente, es necesario realizar una revisión del software para conocer sus componentes, las bases de datos, su perspectiva con reflejo a la evaluación de impactos y las metodologías de evaluación que no están vigentes, con el fin de dar representatividad a los datos. Por lo tanto, se sugiere o se recomienda, que en estudios realizados con este tipo de software obliguen, de igual manera la obtención de datos sistemáticos o técnicos, para tener referencias más precisas y actualizadas del sistema, y de esta manera se puedan aplicar los resultados arrojados a casos reales, en donde se pueda evidenciar un cambio efectivo.

13 Referencias Bibliográficas

Abril, V. H. (2007). Métodos de la Investigación. *Ambato: Abril*.

Acosta, X. (junio de 2003). *Universidad Autónoma de Barcelona*. Recuperado en Enero de 2020, de Análisis ambiental del aprovechamiento energético del cáñamo: <https://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/43635/Ca%C3%B1amodiesel-%20X%20%20Acosta.pdf?sequence=8>

Albuquerque, & Pascual. (enero de 1996). *El lino, un cultivo no alimentario para producción de aceite y fibra*. Recuperado en Enero de 2020, de <https://www.researchgate.net/publication/28273038>

Alonso Felipe, J. V. (diciembre de 2015). *Manual de Control de Calidad en Productos Textiles y Afines*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Amaducci, S., Scordia, D., Liu, F.H. & Zhang, Q., 2014. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*

Andariega. (diciembre de 2018). *MODA SOSTENIBLE Y CULTIVO DE CÁÑAMO*. Obtenido de http://www.ods.gub.uy/images/Andariega_Hemp_uy.pdf

- Arciniegas Suárez, C. A. (2012). *DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10*. Manizales: Luna Azul. doi: ISSN 1909-2474
- Area, M. C. (2005). *TECNOLOGÍAS LIMPIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA Y PAPEL DE EUCALYPTUS*. Entre Ríos, Argentina: Instituto de Materiales de Misiones
- Assaedi, H., Alomayri, T., Shaikh, F., & Low, M. (2015). *Curtin University*. Obtenido de Characterisation of mechanical and thermal properties in flax fabric reinforced geopolymer composites: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40145-015-0161-1>
- Barahona, G. L. (2005). *Variación de la composición química en Albura, Duramen y la altura de madera pulable de eucalyptus globulus proveniente de monte alto y monte bajo*. Recuperado en enero de 2020, de Universidad de Chile: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105057>
- Belalcázar, S. M., Duque, A. M., Gómez, C., & Londoño, N. A. (Octubre de 2018). *MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS A TRAVÉS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA TELA DE ALGODÓN*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/68931/69318>
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). *INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO*. IDEAM.
- Benavides Gaibor, L. H. (2011). *Gestión, liderazgo y valores en la administración de la unidad educativa "San Juan de Bucay" del cantón general Antonio Elizalde (Bucay). Durante el periodo 2010-2011*. Obtenido de Centro universitario Guayaquil: http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2039/3/Benavides_Gaibor_Luis_Hernan.pdf
- Blasco, J. (2010). *Nuevas tecnologías*. Obtenido de MATERIALES Y MATERIAS PRIMAS: <https://tecnojoseluis.files.wordpress.com/2010/11/materiales-y-materias-primas.pdf>
- Boccolini, M. (2016). *IMPACTO DE LA APLICACIÓN PROLONGADA DE UREA SOBRE LA COMUNIDAD DE BACTERIAS OXIDANTES DEL AMONÍACO EN UN SUELO ARGIUDOL TÍPICO DE ARGENTINA*. Obtenido de Universidad Nacional de Córdoba: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_urea_nitritos_suelo_mj.pdf
- Burbano Figueroa, O., Montes Mercado, K. S., Pastrana Vargas, I. J., & Cadena Torres, J. (29 de diciembre de 2018). Introducción y desarrollo de variedades de algodón Upland en el

sistema productivo colombiano: Una revisión. *15 (1)*, 29-44. Tunja, Boyacá, Colombia: Ciencia y Agricultura. doi:10.19053/0122

- Caballero, Y. (agosto de 2010). *Universidad Nacional Agraria de La Selva*. Recuperado en Enero de 2020, de Determinación comparativa de ceniza, extractivo, celulosa y lignina en las especies de bambú procedente del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de La Selva: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/571>
- Cardona, C. A., Sánchez, O. J., & Sánchez, D. L. (enero de 2007). Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: Una aproximación cualitativa. 59-79. (Redalyc, Ed.) Medellín, Colombia: Revista Universidad EAFIT.
- Carrera i Gallisá, E. (2017). Los retos sostenibilistas del sector textil. Universidad Politécnica de Catalunya.
- CAR/PL. (septiembre de 2002). *Prevención de la contaminación en la industria textil en los países del Mediterráneo*. Obtenido de <https://docplayer.es/26857630-Prevencion-de-la-contaminacion-en-la-industria-textil-en-los-paises-del-mediterraneo.html>
- Castro. (2018). ¿Qué saber sobre el agotamiento del suelo? Obtenido de <https://okdiario.com/curiosidades/que-saber-sobre-agotamiento-del-suelo-2485659>
- Castro, A. P. (2007). *Universidad Nacional Agraria La Molina*. Recuperado en Enero de 2020, de Estudio de las propiedades de la fibra vegetal ("kapok") de Ceiba trichistandra en función a clase diamétrica y nivel altitudinal, proveniente del bosque seco de Bolívar, Cajamarca: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/411>
- Cifuentes, V. (8 de octubre de 2018). *Hay 61.536 vehículos de carga con más de 20 años que hacen falta renovar*. Obtenido de La Republica: <https://www.larepublica.co/economia/hay-61536-vehiculos-de-carga-con-mas-de-20-anos-que-hacen-falta-renovar-2779120>
- Cobos Córdova, G. (2013). *Registro y Documentación de Fibras Sustentables. Visión Global y Local*. Cuenca, Ecuador : Universidad del Azuay: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2585>
- Curran, M. A. (2012). *Handbook of Life Cycle Assessment: A Guide for Environmentally Sustainable Products*. Cincinnati.
- CONPES 3700. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, Colombia, 14 de julio de 2011.

- Cordero Cobos, M. (2013). Universidad del Azuay. *Reutilización de remanentes textiles*. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2586/1/09774.pdf>
- Consejo de Seguridad Nuclear. (2012). *La protección radiológica en la industria, la agricultura, la docencia o la investigación*. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear.
- Cordoba, M., & Blanco, S. (2009). Impactos del cambio climático y del calentamiento global en el desarrollo regional sustentable de la Patagonia: nuevos desafíos para las políticas públicas preferenciales. Universidad de Maryland.
- Corpoica. (2004). *ACUERDO PARA EL FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN Y LA COMPETITIVIDAD DEL SUBSECTOR DEL FIQUE*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Cuasapud, S. M., Henao Duque, Á. M., Rodríguez Gómez, C., & Cano Londoño, N. A. (2017). MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS A TRAVÉS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA TELA DE ALGODÓN. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*, 57-72. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/68931/69318>
- DANE, & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2002). *Región del interior algodón*. Colombia.
- Deng, Y., Paraskevas, D., Tian, Y., Van Acker, K., Dewulf, W., & Joost, D. (junio de 2016). *Life cycle assessment of flax-fibre reinforced epoxidized linseed oil composite with a flame retardant for electronic applications*. Recuperado en Enero de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/303771087_Life_Cycle_Assessment_of_Flax-Fibre_Reinforced_Epoxidized_Linseed_Oil_Composite_with_a_Flame_Retardant_for_Electronic_Applications
- Díaz Menéndez, C. F., & Granados Abril, S. (2017). *Guía de conceptos fundamentales para la gestión empresarial de las funciones básicas en unidades productivas familiares de población en proceso de reintegración en el Área Metropolitana de Bucaramanga*. Obtenido de Universidad Santo Tomás: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/11660/2018carlosdiazsebastiangranados.pdf?sequence=1&id=Allowed=y>
- Docampo, M. F. (junio de 2015). *Moda Sostenible, presente y ¿futuro? Un estudio de casos*. Obtenido de Universidad Pontificia ICADE: <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/4326/1/TFG001193.pdf>

- ecoinvent.org. (2019). *The ecoinvent Database*. Obtenido de <https://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- ecoRae. (2013). *Informe de resultados del ACV del proceso*. Universidad de Vigo.
- Espinel González, P. A., Aparicio Soto, D. M., & Mora, A. J. (2018). Sector textil colombiano y su influencia en la economía del país.
- Estrada, M., Ramírez, F., Maldonado, A., & Correa, J. (Enero de 2010). *Caracterización mecánica de las fibras del bambú Colombiano, Guadua angustifolia*. Recuperado en Enero de 2020, de <https://www.researchgate.net/publication/281294505>
- FAO. (2020). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
- Fassio, A., Rodríguez, M., & Ceratta, S. (2013). *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria*. Obtenido de CÁÑAMO (Cannabis Sativa L.): https://www.researchgate.net/publication/272148231_Canamo_Cannabis_sativa_L/citation/download
- Fletcher, K. (2008). *Sustainable Textiles and Fashion*. Londres: Earthscan.
- Flores, G. J. (2018). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE*. Obtenido de Análisis del proceso para la obtención de fibra textil regenerada a partir del Bambú: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8567/1/04%20IT%20237%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- García, C., González, O., Báez, O., Tellez, L., & Obando, D. (2016). Plan De Acción Indicativo De Eficiencia Energética 2017 - 2022. Retrieved from http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf
- García, J. (septiembre de 2016). *Universidad Miguel Hernández*. Recuperado en Enero de 2020, de Ensayo de variedades de cáñamo en la vega baja del segura: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2971/1/TFG%20Garc%C3%ADa%20Hern%C3%A1ndez%2C%20Jorge.pdf>
- Granada Aguirre, L. F. (5 de junio de 2009). Gestión ambiental empresarial: Pasado, presente y futuro de las normas e instituciones ambientales en Colombia. Habana, Cuba: Instituto Politécnico Superior José Antonio Echeverría.

- Grant, B., Smith, W., Goglio, P., Desjardins, R., McConkey, B., Campbell, C., & Nemecek, T. (2015). *Accounting for soil carbon changes in agricultural life cycle assessment (LCA): a review*. Journal of Cleaner Production. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.040>
- Gazzani, F. (2015). *Cultivo de lino para fibra*. Recuperado en Enero de 2020, de Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/34730/3512>
- Giraldo, A. (15 de diciembre de 2014). Los conceptos de calidad, idoneidad, y seguridad en el nuevo estatuto del consumidor. Bogotá, Colombia: Universidad EL Externado.
- Giraldo, D. (2017). *Una nueva especie de Agave (Asparagaceae) de Colombia Y una nueva clave taxonómica para las especies sudamericanas*. Recuperado en enero de 2020, de Universidad Nacional de Colombia: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/63318>
- Gómez, E., Ríos, L., & Peña, J. (13 de Julio de 2012). *Madera, un Potencial Material Lignocelulósico para la Producción de Biocombustibles en Colombia* Universidad. Recuperado en Enero de 2020, de Antioquia: https://www.researchgate.net/publication/262462894_Madera_un_Potencial_Material_Lignocelulosico_para_la_Produccion_de_Biocombustibles_en_Colombia
- Gómez, L. C. (2015). *Universidad del Azuay*. Obtenido de Obtención experimental de nuevas fibras textiles vegetales: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4778>
- Granados, & López. (octubre de 2002). *MANEJO DE LA PALMA DE COCO (Cocos nucifera L.) EN MÉXICO*. Recuperado en enero de 2020, de *MANEJO DE LA PALMA DE COCO (Cocos nucifera L.) EN MÉXICO* Universidad Autónoma Chapingo: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62980105>
- Gu, F., Zheng, Y., Zhang, W., Yao, X., Pan, D., Mun, A., . . . Sharmin, N. (Enero de 2018). *Can bamboo fibres be an alternative to flax fibres as materials for plastic reinforcement? A comparative life cycle study on polypropylene/flax/ bamboo laminates*. Recuperado en Enero de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/325377798_Can_bamboo_fibres_be_an_alternative_to_flax_fibres_as_materials_for_plastic_reinforcement_A_comparative_life_cycle_study_on_polypropyleneflaxbamboo_laminates
- Guerra Salcedo, S. S. (abril de 2011). Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de "Optimización de un método químico para la extracción de la fibra de formio (Phormium Tenax)"

- Guevara, L. M. (2 de noviembre de 2018). *El Cannabis medicinal*. Recuperado en enero de 2020, de <https://www.agronegocios.co/agricultura/cannabis-medicinal-ya-se-cultiva-en-15-departamentos-2789204>
- Guevara, V. H. (12 de marzo de 2013). *Estudio de extracción de fibra de formio (Phormium tenax) con metodos tradicionales de desfibrado*. Recuperado el Enero de 2020, de Escuela Politecnica Nacional : <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5923>
- Guio, L. R., Solorza, J., & Leal Mejia, L. (diciembre de 2015). *Restauración ecológica en plantaciones forestales de Eucalyptus globulus Labill y Acacia melanoxylon R. Br.* Obtenido de UNAD: <https://search-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co/central/docview/1819934315/fulltextPDF/5D773A63D9FF4419PQ/1?accountid=41311>
- Guzmán, P., Guevara, R. D., Olguín, J. L., & Mancilla, O. R. (2016). *Perspectiva campesina, intoxicaciones por plaguicidas y uso de agroquímicos*. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v34n3/art09.pdf>
- Haya Leiva, E. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida*. Escuela de Organización Industrial.
- Hernández Mejía, M. P., & Duque Tovar, J. D. (mayo de 2014). *Análisis de ciclo de vida en la producción de bocadillo como herramienta de la gestión ambiental empresarial: Estudio de caso para tres PYMES de la asociación Guajava, en el núcleo de desarrollo provincial de Vélez Santander*. Bogotá, Colombia: Universidad El Bosque.
- Honorato, A., Colotl, G., Apolinar, F., & Aburto, J. (2015). *Principales componentes químicos de la madera de Ceiba pentandra, Hevea brasiliensis y Ochroma pyramidale*. Recuperado en Enero de 2020, de <https://www.researchgate.net/publication/309143325>
- Kepner, C. H., & Tregoe, B. B. (1981). *The New Rational Manager*. Kepner-Tregoe.
- Huijbregts, M., Zoran, S., Elchout, P., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., . . . Van Zelm, R. (2017). *Recipe 2016: a harmonized life cycle impact assesment method at midpoint and endpoint level*. The International Journal of Lyfe Cycle Asessment.
- IDEAM. (2010). *Documentación IDEAM*. Obtenido de Biblioteca Virtual: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia3.pdf>
- Iturri, L. A. (2015). *EVIDENCIAS DE ACIDIFICACIÓN DE SUELOS LOÉSSICOS AGRÍCOLAS DE ARGENTINA*. Bahía Blanca, Argentina: Universidad Nacional del Sur.

- León, N., Walón, L., Álvarez, M. E., & Fey, L. (2008). EVALUACIÓN DEL DESARROLLO DEL LINO (*LINUM USITATISSIMUM* L.) EN CONDICIONES TROPICALES Y SUS POTENCIALIDADES AGRÍCOLAS. Recuperado el 2020 de Enero, de Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agrilcultura Tropical: http://www.actaf.co.cu/revistas/agrotecnia_05_2008/agrot2009-1/5.pdf
- Ley N° 99. Congreso Nacional de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 22 de diciembre de 1993.
- Ley N° 905. Congreso Nacional de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 2 de agosto de 2004.
- Liró, L. (1959). *La linaza cultivo de lino para grano*. Recuperado el Enero de 2020, de Ministerio de Agricultura, España: https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1959_03.pdf
- Lockuan, F. E. (octubre de 2012). *La industria textil y su control de calidad*. Obtenido de https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/iii._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad
- López, D. C. (noviembre de 2012). *Elaboración de hilo de la fibra de formio (*Phormium tenax*)*. Obtenido de Escuela Politécnica nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5339/1/CD-4585.pdf>
- Marín Rincón, N. (2 de junio de 2017). Evaluación de Impactos ambientales en la etapa de elaboración del producto de mayor importancia de la empresa Meals de Colombia S.A.S mediante un Análisis de Ciclo de Vida. Bogotá, Colombia: Universidad El Bosque.
- Manrique Carvajal, A. M., & Rivera Galvis, D. A. (2012). *APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DEL PSEUDOTALLO DEL BANANO COMÚN (*musa sp AAA*) Y DEL BOCADILLO (*musa sp AA*) PARA LA EXTRACCIÓN DE FIBRAS TEXTILES*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Martínez, J. (2002). *Universidad Autónoma Nueva León*. Obtenido de Sistema de costos para la industria textil de clase mundial: <http://eprints.uanl.mx/1142/1/1020147741.PDF>
- Mojica, A., & Paredes, J. (Julio de 2004). *El cultivo del fique en el departamento de Santander*. Obtenido de Centro Regional de Estudios economicos Bucaramanga: https://www.researchgate.net/publication/5006623_El_cultivo_del_fique_en_el_Departamento_de_Santander

- Montoya Arango, J. A., Ospina Rendón, C., & García Palacio, J. A. (diciembre de 2007). *Oportunidades de producción más limpia en tintorerías en el sector textil*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Pereira: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4787809.pdf>.
- Morillo Chandi, S. (noviembre de 2012). *Propuesta de producción más limpia (P+L) en el proceso de tinturado, en la industria "Textiles María Belén" ubicada en el distrito metropolitano de Quito*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/662>
- Moritz, N., & Kordula, W. (enero de 2013). *The Carbon and Water Footprint of Cotton made in Africa*. Obtenido de <https://www.cottonmadeinafrica.org/en/english-docs/cmia-standard-1/impact-measurement/75-cmia-eco-footprint-study-2013-1/file>
- Muñoz, M. F., Hidalgo, M. A., & Mina, J. H. (diciembre de 2014). *Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de los plásticos, influencia de la modificación superficial*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317501110_FIQUE_FIBER_AN_ALTERNATIVE_FOR_REINFORCED_PLASTICS_INFLUENCE_OF_SURFACE_MODIFICATION
- NTC ISO 5220:2003. ICONTEC. Bogotá, Colombia, 2003.
- NTC ISO 14040:2007. ICONTEC. Bogotá, Colombia, 26 de septiembre de 2007.
- NTC ISO 14044:2007. ICONTEC. Bogotá, Colombia, 29 de agosto de 2007.
- NTC 5637:2008. ICONTEC. Bogotá, Colombia, 26 de noviembre de 2008.
- NTC ISO 9001:2015. ICONTEC. Bogotá, Colombia, 23 de septiembre de 2015.
- OEIDRUSBC. (2008). *Propiedades físicas del algodón*. Obtenido de <http://www.oeidrusbc.gob.mx/sispro/algodonbc/INDUSTRIALIZACION/Proyecciones.pdf>
- Ojeda, G. A. (septiembre de 2012). *Teñido de fibra de abacá (Musa textilis) utilizando colorante extraído de la cochinilla (Dactylopius coccus Costa)*. Obtenido de Universidad Técnica Particular de Loja: <https://www.yumpu.com/es/document/view/14568889/ojeda-brito-galo-antonio-pdf-universidad-tecnica-particular>
- Osorio García, S. (5 de junio de 2018). Estudio de caso del denim y su impacto medioambiental en Fabricato: Sostenibilidad de la Industria Textil en Medellín. Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.

- Páez, J. C. (junio de 2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. Recuperado en enero de 2020, de Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/352>
- Pandoja, N. H., & Acuña, D. F. (febrero de 2005). *Resistencia al corte paralelo a la fibra de la Gaudua angustifolia*. Recuperado en Enero de 2020, de Universidad Nacional de Colombia: https://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/Resistencia_corte_paralelo_fibra.pdf
- Paucar Menacho, L. M. (2015). “*MATERIAS PRIMAS DE ORIGEN VEGETAL*”. Obtenido de Universidad Nacional del Santa: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/modulo_primera_unidad.pdf
- PE INTERNATIONAL AG (noviembre de 2014). *COTTON MADE IN ÁFRICA*. Obtenido de <https://www.cottonmadeinafrica.org/en/english-docs/cmia-standard-1/impact-measurement/76-cmia-life-cycle-assessment-pe-international-2014-11-2014/fil>
- Pellini, C. (2014). *fido.palermo*. Obtenido de Industria textil: https://fido.palermo.edu/servicios_dyc//blog/docentes/trabajos/39726_149027.pdf
- Peña, B. S. (2007). *Disponibilidad y efectividad relativa de quelatos de zinc aplicados a suelos en un cultivo de lino (linum usitatissimum L.) textil*. Recuperado en enero de 2020, de Universidad Politécnica de Madrid: http://oa.upm.es/1626/1/BEATRIZ_SEBASTIAN_PENA.pdf
- Peña, C., & Tokatlian, L. (2012). *El bambú en el delta bonaerense y su gente*. Recuperado en Enero de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/259404045_El_bambu_en_el_delta_bonaerense_y_su_gente_Prologo
- Pinzón Rodríguez, J. J. (26 de abril de 2018). Análisis de Ciclo de Vida de la elaboración del queso tipo cuajada en una finca ganadera del municipio de Puerto López, Meta como herramienta de gestión ambiental de la empresa. Bogotá, Colombia: Universidad El Bosque.
- Plan Nacional de Negocios Verdes. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia, 2014.
- Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia, 21 de Julio de 2010.

- Política Nacional de Producción Más Limpia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia, agosto de 1997.
- Quezada García, A. P., & Toledo Garzón, J. A. (2017). *Universidad del Azuay, facultad de diseño arquitectura y arte*. Obtenido de Obtención de hilo artesanal proveniente de fuentes vegetales: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7084>
- Rodrigo Fernando Miranda López, Elías David Caisa Yucailla y María Dolores Guaman Guevara (2017): “Línea de bóxer en tela ecológica como un aporte social y empresarial”, Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Ecuador, (octubre 2017). En línea: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/tela-ecologica-aporte.html>
- Rosero, Y., Tenjo, J. D., & Barcaldo, J. E. (2017). *ABSORBENTE ACÚSTICO A BASE DE FIBRAS DE KAPOK Absorbente acústico a base de fibras de Kapok*. Recuperado en enero de 2020, de Universidad La Gran Colombia: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3273/Absorbente_acustico_fibras.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rueda, N. J. (octubre de 2004). *Factibilidad para la creación de una empresa en la ciudad de Bucaramanga dedicada a la fabricación y comercialización de bolsos en fibra de Yute bordados a mano*. Recuperado en Enero de 2020, de Universidad Industrial de Santander: <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/22450/1/114190.pdf>
- Sanes Orrego, A. (2012). *ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS PRODUCTIVOS*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Sampieri, R., Zapata, N., & Mendoza, C. (2013). *Metodología de la investigación para bachillerato*. Obtenido de https://www.esup.edu.pe/descargas/valotario_coem/2017/1%20Hernandez-Zapata%20y%20Mendoza-Metodologia%20Investigacion.pdf
- Semana. (2019). La industria textil va con toda. *Semana*.
- Secretaría Nacional de Planeación. (2018). *Secretaria nacional de planeación*. Obtenido de Alcaldía mayor de Bogotá: <http://www.sdp.gov.co/gestion-territorial/ambiente-y-ruralidad/cerros-orientales>
- Secretaría Distrital de Planeación. (2009). *Conociendo la localidad de Engativá: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos*. Obtenido de

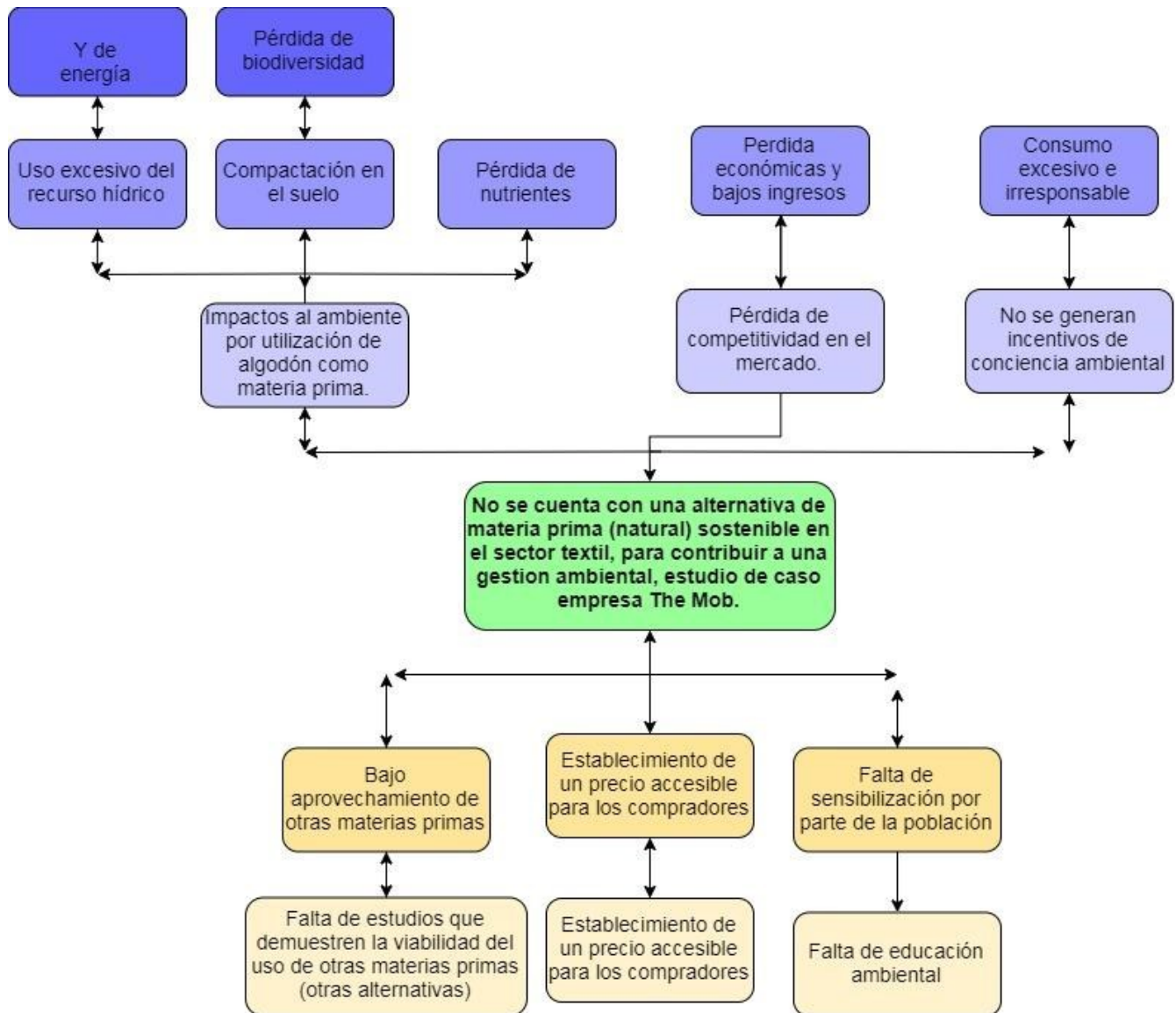
<http://www.sdp.gov.co/transparencia/informacion-interes/otras-publicaciones/monografias-2009-engativa>

- Silva, R., Canaveira, P., Simoes, A., & Domingos, T. (febrero de 2010). *Industrial hemp or eucalyptus paper?* doi:DOI 10.1007/s11367-010-0152-y
- Sorlino. (agosto de 2001). *Efecto de la temperatura y la profundidad de siembra sobre la duración de la etapa de siembra-emergencia en lino (Linum usitatissimum L.)*. Recuperado en Enero de 2020, de <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/facultadagronomia/2001sorlinod.pdf>
- Struik, P.C., Amaducci, S., Bullard, M. J. & Stutterheim, N. C., 2000. Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in Europe. *Industrial Crops and Products*, 11, pp.107–118.
- Textile Exchange. (noviembre de 2014). *Life Cycle Assessment (LCA) of Organic Cotton A global average*. Obtenido de https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2017/06/TE-LCA_of_Organic_Cotton-Fiber-Summary_of-Findings.pdf
- Tumminello, E., & Ghezzi, P. (2018). *Ecodiseño en el sector textil*. Obtenido de Ecosign: http://www.ecosign-project.eu/wp-content/uploads/2018/09/TEXTILE_UNIT06_ES_Lecture.pdf
- Universidad de las Américas Puebla. (2018). Colección de Tesis Digitales. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lco/sanchez_e_o/capitulo3.pdf
- Universidad autónoma de occidente. (2014.). *Universidad autónoma de occidente*. Obtenido de GESTIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL: <https://ecologia.unibague.edu.co/gae.pdf>
- Universidad Nacional de Colombia. (2007). *Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado en Enero de 2020, de *Linum usitatissimum* L. - Linaceae: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/detail/270949/>
- Van der Velden, N., Patel, M., & Vogtlander, J. (2014). *LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-013-0626-9>
- Van der Werf, H. (enero de 2004). *Life Cycle Analysis of field production of fibre hemp, the effect of production practices on environmental impacts*. Recuperado en enero de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/226537170_Life_Cycle_Analysis_of_field_production_of_fibre_hemp_the_effect_of_production_practices_on_environmental_impacts

- Van de Werf, H., & Turunen, L. (noviembre de 2007). *The Production Chain of Hemp and Flax Textile Yarn and Its Environmental Impacts*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/241746015_The_Production_Chain_of_Hemp_and_Flax_Textile_Yarn_and_Its_Environmental_Impacts
- Van Eynde, H. (junio de 2015). *Comparative Life Cycle Assessment of hemp and cotton fibres used in Chinese textile manufacturing*. Recuperado en Enero de 2020, de https://www.scriptiebank.be/sites/default/files/VanEyndeHannes_KUL_Eindwerk.pdf
- Villegas, C., & González Monroy, B. (2013). Fibras textiles naturales sustentables y nuevos hábitos de consumo. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 31-45.
- Villegas, N. H., & Vélez, R. P. (13 de Julio de 2007). *Universidad de Guayaquil*. Recuperado en Enero de 2020, de Elaboración de módulos estructurales a base de fibra de estopa de coco para viviendas de bajo costo: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/1650>
- Vilà M, Castro M, García-Berthou (2008) ¿Qué son las invasiones biológicas? En: Vilà M, Valladares, F, Traveset A, Santamaría L, Castro P (Editores) *Invasiones Biológicas*. CSIC, Madrid, España. Disponible en <http://digital.csic.es/handle/10261/5272>
- Von Humboldt. (2018). *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Obtenido de ¿Qué hacemos?: <http://www.humboldt.org.co/es/instituto/quienes-somos/que-hacemos>
- Wahby, I. (2007). *APROXIMACIONES BIOTECNOLÓGICAS TENDENTES A LA MEJORA DEL CÁÑAMO (Cannabis Sativa L.): OBTENCIÓN Y CULTIVO DE RAÍCES TRANSFORMADAS, TRANSFORMACIÓN GENÉTICA REGENERACIÓN IN VITRO*. Universidad de Granada
- Yepis, O., Fundora, O., Pereira, C., & Crespo, T. (1999). *LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR EL USO EXCESIVO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN EL CULTIVO DEL TOMATE*. Obtenido de <file:///C:/Users/SAMSUNG/Downloads/45579-Text%20de%20l'article-55344-1-10-20061109.pdf>
- Zhang, Y., Liu, X., Xiao, R., & Yuan, Z. (21 de abril de 2015). *Life cycle assessment of cotton T-shirts in China*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/276089016_Life_cycle_assessment_of_cotton_T-shirts_in_China

14 Anexos

14.1 Anexo A. Árbol de problemas y objetivos



Fuente. Elaboración propia, 2019.

14.2 Anexo B. ACV de tela de algodón.

En este anexo se presentan los ACV del algodón, identificados de diferentes fuentes bibliográficas Belalcázar et al, (2018), PE International AG (2014), Zhang et al (2015), Van der Velden et al (2014) y Moritz & Cordula (2013). De allí se evidencian una tabla comparativa con la UF, alcance, objetivos, inclusiones, exclusiones, la metodología de evaluación utilizada en cada uno y las categorías de impacto. Elaborada con el fin de identificar y tomar en cuenta variables que aportaron significativamente en la toma de decisiones del ACV.

Bibliografía	MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS A TRAVÉS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA TELA DE ALGODÓN (Belalcázar et al, 2018)	Estudio de evaluación comparativa de LCA sobre textiles hechos de algodón, poliéster, nylon, acrílico o elastano. (Van der Velden et; 2014)	Análisis de ciclo de vida de una camiseta de algodón en China (Zhang et al; 2015)	Análisis de Ciclo de Vida del algodón orgánico un promedio mundial (Textile Exchange, 2014)	Análisis del ciclo de vida del algodón hecho en África (PE International AG, 2014).	Huella de carbono y agua del algodón hecho en África (Moritz & Cordula, 2013)
Objetivo	No se presenta de forma evidente en el estudio	El foco principal está en la producción de textiles (de la cuna a la puerta); incluyendo la fase de uso (lavado por el usuario) y también se proporciona la fase de finalización de la vida útil del producto.	Evaluar impactos en el ambiente, para identificar los puntos críticos y buscar oportunidades de mejora durante el ciclo de vida de una camiseta 100% algodón en China.	Crear un Inventario de ciclo de vida (ICV) actualizado y bien documentado para la fibra de algodón orgánico (desmotado y embalado), representativo de la producción mundial global y proporcionar una evaluación integral del Análisis del Impacto de Ciclo de Vida de la fibra de algodón orgánico (cultivo y desmotado) e identificar los puntos críticos mediante un rango de categorías de impacto.	Comprender el perfil ambiental de la fibra del algodón hecho en África considerando otros estudios realizados sobre el ACV del algodón desmotado.	Evaluar la huella de carbono y agua para CmiA (cotton made in África) con respecto a la del algodón convencional.
Alcance	El alcance y los impactos son tomados de la cuna a la puerta, incluyendo la etapa de siembra, cosecha y la producción de fibra y textil	Es de la cuna hasta la tumba. Incluye los procesos de la cuna a la puerta de la cadena de producción de crudo, extracción de material para fabricar tela greige para algodón, PET, nylon, acril y elastano, así como los procesos de puerta a sepultura para productos textiles hechos de estos materiales. El alcance excluye las siguientes fases relacionadas con el producto textil: fabricación (costura y montaje), distribución, comercialización, y ventas del textil.		De la cuna a la puerta incluyendo el cultivo de la planta de algodón hasta la puerta de la granja, el transporte de la semilla de algodón hasta la desmotadora, las operaciones de desmotado hasta que la fibra esté empaquetada y lista para su envío. Se incluyen 4 procesos principales: preparación del terreno, plantación, operaciones de campo y cosecha. Bajo el término colectivo, operaciones de campo, riego, control de maleza y plagas y la fertilización está incluida.	De la cuna a la puerta incluyendo la fase del cultivo del producto hasta la fase desmotado	Las huellas de carbono se evaluaron con promedios ponderado por la producción de algodón hecho en África, como para el algodón convencional, en este estudio fueron incluidos los siguientes países: Algodón convencional: China, Usa, Pakistán, India, Brasil, Uzbekistán, Turquía, Australia y por el algodón hecho en África: Benín, Burkina Faso, Malawi, Mozambique, Zambia, Cameroon

Bibliografía	MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS A TRAVÉS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA TELA DE ALGODÓN (Belalcázar et al, 2018)	Estudio de evaluación comparativa de LCA sobre textiles hechos de algodón, poliéster, nylon, acrílico o elastano. (Van der Velden et; 2014)	Análisis de ciclo de vida de una camiseta de algodón en China (Zhang et al; 2015)	Análisis de Ciclo de Vida del algodón orgánico un promedio mundial (Textile Exchange, 2014)	Análisis del ciclo de vida del algodón hecho en África (PE International AG, 2014).	Huella de carbono y agua del algodón hecho en África (Moritz & Cordula, 2013)
Unidad funcional	1000 Kg de tela de algodón (Gossypium Hirsutum) producida en una hectárea de cultivo	1 kg de textil (greige) "greige" se define como "sin blanquear y sin teñir o sin tratar".	Camiseta 100% algodón manga corta (masa: 0,153kg) (densidad 200g/m2)	1000 kg de fibra de algodón desmotado. Según los requisitos de calidad ILCD, 2011.	1000 kg de pelusa de algodón (desmotado)	1.0 kg de pelusa de algodón
Límites del sistema	Etapas de siembra, cosecha y la producción de fibra y textil, no se tendrá en cuenta la producción de coproductos o subproductos derivados del proceso de fabricación de tela de algodón.	Se tendrán en cuenta las etapas de cultivo y tratamiento del algodón, el transporte en el primer paso de producción del material será tenido en cuenta, el hilado (se tiene en cuenta la energía eléctrica necesaria para este proceso), el tejido (también toma en cuenta la energía eléctrica), colorantes, lubricantes, detergentes y agentes complejantes no están incluidos en la fase de fabricación de textiles.	Se tiene en cuenta el cultivo y producción de fibra de algodón (incluyendo insumos de energía directa e indirecta, riego comercial, abonos y pesticidas), fase de desmotado (separación de semilla y fibra), la fabricación del textil incluyendo: hilado, teñido (pretratamiento), confección (corte, costura y empaque) uso de energía directa e indirecta, productos químicos y uso de agua y por último la distribución y uso por parte del consumidor y disposición final.	En el estudio se incluyen: todos los flujos de materiales y de energía necesarios para las fases de producción (cultivo y desmotado) Incluye, la producción de semillas, fertilizantes y pesticidas, así como: emisiones de campo, electricidad para desmotado y todos los transportes de insumos. Excluidos: Impactos ambientales asociados con animales de tiro, el final de vida de los residuos de la desmotadora, los residuos de desmotado consisten en semillas rotas, fibras y restos de plantas. La provisión de infraestructura tampoco está incluida.	Se incluyen todos los flujos de material y energía necesarios para las fases de cultivo y desmotado igualmente todos los desechos y emisiones asociados como producción insumos, de igual forma emisiones de campo, electricidad para el desmotado y todos los transportes de insumos. Se excluyó el final de la vida útil de los residuos que consisten en semillas rotas y el aspecto social.	SERA INCLUIDO: crecimiento del cultivo y desmotado, producción de insumos, energía mecánica para operaciones de campo (labranza, siembra, aplicación de fertilizantes, pesticidas, riego, cosecha), transporte de productos intermedio y de algodón cosechado a desmotadoras, ganado/ trabajo ganadero, uso de electricidad en desmotadora. Por otra para NO SERA INCLUIDO: almacenamiento de carbono en la fibra, construcción infraestructura agrícola, aporte de energía humana y materiales de embalaje.

Bibliografía	MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS A TRAVÉS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA TELA DE ALGODÓN (Belalcázar et al, 2018)	Estudio de evaluación comparativa de LCA sobre textiles hechos de algodón, poliéster, nylon, acrílico o elastano. (Van der Velden et; 2014)	Análisis de ciclo de vida de una camiseta de algodón en China (Zhang et al; 2015)	Análisis de Ciclo de Vida del algodón orgánico un promedio mundial (Textile Exchange, 2014)	Análisis del ciclo de vida del algodón hecho en África (PE International AG, 2014).	Huella de carbono y agua del algodón hecho en África (Moritz & Cordula, 2013)
	ReCiPe (Midpoint y endpoint)		CML2001 y USEtox	CML2001	CML2001	IPCC(2006)
	Ocupación de tierra por agricultura		Agotamiento abiótico (ADP)		Cambio climático	Cambio climático
	Cambio climático		potencial de acidificación (AP)	Potencial de acidificación (AP) kg SO_2 eq	Acidificación (lluvia acida)	
	Ecotoxicidad acuática		potencial de calentamiento global (GWP)	Potencial de calentamiento global (GWP) kg CO_2 eq	Eutrofización	
	Eutrofización, Acidificación terrestre, Ecotoxicidad terrestre	No especifica un método, ni categorías	potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP)	Demanda de energía primaria de combustibles fósiles y recursos energéticos (energía fósil) MJ net calorific		
Método de evaluación de impacto	Salud humana: cambio climático		eutrofización potencial (EP)	Eutrofización potencial (EP) kg de fosfato eq		
Categorías de impacto	Toxicidad humana		uso de agua (WU)	Uso de agua y consumo (m3)		Uso del agua
	Agotamiento capa de ozono			Toxicidad humana potencial [CTUh]	Uso del agua	
	Formación de material particulado		Toxicidad (humana (cáncer) (HTPC), humana (no cáncer) (HTPNC) y potencial ecotoxicidad (ECP).	Ecotoxicidad Potencial [CTUe]		
	Oxidación fotoquímica					
	Recursos: Agotamiento recursos hídricos					
	Agotamiento de metales					

14.3 Anexo C. Cálculos del ICV.

Para la realización de estos cálculos se tuvo en cuenta información expuesta en el ICV contenido en el resultado del objetivo específico 1.

Vertimientos de agua residual en la etapa de elaboración de la tela.

A continuación, se muestran los cálculos realizados para los vertimientos en el ICV presentado como resultado del objetivo específico 1. De esta forma, se establece un porcentaje de absorción por parte de la tela, del 7,75% según OEIDRUSBC (2008).

Datos de primer plano

Subsistema 4 elaboración de tela de algodón

Proceso de desencolado

Datos:

- Entrada de agua $0,8 \text{ m}^3$
- Absorción de tela: 7,75%

Ecuación: $0,8 \text{ m}^3 - (0,8 \text{ m}^3 * 7,75\%) = 0,738 \text{ m}^3$

Proceso de fregado

Datos:

- Entrada de agua $5,5 \text{ m}^3$
- Absorción de tela: 7,75%

Ecuación: $5,5 \text{ m}^3 - (5,5 \text{ m}^3 * 7,75\%) = 5,073 \text{ m}^3$

Proceso de blanqueo

Datos:

- Entrada de agua $14,7 \text{ m}^3$
- Absorción de tela: 7,75%

Ecuación: $14,7 \text{ m}^3 - (14,7 \text{ m}^3 * 7,75\%) = 13,56 \text{ m}^3$

Proceso de lavado

Datos:

- Entrada de agua 7 m^3
- Absorción de tela: 7,75%

Ecuación: $7 \text{ m}^3 - (7 \text{ m}^3 * 7,75\%) = 6,4525 \text{ m}^3$

Datos de fondo

Mix energético (Datos para ingresar a Simapro)

En la siguiente tabla, se evidencian los cálculos y las conversiones realizadas para introducir los datos del mix energético de Colombia (Colombia datos Simapro) y cambiar los datos de Perú en el software Simapro 9 (Perú datos Simapro).

	Perú datos en Simapro (KWh)	Perú datos matriz energética (KWh)	Colombia datos Simapro (KWh)	Colombia datos matriz energética (KWh)
Carbón	0.002939604	1.23127E+11	1.84527E-05	772900000
Hidroeléctrica	0.519508284	2.30189E+11	0.051929839	23009600000
Gas natural	0.395947719	91354000000	0.004909363	1132700000
Eólica	0.004931733	18423000000	0.000282177	1054100000
Biogás	0.00194354	1978000000	5.0308E-05	51200000
Solar	0.001433361	9805000000	3.5231E-05	241000000

En términos generales, se realizan los siguientes procedimientos que incluyen una conversión de de los datos, son respecto a los que otorga el software Simapro 9 de consumo por 1 KWh de las diferentes fuentes de energía de los países mencionados.

Carbón

$$Colombia\ datos\ Simapro = \frac{0.002939604 \times 772900000}{1.23127E+11} = 1.84527E - 05KWh$$

Hidroeléctrica

$$Colombia\ datos\ Simapro = \frac{0.519508284 \times 23009600000}{2.30189E+11} = 0.051929839KWh$$

Gas natural

$$Colombia\ datos\ Simapro = \frac{0.395947719 \times 1132700000}{91354000000} = 0.004909363KWh$$

Eólica

$$Colombia\ datos\ Simapro = \frac{0.004931733 \times 1054100000}{18423000000} = 0.000282177KWh$$

Biogás

$$Colombia\ datos\ Simapro = \frac{0.00194354 \times 51200000}{1978000000} = 5.0308E - 05KWh$$

Solar

$$Colombia\ datos\ Simapro = \frac{0.001433361 \times 241000000}{9805000000} = 3.5231E - 05KWh$$

14.4 Anexo D. Matrices de información bibliográfica para la evaluación de alternativas.

14.4.1 Matriz de la información recolectada, para la realización del análisis de cumplimiento de los resultados obligados (SI/NO).

Materia prima sector textil	Celulosa (%)	Lignina (%)	Longitud promedio (mm)	Altitud promedio para su desarrollo (msnm)	Diámetro (micras)	Presencia en Colombia
Madera Eucalipto Globulus	43,75	25,45	0,935	2000-3300	19,59	Región Andina y Pacífico
Bonote (Coco)	34,9	42,5	0,75	0-1200	18	Región Pacífico y Caribe
Yute (Corchorus capsularis)	68,625	11,525	3	1000-2500	21	Región Andina, Caribe y Pacífico.
Cáñamo (Cannabis Sativa)	71,22	6,85	32,5	1000-3000	27,5	Regiones Andina, Caribe, Pacífico, Orinoquía
Sisal (Agave sisalana)	73,75	8,75	3	0-3500	26	Región Andina y Caribe
Formio (P. Tenax)	66,44	11,06	9,00	0-2700	17,5	Región Andina
Abacá (Musa textilis)	64,41	10,425	8,5	0-2000	22,5	Todas las regiones
Kapok (Ceiba pentandra)	38,45	23,87	22,5	0-500	30	Regiones Andina, parte del Pacífico y parte del Caribe
Lino (Linum usitatissimun)	70,1	2,1	30	0-3500	18,5	Región Andina y Pacífico
Bambú (Guadua Angustifolia Kunth)	45,625	26,655	3	0-2200	10	Parte de la región central Andina
Fique (Furcraea bedinghausii)	71,08	9,265	2,4	1300-2800	240	Región Andina, Pacífico y Caribe.
Valor de referencia para la evaluación	58,941	16,222	10,508	2600	21	Región Andina

14.4.2 Matriz de información recolectada, para la realización de la evaluación de los resultados deseables.

Materia prima sector textil	Consumo de agua (m3/ha)	Temperatura óptima para su desarrollo (°C)	Cantidad de individuos en una hectárea	Planta para diversos usos	Afectaciones durante el cultivo	Especie nativa de Colombia	Monocultivo	Costos (semilla o planta)	Periodo de desarrollo de la planta (días)	Información bibliográfica sobre el ACV
Cáñamo (Cannabis Sativa)	2250	14	4750000	Aceite, biodiesel, alimentación humana y animal, productos técnicos, cosméticos(semilla). Textiles, papel, materiales de construcción (tallo). Energía (planta entera).	150 plagas, 88 hongos, 5 virus, 4 bacterias	Asia (china)	NO	100 COP	145	Si se encuentra información del ACV para la fibra de Cáñamo, que es muy utilizada actualmente.
Formio (P. Tenax)	1000	18	3500	Ornamental (toda la planta) y antiguamente utilizada para bolsos y cuerdas.	Cochinilla algodonosa, caracoles, Phitophthora, Rizoctonia, Verticillum.	Nativa de Nueva Zelanda y Norfolk (Australia)	NO	613,7 COP	1460	Se encontraron estudios referentes al ACV pero para procesos de elaboración de biocompositos con esta materia prima, pero en relación a las fibras textiles no se tuvo un resultado acertado ya que no existe información del inventario del ACV para la elaboración de tela mediante esta especie.

Materia prima sector textil	Consumo de agua (m3/ha)	Temperatura óptima para su desarrollo (°C)	Cantidad de individuos en una hectárea	Planta para diversos usos	Afectaciones durante el cultivo	Especie nativa de Colombia	Monocultivo	Costos (semilla o planta)	Periodo de desarrollo de la planta (días)	Información bibliográfica sobre el ACV
Lino (Linum usitatissimum)	4250	27,65	4500000	Aceite: alimento (humanos o animales), medicina realización de pinturas. Linaza: alimento (humanos o animales).	Gusanos de tierra (Laphygma frugiperda y Feltia experta), la chupadera (Rhizotocnia Sp), enfermedades: el Wilt y la Roya, pulguillas (Aptonia euphorbiae, Longitarsus parvulus parvulus), trips sp (Thrips lini, Thrips angusticeps).	Región del mediterráneo europeo	NO	747 COP	81	Se encuentran pocos estudios del ACV, pero con la información necesaria.

Evaluación de una alternativa de materia prima vegetal en el sector textil, caso estudio empresa The Mob para contribuir a una Gestión Ambiental Empresarial.

Santiago Rodríguez Ortiz
Angela María Rueda Ibagón