

Artículo de investigación

Cómo citar: L. Concha, C. Ramírez, R. Bello y M. Osorio. "Estudio técnico para la producción de papel derivado del cáñamo de uso industrial en el Valle del Cauca". *Inventum*, vol. 17. n.º 33, pp. 83-97, julio-diciembre 2022. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.17.33.2022.83-97

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: 01 de junio de 2022
Fecha de aprobado: 01 de julio de 2022
Fecha de publicación: 15 de julio de 2022

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

Estudio técnico para la producción de papel derivado del cáñamo de uso industrial en el Valle del Cauca¹

Technical study for the production of paper derived from hemp for industrial use in Valle del Cauca

Estudo técnico para a produção de papel derivado do cânhamo para uso industrial no Valle del Cauca

Resumen

Este documento presenta elementos de un estudio técnico que pretende establecer la estrategia para la puesta en marcha de una planta de producción de papel derivado del cáñamo industrial producido en el Valle del Cauca. La investigación se basa en tres pilares fundamentales: el primero de ellos es el estudio legal y normativo, con el fin de identificar las condiciones legales y normativas para la producción de derivados del cannabis de uso industrial en Colombia. El segundo pilar corresponde a establecer una estrategia de operaciones acorde a la normatividad vigente para el aprovechamiento del cáñamo industrial, diseñando y caracterizando el proceso de producción de papel. El tercer pilar consiste en determinar el costo de implementación y puesta en marcha de la estrategia de operaciones planteada para la producción de papel derivado del cáñamo.

Palabras clave: agroindustrial, cáñamo, economía verde, estrategia de operaciones, Asocáñamo.

Abstract

This document is a technical study that aims to establish the strategy for the start-up of a paper production plant derived from industrial hemp produced in Valle del Cauca. The research is based on three fundamental pillars: the first of them corresponds to the legal and regulatory study in

¹ Proyecto desarrollado en el Semillero de Investigación Pensar en Sistemas, asociado al grupo de investigación Gintecpro del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad El Bosque, en el marco de un convenio de cooperación con Asocáñamo.

Luis Eduardo Concha Vásquez
Estudiante 10 semestre Universidad El Bosque,
Bogotá, Colombia
email: lconcha@unbosque.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0236-3537>

Cristhian David Ramírez Alfonso
Estudiante 10 semestre Universidad El Bosque,
Bogotá, Colombia
email: cdramirez@unbosque.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5905-798X>

Ray Alfredo Bello Dávila
Docente programa de Ingeniería Industrial
Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia
email: rbellod@unbosque.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1187-9009>

Mariluz Osorio Quiceno
Docente programa de Ingeniería Industrial
Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia
email: mosorioq@unbosque.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2926-9789>



order to identify the legal and regulatory conditions for the production of cannabis derivatives for industrial use in Colombia. The second pillar corresponds to establish an operations strategy in accordance with current regulations for the use of industrial hemp, designing and characterizing the paper production process. The third pillar consists of determining the cost of implementation and start-up of the operations strategy proposed for the production of paper derived from hemp.

Keywords: agroindustrial, hemp, green economy, operations strategy, Asocáñamo.

Resumo

Este documento é um estudo técnico que visa estabelecer a estratégia para o início de uma planta de no Valle del Cauca. A investigação assenta em três pilares fundamentais: o primeiro deles corresponde ao estudo legal e regulatório para identificar as condições legais e regulatórias para a produção de derivados de cannabis para uso industrial na Colômbia. O segundo pilar corresponde a estabelecer uma estratégia de atuação de acordo com as normas vigentes para o uso de cânhamo industrial, projetando e caracterizando o processo de produção de papel. O terceiro pilar consiste em determinar o custo de implementação e start-up da estratégia de operações proposta para a produção de papel derivado do cânhamo.

Palavras-chave: agroindustrial, cânhamo, economia verde, estratégia de operações, Asocáñamo.

I. INTRODUCCIÓN

El consumo de papel está aumentando globalmente y ha alcanzado niveles insostenibles; recientemente excedió los 400 millones de toneladas anuales consumidas a nivel mundial, alcanzando un promedio global de uso de papel de 55 kilogramos por persona al año, y en la región de América del Norte la cifra es mucho más alarmante: un consumo de 215 kilogramos por persona [1].

Para Colombia, el sector papelerero es realmente significativo, ya que este aporta el 4,5 % del PIB industrial nacional y genera más de 9.000 empleos, entre los cuales la gran mayoría se concentra en sectores rurales y prima la informalidad, que supera el 80 % [2].

Para el año 2017, la producción nacional fue de 1.252.680 toneladas de papel y cartón, de las cuales se exportaron 164.703 toneladas. Los principales destinos de exportación fueron Ecuador, con un 46,5 %; Perú, con un 18,7 %, y Centroamérica, con un 9,5 %. La mayoría de estas exportaciones (un 52 % del total) corresponden a imprenta y escritura. Por otra parte, para el mismo año, se importaron aproximadamente 564.560 toneladas de papel y cartón, provenientes principalmente de Europa (30,8 %), Estados Unidos (27,3 %) y Canadá (10,5 %). En total, el consumo nacional, teniendo en cuenta las importaciones y la producción del país, fue de 1.650.537 toneladas de papel y cartón, esto es, un consumo per cápita de 33 kilogramos por habitante [2].

Este estudio técnico se realizó con el fin de desarrollar una estrategia para la transformación del cáñamo cultivado en el Valle del Cauca como materia prima en la producción de papel para imprenta tamaño carta. Para su desarrollo la investigación presenta inicialmente, la formulación del proyecto, donde se incluye la identificación, descripción y planteamiento del problema de investigación.

El primer pilar desarrolla el primer objetivo específico, identificar las condiciones legales del proyecto, que brinda la información necesaria acerca de los requerimientos del área de fabricación, producción o transformación, distribución y licencias del cáñamo industrial, para acceder de manera segura e informada, cumpliendo con la Ley 1787 de 2016, el Decreto 613 de 2017 y la Resolución 227 de 2022, normas que agrupan todos los requerimientos necesarios para la viabilidad del proyecto.

El segundo pilar desarrolla el segundo objetivo específico, un estudio técnico que permite identificar y mostrar los requerimientos técnicos del proyecto. En él se incluyen diferentes herramientas para identificar y cumplir con las condiciones legales y normativas vigentes.

Luego, se presenta el tercer pilar y último objetivo específico, en el cual se estima el costo de implementación y puesta en marcha de toda la estrategia de operaciones planteada.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Asocáñamo es una asociación colombiana sin ánimo de lucro creada en el año 2018 y constituida legalmente en el año 2019. En principio, busca promover y desarrollar la industria del cáñamo industrial y medicinal a nivel nacional, reforzando el desarrollo social, ambiental y agroindustrial, en busca de crear una economía verde y sostenible. Su misión está enfocada en representar el sector agroindustrial del cáñamo industrial y medicinal que promueve un desarrollo sostenible articulado con la participación de pequeños, medianos y grandes productores, incluyendo el desarrollo social y haciendo partícipes a las víctimas del conflicto armado y a las comunidades indígenas, afros y campesinas [3].

Como proyecto, Asocáñamo para el año 2030, aspira a estar posicionada a nivel nacional e internacional como la asociación que representa y lidera el sector agroindustrial del cáñamo industrial y medicinal, como sector generador de una economía verde, productiva y sostenible. Así mismo, pretende ser parte de investigaciones científicas que aporten de manera significativa al mejoramiento del bienestar de las personas y a la producción de materiales de bioconstrucción, alimentos, aceites y medicinas que fomenten el cuidado y la conservación del medio ambiente, así como el desarrollo social, tecnológico, económico y rural del país.

Además, Asocáñamo cuenta con diferentes mesas de trabajo, cuya función es aportar al respectivo crecimiento y fortalecimiento. La primera de ellas, denominada Mesa Técnica de Investigación y Desarrollo, se dedica a investigar nuevas técnicas de fitomejoramiento para que los cultivos disminuyan al máximo los riesgos. La segunda, denominada Mesa de Trabajo de Cadena Productiva, se ocupa de mantener al día a los miembros de la asociación en cuanto a los adelantos científicos, proponer proyectos, ejecutarlos y realizar alianzas para desarrollo

académico. La tercera, denominada Mesa de Trabajo de interrelaciones, se centra en mantener la comunicación entre los miembros para su cooperación, fraternidad empresarial y conocimientos compartidos. Por último, la Mesa de trabajo de Normativa y Finanzas, vela por el establecimiento justo para la industria del cannabis en Colombia [3].

Ahora bien, según la última edición del Informe de papel y cartón en Colombia, se producen aproximadamente 1,2 millones de toneladas de papel y cartón al año. La producción de las empresas afiliadas de la ANDI abastece el 87 % de la demanda nacional y una parte es exportada, principalmente a países de América Latina, aunque también se exporta a Europa y Asia en pequeñas cantidades.

Si bien en países desarrollados se evidencia un decrecimiento del uso de estos materiales, se estima un crecimiento de un 2 % anual en los próximos 30 años. “Cabe destacar que Colombia es uno de los tres países en el mundo donde se produce papel a partir del bagazo de caña de azúcar, pero a pesar del éxito que ha tenido, se está utilizando menos del 30 % del material que se genera en el Valle del Cauca, por lo que aún hay mucho potencial por explotar” [4].

Para Colombia, el sector papelerero es realmente significativo, ya que aporta el 4,5 % del PIB industrial nacional y genera más de 9.000 empleos, entre los cuales, la gran mayoría se concentra en sectores rurales y prima la informalidad, por encima del 80 % [2].

Por otro lado, según una encuesta realizada por la Asociación Colombiana de la Industria de la Comunicación Gráfica (Andigraf) a 27 empresas del sector, con el objetivo de medir el impacto del Paro Nacional de 2020, un 96,3 % de las empresas sufrieron escasez de papel en 2021, y un 100 % de las empresas evidenció un incremento de precio del 17 % [5].

De acuerdo con los datos correspondientes al sector de producción de papel en Colombia, y teniendo en cuenta el aporte que genera Asocáñamo a través sus diferentes mesas de trabajo, así como la información normativa y procedimental para las plantaciones de cannabis y la obtención de fibras para producción de papel, se encuentra una oportunidad para apoyar a los pequeños productores de cáñamo, a través de las alianzas de desarrollo académico de Asocáñamo. Esto permitirá establecer técnicamente un proceso de aprovechamiento

de las plantaciones, mediante la transformación de cannabis en fibra para contribuir a la producción de papel, haciendo uso eficiente de los recursos con una visión de innovación y desarrollo de nuevos productos sostenibles en el sector industrial.

III. ANTECEDENTES

En [6] se presenta de manera pedagógica y educativa una serie de elementos procedimentales para la fabricación de papel, usando como materia prima las diferentes fibras vegetales, entre las cuales destaca el cáñamo como una alternativa limpia para la producción de papel. Allí se plantean diferentes opciones que contribuyen a contrarrestar la deforestación y a disminuir el uso de papel reciclado que contiene químicos agresivos. Asimismo, se describe un proceso artesanal de fabricación de papel, que puede funcionar como un producto mínimo viable que brinda la oportunidad de aprovechar un recurso diferente.

Como precedente nacional, se cuenta con los aportes dados en [7], sobre “La fabricación del papel de cáñamo: eco alternativa sostenible en zonas de alta vulnerabilidad”. En dicho estudio, efectuado en el Norte de Santander, se presenta una visión del cáñamo, como elemento sustituto del papel convencional, y se busca desligar las características del cáñamo de la percepción de ser aprovechable únicamente como sustancia psicoactiva, así como establecer una alternativa de fortalecimiento de la industria del cáñamo industrial, destacando la posibilidad de apertura de diferentes nichos de mercado poco explorados, la empleabilidad que genera el fortalecimiento del sector económico y la concientización desde el aspecto sociocultural y ambiental. Ello, teniendo en cuenta las mediciones de contenido de tetrahidrocannabinol (THC) presente en el cáñamo, y algunos referentes respecto al manejo que se le da al cáñamo en Latinoamérica, en el contexto europeo y en el mercado chino [7].

De acuerdo con [8], se evidencia una brecha de oportunidades para la fabricación y aprovechamiento del cannabis en Colombia. En dicho trabajo, realizado con el objetivo de diseñar plantas de producción y evaluar su eficiencia a nivel de distribución, se proponen diseños de *layout* evaluados mediante un análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés). Se parte de un estudio y análisis del mercado, se pasa luego por un estudio de tecnologías de extracción para la obtención de los derivados del cannabis y, por último, mediante proyecciones

de demanda, se establecen las necesidades de la planta y las diferentes áreas que intervienen en el proceso de transformación del cáñamo en derivados aprovechables.

Por otra parte, en [9], se presenta un modelo de fabricación de papel de cáñamo, partiendo de metodologías propias del National Renewable Energy Laboratory (NREL), que determina la cantidad de celulosa, hemicelulosa, humedad, extractivos y cenizas extraídas de la materia prima. La obtención de la celulosa juega un papel fundamental para la fabricación de pasta de celulosa, que posteriormente se considera como la base de la producción de papel a través del método Kraft. En el documento se explora este método, como un proceso que parte de la obtención de la planta (tras una simulación agrícola), luego esta se prepara y pasa por un proceso de cocción, filtrado, blanqueamiento y homogenización que permite obtener una pulpa laminada (papel) como producto final.

Asimismo, en [10], se utilizó la metodología de evaluación de ciclo de vida, a partir de la comparación de dos escenarios: en uno de ellos se utilizó el pino y en el otro, el cáñamo, con el fin de determinar, mediante un análisis comparativo, los beneficios que da el cannabis como sustituto de las fuentes de celulosa utilizadas convencionalmente en la industria papelera.

En [11], se aborda el potencial de la celulosa catiónica como elemento a considerar en la industria papelera. En dicho estudio, se determinó la covalencia de la unión entre polyDADMAC (cloruro de polidialildimetilamonio) y pulpas de cáñamo refinadas. Se encontró que las fibras de cáñamo se mantuvieron de manera positiva eliminando la lignina y estableciendo estables ion-dipolo, determinando así una cantonización no covalente. Ello abrió paso a la prueba de nanofibras, en las cuales, para la fabricación de papel, la nanocelulosa catiónica redujo la permeabilidad al aire en menor medida, y produjo un aumento del índice de tracción, de hasta un 57 % en ausencia de agentes retención.

Un estudio sobre el impacto que puede tener el cambio climático en la producción y adaptación de cultivos de cáñamo, presentado en [12] establece las variaciones con respecto al clima y las condiciones del campo de cultivo. Se estudió durante 4 años la calidad y el rendimiento del grano y la fibra obtenida en el proceso de cultivo, para ofrecer oportunidades de control del rendimiento del cultivo según su ubicación espacial, de acuerdo con la variabilidad interanual de las condiciones climáticas, con el fin de obtener fibras en la mejor condición para su transformación.

En [13], se describen varias aplicaciones de este cultivo en la industria textil, del papel, cosmética y automotriz, en las cuales hay demanda de fibras sostenibles. En dicho estudio se evaluaron las densidades y los niveles de fertilización en dos épocas de cosecha y ambientes diferentes. De sus resultados se destaca que la densidad óptima de plantas y el nivel de fertilización para una alta eficiencia de descortezamiento son de 120 plantas m^2 y de 0 a 100 kg N/ha^{-1} . La metodología utilizada en esta investigación evaluó efectivamente el impacto de la aerotécnica en la eficiencia y los requisitos energéticos de la decorticación del cáñamo.

La revisión sistemática realizada por [14], en la búsqueda de recursos renovables y alternativas a los carbonopositivos, muestra como el cannabis recibe una especial atención debido a su usabilidad multipropósito, corto ciclo de producción, baja demanda de capital en el cultivo, posibilidad de transformación en carbono negativo y facilidad para la retención de carbono. Además, se analiza el cáñamo como recurso renovable y su uso potencial en las industrias papelera, textil, de biocombustibles y alimentaria.

En [15], se considera el cáñamo como una fuente sostenible de fibras naturales, con el objetivo de satisfacer una demanda creciente de productos tecnificados con grandes oportunidades de aplicación especialmente en los sectores papeler y textil, en busca de lograr competitividad y viabilidad económica. Se menciona también la importancia de la selección, adecuación y preparación del proceso, así como la necesidad de ajustar la maquinaria a las condiciones del cáñamo para que la fibra obtenida tenga la calidad adecuada.

Finalmente, en [16], los autores proponen un modelo que equilibra el conocimiento experto agrícola y la planificación de la cadena de valor a través de la implementación de *blockchain* y tecnología digital (Internet de las cosas), para proporcionar una trazabilidad a prueba de manipulaciones, transparente y segura en este sector agrícola. Por un lado, el diseño crea un *blockchain* autorizado que contempla los diferentes actores de la cadena de valor, y por otro lado, desarrolla servicios que utilizan aplicaciones con interfaces hombre-máquina. Posteriormente, despliega una red de dispositivos con protocolos de internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), combinando sistemas digitales con tareas humanas interoperables, aportando así un nuevo enfoque para el desarrollo de servicios de valor.

IV. CONDICIONES LEGALES Y NORMATIVAS SOBRE EL USO INDUSTRIAL DE CÁÑAMO PRODUCIDO EN EL VALLE DEL CAUCA

En cuanto a la reglamentación relativa a la producción, comercialización y distribución de derivados del cannabis y su evolución en la normativa nacional, las piedras angulares de la normativa vigente han sido la Ley 1787 del 2016 [17], el Decreto 613 de 2017 [18], y la más reciente

reglamentación, la Resolución 227 de 2022 [19], que busca suplir los requerimientos de la industria incipiente de cannabis industrial.

En el recorrido por la normativa colombiana, para asegurar el acceso seguro e informado, se identificaron las condiciones legales para la producción de derivados del cannabis de uso industrial, las cuales se resumen en la tabla 1.

ACTIVIDAD	REQUERIMIENTO	ALCANCE
Área de fabricación	Indicación del número de matrícula inmobiliaria en los casos de los inmuebles que se encuentren debidamente registrados ante la Oficina de Registro de Instrumentos Públicos respectiva. En caso de que el inmueble no sea propiedad del solicitante, deberá anexar, junto con su solicitud, el documento en virtud del cual adquirió el derecho para hacer uso del predio.	
Producción o transformación	Plan de fabricación, que es el documento proyectado, que debe contener: cronograma de trabajo, organigrama del solicitante, responsabilidades de cada uno de los empleados y el monto de las inversiones necesarias para la ejecución de dichas actividades. También deberá especificar procedimientos de transformación y de control de calidad en el área de fabricación, volumen estimado de fabricación de productos de cannabis, estimado de la cantidad de especificaciones técnicas del cannabis que se empleará. Indicación del origen de la cosecha que se busca usar. Plano de las instalaciones de fabricación en donde se muestren las distintas áreas.	Comercializar o transformar para su venta distribuir, recibir o entregar a terceros bajo cualquier título, las plantas de cannabis provenientes de auto cultivo. Adelantar actividades de cultivo o fabricación de derivados sin el respectivo cupo en los casos en los que es requerido.
Distribución	Formato, transporte de productos derivados de cannabis.	
Licencia	La descripción de las áreas de fabricación en donde se realizarán las actividades solicitadas, incluyendo medidas y dimensiones, así como registros fotográficos. Descripción de los equipos y zonas de procesos relacionadas con las actividades. Protocolo de seguridad, de acuerdo con la regulación técnica sea expedida. Plan de fabricación de derivados de acuerdo con las actividades a desarrollar. Si la licencia es por primera vez, este plan deberá proyectarse por el término de un (1) año. Indicación del número de matrícula inmobiliaria en los casos de los inmuebles que se encuentren debidamente registrados ante la Oficina de Registro de Instrumentos Públicos respectiva. En caso de que el inmueble no sea propiedad del solicitante, deberá anexar juntos con su solicitud, el documento en virtud del cual adquirió el derecho para hacer uso del predio. Formato, solicitud para cupo ordinario o suplementario de fabricación derivados de cannabis. Realizar la inscripción de oficio ante el Fondo Nacional de Estupefacientes.	Las licencias tendrán una vigencia de cinco (5) años y se podrán recertificar por periodo igual cuantas veces sea solicitado.

Tabla 1. Condiciones legales para la producción de derivados de cannabis de uso industrial en Colombia

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de [17], [18] y [19].

V. ESTRATEGIA DE OPERACIONES

Para el desarrollo de la estrategia de operaciones, se parte de la caracterización del producto y del proceso empleado en la producción de papel a base de cáñamo, y se establece el diseño de una planta en la cual se desarrolle el proceso de transformación del cáñamo, usado como materia prima, en la producción de papel, como producto alternativo a la industria papelera del país.

A. Definición de producto

El resultado esperado del proceso de transformación de cáñamo consiste en la formación de hojas de papel. Este papel está constituido por una delgada lámina elaborada a base de pulpa de cáñamo industrial, preparada a partir

de la trituración del cáñamo y su paso por un proceso de transformación que incluye la formación de la hoja y corte en tamaño carta, cuyas medidas de acuerdo con IBM, corresponden a 27,94 cm de largo por 21,59 cm de ancho [20].

B. Diseño del proceso productivo

Para el diseño del proceso de fabricación de papel a base de cáñamo se utilizó como referente la información disponible sobre fabricación de papel a partir de otras materias primas, como la caña de azúcar y la paja de arroz. Además, se tuvo en cuenta la fabricación de papel a base de cáñamo en laboratorio descrita por Manosalva y Medina [9], [10]. A partir de estos referentes, se diseñó una versión propia e íntegra del proceso de producción, que se evidencia en la figura 1.

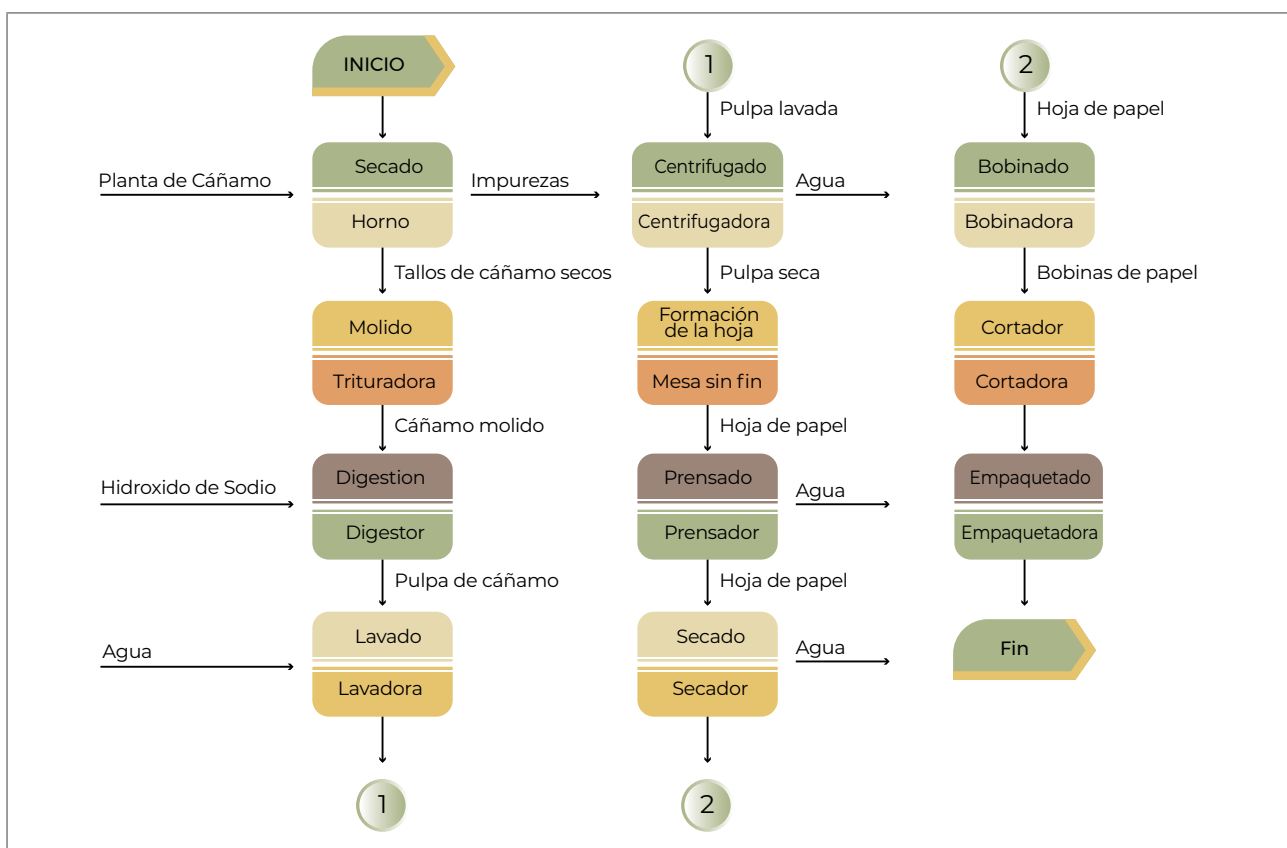


Figura 1. Diagrama del proceso de producción de papel de cáñamo

Fuente: Elaboración propia a partir de [9] y [10].

En el diseño del proceso, no se consideró un procedimiento de blanqueado de la pulpa de papel, dado que en pro del desarrollo ambiental y agroindustrial se busca disminuir el uso de agentes químicos usados para este fin. Por lo tanto, el resultado de proceso será una hoja de papel de tonalidad marrón.

C. Datos de inicio

Una vez determinado el diseño del proceso, para el desarrollo general de la estrategia de operaciones de producción de papel a base de cáñamo, se consideró de vital importancia conocer de primera mano los diferentes

datos de inicio asociados al cultivo de cáñamo teniendo en cuenta que este será la materia prima principal del proceso de producción de papel. Para este fin, se han considerado los siguientes datos, suministrados por Asocáñamo:

- Ubicación de los cultivos de cáñamo: Valle del Cauca.
- Cantidad de producción de cáñamo cultivado: 30.000 hectáreas.
- Porcentaje de la producción anterior destinado a transformación para derivados de cáñamo: 10 % anual o el equivalente a 3.000 hectáreas.

De acuerdo con el proceso, la cantidad de materia prima necesaria para producir una hoja de papel se especifica en la tabla 2.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Peso de la muestra inicial de cáñamo (g)	30,2
NaOH (g)	60
Na ₂ S (g)	12

Tabla 2. Cantidades de materia prima para producir una hoja de papel [9]

Fuente: Adaptada de [9].

D. Localización

Para definir la localización de la planta se utilizó el análisis ponderado, el cual a través de la evaluación de diferentes factores permitiría elegir cual el mejor lugar

para localizar la planta. Se evaluaron los factores que se mencionan a continuación, teniendo en cuenta una valoración para cada uno en una escala de 1 a 100, cuya suma corresponde al 100 % de la valoración:

- Facilidad de acceso a la materia prima (23 %).
- Disponibilidad de mano de obra (11 %).
- Transporte y vías de acceso principales (15 %).
- Aspectos legales (20 %).
- Cercanía al mercado (8 %).
- Vías secundarias de acceso (8 %).
- Servicios públicos (15 %).

Tres posibles localizaciones dentro del valle del cauca fueron sometidas a una valoración de 1 a 5: Buga (valoración de 3,69), Cali (Valoración de 4,07) y Palmira (Valoración de 3,61). De esta manera, se obtuvo el mejor resultado en la ciudad de Cali, considerando un puntaje de 4,07 unidades de valoración.

En consecuencia, se optó por localizar la planta en esta ciudad, en una bodega ubicada en la calle 44 troncal, cuya ubicación se muestra en la figura 2. Este espacio cuenta con las siguientes especificaciones: área operativa de 1.900 m², 8 m de altura a la cumbre y una ubicación céntrica respecto a la ciudad, sobre vías que permiten tránsito de vehículos de tráfico pesado [21].

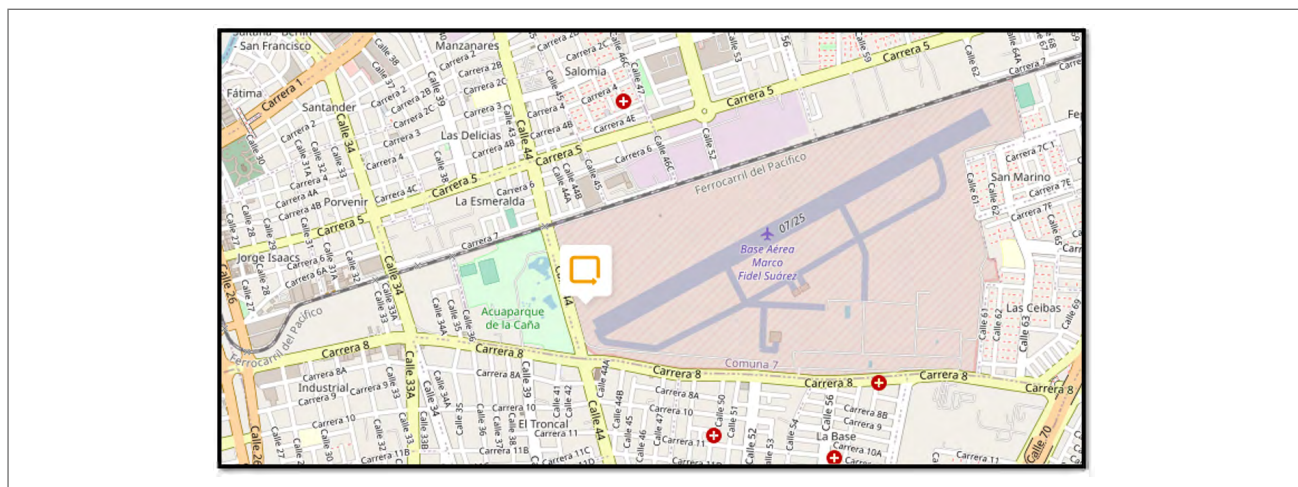


Figura 2. Localización de la planta
 Fuente: Tomado de [21].

La disponibilidad de materia prima ejerce como factor principal, teniendo en cuenta que los cultivos de cáñamo se encuentran ubicados en diferentes puntos del Valle del Cauca y Cali. Esto último se consideró como un

punto esencial para la ubicación de la planta, teniendo en cuenta la cercanía de la ciudad con las plataformas multimodales del departamento (puertos, aeropuertos y vías de acceso).

E. Maquinaria requerida

De acuerdo con el proceso productivo establecido en la figura 1, se identificaron las máquinas necesarias para cumplir con cada una de las etapas del proceso productivo de papel a base de cáñamo (tabla 3).

Proceso	Máquina
Secado	Secadora den hierba
Molido	Equipo de molienda/trituradora
Digestión Formación de la hoja	Digestora
Lavado	Lavadora
Centrifugado	Centrifugadora
Formación de hoja	Mesa de fabricación
Prensado	Prensadora
Secado	

Proceso	Máquina
Bobinado	Bobinadora-cortadora
Cortado	
Empaquetado	Empaquetadora

Tabla 3. Máquinas usadas en el proceso productivo de papel a base de cáñamo

Fuente: Elaboración propia.

Conocer el detalle de cada una de las máquinas permitió consolidar la información correspondiente a la capacidad de estas, con el fin de determinar el cuello de botella del proceso para tenerlo en cuenta en los cálculos de capacidad de la planta de producción.

En la figura 3 se puede observar gráficamente el flujo del material de izquierda a derecha, pasando por cada una de las máquinas, teniendo en cuenta su cantidad y capacidad correspondiente.

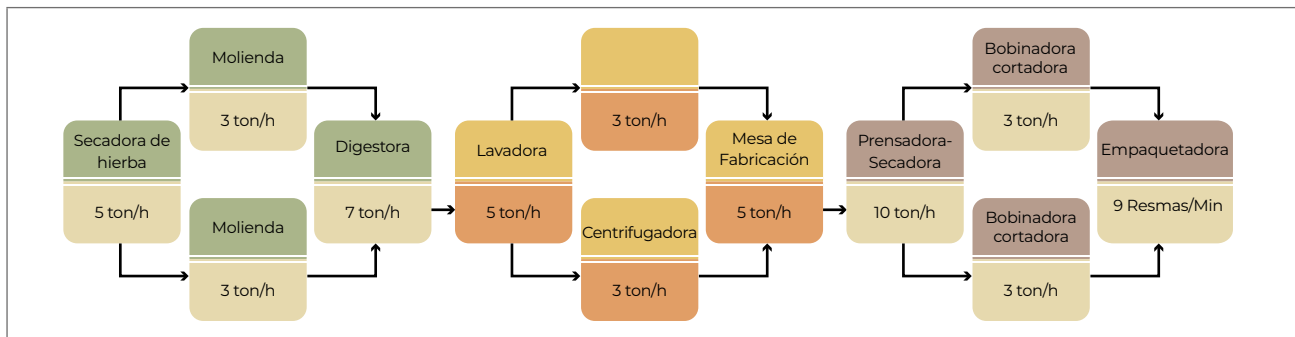


Figura 3. Capacidad de la maquinaria

Fuente: Elaboración propia.

Se observa, asimismo, que el cuello de botella principal que más afecta el proceso de fabricación corresponde a la mesa de fabricación cuya capacidad es de 5 toneladas por hora.

F. Capacidad de producción

Una vez conocidas las características de la maquinaria a utilizar, fue posible determinar la capacidad de producción del proceso. Para ello, se definieron las siguientes condiciones:

- Cantidad de cáñamo en toneladas a procesar: Se estimaron cálculos de capacidad teniendo en cuenta un 10 % del total de hectáreas de cáñamo que posee Asocáñamo para cultivo. Por este motivo, se tomaron 6.000 toneladas (considerando la tasa de producción de cáñamo de 2 t/h, de 3.000 planteadas inicialmente).

- Máquina o parte del proceso que efectúa el cuello de botella: mesa de fabricación.

Con base en los requerimientos de capacidad de producción se estableció el cálculo de dichos ítems, que se resume en la tabla 4.

Descripción	Valor
Toneladas de Cáñamo	6000
Mesa de trabajo (t/h)	5
Turno de trabajo (h)	8
Desgaste (%)	10 %
Merma (%)	5 %

Tabla 4. Datos para el cálculo de capacidad

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos de la tabla 4, para el cálculo de la capacidad de diseño se tomó el valor equivalente a la capacidad establecida la mesa de fabricación (5 t/h) por las 8 horas destinadas a la operación, restando a este resultado el desgaste equivalente al 10 % establecido en la tabla 4. De esta manera, se obtuvo la capacidad efectiva de la planta. A este resultado, se le restó la merma correspondiente al 5 %, con lo cual se obtuvo la capacidad real de ejecución de la planta, como se evidencia en la tabla 5.

Capacidad de la planta de producción	
Capacidad de diseño	40 (t/día)
Capacidad efectiva	36 (t/día)
Capacidad real	34,2 (t/día)

Tabla 5. Capacidad de la planta
Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocida la capacidad real en la cual puede operar la planta, fue posible establecer la utilización de capacidad que corresponde al porcentaje de aprovechamiento de la capacidad diseñada inicialmente, que en este caso equivale a 85,5 %, y un índice de eficiencia, tomando como base la relación entre la capacidad real y la capacidad efectiva, equivalente a 95 %.

G. Planeación de producción

De acuerdo con la definición del producto, se seleccionó el tamaño carta para la fabricación de las hojas, que serán empacadas en resmas de papel de 500 hojas, formato estándar en la distribución de este producto. De acuerdo con el estudio realizado por [9], el peso resultante de una hoja de papel procesada corresponde a 14,2 gramos, por ende, el peso total de una resma equivale a un total de 7.100 gramos aproximadamente o 0,0071 toneladas. Asimismo, se debe tener en cuenta que la proporción de toneladas de cáñamo con respecto a las toneladas de papel resultante corresponde a 2,056 toneladas de cáñamo para producir una tonelada de papel.

Ahora bien, considerando que el peso de una resma de papel es de 0,0071 toneladas, se estableció la relación de toneladas obtenidas por cada tonelada de papel. Al establecer la relación entre 1 tonelada de papel y las

0,0071 toneladas de peso por cada resma, se calculó la cantidad de resmas que se obtienen de una tonelada de papel: un total aproximado de 140 resmas de papel.

Por otra parte, teniendo en cuenta que la capacidad real de la planta de producción es equivalente a 34,2 toneladas de cáñamo procesadas durante una jornada de trabajo de 8 horas, fue posible determinar la cantidad máxima de cáñamo procesable anualmente. Considerando que los días laborables anualmente son 243 (tomando los 365 días del año y restando los fines de semana y días festivos), se obtuvo que el total de cáñamo procesable semanalmente corresponde a 8.208 toneladas de cáñamo al año.

Una vez establecida la entrada total de cáñamo a procesar, se calculó la cantidad de resmas totales a producir. Así, se determinó que anualmente es posible producir un total de 562.284 resmas de papel proveniente del cáñamo al año, como se puede observar en la tabla 6.

Descripción	Valor	Ud. de medida
Cáñamo total según capacidad	8.208	t
Toneladas de papel producidas	3992,22	t
Cantidad de resmas por tonelada de papel	140,8	resmas/ton
Resmas totales	562.284	Resmas

Tabla 6. Resmas totales a producir
Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se determinó una producción continua equivalente a 46.857 resmas mensuales, procesando un total de 708 toneladas de cáñamo cada mes. Sin embargo, dado que se pretende un ingreso semanal de materia prima y salida de producto terminado en el mismo horizonte de tiempo, se planeó la producción semanal de resmas de papel, estableciendo una producción semanal empleando un total de 177 toneladas de cáñamo cada semana, lo que permitirá obtener, aproximadamente 11.714 resmas semanales.

H. Bill of material

En la figura 4 se muestra un diagrama de la explosión de materiales con los diferentes componentes y sus respectivos niveles para el proceso de fabricación de resmas de papel a partir de cáñamo industrial.

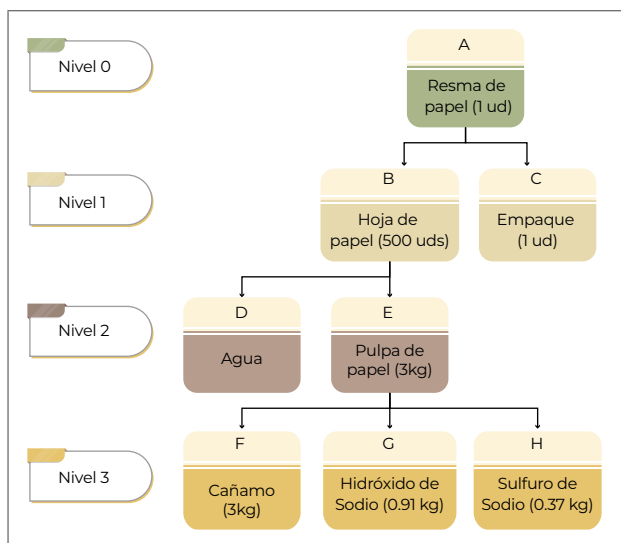


Figura 4. Bill of material
Fuente: Elaboración propia.

I. Requerimientos de materia prima

Dentro del proceso, además del cáñamo, se requieren las siguientes materias primas:

- **Hidróxido de sodio (NaOH).** También conocido como soda cáustica, este coproducto del cloro es una sustancia que se emplea en diferentes procesos de fabricación, como el de aluminio, limpiadores de hornos, jabones, detergentes y, en este caso, papel. El hidróxido de sodio, junto con el sulfuro de sodio, se usa para disolver la mayor parte del material no deseado en el proceso de fabricación de papel y permite la obtención de celulosa congruentemente pura, que forma la base de papel. También se usa en el proceso de reciclaje de papel, para separar la tinta de las fibras de papel, permitiendo así la reutilización de estas últimas [22].
- **Sulfuro de sodio (Na₂S).** También conocido como sulfuro de sodio, es una sustancia que tiene propiedades para retener la humedad, es fácilmente soluble en agua y brinda soluciones alcalinas fuertes. Puede ser de color marrón, rosa o caqui. Es utilizado en varias industrias. En fotografía, se usa para tonificar fotos en blanco y negro; en la industria textil, se usa como agente blanqueador, y, en el caso específico de la industria papelera, se usa en el procesamiento Kraft de pulpa y papel [23].
- **Licor blanco.** Es una solución alcalina compuesta por hidróxido de sodio y sulfuro de sodio. Se utiliza en la etapa de formación de la hoja, en la cual la lignina

y la hemicelulosa se separan de la fibra de celulosa para la producción de pulpa. A esta mezcla se le llama licor blanco por su color blanco opaco [24].

Luego de determinar la materia prima necesaria para cumplir con los requerimientos en cuanto a cantidad de resmas, se planteó de la misma manera la cantidad de materia prima necesaria, teniendo en cuenta que para producir 11.714 resmas semanales se requiere un total de 177 toneladas de cáñamo y, por ende, de acuerdo con la relación planteada en la tabla 2, se requieren 351 toneladas de hidróxido de sodio y 70 toneladas de sulfuro de sodio semanalmente.

J. Distribución en planta

Teniendo en cuenta el requerimiento de superficie de cada uno de los espacios destinados a la planta, se obtuvo el consolidado que se presenta en la tabla 8, el cual da cuenta de la superficie requerida para cada uno de ellos y el total que requiere la planta para su operación, concretamente una superficie de 1.021 m².

Nombre	Área (m ²)
Almacén de materia prima	149,18
Almacén de producto terminado	22,18
Oficina de mantenimiento	8,5
Área de producción	670,77
Comedor	19
Modulo administrativo (Calidad, RRHH, Gerencia)	27
Oficina de producción	8,5
Baños y vestidores	12
Zona de Carga	52
Zona de descarga	52
Total de la planta	1021

Tabla 7. Consolidado de áreas y lados
Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar una evaluación multicriterio y elegir la opción adecuada de distribución de las superficies de cada área indicada anteriormente, se elaboró el *layout* final de la disposición en planta, representado en la figura 5, realizando los ajustes necesarios de acuerdo con la superficie calculada dispuesta para el funcionamiento correcto de la planta.

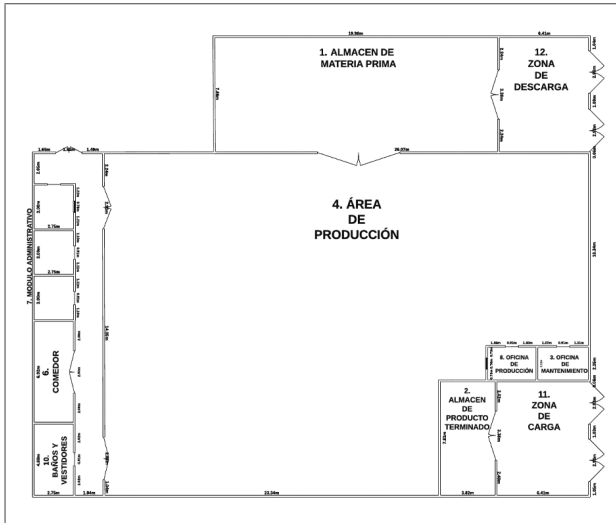


Figura 5. Layout de la planta
Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de la superficie requerida por el área de producción, equivalente a 670,77 m², se decidió desarrollar la simulación del proceso en el programa Flexsim, tal como se muestra en la figura 6, con el fin de determinar la organización de las máquinas en el espacio físico y el correcto funcionamiento de la operación.

K. Simulación de planta de producción

De acuerdo con [25], la simulación o modelado de producción hace referencia a la descripción de problemas industriales con el objetivo de facilitar la toma de decisiones respecto a la cantidad de recursos asignados durante cada paso del proceso en un horizonte de tiempo determinado.

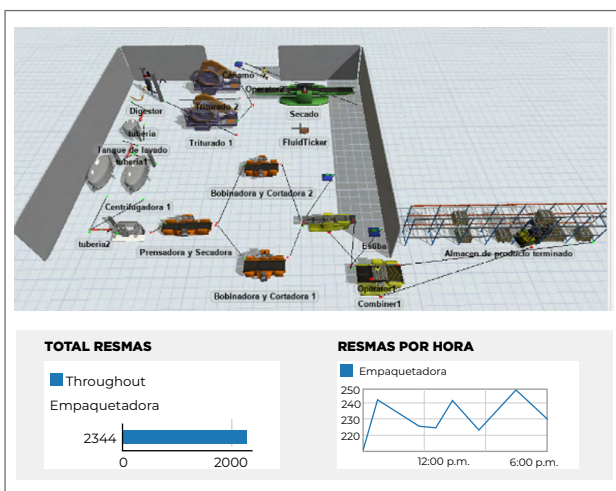


Figura 6. Modelado en Flexsim
Fuente: Elaboración propia.

Con base en la simulación de producción, para la investigación se validaron los flujos de tiempo de producción, los espacios requeridos para cada máquina y las unidades producidas por turno de trabajo. De igual manera, mediante la simulación de Flexsim, se validaron los diferentes *layouts* de la propuesta, diseñados como se muestra en la figura 6. Así, se determinó una cantidad de resmas producidas por día de 2.344.

L. Estructura organizacional

Para la operación de la planta, teniendo en cuenta los diferentes espacios descritos en apartados previos, se planteó la estructura organizacional expuesta en la figura 7.

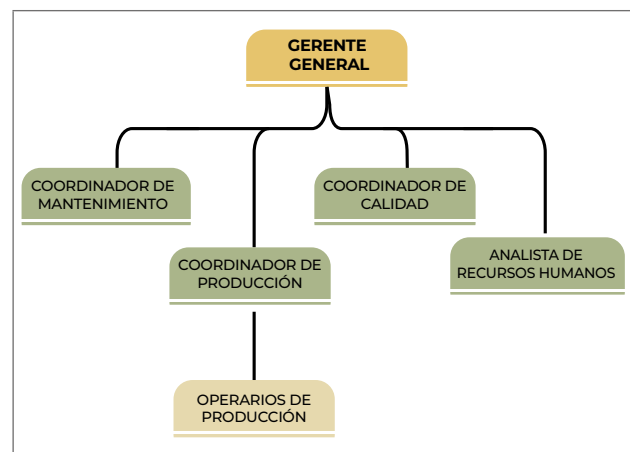


Figura 7. Estructura organizacional.
Fuente: Elaboración propia.

En la estructura organizacional propuesta, se consideran los cargos de gerente general, coordinador de calidad y analista de recursos humanos, ubicados en el módulo administrativo; el coordinador de mantenimiento, para la oficina de mantenimiento; el coordinador de producción, ubicado en la oficina de producción, y los diferentes operarios, ubicados en los almacenes (materia prima y producto terminado), la zona de producción y las zonas de carga y descarga.

VI. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

Esta sección tiene como finalidad establecer los costos de implementación y puesta en marcha del proyecto, comprendidos en la estructura de costos, que contiene costos directos de producción, costos indirectos de producción y otros costos asociados al proceso de fabricación de papel a partir del cáñamo industrial.

Se describen los costos de producción que hacen referencia a materia prima e insumos, mano de obra directa e indirecta y gastos administrativos. Los costos y gastos asociados se calcularon para el año 2022, año en el cual se planeó la puesta en marcha de la planta.

Es importante mencionar que todos los costos relacionados con respecto a insumos y materias primas pueden tener una variación en el momento de la implementación de la propuesta; por tanto, cabe aclarar que todos los datos fueron consultados entre junio y julio de 2022.

La distribución de costos asociados a la implementación de la estrategia de operaciones se determina en la figura 8, estableciendo un costo total de puesta en marcha equivalente a 27.187.431.680,58 COP.

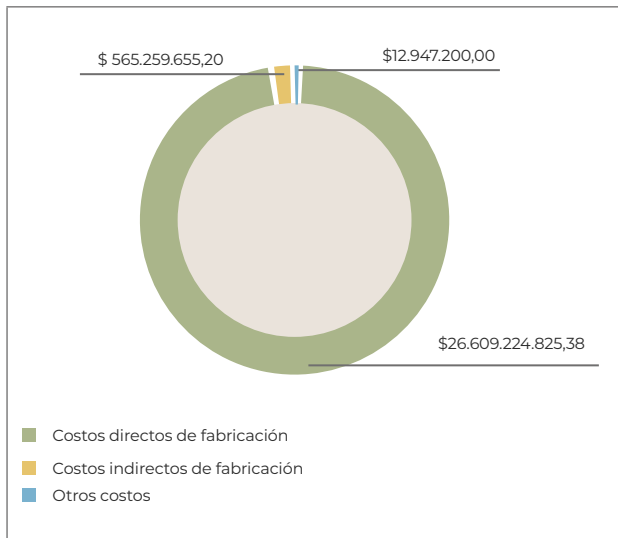


Figura 8. Estructura de costos de la estrategia de operaciones del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

A. Costo de una resma de papel

En este caso, para finalizar la propuesta, es clave conocer el costo de producción por resma de papel. Para ello, se consideraron las resmas totales a producir que se describen en el apartado G de la estrategia, “Planeación de producción”, en la tabla 4, donde se indica que la cantidad de resmas a producir anualmente es de 562.284. Por tanto, el cálculo teniendo en cuenta los costos totales anuales entre la cantidad de resmas totales, arroja un costo de producción por resma de 48.352 COP. Dicho valor es elevado en el primer año de la propuesta.

VII. CONCLUSIONES

La propuesta que se presenta en este artículo es respetuosa con la regulación nacional vigente, pues busca cumplir con las normas técnicas, ambientales y legales durante todo el proceso productivo y de transformación del cáñamo. Además, contribuye al desarrollo sostenible y agroindustrial de Asocáñamo.

De acuerdo con los cálculos técnicos de diseño de la capacidad de la planta, esta operaría a un 75 % de su capacidad máxima de diseño; por lo tanto, si se quisiera aumentar la cantidad de toneladas a producir por día, queda un 25 % disponible para aumentar su capacidad de producción y disminuir los costos por resma.

El análisis de los costos de puesta en marcha de la planta de producción y del valor unitario por resma muestra que estos son elevados durante el primer año, a causa de dos factores claves. El primero es el costo del hidróxido de sodio, materia prima que no se produce en Colombia y, por ende, debe ser importada. El segundo es el costo de compra de maquinaria y equipos. Estos dos componentes impactan directamente en el costo por unidad de resma.

Mediante el uso de herramientas de ingeniería, como el simulador de Flexsim fue posible llevar a cabo la validación de las variables de producción (unidades producidas al día por máquina, toneladas de cáñamo a procesar y procesos críticos), con el fin de estimar variables teóricas.

Se recomienda establecer una alianza con un proveedor internacional para reducir el costo de la materia prima hidróxido de sodio, con el fin de impactar de manera directa en el costo unitario por unidad de resma.

Al requerirse maquinaria para el proceso productivo, no solo basta con enfocarse en los precios y la calidad, también deben tenerse en cuenta factores importantes que son externos a la maquinaria, tales como el servicio de repuestos, la instalación y puesta en marcha y la garantía, entre otros aspectos que corresponden a un servicio preventa y posventa.

La elaboración de un prototipo a nivel de laboratorio para proyectos de esta tipología garantiza beneficios, desde la experimentación hasta la obtención de mejores resultados en la medición de las características finales y calidad del papel.

El proyecto puede definirse como viable técnicamente, puesto que la producción de papel a base de cáñamo es un proceso amigable con el medio ambiente, ya que el crecimiento de la planta es notablemente más rápido que el de la madera, materia prima tradicional en la producción de papel.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Asocáñamo por brindar la oportunidad de llevar a cabo este estudio para difusión y uso de diversos actores de cadena productiva.

REFERENCIAS

- [1] Environmental Paper Network, “The state of the global paper industry”, 2018. [En línea]. Disponible en: https://environmentalpaper.org/wp-content/uploads/2018/04/StateOfTheGlobalPaperIndustry2018_FullReport-Final-1.pdf.
- [2] Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón, “Informe de sostenibilidad”, Bogotá: ANDI, 2017.
- [3] Asocáñamo, “Asocáñamo”, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://asocanamo.com/gutenberg/>.
- [4] Portafolio, “Papel y Cartón un negocio que no muere”, 10 de diciembre 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/papel-y-carton-un-negocio-que-no-muere-524269>.
- [5] F. Arias Jiménez, “Industria gráfica advierte sobre escasez de papel”, *El Colombiano*, 17 de agosto 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcolombiano.com/negocios/empresas/sector-grafico-en-colombia-se-queda-sin-papel-PA15407811>.
- [6] M. Arias, “Fabricación manual de papel con fibras vegetales”, *Rev. Digit. Práct. Docente*, pp. 369-380, 2007.
- [7] F. R. Arencibia-Pardo, B. Peña-Rodríguez, y J. F. Goyeneche-Rosas, “La fabricación del papel de cáñamo: eco alternativa sostenible en zonas de alta vulnerabilidad”, *Mundo Fesc*, vol. 10, n.º 19, pp. 67-79, ene. 2020.
- [8] J. V. Pastrana, “Diseño de una planta para la fabricación de derivados de cannabis en el mercado emergente colombiano y evaluación de eficiencia del layout propuesto”, trabajo de grado, Fac. Ing. Ind., Univ. Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/36809>
- [9] J. C. Manosalva Barrera, J. A. Dávila, y J. A. Quintero, “Estudio holístico de la producción de papel a partir de cáñamo industrial en el contexto colombiano”, *Rev. Mutis*, vol. 10, n.º 2, dic. 2020, doi: 10.21789/22561498.1721.
- [10] P. Medina, “Análisis de ciclo de vida de la producción de papel a partir de cáñamo en el contexto Colombiano”, trabajo de grado, Fac. Ing. Ind., Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/28060>
- [11] R. Aguado, Q. Tarrés, P. Mutjé, M. À. Pèlach, y M. Delgado-Aguilar, “Non-covalently cationized nanocellulose from hemp: Kinetics, key properties, and paper strengthening”, *Industrial Crops and Products*, vol. 188, Art. 115582, nov. 2022, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115582.
- [12] N. Hammami, J.-P. Privé, y G. Moreau, “Spatiotemporal variability and sensitivity of industrial hemp cultivars under variable field conditions”, *Eur. J. Agron.*, vol. 138, Art. 126549, ago. 2022, doi: 10.1016/j.eja.2022.126549..
- [13] M. Leoni, S. Musio, M. Croci, K. Tang, G. M. Maganini, C. Thouminot, J. Müssig y S. Amaducci, “The effect of agronomic management of hemp (*Cannabis sativa* L.) on stem processing and fibre quality”, *Ind. Crops Prod.*, vol. 188, Art. 115520, nov. 2022, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115520.
- [14] F. Ahmed, Z. Islam, S. Mahmud, E. Sarker y R. Islam, “Hemp as a potential raw material toward a sustainable world: A review”, *Heliyon*, vol. 8, n.º 1, Art. e08753, ene. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e08753.
- [15] X. Gabrionet al., “Influence of industrial processing parameters on the effective properties of long aligned European hemp fibres in composite materials”, *Composites Part A: Appl. Sci. Manuf.*, vol. 157, p. 106915, jun. 2022, doi: 10.1016/j.compositesa.2022.106915

- [16] F.-J. Ferrández-Pastor, J. Mora-Pascual, y D. Díaz-Lajara, “Agricultural traceability model based on IoT and Blockchain: Application in industrial hemp production”, *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 29, Art. 100381, sep. 2022, doi: 10.1016/j.jii.2022.100381.
- [17] Congreso de Colombia, *Ley 1787 del 2016*,. [En línea]. Disponible en: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30021759>
- [18] Ministerio de Salud y Protección Social. *Decreto 613 de 2017*. [En línea]. Disponible en: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30030463>.
- [19] Ministerios de Justicia y del Derecho, Agricultura y Desarrollo Rural y Salud y Protección Social. *Resolución 227 del 2022*. [En línea]. Disponible en: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30044001>
- [20] IBM, “Tamaños y dimensiones de página”, Content Manager on Demand for Multiplataforms, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.ibm.com/docs/es/cmofm/9.5.0?topic=SSEPCD_9.5.0/com.ibm.ondemand.mp.doc/arsa0449.htm
- [21] Metro Cuadrado, “Bodega en Arriendo, El Troncal”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.metrocuadrado.com/inmueble/arriendo-bodega-cali-el-troncal-4-banos-4-garajes/12639-2600685>.
- [22] ChemicalSafetyFacts, “Hidróxido de sodio”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/hidroxido-de-sodio/>.
- [23] Solechem , “Sulfuro de sodio (Zirnik)”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.solechem.com/es/u/sodio-azufre-zirnico>
- [24] GlobalComposites, “Licor blanco / White liquor”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.globalcomposites.es/glossary/licor-blanco-white-liquor>
- [25] C. Sánchez Guzmán, “Diseño de modelos de procesos productivos en ingeniería por simulación”, *Paideia XXI*, vol. 4, n.º 5, 2014, doi: 10.31381/paideia.v4i5.908.