

## Holistic Study on the Production of Paper from Industrial Hemp in Colombia

Manosalva Barrera, Johana Catalina; Dávila, Javier Andrés; Quintero, Julián Andrés

Johana Catalina Manosalva Barrera

johanac.manosalvab@utadeo.edu.co

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Javier Andrés Dávila

javier.a.davilar@utadeo.edu.co

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Julián Andrés Quintero

julian.quintero@usach.cl

Universidad de Santiago de Chile, Chile

### Revista Mutis

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

ISSN: 2256-1498

Periodicidad: Semestral

vol. 10, núm. 2, 2020

revista.mutis@utadeo.edu.co

Recepción: 07 Diciembre 2020

Aprobación: 30 Diciembre 2020

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/193/1932270005/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.21789/22561498.1721>

**Resumen:** El desarrollo y la investigación de nuevos productos que puedan sustituir parcial o completamente materias primas empleadas para la producción de energía, productos químicos de alto valor añadido e incluso la fabricación de papel, ha permitido que el cáñamo industrial (*Cannabis sativa L.*) se vuelva atractivo como principal materia prima en la reactivación de una economía de base biológica con altas condiciones y capacidades de producción. A partir de lo anterior, el objetivo de este trabajo investigativo es profundizar sobre el potencial del uso de fibra de cáñamo en la industria del papel, soportados en estudios realizados por el Estado Colombiano en lo referente a las disponibilidad de cultivos forestales con fines comerciales, que inicialmente se destinan para la siembra y producción de recursos madereros como el pino y eucalipto. Se ha considerado de importancia demostrar que el cáñamo, como fuente de producción primaria, brinda ventajas competitivas económicas, ambientales y sociales frente a los cultivos tradicionales, incluso para las nuevas fuentes de investigación de base biológica.

**Palabras clave:** cáñamo, celulosa, papel, economía verde, holístico.

**Abstract:** The research and development of new products that could partially or completely replace raw materials used for energy production, high value-added chemical products, and even the production of paper, has allowed industrial hemp (*Cannabis sativa L.*) to become the main raw material for the reactivation of a bio-based economy with high production conditions and capacities. Based on this, the objective of this research is to deepen on the potential use of hemp fiber in the paper industry, supported by studies carried out by the Colombian State regarding the availability of forest crops for commercial purposes, which are basically used for planting and the production of wood resources such as pine and eucalyptus. It has been considered important to demonstrate that hemp, as a source of primary production, provides competitive economic, environmental, and social advantages over traditional crops, even for new sources of bio-based research.

**Keywords:** Hemp, cellulose, paper, green economy, holistic.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el sector papelerero se ha venido enfrentando a varios problemas relacionados con la escasez de recursos forestales tradicionales, principalmente la fibra de celulosa para la producción de papel. Por ello, el impacto ambiental de esta industria es una de las causas fundamentales de la problemática a tratar (González-García et al., 2010a). Aunque la madera sigue siendo la materia prima esencial en la producción de papel, el consumo y las investigaciones en torno a fibras no madereras han venido mostrando una tendencia creciente en los últimos años (Plazonić et al., 2016). Los problemas ambientales generados por el uso a gran escala de madera han llevado a la industria del papel a enfocarse estratégicamente en el camino del desarrollo sostenible, aunando esfuerzos para reducir significativamente su impacto ambiental y la escases ecológica mediante el uso de especies de fibra de alta calidad y crecimiento más rápido (que los recursos tradicionales) como materias primas alternativas.

El *Cannabis sativa L.*, conocido como cáñamo industrial, es un material orgánico que presenta concentraciones significativas de polisacáridos (lignina, hemicelulosa y celulosa), los cuales son componentes básicos de sus fibras naturales. Esta especie además contiene extractos y otros compuestos que pueden ser el punto de partida para el desarrollo de productos con alto valor agregado (Kitryté et al., 2018). Adicionalmente, su cepa contiene un bajo nivel (hasta 0,3%) del principal componente psicoactivo de este tipo de plantas, el tetrahidrocannabinol (THC), lo cual hace idóneo su uso para fines industriales. Prueba de ello es que el mercado global de cáñamo consta de más de 25.000 productos en nueve submercados: agricultura, textiles, reciclaje, automotriz, muebles, alimentos y bebidas papel, materiales de construcción y cuidado personal (Johnson, 2018).

El cáñamo es un recurso no maderero con factores característicos desde la siembra, tales como un consumo mínimo de agua, un rápido crecimiento de la planta (en comparación con las plantaciones de eucalipto, pino y caña de azúcar, las cuales son actualmente la materia base de la industria papelerera) (Becerra-Quiroz et al., 2016), versatilidad, fácil manipulación y un rendimiento superior al de otros cultivos no madereros.

En Colombia se han proyectado inversiones de millones de dólares por parte de empresas multinacionales, las cuales ven en el país un punto focal para la producción, comercialización y exportación de productos a base de cannabis no psicoactivo. Ventajas como sus condiciones climáticas y geográficas y el aumento de acuerdos comerciales y legislativos, convierten al país en un lugar estratégico para el crecimiento de la producción de cáñamo.

Expuesto lo anterior, el objetivo de este trabajo es evaluar el uso del cáñamo como fuente primaria en la obtención de pulpa para la producción de papel y su pertinencia como sustituto o complemento de las materias primas convencionales empleadas en la industria colombiana del papel. Para ello, se caracteriza el material lignocelulósico con respecto al contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina, humedad, extractivos y ceniza (Moonart & Utara, 2019), obteniendo papel en laboratorio a partir de la fibra de cáñamo. Lo anterior fue posible gracias a la aplicación de metodologías convencionales, empleando el método Kraft para la obtención de pulpa y realizando una evaluación holística del sistema agrícola del *Cannabis sativa L.*

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización del material lignocelulósico

Se plantea la metodología propuesta por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), que indicará el contenido de componentes aprovechables, tal como celulosa, hemicelulosa, humedad, extractivos y cenizas.

Antes de cada procedimiento, el cáñamo fue sometido a un tratamiento de secado a 80 °C durante 48 horas, procediendo luego a la molienda. El contenido de humedad se determinó mediante el uso de un horno convencional en el que se sometió el cáñamo a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Las muestras se conservaron en un desecador durante 1 hora para alcanzar la temperatura ambiente. Posteriormente, estas

fueron pesadas y se procedió a calcular su contenido de humedad siguiendo el protocolo establecido por la NREL (Partisi, 2008).

Los extractos acuosos y de etanol se determinaron utilizando una extracción Soxhlet con agua y etanol, respectivamente, durante 24 horas por triplicado (Han & Rowell, 2008). Los extractos de etanol contienen clorofila y pigmentos naturales (Dávila et al., 2017), por lo que el contenido total es la suma de los extractivos solubles en agua y etanol.

El contenido de lignina se determinó a partir de una deslignificación con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 72 % por 1 hora. La muestra se trata en un autoclave y se filtra. Posterior a esto, los residuos se lavan con agua caliente y se secan a 105 °C (Han & Rowell, 2008).

El contenido de holocelulosa se determinó con el uso de clorito de sodio ( $NaClO_2$ ) al 80 % y ácido acético al 96 %; ambos reactivos se agregaron a la muestra cada hora durante 7 horas. Seguido, la mezcla se filtra y se seca a 105 °C.

El contenido de celulosa se obtuvo agregando hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) al 17,5 % cada 5 minutos por 1 hora, a 20 °C. Luego se filtra y se seca a 40 °C. La diferencia entre el contenido de holocelulosa y celulosa es el contenido de hemicelulosa en la muestra. Finalmente, el contenido de ceniza se obtuvo después de incinerar la muestra a 575 °C durante 3 horas, tras lo cual esta se pasa a un desecador por 30 minutos y es pesada. El proceso se realizó por triplicado (Dávila et al., 2017).

#### **Obtención de pasta de celulosa para la fabricación de papel**

La obtención de pulpa de celulosa para la producción de papel involucra el desarrollo de pruebas preliminares con material lignocelulósico. El objetivo de dichas pruebas es conocer las variables que afectan la obtención de la pulpa, adquirir experiencia para mejorar en el proceso productivo del papel a base de cáñamo y estandarizar el proceso de obtención de celulosa para fines productivos.

La producción de papel se realizará a través del método Kraft, el cual permitirá obtener papel con una máxima eficiencia del material lignocelulósico en comparación con otros métodos industriales empleados para la producción de pasta de celulosa, como el tipo sulfito o el método de soda (Chávez-Sifontes & Domine, 2010). El método Kraft consiste en:

- Acondicionamiento de la materia prima (determinar el contenido de humedad), donde esta es previamente tratada para la disminución del tamaño de partícula.
- Preparación del licor blanco para la digestión, que involucra alimentación de la materia prima, acondicionamiento del reactor ( $P = 40$  psi;  $T = 140$  °F) y un tiempo de reacción de 4 horas (van-der-Werf et al., 1994).
- Proceso de cocción.
- Suspensión del proceso, permitiendo que la presión y la temperatura descendan antes de abrir el reactor.
- Separación de la parte sólida y líquida (separación de la pulpa y el licor negro).
- Blanqueamiento de la pulpa, donde esta es lavada y blanqueada tres veces con hipoclorito de sodio al 13 %.
- Homogenización y laminado de la pulpa, donde se homogeniza y se filtra la pulpa, para posteriormente laminarla de forma artesanal.
- Obtención del producto final.

La primera prueba preliminar realizada (Caso 1) se determinó con un peso del 40 % para el hidróxido de sodio, 8 % para el sulfuro de sodio y 12 % para el carbonato de calcio. Determinando las cantidades de los reactivos necesarios para una masa de 60 g de aserrín de pino a un litro de licor, se realiza el respectivo proceso de reacción. Inicialmente, se toman los valores del Caso 1, se determina la humedad, el número de lavados a realizar y el tipo de reactivo para el proceso de blanqueado (tabla 1).

TABLA 1  
Condiciones iniciales de la reacción Caso 1 - Relación 3:1

Peso de la muestra inicial (g)	60
NaOH (g)	120
Na <sub>2</sub> S (g)	24
CaCO <sub>3</sub> (g)	36
N.º lavados	3
Reactivo	Hipoclorito de sodio (13 %)

Fuente: elaboración propia.

### Estudio holístico del proceso agrícola del cañamo

#### Zonificación de las plantaciones forestales comerciales

La delimitación de las hectáreas y zonas destinadas para los cultivos de plantaciones forestales con usos comerciales se basó en un estudio realizado por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), titulado “Lineamientos de política: Plantaciones forestales con fines comerciales para la obtención de madera y su cadena productiva”, en el cual se ha optado por clasificar las plantaciones forestales en tres categorías de acuerdo con el nivel de aptitud de los terrenos: A1 (aptitud alta), A2 (aptitud media) y A3 (aptitud baja) (UPRA, 2018).

#### Simulación del sistema agrícola del cañamo

Con el fin de analizar los impactos directos del sistema agrícola del cañamo, así como optimizar e identificar mejoras en caso de que la cadena de producción en las zonas destinadas para tal fin se llevara a cabo con este cultivo (Díaz-Martínez & Zárate-Cruz, 2018), la simulación se desarrollará empleando el software FlexSim, en donde se contemplan los procesos de los dos subsistemas relevantes: producción agrícola y tratamiento del material.

#### Toma de decisiones

Para desarrollar un criterio que permita tomar la decisión de potencializar el cultivo de cañamo como material, en aras de generar una economía verde a gran escala y reemplazar los cultivos de plantaciones tradicionales, se utilizará una matriz multicriterio desarrollada en el software Expert Choice (Tavella et al., 2016) y la metodología de procesos jerárquicos, también conocida como Analytic Hierarchy Process (AHP).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización del material lignocelulósico con respecto al contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina, humedad, extractivos y ceniza

El cañamo, como materia prima, fue producido en un autocultivo ubicado en Sylvania (Cundinamarca, Colombia). La matriz vegetal fue fresada utilizando un molino de impacto SK 100 (retsch, Alemania) y tamizada por una serie de tamices Tyler (ASTM e-11) de malla 20-80  $\mu\text{m}$ . Luego, la muestra se conservó a  $-4^\circ\text{C}$  (figura 1).



FIGURA 1  
Tallos y cáñamo molido  
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la metodología planteada y descrita por la NREL, en la tabla 2 se detallan los resultados obtenidos en lo referente a la caracterización del cáñamo.

TABLA 2  
Caracterización química del cáñamo

Componente	Contenido (%)	Desviación estándar
Lignina	12,8	± 0,0050
Celulosa	50,3	± 0,0043
Hemicelulosa	27,8	± 0,0032
Cenizas	2,3	± 0,0020
Extractivos	6,8	± 0,0420
Total	100	

Fuente: elaboración propia

### Lignina

El contenido de lignina fue de 12,8 %. Comparado con registros de materiales lignocelulósicos similares, como la madera (15-25 %), el bagazo de caña (14 %) y la paja de arroz (6,1 %) (Chávez-Sifontes & Domine, 2010), este contenido es un indicativo de que el cáñamo representa un recurso renovable con potencial de uso industrial, puesto que la lignina tiene aplicaciones que van desde la producción de etanol a partir de la biomasa lignocelulósica, la producción de dispersantes de pesticidas, emulsificantes y secuestradores de metales pesados y la composición de formulaciones para mejorar las propiedades de desempeño de resinas o adhesivos, hasta la producción de carbón activado (Chávez-Sifontes & Domine, 2010).

### Celulosa

Los resultados obtenidos indican que el cáñamo es una excelente fuente de celulosa (50,3 %) en comparación con otros materiales lignocelulósicos, como el bambú (34,5 %), el coco (46 %) (Komuraiah et al., 2014), la paja de trigo (30 %), las hojas de maíz (45 %), el residuo de la caña de azúcar (40 %) (Daza-Merchán et al., 2013) e incluso la madera (38-50 %) (Chávez-Sifontes & Domine, 2010), los cuales son las materias primas de mayor potencial en la industria. Es de importancia destacar que no todos los residuos

orgánicos son favorables para la obtención de pulpa para la producción de papel. Así, los residuos con potencial de producción están por encima del 44 % de celulosa (González-Velandia et al., 2016).

### Hemicelulosa

El cáñamo registra un contenido de hemicelulosa de 27,8 %, un porcentaje superior al registrado por algunos materiales lignocelulósicos con potencial en la industria, como las maderas blandas (23-31 %), las maderas duras (20-40 %), la paja (23-38 %), la hoja de tusa del maíz (11-31 %), la corona de piña (14-50 %) y el tallo de maíz (20 %) (Cebreiros et al., 2020). Dicho porcentaje de hemicelulosa convierte al cáñamo en material adecuado para la producción de biocombustibles y otros productos derivados del azúcar, tales como bioetanol, biobutanol, furfural y xilital, entre otros (Cebreiros et al., 2020), o como materia prima para la producción de azúcares reductores (Dávila et al., 2017).

### Cenizas

Según algunos estudios, el contenido de cenizas de toda la planta debe ser de hasta 3 %, y este no debe ser superior a 5-7 % para que pueda utilizarse como fertilizante u otro subproducto (Sausserde & Adamovics, 2013). En este estudio, el contenido de cenizas del cáñamo (2,3 %) está dentro de los parámetros. Además, el fertilizante obtenido de su ceniza puede ser muy valioso, ya que contiene 24 % de óxido de calcio (CaO), 4,85 % de óxido fosfórico (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 6,3 % de óxido de potasio (K<sub>2</sub>O) (Poisa & Adamovics, 2011).

### Obtención de papel a partir de aserrín de pino y cáñamo

#### Obtención de papel a partir de pino

La reacción llevó un tiempo de 4 horas a una presión de 40 psi y una temperatura de 140 °F, más 30 minutos en espera de la condensación de vapores y el enfriamiento del equipo. Tras obtener el residuo de la reacción, se realiza el primer lavado con agua a fin de eliminar los residuos de ácido que este obtuvo en el proceso de cocción.

Luego, se alternan los blanqueados con hipoclorito de sodio a una concentración de 13 % y con agua, nuevamente, hasta completar 3 ciclos de lavados.

En lo concerniente a este estudio, los casos (1, 2 y 3) son los pesos de los reactivos a tener en cuenta para la preparación del licor de cocción, como se observa en la tabla 3.

TABLA 3  
Caracterización química del cáñamo

Reactivos	Rango porcentaje recomendado	Caso 1	Caso 2	Caso 3
NaOH	40-60 %	0,40	0,50	0,60
Na <sub>2</sub> S	8-15%	0,08	0,12	0,15
CaCO <sub>3</sub>	12-20%	0,12	0,16	0,20
<b>Total</b>		<b>0,60</b>	<b>0,78</b>	<b>0,95</b>

Fuente: elaboración propia.

#### Primer ensayo. Relación 3:1 con aserrín de pino, Caso 1

El primer ensayo se realizó con 60 g de pino a una relación másica 3:1, obteniendo como resultado la composición del licor de cocción así: hidróxido de sodio (NaOH) de 40 % = 120 g; sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S) de 8 % = 24 g; carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) de 12 % = 36 g. En la figura 2 se observa el cambio de color que se presentó en cada etapa de blanqueado. Para finalizar el proceso, se prosiguió a laminar de forma artesanal la pasta obtenida en un molde de aluminio, donde la pasta se conservó por 12 horas en la prensa. La lámina obtenida se muestra en la figura 3.



**FIGURA 2**  
Proceso de blanqueado del primer ensayo preliminar con pino  
Fuente: elaboración propia.



**FIGURA 3**  
Lámina de pasta de celulosa del segundo ensayo preliminar con pino  
Fuente: elaboración propia

El producto final registró un peso de 15,56 g. De lo anterior, se puede establecer que el rendimiento del proceso fue de aproximadamente 25,88 %. Debido al bajo rendimiento obtenido, se propone que en el siguiente ensayo se aumente la relación másica entre la materia prima y el licor blanco a 5:1, considerando que la reacción de cocción no fue eficiente frente a la cantidad de masa inicial.

*Segundo ensayo. Relación 5:1 con aserrín de pino, Caso 1*

La segunda prueba preliminar con aserrín de pino se desarrolló con una relación másica de 5:1 del licor de cocción y la materia prima. Se determinó la cantidad de reactivos necesarios para una masa de 60 g de aserrín de pino a un litro de licor. Además, se realizó el respectivo proceso de reacción descrito en la metodología del objetivo. Teniendo en cuenta lo anterior, los parámetros iniciales del proceso para el segundo ensayo se describen en la tabla 4. Por su parte, en la figura 4 se observa el cambio de color que se presentó en cada blanqueado.

TABLA 4  
Condiciones iniciales de la reacción Caso 1 - Relación 5:1

Peso de la muestra inicial (g)	60
NaOH (g)	200
Na <sub>2</sub> S (g)	40
CaCO <sub>3</sub> (g)	60
No. lavados	3
Reactivo	Hipoclorito de sodio (13 %)

Fuente: elaboración propia.



FIGURA 4  
Proceso de blanqueado del segundo ensayo preliminar con pino  
Fuente: elaboración propia.

De este ensayo no se obtuvo un resultado final. Se presenció cuando se realizaban los lavados que la cantidad de material disminuía, por lo cual, al llegar al tercer lavado con hipoclorito, no se obtuvo material suficiente para obtener la lámina. Dado lo anterior, nos limitamos a realizar hacer ensayos con la relación másica 5:1.

*Tercer ensayo. Relación 3:1 con aserrín de pino, Caso 2*

Para las pruebas preliminares del tercer ensayo se disminuyó la cantidad de material inicial a 30 g de aserrín de pino para un volumen de un litro, con una relación 3:1. Para este ensayo se emplearon los valores intermedios de los porcentajes de los reactivos, obteniendo las cantidades que se observan en la tabla 5. El proceso obtenido se observa en la figura 5.

TABLA 5  
Condiciones iniciales del tercer ensayo, Caso 2 - Relación 3:1

Reactivos	Rango porcentaje recomendado	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 1	Caso 2	Caso 3
NaOH	40-60 %	0,40	0,50	0,60	60	58,1	56,8
Na <sub>2</sub> S	8-15 %	0,08	0,12	0,15	12	13,4	14,2
CaCO <sub>3</sub>	12-20 %	0,12	0,16	0,20	18	18,6	18,9
<b>Total</b>		<b>0,60</b>	<b>0,78</b>	<b>0,95</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>90</b>

Fuente: elaboración propia.



FIGURA 5  
Proceso de blanqueado del tercer ensayo preliminar con pino

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo una lámina (figura 6) tras aplicar los procedimientos establecidos. El producto final obtuvo un peso de 11 g. De lo anterior, se puede establecer que el rendimiento del proceso fue de aproximadamente 36,67 %.



FIGURA 6  
Lámina de pasta de celulosa tras el tercer ensayo preliminar con pino

Fuente: elaboración propia.

### Obtención de papel a partir de la fibra de cáñamo

De acuerdo con los ensayos preliminares realizados con pino, se tomaron consideraciones para el desarrollo de las pruebas con cáñamo, entre las cuales están:

- Debido a que durante el desarrollo de las pruebas preliminares se observó un desperdicio de material en el momento del moldeado a causa de la cantidad de material inicial a trabajar, y de acuerdo con el último ensayo trabajado con 30 g de materia seca, el cual obtuvo mayor rendimiento, se consideró trabajar las pruebas finales con 30 g de cáñamo.

- Las pruebas se desarrollaron con una relación másica 3:1 debido a que se obtuvo mejor rendimiento con esta proporción.

#### *Primer ensayo. Relación 3:1 con fibra de cáñamo, Caso 1*

La primera prueba final se desarrolló con los parámetros anteriormente expuestos, obteniendo las condiciones del proceso que se detallan en la tabla 6.

TABLA 6  
Condiciones iniciales de la primera prueba final con cáñamo, Caso1 - Relación 3:1

Peso de la muestra inicial (g)	30
NaOH (g)	60
Na <sub>2</sub> S (g)	12
CaCO <sub>3</sub> (g)	18
Humedad inicial (%)	14,54
N.º lavados	3
Reactivo	Hipoclorito de sodio (13%)

Fuente: elaboración propia.

El proceso se llevó a cabo con las mismas condiciones de tiempo (4 h), temperatura (140 °F) y presión (40 psi). Después de la reacción, se realizaron cuatro lavados con agua y tres blanqueados con hipoclorito de sodio al 13 % para obtener los resultados observados en la figura 8. Para finalizar el proceso, se prosiguió a laminar de forma artesanal la pasta obtenida. Continuando con el proceso, se obtuvo una lámina como la que se muestra en la figura 9.



FIGURA 8  
Proceso de blanqueado del primer ensayo con cáñamo

Fuente: elaboración propia.

### Desmoldado



FIGURA 9

#### Lámina de pasta primer ensayo con cáñamo

Nota: se presentó un inconveniente en el reactor después de 2:30 h de empezar la reacción, debido a fallas en el controlador de presión (fallo). Luego de la reacción de la primera prueba se consideran variables a ajustar, como el número de lavados con hipoclorito de sodio, ya que no se observó ninguna diferencia visual tras realizar dos o tres lavados.

Fuente: elaboración propia

#### *Segundo ensayo. Relación 3:1 con fibra de cáñamo, Caso 1*

Las condiciones del proceso se dan como se detalla en la tabla 7. La segunda prueba final se desarrolló con los mismos parámetros de tiempo (4 h), temperatura (140 °F) y presión (40 psi) que en los procesos anteriormente expuestos. Después de la reacción, se realizaron tres lavados con agua y dos blanqueados con hipoclorito de sodio al 13 % para obtener los resultados observados en la figura 10. Continuando con el proceso, se obtuvo una lámina como la que se observa en la figura 11.

**TABLA 7**  
 Condiciones iniciales de la segunda prueba con cáñamo, Caso 1- Relación 3:1

Peso de la muestra inicial (g)	30,2
NaOH (g)	60
Na <sub>2</sub> S (g)	12
CaCO <sub>3</sub> (g)	18
Humedad Inicial (%)	14,54
N.º lavados	3
Reactivo	Hipoclorito de sodio (13 %)

Fuente: elaboración propia.



**FIGURA 10**  
 Proceso de blanqueado del segundo ensayo con cáñamo  
 Fuente: elaboración propia.

**Desmoldado**



**FIGURA 11**

Lámina de pasta del segundo ensayo con cáñamo

Fuente: elaboración propia.

El producto final registró un peso de 14,59 g. A partir de lo anterior, se puede establecer que el rendimiento del proceso fue de aproximadamente 48,6 %.

*Tercer ensayo. Relación 3:1 con fibra de cáñamo, Caso 1*

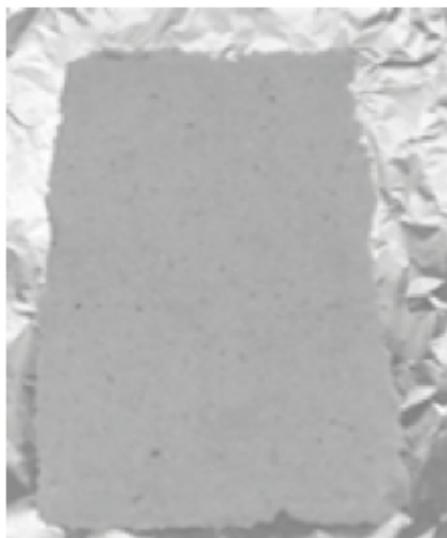
La tercera prueba final se desarrolló con los parámetros de tiempo, temperatura y presión señalados en los procesos anteriormente expuestos. Las cantidades de los reactivos y las condiciones a trabajar se observan en la tabla 8. Finalizando el proceso, se obtuvo una lámina como la observada en la figura 12.

**TABLA 8**

Condiciones iniciales de la tercera prueba con cáñamo, Caso 1 -Relación 3:1

<i>Peso de la muestra inicial (g)</i>	<i>30</i>
<i>NaOH (g)</i>	<i>60</i>
<i>Na<sub>2</sub>S (g)</i>	<i>12</i>
<i>CaCO<sub>3</sub> (g)</i>	<i>18</i>
<i>Humedad inicial (%)</i>	<i>14,54</i>
<i>N.º lavados</i>	<i>3</i>
<i>Reactivo</i>	<i>Hipoclorito de sodio (13 %)</i>

Fuente: elaboración propia.

**Desmoldado**

**FIGURA 12**  
Lámina de pasta del segundo ensayo con cáñamo  
Fuente: elaboración propia.

El producto final reportó un peso de 12,9 g. De lo anterior, se puede establecer que el rendimiento del proceso fue de aproximadamente 43 %.

**Resumen y análisis de los resultados**

De acuerdo con los procesos realizados en los tres ensayos preliminares con pino y las tres pruebas finales con cáñamo, en la tabla 9 se detalla el resumen de los resultados obtenidos, así como las observaciones que se presentaron durante cada proceso.

**TABLA 9**  
Resumen de resultados obtenidos en todos los ensayos realizados con pino y cáñamo

Ensayo	Muestra	Relación	Peso muestra inicial (g)	Peso muestra final (g)	Rendimiento (%)	Observaciones
1	Pino	3:1	60	15,53	25,88	Proceso sin contratiempos
2	Pino	5:1	60	-	-	Descomposición del material en el tercer lavado con hipoclorito de sodio
3	Pino	3:1	30	11	36,67	El moldeado no salió completo
1	Cáñamo	3:1	30	10,6	35,33	Fallo en el reactor. Dado lo anterior, el material fue insuficiente para cubrir el molde
2	Cáñamo	3:1	30	14,59	48,63	Proceso sin contratiempos
3	Cáñamo	3:1	30	12,9	43,00	Proceso sin contratiempos

Fuente: elaboración propia.

El cáñamo reporta mayor rendimiento en los procesos de obtención de pulpa de celulosa que el pino bajo las mismas condiciones de tratamiento y con menor cantidad de materia prima inicial. Así, el cáñamo se vuelve

atractivo para la industria papelera, si se considera la parte visual del mismo. En la figura 13 se compara una lámina de pino con una de cáñamo, visualizando un color más blanco y uniforme en la muestra de cáñamo.



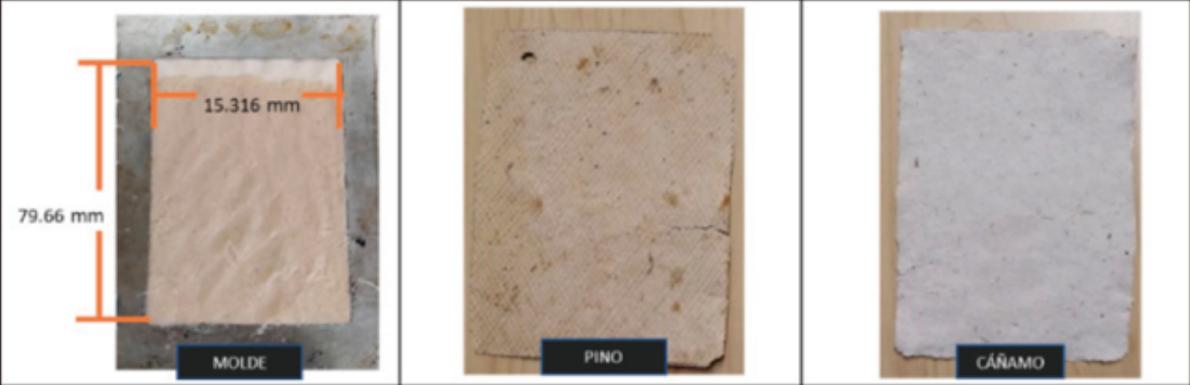
**FIGURA 13**  
Lámina de pino vs. lámina de cáñamo  
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los procesos seguidos para la obtención de pulpa de celulosa a base de pino, este material requirió tres blanqueados con hipoclorito de sodio y cuatro lavados con agua para lograr el color y la viscosidad requeridos. Por su parte, en la segunda prueba con cáñamo se comprobó que el tercer blanqueado con hipoclorito de sodio no era necesario para este material; el color y la viscosidad de la lámina era iguales tras realizar tres blanqueados y cuatro lavados con agua. Lo anterior refleja un ahorro en los procesos de blanqueado de la pulpa, en los reactivos empleados y, por consiguiente, en los costos.

#### **Pruebas gravimétricas**

El gramaje del papel es una característica física ampliamente considerada para contrastar la calidad de los diferentes tipos de papel. El gramaje es el peso del papel por unidad de superficie ( $\text{g}/\text{m}^2$ ), la cual está determinada por la norma ISO 536: Pesos de papel y gramaje (ISO, 2013). En general, cuanto mayor sea el gramaje del papel, más resistente y gruesa será la hoja. Para la caracterización realizada en esta investigación se contemplaron los parámetros indicados en la tabla 10.

Tabla 10

		
Peso muestra (g)	15.53	14.59
Área (m <sup>2</sup> )	0.122	0.122
Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	127.3	119.6

Resumen de resultados obtenidos en los ensayos realizados con pino y cáñamo  
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, el papel de cáñamo se clasifica como un “papel con más cuerpo y grosor que el de 80 g., mate o brillante”, atributos recomendables para impresiones de alta calidad. Por otra parte, el papel de pino se clasifica como un “papel grueso o cartulina ligera”, recomendable para impresiones de certificados, pósteres y cartulinas, entre otros (ISO, 2013).

#### Realización de una evaluación holística del sistema agrícola del cáñamo

##### Zonificación de áreas de cultivos forestales para fines comerciales

La identificación de zonas de cultivos forestales para fines comerciales se determinó por medio del estudio realizado por el Ministerio de Agricultura junto con entidades como la UPRA. Con el permiso académico generado por esta última, en la tabla 11 se contempla el número de hectáreas por región natural destinado a fines comerciales, de acuerdo con las condiciones geográficas (aptitud alta, media y baja) y las capacidades de producción de las plantaciones forestales con fines comerciales, en donde el termino de aptitud “hace referencia al grado de adecuación de una determinada unidad de tierra para un tipo específico de uso, calidad del aire rotación de cultivos, pastos limpios, entre otras características”.

**TABLA 11**  
Número de hectáreas (ha) con fines comerciales según regiones sectoriales y condiciones geográficas

Región	Aptitud alta (total ha)	Aptitud media (total ha)	Aptitud baja (total ha)
Andina 3.600.480		2.368.809	2.168.677
Caribe	2.342.724	1.229.938	874.906
Pacífica	684.416	810.226	680.136
Orinoquía	597.912	1.369.217	5.952.642
Amazonía	32.907	439.454	1.653.354
<b>Total ha</b>	<b>7.258.440</b>	<b>6.217.643</b>	<b>11.329.715</b>

Fuente: UPRA (2019).

Aunque las condiciones climáticas para la siembra de ambos cultivos (pino y cáñamo) pueden llegar a ser las mismas, estos cuentan con rendimientos en su producción y condiciones agronómicas diferentes. Al realizar las comparaciones que se observan en la tabla 12, el cáñamo se presenta como un material con potencial para la producción y comercialización a escala.

**TABLA 12**  
Relaciones comparativas de los cultivos de pino y cáñamo

Pino	Cáñamo
1.100 plantas/ha (ANDI)	4 plantas/m <sup>2</sup> , 40.000 plantas/ha (González-García et al., 2010b; Mark & Will, 2019)
Rendimiento de 63,36 t Ms/ha (ANDI)	Rendimiento de 20 t Ms/ha (Jan, 2009)
2,56 t Ms para producir 1 t de papel (ANDI)	2.056 t Ms para producir 1 t de papel
Tiempo de crecimiento de 9-24 meses (Becerra-Quiroz et al., 2016)	Tiempo de crecimiento de 90-120 días (Atmakuri et al., 2019; González-García et al., 2010b) Mínimo consumo de agua (Atmakuri et al., 2019)
Requiere uso de pesticidas	No requiere pesticidas ni irrigación (González-García et al., 2010b)
Costo papel tipo Kraft = COP 361.025/t (ANDI)	Costo papel cáñamo = USD 100-120/t

Fuente: elaboración propia.

### Simulación sistema agrícola del cáñamo

Los parámetros a tener en cuenta inicialmente varían en función de los tiempos de procesamiento, siembra y cosecha, así como de la capacidad máxima de procesamiento a una hectárea de cultivo. Del subsistema 1, “Producción agrícola”, los parámetros iniciales considerados fueron: tiempo de germinación de semillas (3-4 semanas), tiempo de fertilización (2 semanas), tiempo de siembra (90-120 días) (Atmakuri et al., 2019) y tiempo de cosecha (2-4 días). Del subsistema 2, “Tratamiento de la fibra”, los parámetros a contemplar son la eliminación de flores (o *retted*) y el secado (3 semanas), el embalado y el almacenamiento (formación de pacas de 325 kg) (González-García et al., 2010b). La figura 14 presenta el modelo del sistema en el software FlexSim.

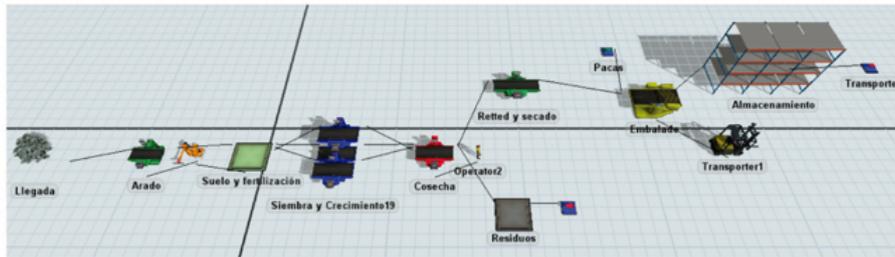


FIGURA 14  
 Modelo del sistema agrícola del cáñamo  
 Fuente: elaboración propia en el software FlexSim.

Al implementar el uso de operarios, ampliar la capacidad de las maquinarias de arado (permitiendo con ello disminuir el tiempo de trabajo), y el uso de maquinaria para la siembra y la fertilización como principales mejoras, se obtienen los análisis descritos en los siguientes apartados.

**Resumen y análisis de los resultados**

Solo se genera el 10 % de los residuos del total del material destinado para el procesamiento de la fibra. En el almacenamiento, el 90 % de la producción está lista para la distribución, como se observa en los resultados obtenidos por el simulador (figura 15).

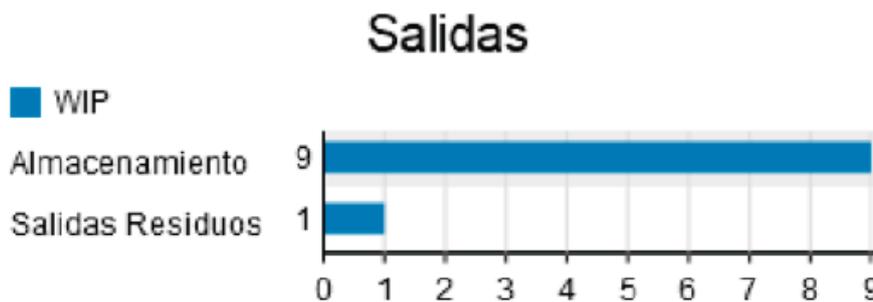
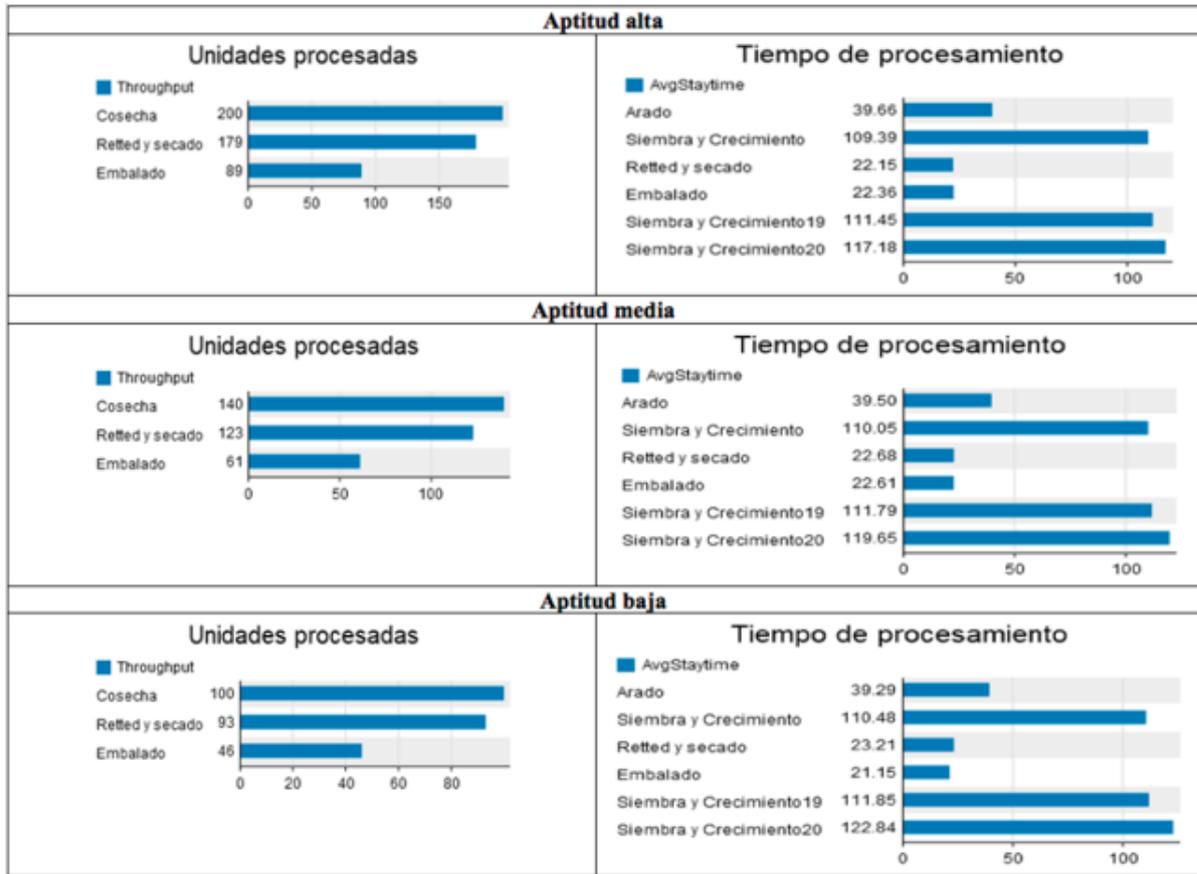


FIGURA 15  
 Porcentaje de eficiencia del sistema agrícola  
 Fuente: elaboración propia en el software FlexSim.

Con el fin de procesar las toneladas requeridas de material por sectores —definidos a lo largo del trabajo como aptitudes alta, media y baja—, y contemplando que cada unidad procesada corresponde a una carga de 100 kg (para efectos de la simulación), para cumplir con los rendimientos de materia seca para el procesamiento de papel se requieren 200 unidades en la zona de aptitud alta, 140 en la zona de aptitud media y 100 en la de aptitud baja. En la tabla 13 se visualizan los resultados concernientes a las unidades producidas y los tiempos promedio de cada proceso.

**TABLA 13**  
Capacidades y tiempos promedio en los procesos agrícolas de las plantaciones de cañamo

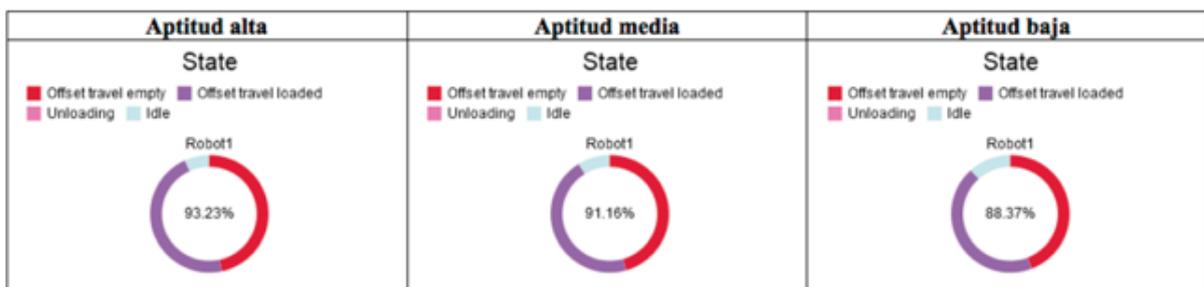


Fuente: elaboración propia en el software FlexSim.

Dado que los sistemas cumplen con el propósito inicial de cosechar todas las unidades (plantas por tonelada sembrada), las unidades que durante el proceso de secado son mayores se presentan en el sistema de aptitud baja, considerando que este procesó una mayor cantidad de material. Este sistema presentó una eficiencia de 93 % en los procesos de cosecha y secado, en comparación con 87,9 % del sistema de aptitud media y 89,5 % del sistema de aptitud alta. Los tiempos promedio de todos los procesos permanecen estables en los tres sistemas, lo cual garantiza la eficiencia del sistema propuesto.

El hecho de incluir maquinaria para el desarrollo de los procesos en el sistema simulado permite determinar que los tiempos de ocio (tabla 14) no son relevantes. Sin embargo, el tiempo perdido en el trasporte o los movimientos realizados hasta la preparación de los procesos sí resultan ser altos.

**TABLA 14**  
Porcentajes de los tiempos de operación de las maquinarias empleadas en el sistema agrícola de cañamo



Fuente: elaboración propia en el software FlexSim.

**Matriz multicriterio**

Para poder tomar una decisión con propiedad acerca de cuál es el sector regional que daría los mejores beneficios —no solo de tipo económico, sino también en términos de eficiencia de procesos, utilización y adquisición de recursos, posicionamiento estratégico y rendimientos, así como un futuro de inversión social—, se realizó la estimación de los criterios relevantes en la toma de decisiones empleando la metodología AHP. Así, se categorizó cada criterio de acuerdo con los grados de importancia de las opciones disponibles, como se observa en la tabla 15.

**TABLA 15**  
Ponderación criterio-alternativa según el modelo AHP

Criterio: posicionamiento estratégico				Criterio: disposición de terreno			
	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja		Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja
Aptitud alta		2	6	Aptitud alta		2	
Aptitud media			3	Aptitud media			
Aptitud baja				Aptitud baja	4	5	
Criterio: adquisición de recursos				Criterio: costos de producción			
	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja		Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja
Aptitud alta			2	Aptitud alta			5
Aptitud media	2		2	Aptitud media	2		6
Aptitud baja				Aptitud baja			
Criterio: rendimientos de producción				Criterio: utilización de los recursos			
	Aptitud Alta	Aptitud media	Aptitud baja		Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja
Aptitud alta		3		Aptitud alta		2	5
Aptitud media				Aptitud media			2
Aptitud baja	7	8		Aptitud baja			
Criterio: eficiencia en los procesos				Criterio: tiempos de procesamiento			
	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja		Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja
Aptitud alta				Aptitud alta		3	4
Aptitud media	5			Aptitud media			3
Aptitud baja	9	7		Aptitud baja			
Criterio: inversión social							
	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja				
Aptitud alta			1				
Aptitud media	5		6				
Aptitud baja							

Fuente: elaboración propia

**Resumen y análisis de los resultados**

Para el desarrollo de la matriz se planteó como objetivo la “selección de la zona de inversión inicial”, teniendo como criterios base los anteriormente expuestos y como alternativas las zonas de aptitud, alta, media y baja. Las ponderaciones entre los criterios se observan en la figura 16.

	Posicionam	Disposición	Adquisición	Costos de p	Rendimien	Utilización	Eficiencia c	Tiempos de	Inversión s
Posicionamiento estratégico		1.0	3.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0	4.0
Disposición de terreno			2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.0	4.0
Adquisición de recursos				1.0	1.0	1.0	2.0	3.0	6.0
Costos de producción					2.0	1.0	2.0	3.0	5.0
Rendimientos de producción						2.0	3.0	3.0	3.0
Utilización de los recursos							2.0	4.0	5.0
Eficiencia de los procesos								2.0	5.0
Tiempos de procesamiento									5.0
Inversión social	Incon: 0.10								

**FIGURA 16**  
Ponderación criterio-criterio según el modelo AHP.

Fuente: elaboración propia en el software Expert Choice.

El modelo se considera aceptable y con veracidad, ya que el índice de inconsistencia fue igual a 0,10. Por consiguiente, se determina que el posicionamiento estratégico y el rendimiento en la producción (15,5 y 18.5

%, respectivamente) deben ser los criterios de selección de mayor importancia, como se muestra en la figura 17.



FIGURA 17  
Análisis de sensibilidad dinámico  
Fuente: elaboración propia en el software Expert Choice.

Con base en los criterios de interés, se determina que la zona con aptitud alta es la mejor opción para el inicio del proyecto de inversión de cultivos forestales con fines comerciales, como se aprecia en la figura 18.

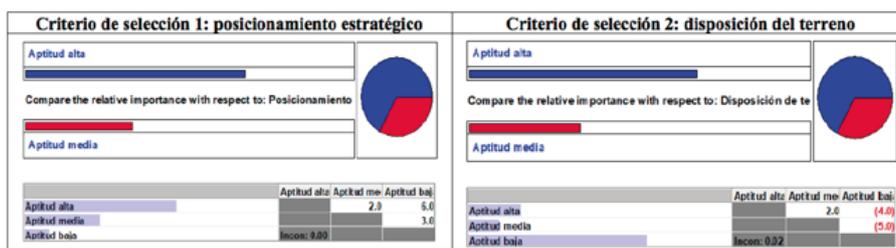


FIGURA 18  
Comparación de los criterios de selección.  
Fuente: elaboración propia en el software Expert Choice.

## CONCLUSIONES

El cultivo de cañamo se ha convertido en un modelo de desarrollo que abarca la sociedad, el ambiente y la economía, los principales ejes del desarrollo industrial. Se prevé que con el potencial de los cultivos de cañamo se logrará apoyar a diversos sectores económicos, empezando desde los agricultores, emprendedores y empresarios, hasta llegar al consumidor final; en este caso, las partes integradas del sistema productivo del papel. Además, se ha demostrado que el cañamo puede llegar a convertirse en un material potencial para todo tipo de industria (biorrefinería, alimentaria, textil, automotriz, entre muchas otras).

Se estima que en el futuro el cañamo sustituirá parcial o totalmente las plantaciones forestales tradicionales (pino y eucalipto) destinadas para el comercio. En primera instancia, las propiedades fisicoquímicas del cañamo representan un gran potencial productivo; sin mencionar que este se puede convertir en una solución a los problemas de deforestación nacional ocasionados por el incremento de la tala ilegal, empleada para el desarrollo de todo tipo de industrias.

Gracias a los proyectos ambientales y de reactivación económica que el Estado Colombiano ha venido fomentando, fue posible analizar el potencial del cañamo como cultivo de producción en masa, demostrando

do que este cultivo cuenta con grandes perspectivas comerciales a escala nacional e internacional, debido al interés mundial por esta planta.

Gracias a la geografía de Colombia y a las condiciones climáticas, la calidad y economía de los procesos y la mano de obra del país —lo que a lo largo del trabajo se denominó zonas con aptitud alta—, la región Andina y gran parte de la región Caribe cuentan con más de 7 millones de hectáreas óptimas para la producción, comercialización y desarrollo de nuevos productos, lo que permitiría a esta industria innovar a futuro mediante el uso de biotecnologías verdes enfocadas en el desarrollo sostenible.

El estudio de zonificación de áreas forestales para fines comerciales realizado por la UPRA permitió establecer un punto de partida para la producción del cultivo de cáñamo como sustituto de materiales tradicionales de la industria papelera, lo cual representa un avance para futuros estudios financieros, productivos e industriales orientados hacia la innovación de la economía verde del país.

El proceso de obtención de papel de manera tradicional permite formular mejoras en los procesos de secado y laminado en aras de optimar las condiciones visuales del producto final. Así mismo, se recomienda perfeccionar el proceso de lavado, puesto que es posible disminuir el uso de químicos para mejorar la coloración del material, como se demostró en esta investigación, tras comprobar que al disminuir un lavado se obtiene material en su mayoría blanco, lo cual resulta favorable para la industria y el consumidor.

## REFERENCIAS

- Atmakuri, A., Palevicius, A., Griskevicius, P., & Janušas, G. (2019). Investigation of mechanical properties of hemp and flax fibers hybrid composites for biomedical applications. *Mechanika*, 25(2), 149-155. <https://doi.org/10.5755/j01.mech.25.2.22712>
- Becerra-Quiroz, A. P., Buitrago-Coca, A. L., & Pinto-Baquero, P. (2016). Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 12(20), 133-149. <https://doi.org/10.16925/in.v12i20.1548>
- Cebreiros, F., Clavijo, L., Boix, E., Ferrari, M. D., & Lareo, C. (2020). Integrated valorization of eucalyptus sawdust within a biorefinery approach by autohydrolysis and organosolv pretreatments. *Renewable Energy*, 149, 115-127. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.024>
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2010). Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4710101>
- Dávila, J. A., Rosenberg, M., & Cardona, C. A. (2017). A biorefinery for efficient processing and utilization of spent pulp of Colombian Andes Berry (*Rubus glaucus* Benth.): Experimental, techno-economic and environmental assessment. *Bioresource Technology*, 223, 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.050>
- Daza-Merchán, Z. T., Escudero-Agudelo, J., Gil-Zapata, N. J., & Mora-Muñoz, O. Y. (2013). Evaluación de las enzimas celulolíticas producidas por hongos nativos mediante fermentación en estado sólido (SSF) utilizando residuos de cosecha de caña de azúcar. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 108-117. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/30844>
- Díaz-Martínez, M. A., & Zárate-Cruz, R. (2018). Simulación Flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba. *Revista Científica del Instituto Politécnico Nacional de México*, 22(2), 1-17.
- González-García, S., Hospido, A., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2010a). Life cycle assessment of raw materials for non-wood pulp mills: Hemp and flax. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 923-930. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.011>
- González-García, S., Moreira, M. T., Artal, G., Maldonado, L., & Feijoo, G. (2010b). Environmental impact assessment of non-wood based pulp production by soda-anthraquinone pulping process. *Journal of Cleaner Production*, 18(2), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.008>

- González-Velandia, K. D., Daza-Rey, D., Caballero- Amado, P. A., & Martínez-González, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul*, 43(43), 499-517. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>
- Han, J. S., & Rowell, J. S. (2008). Chemical composition of fibers. *Paper and Composites from Agro-Based Resources*, 283, 83-134.
- Jan, E. G. (2009). Environmental benefits of natural fibre production and use. Proceedings of the Symposium on Natural Fibres, 3-17. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0709e/i0709e03.pdf>
- Johnson, R. (2018). Hemp as an agricultural commodity. Congressional Research Service. <https://fas.org/sgp/crs/misc/RL32725.pdf>
- Kitrytė, V., Bagdonaitė, D., & Rimantas-Venskutonis, P. (2018). Biorefining of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) threshing residues into cannabinoid and antioxidant fractions by supercritical carbon dioxide, pressurized liquid and enzyme-assisted extractions. *Food Chemistry*, 267(March), 420-429. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.080>
- Komuraiah, A., Kumar, N. S., & Prasad, B. D. (2014). Chemical composition of natural fibers and its influence on their mechanical properties. *Mechanics of Composite Materials*, 50(3), 359- 376. <https://doi.org/10.1007/s11029-014-9422-2>
- Mark, T. B., & Will, S. (2019). Economic issues and perspectives for industrial hemp. En D. W. Williams (ed.), *Industrial hemp as a modern commodity crop* (pp. 107-118). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America <https://doi.org/10.2134/industrialhemp.c7>
- Moonart, U., & Utara, S. (2019). Effect of surface treatments and filler loading on the properties of hemp fiber/natural rubber composites. *Cellulose*, 26(12), 7271-7295. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02611-w>
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2013). Papel y cartón. Determinación del gramaje (ISO 536:2012). ISO
- Plazonić, I., Barbarić-Mikočević, Ž., Bates, I., & Malnar, L. (2016). Chemical stability of prints made on hemp fibre based papers. *Acta Graphica: Journal for Printing Science and Graphic Communications*, 27(3), 25-30.
- Poisa, L., & Adamovics, A. (2011). Evaluate of hemp (*Cannabis sativa* L.) quality parameters for bioenergy production. *Engineering for Rural Development*, 26, 358–362.
- Sausserde, R., & Adamovics, A. (2013). Industrial hemp for biomass production. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2s), 10-13. <https://doi.org/10.4081/jae.2013.s2.e123>
- Tavella, M. A., Miropolsky, A., & Maner, R. (2016). Aplicación del software Expert Choice como herramienta de soporte de decisión para la localización sustentable de parques industriales. *Tecnología y Ciencia*, 28, 5-16.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2018). Plantaciones forestales con fines comerciales para la obtención de madera y su cadena productiva. UPRA. <https://bit.ly/36zrrd4>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2019). Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales. Escala 1:100.000. UPRA. [https:// repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34413](https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34413)
- van-der-Werf, H. M. G., Harsveld-van-der-Veen, J. E., Bouma, A. T. M., & Ten-Cate, M. (1994). Quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) stems as a raw material for paper. *Industrial Crops and Products*, 2(3), 219-227. [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(94\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0926-6690(94)90039-6)