



Propuesta de aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal

Autores

Fernando Arango Vargas
Juan Esteban García Pinzón

Tutor

Mgs. Elisa Del Carmen Navarro Romero

Universidad El Bosque
Programa de Ingeniería Industrial
Línea de investigación en Diseño, Gestión e Ingeniería de Operaciones,
Bogotá D.C., Colombia
Mayo 2025

Contenido

Resumen	1
Introducción.....	2
1. Formulación Del Proyecto	4
1.1 Problema De Investigación.....	4
1.1.1 Identificación	4
1.1.2 Descripción	5
1.1.3 Planteamiento.....	9
1.2 Justificación	10
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo General.....	10
1.3.2 Objetivos Específicos.....	10
1.4 Marco Referencial.....	10
1.4.1 Antecedentes	10
1.4.2 Marco Teórico.....	12
1.4.3 Marco Legal	15
1.5 Metodología.....	16
1.6 Alcances Y Resultados	18
2. Caracterización y Diagnóstico De Los Residuos Generados En La Empresa Ritacuba Forestal.....	19
2.1 Determinación De La Cantidad De Madera Aprovechable.....	19
2.2 Información De Los Procesos Operativos.....	20
2.3 Caracterización De Los Residuos Forestales De La Empresa Ritacuba Forestal.....	23
2.4 Cuantificación De Los Residuos	29
2.4.1 Aproximación De La Cantidad De Retal	29
2.4.2 Aproximación De La Cantidad De Aserrín.....	33
2.4.3 Aproximación De La Cantidad De Viruta.....	35
2.5 Análisis Del Ciclo De Vida Del Producto.....	36
2.5.1 Extracción De Materia Prima	36
2.5.2 Transporte Interno	37
2.5.3 Transformación De Madera.....	37
2.5.4 Gestión De Residuos	38

2.6 Hallazgos	39
3. Acciones Para El Aprovechamiento De Los Residuos Forestales De La Empresa Ritacuba Forestal	42
3.1 Operaciones Que Agregan Valor En La Transformación De La Madera	42
3.2 Acciones De Aprovechamientos De Residuos Forestales.....	44
3.2.1 Tablillas A Partir De Retal	44
3.2.2 Producción De Carbón Vegetal.....	48
3.2.3 Comercialización De Viruta Y Aserrín.	52
3.2.4 Pellets A Base De Aserrín Y Viruta.....	53
3.3 Matriz Decisional	57
3.4 Hallazgos	60
4. Análisis Costo-beneficio De Las Propuestas De Aprovechamiento De Residuos	62
4.1 Medida De Tablillas A Partir De Retal	62
4.2 Costos De La Propuesta De Aprovechamiento De Residuos De Tablillas A Partir De Retal	63
4.3 Proyección De Ventas De Tablillas A Partir De Retal.....	63
4.4 Costos De La Propuesta De Aprovechamiento De Residuos De Comercialización De Aserrín Y Viruta	64
4.5 Proyección De Ventas De Aserrín Y Viruta.....	64
4.6 Costos Totales De Las Propuestas Para El Aprovechamiento De Los Residuos	65
4.7 Retorno De La Inversión	65
4.8 Medición De Aprovechamiento De Residuos.	66
4.9 Beneficios Ambientales	67
5. Conclusiones Y Recomendaciones	68
5.1 Conclusiones.....	68
5.2 Recomendaciones	68
6. Referencias.....	70
7. Anexos	72

Lista de tablas

Tabla 1. Relación de cantidad de residuos.....	7
Tabla 2. Escala de valoración de manejo de los residuos.....	9
Tabla 3. Aproximación metodológica.....	17
Tabla 4. Cantidad de árboles por especie.....	19
Tabla 5. Caracterización de residuos forestal de la empresa Ritacuba Forestal.....	28
Tabla 6. Promedio ancho de Trozas.....	30
Tabla 7. Cálculo de Radios.....	31
Tabla 8. Volumen cono truncado.....	31
Tabla 9. Volumen Paralelepípedo interno del cono truncado.....	31
Tabla 10. Diferencia de volúmenes entre Paralelepípedo y Cono truncado.....	32
Tabla 11. Kilogramos de residuos.....	32
Tabla 12. Promedio Kilogramos de residuos.....	32
Tabla 13. Cantidad Teórica de residuos.....	33
Tabla 14. Residuo de Aserrín Cortes de sierra.....	33
Tabla 15. Kilogramos de Aserrín por sierra.....	33
Tabla 16. Cantidad Teórica de residuos de aserrín por sierra.....	34
Tabla 17. Residuo de aserrín por cortes de sierra.....	34
Tabla 18. Kilogramos de aserrín por Sinfín.....	34
Tabla 19. Cantidad teórica de residuos de aserrín por sinfín.....	34
Tabla 20. Porcentaje de madera machimbreada.....	35
Tabla 21. Cubicación porcentual para Machimbre.....	35
Tabla 22. Volumen de viruta por machimbreado.....	35
Tabla 23. Peso viruta machimbreado.....	36
Tabla 24. Cuantificación de residuos en 1 Hectarea.....	39
Tabla 25. Cuantificación de residuos en la plantación.....	39
Tabla 26. Porcentaje de residuos totales.....	40
Tabla 27. Operaciones que agregan valor en los procesos operativos.....	42
Tabla 28. Matriz Decisional.....	58
Tabla 29. Cálculo matriz de ponderación tablillas.....	59
Tabla 30. Cálculo matriz de ponderación carbón vegetal.....	59

Tabla 31. Cálculo matriz de ponderación comercialización de viruta y aserrín.....	59
Tabla 32. Cálculo matriz de ponderación pellets.....	60
Tabla 33. Medida de tablillas	62
Tabla 34. Costos Tablillas a base de retal por Hectárea	63
Tabla 35. Proyección de ventas de tablillas por Hectárea.....	63
Tabla 36. Costo comercialización de aserrín y viruta por Hectárea.....	64
Tabla 37. Proyección ventas comercialización de aserrín y viruta	64
Tabla 38. Flujo neto de las estrategias de aprovechamiento por Hectárea	65
Tabla 39. Flujo de caja para la propuesta de aprovechamiento.....	66
Tabla 40. Retorno de la inversión.....	66

Lista de figuras

Figura 1. Plantaciones forestales comerciales en (Ha) por región en Colombia año 2022.....	5
Figura 2. Emplazamiento del terreno Ritacuba Forestal ubicada en Güicán de la Sierra.....	6
Figura 3. Residuos ubicados en la empresa Ritacuba Forestal.....	7
Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de cultivo, operación y distribución.....	8
Figura 5. Balance de masa del producto “Machimbre”.....	8
Figura 6. Diagrama Job Shop.....	21
Figura 7. Diagrama de Recorrido de la empresa Ritacuba Forestal	22
Figura 8. Simbología de diagrama de recorrido en Ritacuba Forestal.....	22
Figura 9. Caracterización del proceso de tala.....	23
Figura 10. Caracterización del proceso de desramado.....	24
Figura 11. Caracterización del proceso de trozado.....	24
Figura 12. Caracterización del proceso de desorillado.....	25
Figura 13. Caracterización del proceso de cuartoniado.....	26
Figura 14. Caracterización del proceso de procesado.....	26
Figura 15. Caracterización del proceso de machimbreado.....	27
Figura 16. Cono truncado.....	30
Figura 17. Medida de diámetros de la troza.....	30
Figura 18. Ciclo de vida del producto.....	36
Figura 19. Inventario de entradas y salidas en la extracción de materia prima.....	37
Figura 20. Inventario de entradas y salidas del transporte interno.....	37
Figura 21. Inventario de entradas y salidas en la transformación de madera.....	38
Figura 22. Inventario de entradas y salidas gestión de residuos.....	38
Figura 23. Diagrama de bloques.....	41
Figura 24. Porcentaje de operaciones <i>OAV</i> y <i>ONAV</i> en los procesos operativos.....	43
Figura 25. Acciones a tomar con las <i>OAV</i> y <i>ONAV</i>	43
Figura 26. Residuo retal.....	44
Figura 27. Diagrama de flujo estrategia de aprovechamiento tablillas.....	45
Figura 28. Ciclo de vida del producto tablillas.....	46
Figura 29. Inventario de entradas y salidas de la clasificación del retal.....	46
Figura 30. Inventario de entradas y salidas en el procesado.....	47

Figura 31. Inventario de entradas y salidas en el transporte.....	47
Figura 32. Hornos de producción de carbón vegetal.....	48
Figura 33. Diagrama de flujo estrategia de aprovechamiento carbón vegetal.....	49
Figura 34. Ciclo de vida del producto carbón vegetal.....	50
Figura 35. Inventario de entradas y salidas en el transporte.....	50
Figura 36. Inventario de entradas y salidas en la carbonización.....	51
Figura 37. Inventario de entradas y salidas en el enfriamiento.....	51
Figura 38. Diagrama de flujo estrategia de aprovechamiento comercialización de viruta y aserrín.....	52
Figura 39. Ciclo de vida de la comercialización de aserrín y viruta.....	52
Figura 40. Inventario de entradas y salidas en el transporte.....	53
Figura 41. Evolución de la producción de pellets a nivel mundial.....	54
Figura 42. Distribución de la producción mundial de pellets.....	54
Figura 43. Diagrama de flujo estrategia de aprovechamiento producción de pellets.....	55
Figura 44. Ciclo de vida del producto pellets.....	55
Figura 45. Inventario de entradas y salidas del secado.....	56
Figura 46. Inventario de entradas y salidas en la trituración.....	56
Figura 47. Inventario de entradas y salidas en el pelletizado.....	57

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje aprovechamiento residuos.....	16
Ecuación 2. Volumen.....	20
Ecuación 3. Volumen de cono truncado.....	30
Ecuación 4. Radio.....	31
Ecuación 5. Volumen de cono truncado.....	31
Ecuación 6. Porcentaje de eficiencia de producción.....	40
Ecuación 7. Porcentaje de aprovechamiento de retal.....	66
Ecuación 8. Porcentaje de aprovechamiento de aserrín y viruta.....	66

Lista de anexos

Anexo A. Tablilla corta de la estrategia seleccionada.....	72
Anexo B. Lona de aserrín y viruta de 25 Kg.....	72
Anexo C. Machimbre.....	73
Anexo D. Varillones.....	73
Anexo E. Costos de producción de Carbón Vegetal.....	73
Anexo F. Costos de producción Pellets a base de aserrín y viruta.....	74
Anexo G. Estimación de la demanda de las estrategias de aprovechamiento.....	74
Anexo H. Matriz de evaluación de impacto ambiental (Leopold).....	75

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
EVALUACION TRABAJO DE GRADO
FORMATO PGC-F11 - Última actualización 2016-2

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO
2025-1

FECHA: JUEVES 8 DE MAYO 2025 2:00 PM	TG: 6
TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO: Propuesta de aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal	
ESTUDIANTE 1: ARANGO VARGAS FERNANDO	CÓDIGO: 1019149786
ESTUDIANTE 2: GARCIA PINZON JUAN ESTEBAN	CÓDIGO: 1052416934
ESTUDIANTE 3:	CÓDIGO:
DIRECTOR TRABAJO DE GRADO: ELISA NAVARRO	
VEEDOR:	CÓDIGO:
JURADO 1: SANDRA BAUTISTA	
JURADO 2: NUBIA PATARROYO	
NOTA OBTENIDA	4.5 CUANTRO PUNTO CINCO

Maria Claudia Navarnera S.

Coordinación Trabajo de Grado

Resumen

El presente proyecto se desarrolló con el propósito de brindar una propuesta de aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera o también conocidos como residuos forestal de la empresa Ritacuba forestal, organización que se dedica al aprovechamiento forestal de una plantación comercial de pino Pátula de 40 hectáreas ubicado en el municipio de Güicán de la Sierra en el departamento de Boyacá.

La base para iniciar con el proyecto radica en que la organización esta almacenando los residuos forestales generados en los procesos operativos. Estos residuos tienen un potencial de aprovechamiento significativo y es por ello que se utilizaron diferentes herramientas de ingeniería y se realizaron diferentes cálculos para determinar la cantidad de residuos forestales que se obtienen en la transformación de la madera, para posteriormente proponer acciones de aprovechamiento y por último realizar el análisis costo beneficio de la propuesta seleccionada, para determinar si se puede tener un beneficio económico para la organización, además de un beneficio ambiental para el ecosistema.

Palabras clave

Aprovechamiento, Residuos forestales, Procesos Operativos, Transformación.

Introducción

La actividad forestal en Colombia tiene relevancia económica y ambiental, especialmente en lo que respecta a la industria maderera. No obstante, uno de los retos más importantes es el manejo adecuado de los derivados del proceso de transformación de la madera. Estos residuos, como el aserrín, la viruta y el retal, suelen acumularse en grandes cantidades y, en muchos casos, no se aprovechan de manera eficiente, lo que representa una pérdida tanto para las empresas como para el medio ambiente.

En el capítulo 1 se plantea la formulación del proyecto, iniciando con una contextualización sobre la actividad forestal en Colombia y su impacto en la industria maderera. Posteriormente, se describe a Ritacuba Forestal, en donde se identifica la problemática asociada con el almacenamiento de los derivados sólidos del proceso de transformación de la madera, los cuales son aserrín, viruta y retal. A partir de esta problemática, se establecen los objetivos y se presenta la metodología utilizada para abordar el estudio.

Más adelante en el capítulo 2, se desarrolla el primer objetivo específico enfocado en la caracterización de los derivados del proceso de transformación de la madera. Se realiza un diagnóstico de la situación actual, analizando los procesos de la empresa para determinar la cantidad de residuos generados y su potencial de aprovechamiento dentro de las 40 hectáreas de plantación forestal de pino Pátula.

Las acciones de aprovechamiento para estos derivados se detallan en el capítulo 3, donde se presentan diversas opciones evaluadas mediante herramientas de ingeniería. Se analizan distintas alternativas y se ponderan en función de factores como impacto ambiental, costos, y demanda del mercado, con el fin de seleccionar la opción más viable para la empresa.

Posteriormente en el capítulo 4, se presenta un análisis de costos y beneficios de las propuestas seleccionadas, evaluando su viabilidad económica. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, proporcionando lineamientos para la implementación de las estrategias de aprovechamiento de los derivados sólidos del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal.

A partir del diagnóstico que se realizó en Ritacuba Forestal, se logró identificar que el almacenamiento excesivo de residuos representa un desafío operativo y ambiental. Sin embargo, las estrategias de aprovechamiento propuestas permiten una reducción significativa de estos residuos, logrando reutilizar el 60% de retal y el 85% de aserrín y viruta, que equivale

aproximadamente a más de 10.000 toneladas aprovechadas. Estas acciones además de disminuir los riesgos y el impacto ambiental, generan beneficios económicos, con ingresos estimados en \$248.500.000 anuales. Para poder garantizar el éxito de estas estrategias, es importante establecer un monitoreo continuo de resultados y fomentar la mejora continua dentro de la organización, ya que esto puede potenciar nuevas oportunidades de negocio y así consolidar la sostenibilidad de Ritacuba Forestal a largo plazo.

1. Formulación Del Proyecto

En este capítulo se aborda la formulación del proyecto de investigación, donde se presentan la justificación, los objetivos y el alcance de la propuesta de aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal.

1.1 Problema De Investigación

Para definir el problema de investigación del proyecto, se presenta primero un análisis del sector de actividad forestal en Colombia. Posteriormente, se realiza una breve descripción de la empresa Ritacuba Forestal, contextualizando su operación en el aprovechamiento de la plantación forestal de pino Pátula. Además, se detalla la problemática relacionada con el almacenamiento y la falta de aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera, como aserrín, viruta y retal.

1.1.1 Identificación

La actividad relacionada con el sector forestal en Colombia, cuenta con un potencial de aproximadamente 24 millones de hectáreas que son adecuadas para su explotación. Sin embargo, actualmente solo se está aprovechando un porcentaje muy bajo, que equivale al 1,9% de ese total, lo que representa alrededor de 450 mil hectáreas en uso.

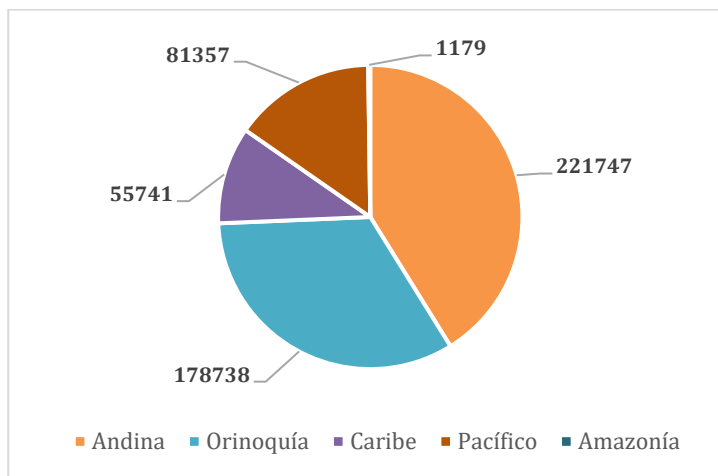
Adicionalmente, es importante destacar que el sector forestal contribuye de manera modesta a la economía del país, siendo responsable de aproximadamente el 0,2% del Producto Interno Bruto (PIB) de Colombia. (Feria líder internacional para el procesamiento de madera, 2023).

El 53% de las extensiones forestales se localizan en los departamentos de Antioquia, Vichada y Meta, en donde las especies más cultivadas, como *la Acacia Mangium*, *el Pino Pátula*, *el Pinus Caribaeae* y *el Eucalipto Grandis*, representan el 41% de las áreas totales de plantación. El 79% de la madera movilizada en el país proviene de plantaciones forestales de carácter comercial, mientras que el resto se origina en la explotación de bosques naturales (Boletín estadístico forestal, 2022).

La figura 1, muestra el área dedicada a las plantaciones comerciales en Colombia. Es importante destacar que el proyecto actual en Güicán de la Sierra se desarrolla en la zona Andina, esta región se destaca por tener la mayor extensión de hectáreas destinadas a plantaciones comerciales en el país. Sin embargo, es relevante mencionar que Boyacá ocupa el decimoséptimo

lugar entre los departamentos con un menor aprovechamiento de recursos forestales, a pesar de encontrarse dentro de esta rica región forestal.

Figura 1. Plantaciones forestales comerciales en (Ha) por región en Colombia año 2022



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2022)

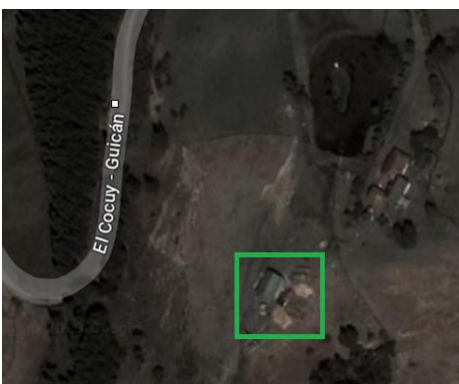
1.1.2 Descripción

La empresa Ritacuba forestal, formalizada en el año 2021, se encarga de la explotación de una plantación de pino Pátula en el norte de Boyacá, en el municipio de Güicán de la Sierra, esta cuenta con una extensión de 40 hectáreas sembradas hace aproximadamente 20 años. El procesamiento de la madera incluye desde la tala de los árboles, hasta la obtención de los productos a elaborar, los cuales son principalmente machimbre de piso y techo, tablillas de diferentes medidas, varillones, duelas, entre otros.

Actualmente cuenta con solo una sede y se trabaja sobre pedidos de los clientes en el taller de máquinas donde se realiza la transformación de la madera, el cual se encuentra en la zona donde está la plantación forestal y es operado por un promedio de 10 trabajadores, dependiendo de la producción que se requiera.

A continuación se presenta el emplazamiento, que según Sánchez (2022) consiste en elegir estratégicamente la ubicación geográfica más conveniente para llevar a cabo las operaciones de la organización.

Figura 2. Emplazamiento del terreno Ritacuba Forestal ubicada en Güicán de la Sierra



Fuente: Google Mapa (2023)

El proyecto de explotación forestal se desarrolla en una vía secundaria que conecta el municipio de Güicán de la Sierra con el municipio del Cocuy. A lo largo de la carretera, se pueden observar plantaciones de pinos que crecen en las laderas, específicamente en el lado izquierdo.

Una vez que los pinos han sido talados, los troncos son transportados a un taller ubicado en el recuadro verde de la figura 2. En este taller, se lleva a cabo el proceso de transformación de la madera con el fin de obtener diversos productos. Además, este lugar funciona como punto de carga de los camiones, que luego transportarán los productos terminados a los clientes.

La problemática que se evidencia en la empresa Ritacuba Forestal se relaciona con los residuos generados en la producción (Aserrín, viruta, retal), los cuales están siendo almacenados al lado del aserrío, sin darles ninguna utilización. La acumulación de los residuos no solo afecta la rentabilidad de la empresa, sino que también puede tener consecuencias legales y ambientales negativas, por las entidades que vigilan estas actividades como es la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), misma entidad que autorizó la explotación forestal de la plantación.

Los diferentes tipos de residuos sólidos que se generan durante la producción en la empresa Ritacuba Forestal, son el aserrín¹, viruta² y retal³. La figura 3 muestra cómo se almacenan los residuos generados en la producción en la empresa Ritacuba Forestal.

¹ Aserrín: El aserrín es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de esta. (Serret-Guasch, Giralt-Ortega, & Quintero-Ríos, 2016).

² Viruta: Es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral, extraídas mediante un cepillo u otras herramientas, como brocas, al realizar trabajos de cepillado, desbastado o perforación. (Serret-Guasch, Giralt-Ortega, & Quintero-Ríos, 2016).

³ Retal: Restos de madera de forma y dimensiones variadas que se generan sobre todo en las empresas relacionadas con el sector de la madera. (Traed Madera, 2018).

Figura 3. Residuos ubicados en la empresa Ritacuba Forestal



Fuente: Autores con base en información de la empresa (2023)

Según información de la empresa Ritacuba Forestal, en los dos años de producción que se han llevado a cabo, se ha acumulado un aproximado de residuos que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1. Relación de cantidad de residuos

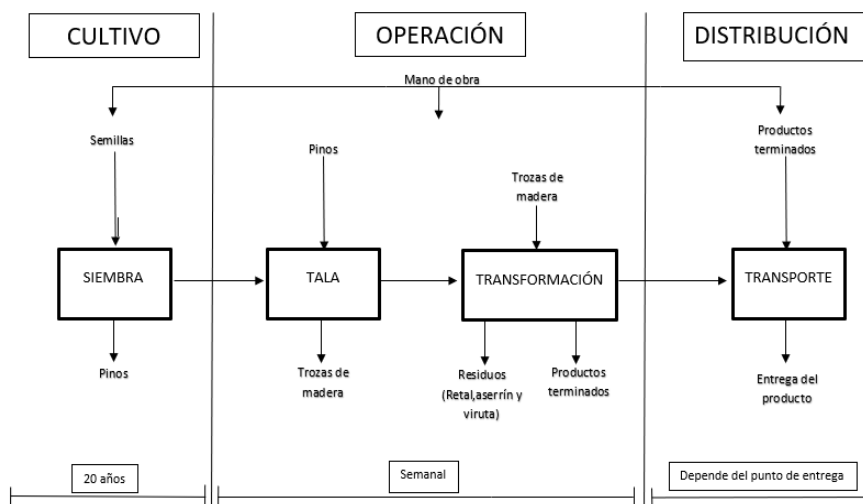
Residuo	Cantidad (Tn)
Retal	85
Aserrín	46
Viruta	32

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2023)

De acuerdo con la información presentada en la tabla anterior, se puede observar que la cantidad de residuos almacenados en la empresa es de aproximadamente 163 toneladas, de las cuales el retal tiene el porcentaje más significativo con un 52% aproximadamente, seguido del aserrín que representa un total aproximado de 28% y viruta con un 20%.

En la figura 4 se muestra el diagrama de bloques en donde se integran los diferentes procesos de la empresa, además que se puede evidenciar que la mayoría de los problemas relacionados con residuos se presenta en el proceso de transformación de la madera que se da en la etapa de operación.

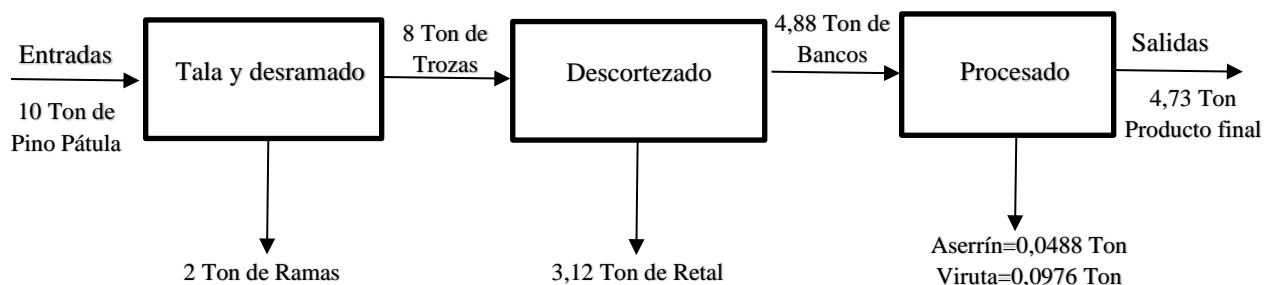
Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de cultivo, operación y distribución en Ritacuba Forestal



Fuente: Autores con base en información de la empresa (2023)

La figura 5, presenta el balance de masa del producto denominado "machimbre", el cual se obtiene generando tres tipos de residuos sólidos (retal, aserrín y viruta). Los datos muestran que al entrar 10 toneladas de pino Pátula para la producción de machimbre, se generan aproximadamente 5.27 toneladas de residuos, mientras que el rendimiento aproximado del producto es de 4.73 toneladas. Se puede evidenciar que en la elaboración de este producto se generan más residuos que producto final.





Figura 5. Balance de masa del producto "Machimbre"



Fuente: Autores con base en información de la empresa (2023)

En la tabla 2, se muestra una escala de valoración de residuos que se estima según la cantidad de estos mismos en la empresa Ritacuba Forestal, identificándolos de la siguiente manera: Malo, Regular, Bueno y Muy bueno. Esto permitirá realizar un diagnóstico del manejo de los residuos generados en la producción para así proponer estrategias de aprovechamiento.

Tabla 2. Escala de valoración de manejo de los residuos

	76%-100% Se evidencia un manejo de residuos MALO
	51%-75% Se evidencia un manejo de residuos REGULAR
	26%-50% Se evidencia un manejo de residuos BUENO
	0%-25% Se evidencia un manejo de residuos MUY BUENO

Fuente: Autores basados en Contreras y Castañeda (2018)

Según la escala de valoración, la empresa Ritacuba Forestal tiene un manejo de los residuos clasificado como MALO, debido a que todos los residuos generados en la transformación de la madera se almacenan sin darle ninguna utilización.

Las herramientas presentadas permiten llegar a la conclusión que la empresa Ritacuba forestal tiene una producción de residuos significativa y que el manejo de estos es inadecuado. Una posible solución a la problemática de la empresa sería la implementación de propuestas de aprovechamiento de residuos convencional o no convencional que está relacionada con la definición de bioeconomía circular es un modelo económico que integra los principios de la economía circular con el uso sostenible de recursos biológicos renovables. Este enfoque busca maximizar la eficiencia y la regeneración de los recursos naturales, promoviendo su reutilización (Berbel, 2021).

Estos residuos generados en la transformación de la madera pueden aprovecharse como otros subproductos, ya que ofrecen oportunidades de recuperación que podrían convertirse en una nueva fuente de ingresos para la empresa.

1.1.3 Planteamiento

De acuerdo con el problema que se plantea anteriormente se determina la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué acciones se deben considerar para el aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal?

1.2 Justificación

Este proyecto tiene como objetivo proporcionar a la empresa Ritacuba Forestal una alternativa que le permita el aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera, en específico, el aserrín, la viruta y el retal.

Desde una perspectiva académica, este estudio responde a la importancia que la Universidad el Bosque otorga a la mejora continua de procesos productivos. La ejecución de este proyecto brinda a los estudiantes la oportunidad de aplicar herramientas de ingeniería en un entorno real, enfrentando desafíos industriales y proponiendo soluciones que contribuyan tanto al crecimiento empresarial como al desarrollo del sector forestal. A través de esta experiencia, los estudiantes adquieren conocimientos prácticos y enriquecen su formación académica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal.

1.3.2 Objetivos Específicos

-Realizar una caracterización de los derivados del proceso de transformación de la madera de la empresa Ritacuba Forestal para determinar la cantidad potencialmente aprovechable.

-Establecer las acciones para el aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal.

-Evaluar los costos y beneficios de la propuesta planteada para el aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en empresa Ritacuba Forestal.

1.4 Marco Referencial

1.4.1 Antecedentes

Dentro de los derivados del proceso de transformación de la madera se generan diversos tipos de residuos, incluyendo líquidos, gaseosos y sólidos. Sin embargo, los de mayor interés para el aprovechamiento son los residuos sólidos, como la viruta, el aserrín y el retal o corteza. Estos residuos pueden tener distintos usos y valorizaciones dentro de la cadena productiva, ya sea para

la generación de energía, la fabricación de subproductos o su reutilización en procesos internos (González, 2018).

El aprovechamiento de residuos forestales se ha convertido en un área de interés significativa, impulsada por la necesidad de reducir la dependencia de recursos naturales y fomentar la economía circular. Este enfoque no solo busca minimizar la contaminación y conservar los ecosistemas forestales, sino que también tiene el potencial de generar beneficios económicos y sociales importantes (Sánchez, 2019). Sin embargo, este aprovechamiento enfrenta desafíos considerables en términos de logística, tecnología y regulación.

En relación con esto, se propone el aprovechamiento de los residuos de madera como una alternativa para reducir la contaminación y promover prácticas industriales más sostenibles (González, 2018). Este enfoque resalta la necesidad de reconocer el potencial de estos residuos como valiosa materia prima, en lugar de desecharlos o almacenarlos, como suele ocurrir en algunas empresas madereras.

Un estudio enfocado en los residuos madereros provenientes de la transformación de la madera destaca que estos residuos constituyen entre el 40% y el 60% de la madera aserrada, lo que resalta la importancia de su recuperación para la creación de productos de mayor valor agregado (López, 2019). Este trabajo se centra en diversas aplicaciones, desde energéticas hasta biotecnológicas, y en la producción convencional de tableros, carbón activado y compostaje. Se enfatiza en maximizar el valor y la utilidad de estos residuos para reducir el desperdicio en la industria maderera.

La utilización de residuos forestales en forma de biocarbón ha sido objeto de estudio para mejorar el rendimiento y la calidad de la madera, como se evidencia en investigaciones centradas en árboles de *Acacia Mangium Willd* (Reyes, 2018). Estas exploraciones buscan encontrar soluciones económicamente viables para la utilización de residuos derivados de podas y entresacas en agroecosistemas forestales.

Además, en diferentes regiones se están aplicando prácticas innovadoras para el aprovechamiento de residuos forestales. En Argentina, los bosques xerófilos de caldén producen grandes volúmenes de biomasa residual que, si no se gestionan correctamente, pueden convertirse en un riesgo ambiental debido a su acumulación y alta inflamabilidad. Sin embargo, su aprovechamiento en sistemas productivos puede generar beneficios económicos si se establecen

escalas viables y precios competitivos para los productores agropecuarios (Álvarez Redondo & Ferro Moreno, 2024).

En México, las empresas forestales comunitarias han demostrado que integrar los residuos en cadenas productivas puede aumentar la rentabilidad y sostenibilidad del sector, además de promover la conservación del capital natural mediante prácticas de gobernanza participativa (Zúñiga et al., 2021).

Por último, tecnologías innovadoras como la gasificación por plasma y la cogeneración de energía a partir de biomasa han mostrado ser alternativas viables para convertir residuos forestales en electricidad. Estas soluciones ayudan a reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuyen las emisiones de carbono en sectores industriales clave (Bravo Martín, 2022).

1.4.2 Marco Teórico

1.4.2.1 Derivados del proceso de transformación de la madera

Los residuos forestales son aquellos resultantes de las actividades silvícolas y los aprovechamientos madereros llevados a cabo en el entorno forestal. Estos residuos varían según las diferentes actividades realizadas en la plantación, tales como la tala, la poda, la recolección de madera o la extracción de otros productos forestales. El proceso de aprovechamiento y evaluación de estos residuos, ya que depende de diversos factores, como el tipo de especie forestal, la edad de las plantas, la densidad de la vegetación, así como el diámetro y la altura de las especies (Peña, 2020).

1.4.2.2 Logística Inversa, *Lean Manufacturing*

La Logística Inversa comprende las operaciones relacionadas con la reutilización de productos y materiales incluyendo todas las actividades logísticas de recolección, desensamblaje y proceso de materiales, productos usados, y/o sus partes, para asegurar una recuperación ecológica sostenida (Martínez, 2019). Mientras que Cabeza (2024), afirma que para prolongar el uso de diversos productos en el mercado es de suma importancia el reciclaje y retorno de estos a su punto de origen, esto con el objetivo primordial de aprovecharlos nuevamente en la cadena de suministro, o en última instancia para destruirlos y evitar los impactos ambientales que estos puedan generar al ser desechados. A partir de lo anterior, se identifica una característica esencial de la logística inversa orientada al aprovechamiento de materiales como un proceso de crecimiento

económico y productivo de parte de la empresa, y simultáneamente, provechoso para el cuidado de los recursos y la naturaleza.

El propósito fundamental de la logística inversa es establecer directrices y metas que permitan la implementación de procesos eficientes y efectivos en la gestión de productos y materiales recuperados. En primer lugar, se busca llevar a cabo una planificación, ejecución y control adecuados del flujo de productos, información y dinero, con el objetivo de agregar valor y reducir costos en los procedimientos de logística inversa. En segundo lugar, se pretende diseñar e implementar productos que se gestionen a través de prácticas como la reparación, reutilización y recuperación, con el fin de minimizar impactos ambientales y maximizar beneficios económicos (Cabeza, 2024).

El *lean manufacturing* se puede definir como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o excesos, entendiendo como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero sí costo y trabajo. Esta eliminación sistemática se lleva a cabo mediante trabajo con equipos de personas bien organizadas y capacitadas. Debemos entender que *Lean Manufacturing* es una tarea incansable e ininterrumpida para crear empresas más efectivas, innovadoras y eficientes Fonseca (2021). El verdadero poder de *Lean Manufacturing* radica en descubrir continuamente en toda empresa aquellas oportunidades de mejora que están escondidas, pues siempre habrá desperdicios susceptibles de ser eliminados.

Se trata entonces de crear una forma de vida en la que se reconozca que los desperdicios existen y siempre serán un reto para aquellos que estén dispuestos a encontrarlos y eliminarlos (Socconini, 2019). Así, el *Lean* es una metodología de trabajo que permite trabajar sobre la cadena de valor del producto. Las empresas que trabajan según los principios *Lean* buscan sistemáticamente conocer aquello que el cliente reconoce como valor añadido y está dispuesto a pagar por ello, al tiempo que van eliminando aquellas operaciones del proceso que no generan valor.

1.4.2.3 Aprovechamiento Forestal

La actividad forestal en los países subdesarrollados se basa en la explotación de los bosques naturales y de plantaciones forestales comerciales de diferentes especies, en un ciclo constituido por tres grandes componentes: la actividad silvícola, las industrias o talleres de procesamiento primario o secundario y mediante la producción de la madera pueden ser clasificados en dos tipos: subproductos de las actividades de silvicultura y residuos del procesamiento de la madera,

(Asprilla, 2023) Mientras que para Gonzales (2020), son las actividades realizadas en una plantación con objeto de cosechar los árboles y aprovechar su madera, en el marco de los principios generales del manejo forestal sustentable.

El aprovechamiento forestal se define un sistema de producción, donde mediante una serie de etapas bien definidas, las cuales deben interactuar entre sí en forma ordenada y lógica, para lograr el objetivo señalado (Corporación del Valle, 2021).

Los pasos para el aprovechamiento forestal son los siguientes:

-Tala: Esta es la fase de explotación forestal y detrás de esta tala o la corta de la madera hay un estudio previo de gestión forestal que lo prescribe, siendo esta fase segura y sostenible para el monte en el que se encuentre el aprovechamiento, esto a su vez sigue una ordenación establecida por un profesional que garantiza la regeneración y la salud de la masa forestal (Argüeso, 2019).

-Transporte: Se llevan los troncos a su lugar de destino donde serán almacenados o serrados. Se utiliza maquinaria especializada en el transporte de materia forestal, al cabo de esta operación, (Argüeso, 2019).

-Troceo y apilado: Su objetivo es obtener el mayor aprovechamiento, para la producción de trozas rectas y libres de nudos, con las dimensiones que la industria requiere, mientras el apilado se lo realiza de acuerdo con las dimensiones para facilitar el cubicaje, la carga, el transporte y la manipulación en la industria (Corporación del Valle, 2021).

-Secado: Es un proceso de eliminar el exceso de agua de la madera para facilitar su posterior procesamiento y regularidad, considerando las propiedades físicas y mecánicas de la materia prima y por proceso final, que consiste en el acomodo de la madera aserrada de acuerdo con su clasificación.

-Cepillado: Mediante ella se eliminan las irregularidades y se da a la madera un buen acabado y las medidas adecuadas. (Corporación del Valle, 2021).

1.4.2.4 Ciclo De Vida Del Producto - Costeo ABC

Para el consejo nórdico de ministerios el Análisis de Ciclo de Vida es un método para evaluar las cargas ambientales relacionadas con un sistema de producción o actividad. Este proceso identifica y cuantifica las cantidades de materia y energía utilizadas, así como los residuos generados, y evalúa los impactos ambientales resultantes.

El Análisis Beneficio-Costo (ABC) representa una herramienta económica empleada para analizar el impacto de políticas específicas y proyectos en el bienestar de la sociedad o cualquier grupo de individuos (Piñeros, 2021). En consecuencia, resulta fundamental para evaluar la viabilidad económica de un emprendimiento, permitiendo además la comparación entre diversas alternativas y su categorización según su contribución a la economía. Es importante destacar que dicho impacto puede variar, siendo tanto positivo como negativo.

1.4.2.5 Matriz de Leopold para la evaluación de impacto ambiental

Según plantea Ponce (2011), la matriz Leopold establece un sistema para el análisis de los diversos impactos. El análisis no produce un resultado cuantitativo, sino más bien un conjunto de juicios de valor. El principal objetivo es garantizar que los impactos de diversas acciones sean evaluados y principalmente considerados en la etapa de planeación del proyecto.

1.4.3 Marco Legal

El permiso que se otorga para que se realice la extracción de productos maderables comprende desde la obtención hasta el momento de su transformación. De acuerdo con el Artículo 2.2.1.1.3.1. del Decreto 1076 de 2015, las clases de aprovechamiento forestal son:

-Únicos: Los que se realizan por una sola vez, áreas en donde con base en estudios técnicos se demuestre mejor aptitud de uso del suelo diferente al forestal o cuando existan razones de utilidad pública e interés social.

Los aprovechamientos forestales únicos pueden contener la obligación de dejar limpio el terreno, al término del aprovechamiento, pero no la de renovar o conservar la plantación.

-Persistentes: Los que se efectúan con criterios de sostenibilidad y con la obligación de conservar el rendimiento normal del bosque con técnicas silvícolas, que permitan su renovación. Por rendimiento normal del bosque se entiende De su desarrollo o producción sostenible, de manera tal que se garantice la permanencia del bosque.

-Domésticos: Los que se efectúan exclusivamente para satisfacer necesidades vitales domésticas sin que se puedan comercializar sus productos.

Actualmente la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA-, no realiza trámites de aprovechamiento forestal doméstico, los cuales se deben solicitar ante la Autoridad Ambiental competente de su jurisdicción.

De acuerdo con lo establecido en el artículo 2.2.1.1.5.7. del decreto 1076 de 2015, en caso de solicitar aprovechamiento forestal único, se deberá presentar en el plan de aprovechamiento en mención, un inventario estadístico con error de muestreo no superior al quince por ciento (15%) y una probabilidad del noventa y cinco por ciento (95%).

En conformidad con lo establecido en el artículo 2.2.1.1.7.3. en el plan de aprovechamiento forestal y en el plan de manejo forestal, deberá contener un capítulo sobre consideraciones ambientales en el cual se detallarán las acciones requeridas a ejecutar para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles impactos y efectos negativos causados en el desarrollo del aprovechamiento forestal, siempre y cuando sea para áreas iguales o superiores a 20 hectáreas.

1.5 Metodología

Para el desarrollo de la investigación de este proyecto se plantea un enfoque mixto, que según plantea Hernández (2018), se fundamenta en el pragmatismo, en el cual pueden tener cabida casi todos los estudios e investigaciones cuantitativas o cualitativas. “Realmente no hay un proceso mixto, sino que en un estudio híbrido concurren diversos procesos” (Hernández., 2018, p.663). “Las etapas en las que suelen integrarse los enfoques cuantitativo y cualitativo son fundamentalmente: el planteamiento del problema, el diseño de investigación, técnicas de recolección y análisis de datos, y entendimientos y valores que constituyen los elementos de los modelos mentales” (Hernández, 2018, p.618). Es por esto por lo que un método mixto permitirá un acceso a más información, una exploración y análisis de datos más amplia que un método cualitativo o cuantitativo solamente, y la probabilidad de éxito con los resultados será mayor.

La variable de estudio para este trabajo de grado son los residuos sólidos, específicamente el aserrín, la viruta y el retal. Estos residuos, como se evidencia a lo largo del documento, no reciben un seguimiento adecuado durante los procesos, lo que representa un problema para la empresa. Sin embargo, al reconocerse su potencial aprovechamiento, el presente estudio se enfocará en analizar y proponer estrategias para la gestión eficiente de estos tres residuos sólidos, buscando convertir este desafío en una oportunidad para la empresa. Para determinar el aprovechamiento de los residuos de la empresa Ritacuba Forestal en nivel porcentual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{RMR(Tn)}{TRMG(Tn)} \times 100\% \quad (\text{Ecuación 1. Porcentaje aprovechamiento residuos})$$

RMR = residuos de madera recuperados (aserrín, viruta y retal)

TRMG = Total residuos de madera generados (aserrín, viruta y retal)

En la tabla 3, se muestra la aproximación metodológica que se llevara a cabo en el transcurso del desarrollo del proyecto sobre la propuesta de aprovechamiento de los residuos, en esta se observa las etapas que se tendrán en cuenta, las actividades que se van a realizar en cada objetivo específico y las herramientas utilizadas para poder cumplir con cada uno de los mismos.

Tabla 3. Aproximación metodológica.

Objetivos Específicos	Etapas	Actividades	Herramientas
Realizar una caracterización de los derivados del proceso de transformación de la madera de la empresa Ritacuba Forestal para determinar la cantidad potencialmente aprovechable.	Recolección de información	Recolectar información de los diferentes procesos operativos de la empresa.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Medición de tiempos y distancias. 2. Observación directa. 3. Diagrama de recorrido 4. Diagrama de bloques.
		Caracterización de los procesos de manejo y disposición de los residuos.	<ol style="list-style-type: none"> 5. Observación directa 6. Fichas bibliográficas
	Análisis de la información	Identificación y clasificación de residuos forestales.	<ol style="list-style-type: none"> 7. Observación directa 8. Análisis del ciclo de vida del producto
		Medir la cantidad de residuos forestales	<ol style="list-style-type: none"> 9. Cálculo de volúmenes de residuos
Establecer las acciones para el aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal.	Análisis de la información	Revisiones bibliográficas Selección criterios de ponderación de aprovechamiento	<ol style="list-style-type: none"> 10. Fichas bibliográficas 11. Flujograma 12. Análisis ciclo de vida 13. Matriz de decisiones
	Diseño de la propuesta de mejora.	Definición de la alternativa de la propuesta de mejoramiento	<ol style="list-style-type: none"> 14. Análisis Matriz de decisional
Evaluar los costos y beneficios de la propuesta planteada para el aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal.	Análisis de la viabilidad económica de la propuesta.	Analizar los costos de la estrategia planteada.	<ol style="list-style-type: none"> 15. Análisis de costo-beneficio (ABC)

Fuente: Autores (2023)

1.6 Alcances y Resultados

El presente proyecto tiene como alcance el diseño de una propuesta para el aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba forestal. Su objetivo es mejorar la gestión de residuos y aprovecharlos como otros subproductos, ya que ofrecen oportunidades de recuperación que podrían convertirse en una nueva fuente de ingresos para la empresa.

El proyecto tiene un marco cronológico entre agosto de 2023 y junio de 2025. Geográficamente, el proyecto se llevará a cabo en el municipio de Güicán de la Sierra, en el departamento de Boyacá.

2. Caracterización y Diagnóstico De Los Residuos Generados En La Empresa Ritacuba Forestal

La gestión eficiente de residuos es un aspecto fundamental en la operación de cualquier empresa, según el plan de gestión para el manejo integral de residuos de la Unidad nacional para la gestión del riesgo del desastre (2019), se denomina como el conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos de tratamiento, posibilidades de recuperación, comercialización y disposición final.

En este sentido, el capítulo se enfoca en la evaluación del potencial de aprovechamiento de los residuos generados en los diferentes procesos operativos de la empresa Ritacuba Forestal.

El propósito es determinar la cantidad de residuos aprovechables disponibles en las 40 hectáreas de plantación forestal de pino Pátula. Para lograr este objetivo, se recolectará información sobre el potencial de madera existente en la plantación, así como la recolección de datos específicos de los procesos relacionados con la transformación de la materia prima. Se analizará el porcentaje de producción de residuos en el proceso de transformación de la madera, con el fin de poder calcular volúmenes de residuos aprovechables.

2.1 Determinación De La Cantidad De Madera Aprovechable

La determinación precisa de la cantidad de madera aprovechable es esencial, ya que permite proyectar el porcentaje de residuos que se generará durante el proceso de transformación de la madera. La siguiente tabla, establece una relación con el inventario forestal incluido en la licencia de explotación forestal otorgada a la empresa Ritacuba Forestal por parte de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá). Esta licencia, que es un documento en el que se autoriza el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales, proporciona una descripción detallada de los recursos disponibles en el área especificada.

Tabla 4. Cantidad de árboles por especie

NOMBRE		Nº	VOLUMEN
COMUN	CIENTIFICO	ARBOLES	m³
Pino	<i>Pinus Pátula</i>	63024	76907
TOTAL		63024	76907

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Según la licencia de explotación expedida por Corpoboyacá “*El usuario presenta el inventario de 63024 árboles de Pino (Pinus Pátula) con un volumen total de 76907m³ de madera bruto en pie, localizados en el predio Ritacuba*”.

$$\frac{\pi}{4} D^2 * Hc * fm \quad (\text{Ecuación 2. Volumen})$$

D = Diámetro (1.3 m)

Hc = altura comercial

fm = factor forma (7,5)

2.2 Información De Los Procesos Operativos

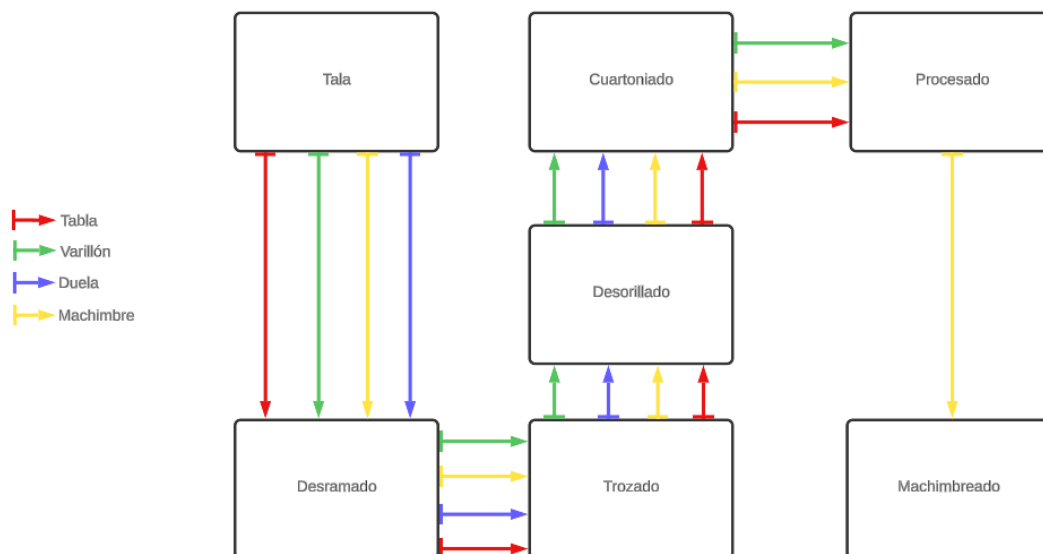
La empresa Ritacuba Forestal, dedicada al aprovechamiento forestal maneja diferentes procesos operativos para la transformación de la madera. Estos procesos son fundamentales uno a uno debido a que según como lo define Pérez (2012), combinan y transforman recursos para obtener el producto o proporcionar el servicio conforme, a los requisitos del cliente, aportando en consecuencia un alto valor añadido. Estos procesos son también los principales responsables de conseguir los objetivos de la empresa.

Los productos de Ritacuba Forestal se clasifican en dos grupos distintos. El primero incluye aquellos que, durante su proceso de transformación, atraviesan las etapas necesarias para adquirir las dimensiones y características específicas demandadas por los clientes.

Entre estos productos se encuentran el machimbre de piso, el machimbre de techo y las tablas pulidas. Por otro lado, hay productos que no necesitan completar todas las fases del proceso para alcanzar las dimensiones y características deseadas, algunos ejemplos de estos productos son las tablillas, varillones, duela entre otros.

A continuación, se muestra la figura 6 el diagrama Flow shop que muestra la secuencia del proceso de transformación de la madera de cada producto que se lleva a cabo en la empresa Ritacuba Forestal.

Figura 6. Diagrama Flow Shop



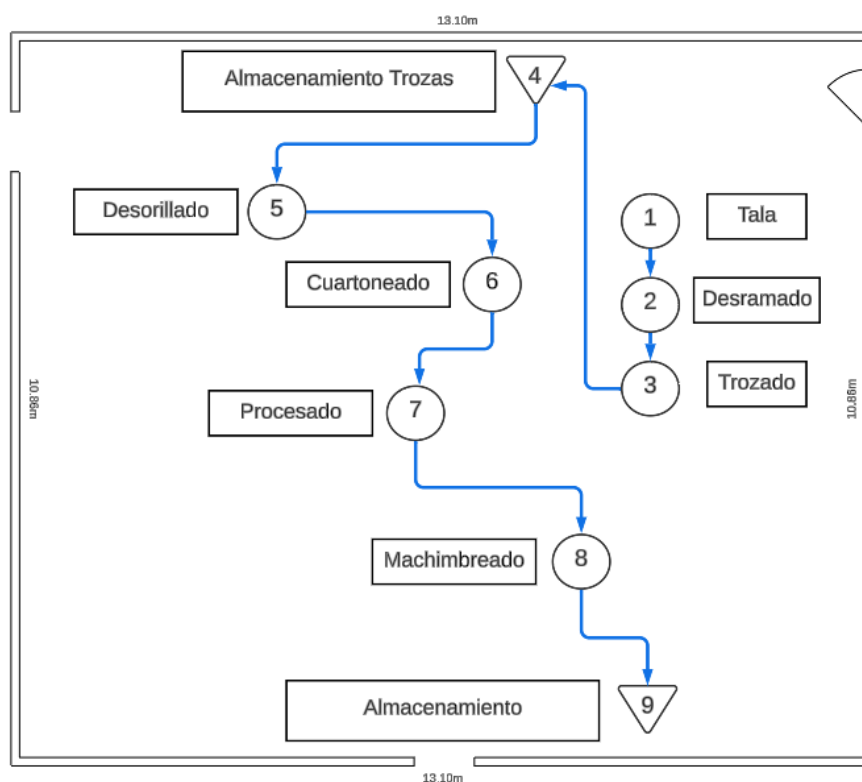
Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

En el Flow shop de Ritacuba Forestal, es evidente que la mayoría de los productos siguen una secuencia ordenada donde atraviesan todos los procesos operativos. Esto se debe a que, para alcanzar las dimensiones requeridas por el cliente, se realiza en el proceso operativo conocido como procesado el cual se realiza en la máquina sinfín. Por otro lado, existe un único producto en la empresa que requiere de todos para obtener sus dimensiones; el machimbre es un producto similar a una tabla pulida de características específicas, se obtiene mediante la máquina denominada machimbreadora, cuyo proceso operativo es el último que realiza la empresa en la transformación de la madera.

La figura 7, muestra el diagrama de recorrido de la empresa Ritacuba Forestal, donde se muestran los procesos que se llevan a cabo desde la tala de los árboles, pasando por el proceso de desramado y trozado para posteriormente transportarse al área del taller para la realización de cada producto que ofrece la empresa.

Esto con el fin de determinar la secuencia lógica de procesos que realiza la empresa, además de la cuantificación de tiempo en que se demora en la obtención de sus productos y por último tener una perspectiva de la distribución en planta de la organización Ritacuba Forestal.

Figura 7. Diagrama de recorrido de la empresa Ritacuba Forestal



Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Figura 8. Simbología de diagrama de recorrido en Ritacuba Forestal

Símbolo	Actual		
	Número	Tiempo (min)	Distancia (m)
○	7	18	8
➡	8	5	22
▽	2	2	16
Total	17	25	46

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Para elaborar el diagrama de recorrido, se utilizaron datos fijos, ya que dentro de la secuencia lógica de los procesos operativos de Ritacuba Forestal en la explotación forestal, algunos procesos varían en términos de transporte. Esto se debe a que, considerando que la plantación abarca una

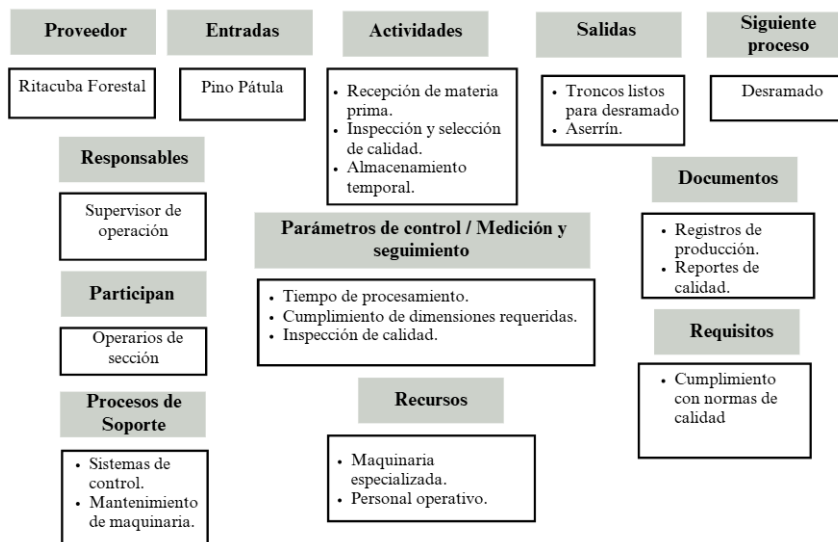
extensión de 40 hectáreas, las distancias de transporte desde el proceso de trozado, hasta el almacenamiento de trozas pueden variar según la ubicación específica de la operación.

2.3 Caracterización De Los Residuos Forestales De La Empresa Ritacuba Forestal

La caracterización de los residuos forestales, es un proceso fundamental para evaluar su composición y propiedades físicas, que se define como un tipo de estudio de índole esencialmente descriptiva, la cual puede recurrir a la consecución de datos cuantitativos y cualitativos con el objeto de aproximarse al conocimiento y comprensión de las estructuras, características, dinámicas, acontecimientos y experiencias asociadas a un objeto de interés (Sánchez Upegui, 2010). A través de esta caracterización detallada, se puede obtener una visión clara de la naturaleza y el alcance de los residuos forestales, lo que facilita la implementación de estrategias efectivas de gestión y aprovechamiento sostenible.

El proceso de tala es el punto de partida en la transformación de la madera que según la FAO (2020) la tala es la acción de cortar árboles con fines comerciales, agrícolas, industriales o domésticos.

Figura 9. Caracterización del proceso de tala

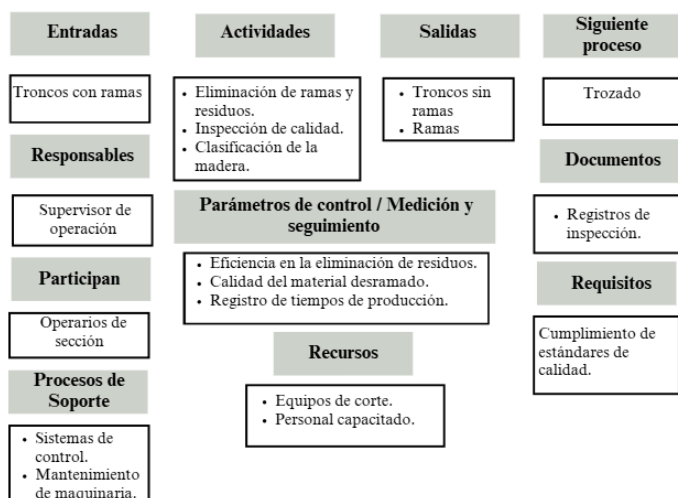


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2025)

Como se observa en la figura anterior un adecuado control en la tala asegura que los troncos cumplan con las normas de calidad y dimensiones requeridas. La inspección, almacenamiento y mantenimiento de maquinaria es clave para que se garantice el inicio de un buen producto.

El desramado es la operación mediante la cual se eliminan las ramas del fuste de un árbol talado, permitiendo mejorar la manipulación del tronco y prepararlo para su posterior trozado o transporte (FAO,2021)

Figura 10. Caracterización del proceso de desramado

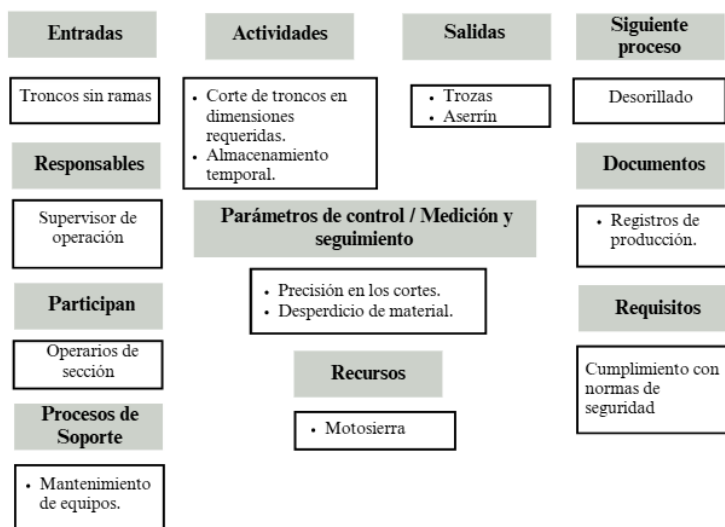


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2025)

La eficiente eliminación de ramas y el cumplimiento de estándares de calidad son fundamentales para mejorar el aprovechamiento de la materia prima. Un adecuado proceso y mantenimiento de equipos garantiza un flujo en el trabajo sin generar demoras ni reprocesos.

El trozado es la operación mediante la cual se corta el árbol en secciones de longitud determinada (trozas), según los requerimientos del destino industrial de la madera. En la siguiente figura se muestran los elementos clave de esta caracterización (FAO,2021).

Figura 11. Caracterización del proceso de trozado

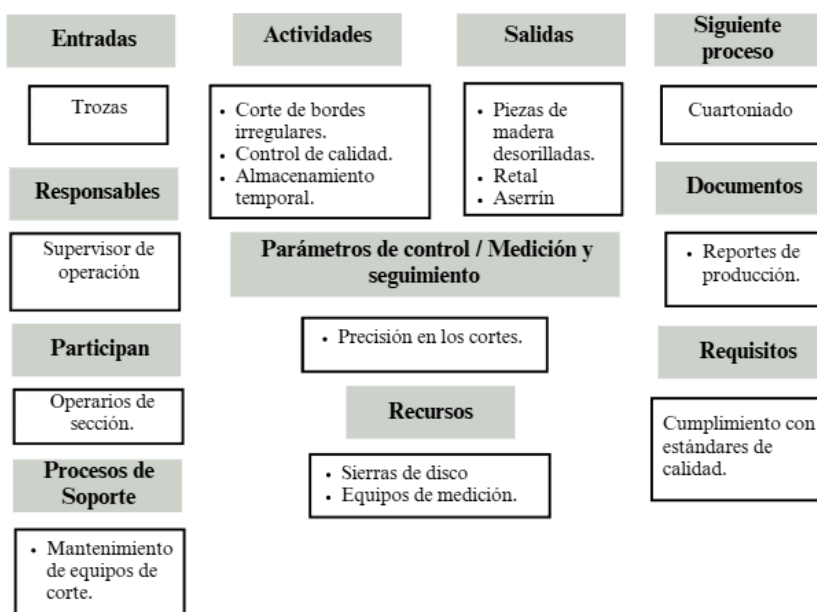


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2025)

El trozado debe realizarse con precisión para minimizar el desperdicio de material y garantizar el cumplimiento de las especificaciones ya que como se observa, durante las salidas se genera aserrín.

El siguiente proceso es el desorillado, que según la FAO (2021) es el proceso mediante el cual se eliminan los bordes irregulares o defectuosos de las trozas o piezas de madera aserrada, con el fin de obtener productos de dimensiones uniformes. La siguiente figura muestra los aspectos relevantes de la caracterización de este proceso.

Figura 12. Caracterización del proceso de desorillado

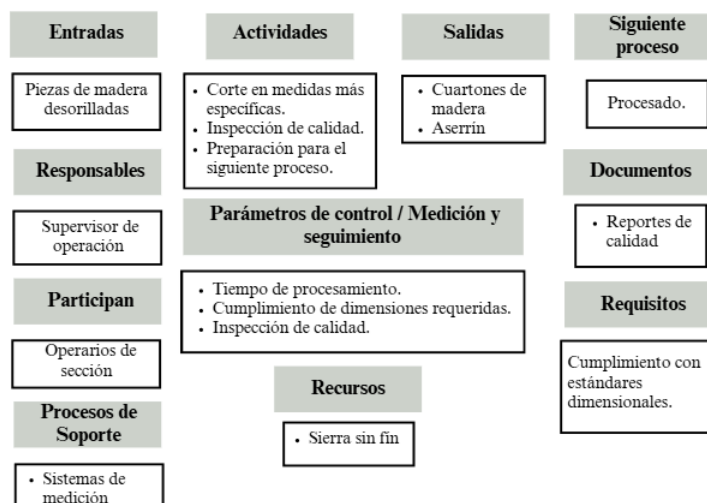


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2025)

Para un desorillado eficiente, es importante garantizar la precisión en los cortes, debido a como se muestra anteriormente durante las salidas se generan aserrín y retal. La calidad del producto final depende del mantenimiento en los equipos de medición y del cumplimiento de los estándares de calidad.

En el cuartoniado consiste en dividir longitudinalmente el tronco en secciones o piezas grandes llamadas cuartones, las cuales luego serán reprocesadas para obtener productos más elaborados como tablas, varillones o duelas (FAO, 2021). En la siguiente figura se presenta la caracterización de este proceso.

Figura 13. Caracterización del proceso de cuartoniado

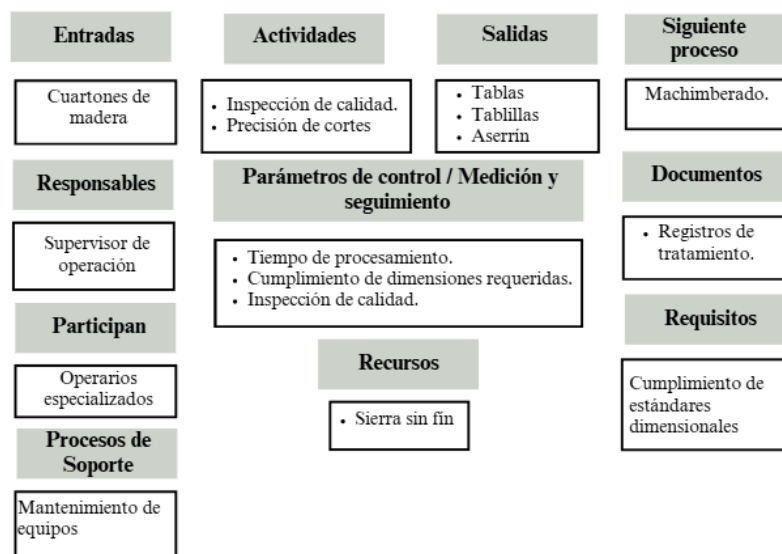


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2025)

La precisión hace que el cuartoniado sea un proceso fundamental, teniendo en cuenta lo anterior las pizas tienen que cumplir dimensiones y una calidad establecida. Un adecuado control y uso de equipos ayuda a la mejora del proceso que evita que se generen tantos residuos durante este proceso.

El procesado es la etapa en la que los cuartones de madera se convierten en tablas y tablillas de diferentes dimensiones mediante cortes precisos, adaptando la materia prima a las especificaciones requeridas para su uso comercial o industrial (Zamora, 2021). La siguiente figura muestra la caracterización de este proceso.

Figura 14. Caracterización del proceso de procesado

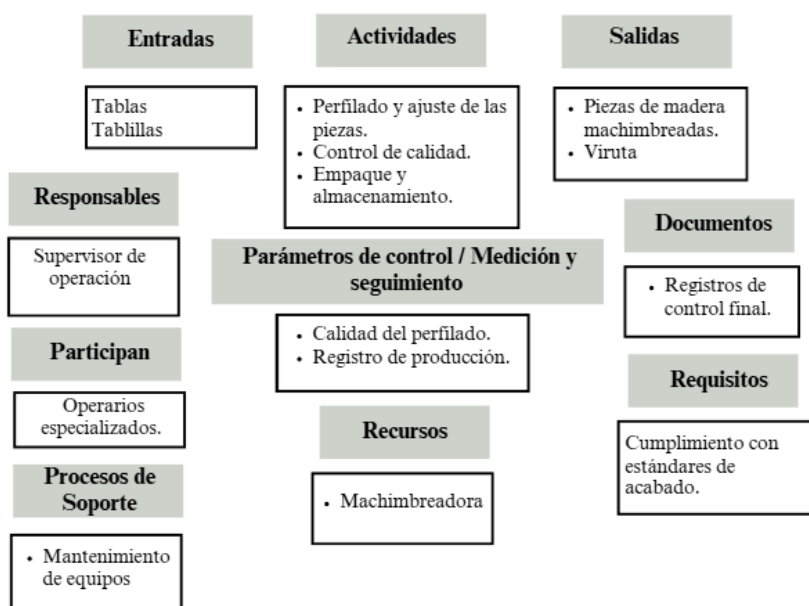


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2025)

Un procesado eficiente requiere equipos bien calibrados, un personal especializado y control de los estándares dimensionales, ya que en este proceso se genera aserrín, es importante garantizar la reducción de los residuos para mejorar la calidad del producto.

El machimbreado es el proceso de ensamblaje de piezas de madera mediante el cual se crean uniones precisas entre las tablas, utilizando un perfil de lengüeta y ranura, que permite obtener superficies continuas, estables y resistentes (Morales, 2018).

Figura 15. Caracterización del proceso de machimbreado










Fuente: Autores con base en información de la empresa (2025)

La precisión en este proceso garantiza acabados de calidad y correcta unión de las piezas, ya que en esta etapa se genera la viruta. Un adecuado mantenimiento de los equipos, junto con el control de calidad, aseguran un producto final óptimo. En este sentido, se abordarán diversos aspectos relacionados con la caracterización de residuos forestales, identificándolos en las etapas del proceso de transformación de la madera, mencionando sus características y determinando si tiene alguna posibilidad de aprovechamiento.

La siguiente tabla relaciona el resumen de la caracterización de los residuos forestales generados en el proceso de transformación de la madera de la empresa Ritacuba forestal.

Tabla 5. Resumen de la caracterización de residuos forestal de la empresa Ritacuba Forestal

Tipo de residuo	Etapa de proceso	Imagen del residuo	Descripción	Posibilidad de aprovechamiento	Razón
Aserrín	Tala		Conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada.	No	Residuos producidos en plantación, haciendo inviable su aprovechamiento.
Ramas	Desramado		Tallos secundarios que nacen del tronco o tallo principal de una planta, en los que brotan, por lo común, hojas, flores y frutos.	No	Residuos producidos en plantación, haciendo inviable su aprovechamiento.
Aserrín	Trozado		Conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada.	No	Residuos producidos en plantación, haciendo inviable su aprovechamiento.
Retal Aserrín	Desorillado		Conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada. Restos de madera de forma y dimensiones variadas que se generan sobre todo en las empresas relacionadas con el sector de la madera.	Si	Recolección y almacenamiento viable y asequible

Tipo de residuo	Etapa de proceso	Imagen del residuo	Descripción	Posibilidad de aprovechamiento	Razón
Aserrín	Cuartoniado		Conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada.	Si	Recolección y almacenamiento viable y asequible
Aserrín	Procesado		Conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada.	Si	Recolección y almacenamiento viable y asequible
Viruta	Machimbreado		Es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral, extraídas mediante un cepillo u otras herramientas, como brocas, al realizar trabajos de cepillado, desbastado o perforación	Si	Recolección y almacenamiento viable y asequible

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

2.4 Cuantificación De Los Residuos

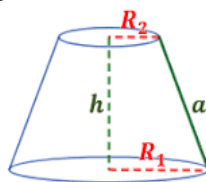
A continuación, se presenta la cuantificación aproximada de la cantidad de residuos del proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal.

2.4.1 Aproximación De La Cantidad De Retal

Los árboles no presentan una forma regular que permita calcular su volumen de manera precisa. Por lo tanto, resulta necesario aproximarlos a la figura geométrica regular más cercana para poder determinar y cuantificar la cantidad de residuos.

Para calcular el retal, se consideran las trozas de madera, las cuales no tienen una forma perfectamente cilíndrica, sino que se asemejan más a la geometría de un cono truncado, es mediante esta aproximación que se estima el volumen aproximado del residuo denominado retal.

Figura 16. Cono truncado



Fuente: Google Imágenes

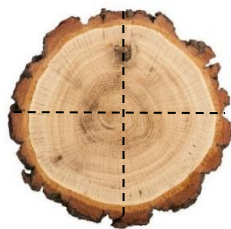
$$\frac{h\pi}{3} * (R1^2 + R2^2 + R1 * R2) \text{ (Ecuación 3. Volumen de cono truncado)}$$

R = radio

h = altura

Para determinar el volumen del cilindro truncado, se tomaron muestras aleatorias triplicadas de trozas de 3 metros de largo, que son utilizadas frecuentemente en el aserrío de la empresa Ritacuba Forestal. Dado que las trozas no presentan estructuras regulares, se promediaron los diámetros más anchos tanto en la parte delgada como en la parte ancha, como se mencionó previamente.

Figura 17. Medida de diámetros de la troza.



Fuente: Google Imágenes

Tabla 6. Promedio ancho de Trozas

Muestra	Extremo Delgado cm			Extremo Ancho cm		
	Medida 1	Medida 2	Promedio	Medida 2	Medida 3	Promedio
1	19	18,5	18,75	19	20,5	19,75
2	12,7	13	12,85	15	15	15
3	20,5	19	19,75	22	21,5	21,75

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Una vez obtenidos los resultados de los promedios de los diámetros de las diferentes muestras, se procede a obtener los radios para luego aplicar la fórmula del cono truncado.

$$\frac{\text{Promedio Diámetro}}{2} \quad (\text{Ecuación 4. Radio})$$

Tabla 7. Cálculo de Radios

Muestra	Extremo Delgado		Extremo Ancho	
	Promedio (cm)	Radio(cm)	Promedio (cm)	Radio (cm)
1	18,75	9,38	19,75	9,88
2	12,85	6,43	15	7,50
3	19,75	9,88	21,75	10,88

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Aplicar formula de volumen cono truncado.

$$\frac{h\pi}{3} * (R1^2 + R2^2 + R1 * R2) \quad (\text{Ecuación 5. Volumen de cono truncado})$$

R = radio

h = altura

Tabla 8. Volumen cono truncado

Muestra	Radio1 (cm)	Largo (cm)	Radio2 (cm)	Volumen (cm^3)
1	9,38	300	9,88	87.287,09
2	6,43	300	7,50	45.755,49
3	9,88	300	10,88	101.475,97

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Los cortes que deben realizar a la troza en el desorillado se inician por el extremo delgado de la troza, ya que en este sentido se garantiza que no quedará corteza a lo largo del paralelepípedo resultante, utilizando el diámetro original como la hipotenusa de un triángulo rectángulo, hallar los catetos utilizando el teorema de Pitágoras y finalmente el volumen de este paralelepípedo.

Tabla 9. Volumen Paralelepípedo interno del cono truncado

Muestra	Diámetro Extremo delgado (cm)	Pitágoras (cm)	Largo (cm)	Volumen Paralelepípedo (cm^3)
1	18,75	13,26	300	52.734,38
2	12,85	9,09	300	24.768,38
3	19,75	13,97	300	58.509,38

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Para hallar la cantidad de residuos resultantes del proceso de desorillado, es necesario encontrar la diferencia en volúmenes de paralelepípedo (madera útil) y el cono truncado.

Tabla 10. Diferencia de volúmenes entre Paralelepípedo y Cono truncado

Muestra	Cono truncado (cm^3)	Paralelepípedo(cm^3)	Volumen Residuo (cm^3)	Residuo %
1	87.287,09	52.734,38	34.552,72	39,59
2	45.755,49	24.768,38	20.987,12	45,87
3	101.475,97	58.509,38	42.966,59	42,34

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Para llevar estos resultados a kilogramos, se requiere aplicar la densidad teórica de la madera de pino verde que como lo afirma el Sena en su artículo las maderas de Colombia (2020), es de $0,96 \text{ g/cm}^3$.

Tabla 11. Kilogramos de residuos

Muestra	Residuos (cm^3)	Kilogramos
1	34.552,72	33,17
2	20.987,12	20,15
3	42.966,59	41,25

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Para totalizar la cantidad de retal, se toma el dato de cantidad de árboles entregado en la resolución que autoriza la Corporación Ambiental de Boyacá Corpoboyacá (2021), dato entregado después de la evaluación técnica realizada como requerimiento obligatorio de legalización de la explotación, promediando los kilogramos de residuos, y se multiplica por 5, que es la cantidad promedio de trozas de 300 cm que entregan los árboles.

Tabla 12. Promedio Kilogramos de residuos

Muestra	Kilogramos
1	33,17
2	20,15
3	41,25
Promedio	31,52

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Para determinar la cantidad teórica de residuos de retal, se multiplica el peso promedio de la troza, por la cantidad de trozas que tiene un árbol y por último por la cantidad de árboles en la plantación comercial de pino Pátula de la empresa Ritacuba Forestal.

Tabla 13. Cantidad Teórica de residuos

Promedio residuo por troza (Kg)	Promedio Trozas por Árbol	Cantidad de Árboles	Cantidad teórica de kilogramos de retal
31,52	5	63.024	9.932.582,4

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

2.4.2 Aproximación De La Cantidad De Aserrín.

Para calcular los residuos de aserrín generados durante el proceso de transformación de la madera, es importante considerar las dimensiones de los productos finales solicitados a la empresa Ritacuba Forestal. La cantidad de cortes necesarios para cumplir con estos requisitos impacta significativamente en los cálculos teóricos. Por lo tanto, se tomarán en cuenta los cortes estándar para todos los productos, los cuales incluyen el desorillado. Este proceso implica el uso de una sierra que ocupa un espacio de 0,5 cm y la cinta de la sierra sinfín que ocupa 0,3 cm.

Tabla 14. Residuo de Aserrín Cortes de sierra

Muestra	Numero de Cortes	Lados (cm)	Largo (cm)	Tamaño de Corte (cm)	Volumen Aserrín (cm^3)
1	4	13,26	300	0,5	7.954,95
2	4	9,09	300	0,5	5.451,79
3	4	13,97	300	0,5	8.379,22

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

A continuación, se presenta el promedio de kilos de aserrín, que se genera en la sierra allí se realiza un corte de 0,5cm.

Tabla 15. Kilogramos de Aserrín por sierra

Muestra	Volumen (cm^3)	Kilogramos
1	7.954,95	7,64
2	5.451,79	5,23
3	8.379,22	8,04
Promedio		6,97

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Para determinar la cantidad total de residuos de aserrín generados en la sierra, se realiza la multiplicación del peso promedio de kilogramos de aserrín por troza, por la cantidad de trozas de un árbol y por último, por la cantidad de árboles de la plantación comercial de pino Pátula de la organización.

Tabla 16. Cantidad Teórica de residuos de aserrín por sierra

Promedio residuo por troza (Kg)	Promedio Trozas por Árbol	Cantidad de Árboles	Kilogramos Teórica de Residuos
6,97	5	63.024	2.196.386,40

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

En el caso de la sierra sinfín, se tomaron en cuenta 4 cortes, en donde el tamaño del corte de es aproximadamente 0,3cm. Allí se tomaron 3 muestras para determinar el volumen de aserrín que se genera en este proceso operativo.

Tabla 17. Residuo de aserrín por cortes de Sinfín

Muestra	Numero de Cortes	Lado (cm)	Largo (cm)	Tamaño de Corte (cm)	Volumen Aserrín (cm^3)
1	4	13,26	300	0,3	4.772,97
2	4	9,09	300	0,3	3.271,08
3	4	13,97	300	0,3	5.027,53

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

A continuación, se presenta el promedio de kilos de aserrín, que se genera en la sinfín allí se realiza un corte de 0,3cm.

Tabla 18. Kilogramos de aserrín por Sinfín

Muestra	Lados (cm^3)	Kilogramos
1	4.772,97	4,58
2	3.271,08	3,14
3	5.027,53	4,83
Promedio		4,18

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Para determinar la cantidad total de residuos de aserrín generados en la sinfín, se realiza la multiplicación del peso promedio de kilogramos de aserrín por troza, por la cantidad de trozas de un árbol y por último, por la cantidad de árboles de la plantación comercial de pino Pátula de la organización.

Tabla 19. Cantidad teórica de residuos de aserrín por Sinfín

Promedio residuo por troza	Promedio Trozas por Árbol	Cantidad de Árboles	Kilogramos Teórica de Residuos
4,18	5	63.024	1.317.201,60

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

2.4.3 Aproximación De La Cantidad De Viruta.

El machimbrado es el último proceso operativo que la empresa Ritacuba Forestal realiza para darle valor agregado a la madera. Siendo las dimensiones típicas de 9 cm x 1 cm x 300 cm, los productos que se pueden procesar en este paso, son también los de menor venta en la organización, siendo aproximadamente el 20 % de la venta total de la plantación, por esto, se cubicará el porcentaje de la totalidad de los 57680 metros cúbicos indicado en la resolución 1021 de 2021, donde Corpoboyacá, autoriza la explotación.

A continuación, se muestra el cálculo del porcentaje de madera, que se destinaria al proceso operativo de machimbrado, en donde se genera el residuo denominado viruta.

Tabla 20. Porcentaje de madera machimbreada

Metros Cúbicos	Porcentaje	Total (m ³)
57.680	20%	11.536

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

La cantidad de tablas machimbradas que se proyecta que se generaran del 20 por ciento de la plantación se presenta a continuación.

Tabla 21. Cubicación porcentual para Machimbre

Metros Cúbicos	Cubicación Tablas	Total Tablas
11.536	0,0027	4.272.592,59

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

El proceso de machimbrado reduce entre 0,2 y 0,3 cm en el cepillado, por esto se va a tomar el promedio dando como resultado 0,25 cm, lo cual genera alrededor de 675 cm³ de viruta. Para determinar la cantidad viruta generada en este proceso operativo, se realiza la multiplicación de la cantidad de tablas, por la aproximación de viruta generada por tabla.

Tabla 22. Volumen de viruta por machimbreado

Tablas	Viruta(cm ³)	Total (cm ³)
4.272.592,593	675	2.884.000.000

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Posteriormente utilizando la fórmula de la densidad, se obtiene la cantidad teórica de viruta generada en el proceso operativo machimbrado.

Tabla 23. Peso viruta machimbreado

Volumen Viruta (cm^3)	Densidad (g/cm)	Total (kg)
2.884.000.000	0,96	2.768.640

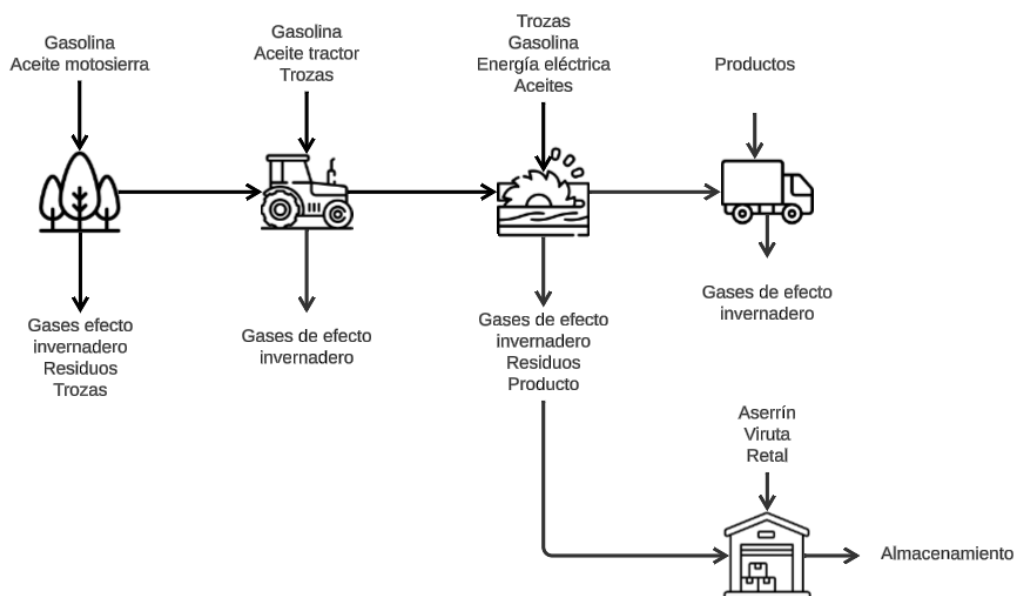
Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

2.5 Análisis Del Ciclo De Vida Del Producto

Según la norma ISO 14040: el Análisis de Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas.

A continuación se presenta el análisis del ciclo de vida del producto de la empresa Ritacuba Forestal, centrándose en el proceso de transformación de la madera de manera cualitativa, como se detalla en la siguiente figura.

Figura 18. Ciclo de vida del producto

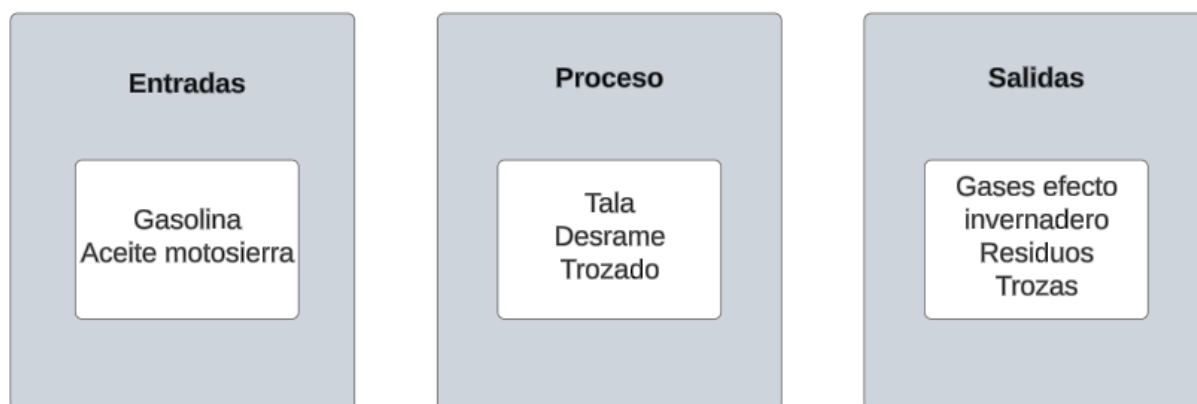


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

2.5.1 Extracción De Materia Prima

Este proceso relaciona las actividades requeridas para la obtención de la materia prima hasta su transporte al aserradero.

Figura 19. Inventario de entradas y salidas en la extracción de materia prima

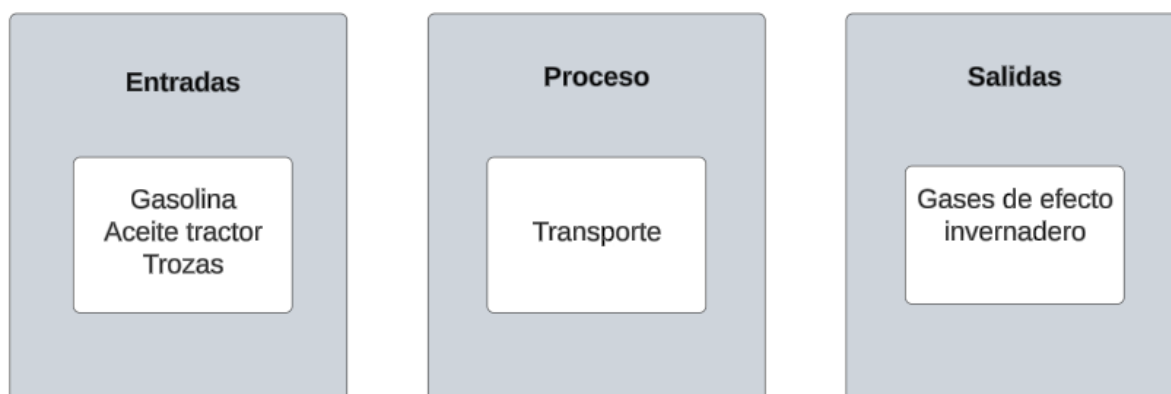


Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

2.5.2 Transporte Interno

Comprende el proceso de transporte de trozas o madera rolliza al taller de transformación de madera, que generalmente se realiza con un tractor.

Figura 20. Inventario de entradas y salidas del transporte interno

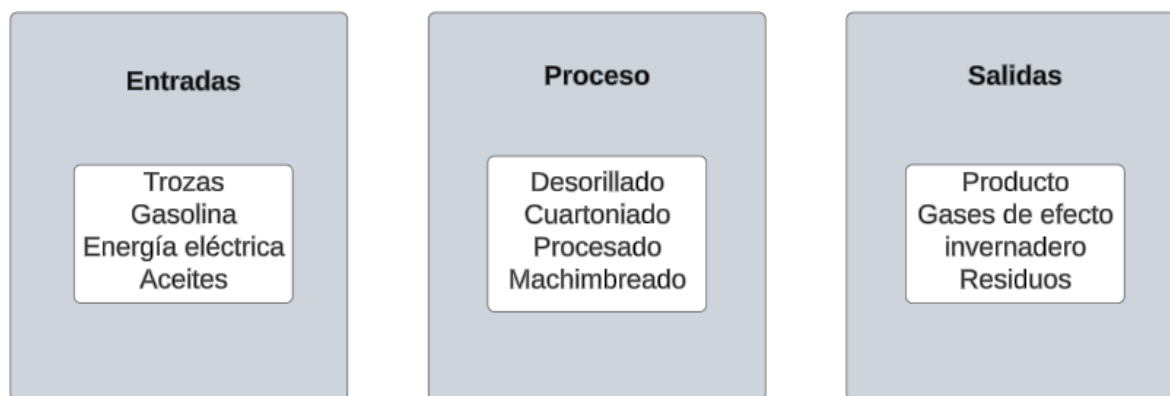


Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

2.5.3 Transformación De Madera

Este proceso comienza con la recepción de la madera en trozas y termina con la salida de la madera aserrada que es el producto con las dimensiones específicas.

Figura 21. Inventario de entradas y salidas en la transformación de madera

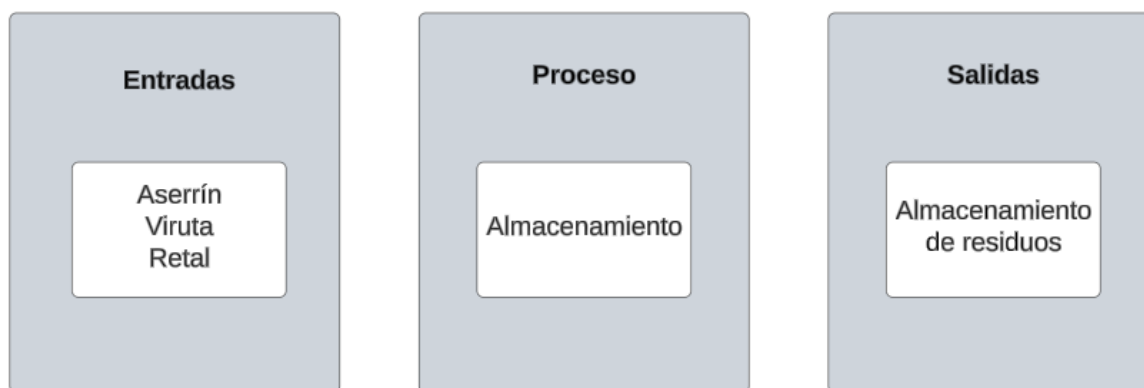


Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

2.5.4 Gestión De Residuos

Comprende los procesos de gestión de residuos que lleva la empresa Ritacuba Forestal. Esta empresa no tiene un manejo adecuado de los residuos generados en la transformación de la madera, debido a que todo residuo generado es almacenado al lado del taller de transformación.

Figura 22. Inventario de entradas y salidas gestión de residuos



Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

Se evidencia que el mayor impacto de la empresa Ritacuba Forestal se encuentra en el almacenamiento de residuos, como se observa en la cuantificación es una cantidad significativa generada durante el proceso de transformación de la madera en su aprovechamiento forestal. Esta situación conlleva diversos efectos adversos, como la degradación del suelo, la contaminación del

agua y el aumento del riesgo de incendios forestales. Esto destaca la necesidad de implementar prácticas de gestión de residuos más sostenibles, como el reciclaje, la reutilización o la valorización energética, para minimizar el impacto ambiental de la actividad de transformación de la madera.

2.6 Hallazgos

Dentro de la caracterización de los derivados del proceso de transformación de la madera generados en los procesos operativos se pudo evidenciar que en cada uno de ellos se generan residuos. Es importante destacar que algunos de estos residuos no son aprovechables, como las ramas producidas durante el proceso operativo desramado y el aserrín resultante de la tala y el trozado. Estos residuos no pueden ser aprovechados principalmente debido a que son generados en la plantación, haciendo inviable su recolección, almacenamiento y transporte.

Sin embargo, la cuantificación de los residuos, como el aserrín, la viruta y el retal, generados en el proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 24. Cuantificación de residuos en 1 Hectarea

Residuo	Cantidad teórica (Kg)	Cantidad teórica (Ton)	Porcentaje (%)
Retal	248.314,56	248,32	61,26%
Aserrín	87.839,7	87,84	21,67%
Viruta	69.216	69,22	17,07%

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Tabla 25. Cuantificación de residuos en la plantación

Residuo	Cantidad teórica (Kg)	Cantidad teórica (Ton)	Porcentaje (%)
Retal	9.932.582,4	9.932,6	61,26%
Aserrín	3.513.588	3.513,6	21,67%
Viruta	2.768.640	2.768,6	17,07%

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Según la cantidad teórica de residuos calculada, se observa que el retal predomina, representado más del 50% de los residuos generados en el proceso de transformación de la madera en la empresa Ritacuba Forestal seguido del aserrín que ocupa un 21,67 % y por último la viruta generando un 17% de los residuos.

Además, se realizó el cálculo de porcentaje de residuos a nivel de la totalidad de la plantación el cual se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 26. Porcentaje de residuos totales

Promedio troza (cm3)	Peso troza (kg)	Peso trozas por árbol (kg)	Peso trozas en plantación (kg)	Porcentaje de residuos (%)
78.172,85	75,05	375,2	23.648.475,73	68,57

Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

El porcentaje de residuos teóricos calculado es del 68,57%, es un dato significativamente alto, pero según López (2019), en su artículo aprovechamiento de residuos madereros, en donde afirma lo siguiente: muchos autores coinciden en afirmar que en los aserraderos se genera entre el 45% y el 65% de desperdicios por tonelada de madera procesada en otras palabras, el rendimiento del proceso de transformación de madera rolliza (trozas) a madera aserrada es del 35% y el 55%.

A continuación, se realiza el cálculo de la eficiencia de producción, tomando como base el porcentaje de residuos determinado previamente.

$$1 - \frac{\% RG \ 68,57}{100} \times 100\% = 31,43\% \text{ (Ecuación 6. Porcentaje de eficiencia de producción)}$$

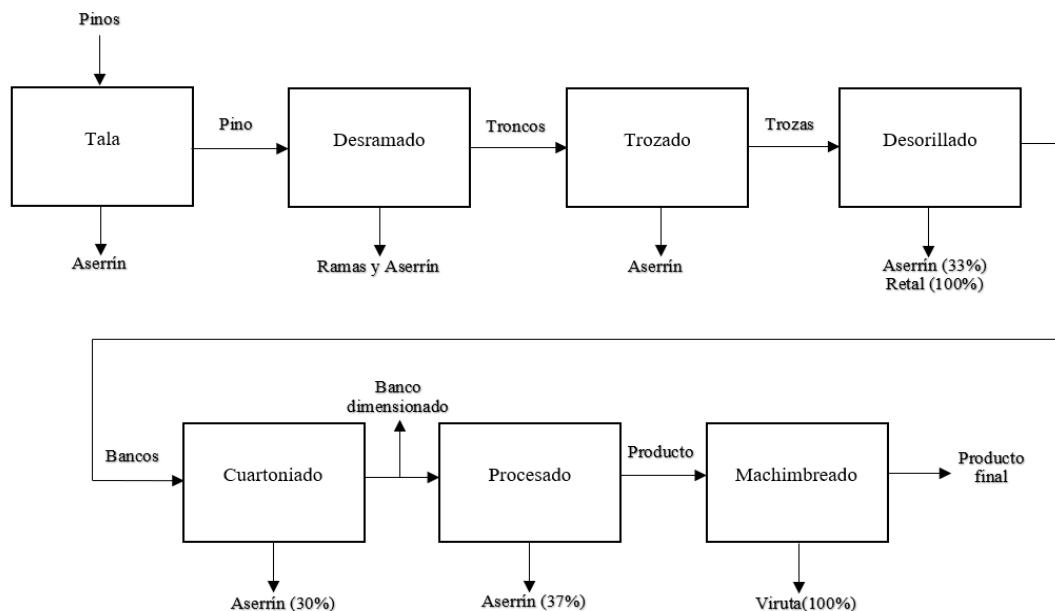
% RG = Porcentaje de residuos generados

Se estima que la eficiencia de producción es del 31,43%, valor calculado a partir del análisis de los residuos generados durante el proceso de transformación de la madera. Este porcentaje representa el grado de aprovechamiento de la materia prima. Sin embargo, es importante señalar que esta cifra puede variar dependiendo de diferentes factores operativos, como el ajuste y el estado de las sierras que inciden directamente en la precisión de los cortes, el nivel de experiencia y formación del personal que maneja la maquinaria, así como la antigüedad y condiciones generales de los equipos utilizados en el proceso.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta el diagrama de bloques que detalla la cantidad porcentual de los derivados del proceso de transformación de la madera llevados a cabo en la empresa Ritacuba Forestal, mostrando cada uno con su correspondiente entrada y el porcentaje de residuos generados. Es de importancia resaltar que en los primeros procesos operativos que corresponden a tala, desramado y trozado no se pudo realizar una cuantificación debido a que estos

residuos son generados en la plantación que fue sembrada en ladera, razón por la que se dificulta su almacenamiento para su posterior cuantificación.

Figura 23. Diagrama de bloques



Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Dentro de los procesos operativos donde se ha realizado una cuantificación de los residuos generados en la transformación de la madera de Ritacuba Forestal, es destacable el desorillado, este proceso es responsable del 100% del retal, convirtiéndolo en el residuo más abundante en la empresa, considerando variables como volumen y peso, como se evidenció en la cuantificación de los residuos.

Por otro lado, el aserrín, generado de manera proporcional en el proceso de transformación de la madera, desorillado, cuartoniado y procesado, representa el segundo residuo más producido en la transformación de la madera, en términos de volumen y peso. Por último, la viruta, cuya generación está limitada al proceso operativo de machimbreado, se produce en menor cantidad en comparación con los otros residuos, considerando variables de volumen y peso.

En el desarrollo del capítulo se evidenció la cantidad de los residuos forestales que se generan en la transformación de la madera, estos datos son relevantes para la propuesta de diferentes estrategias de aprovechamiento de residuos forestales.

3. Acciones Para El Aprovechamiento De Los Residuos Forestales De La Empresa Ritacuba Forestal

El siguiente capítulo detallará las acciones propuestas para el aprovechamiento de los residuos forestales de la empresa Ritacuba Forestal, específicamente el aserrín, la viruta y el retal, estas estrategias se alinearán con los principios del *Lean Manufacturing*. Posteriormente, se llevará a cabo una matriz decisional con el fin de evaluar y establecer la mejor estrategia para el aprovechamiento de los residuos forestales en la empresa Ritacuba Forestal.

3.1 Operaciones Que Agregan Valor En La Transformación De La Madera

En el proceso de transformación de materias primas en productos finales, se distinguen dos tipos de operaciones según Zapata (2022) las que agregan valor y las que no. Las Operaciones que Aportan Valor (*OAV*) son aquellas actividades que implican la intervención de operarios, equipos y máquinas sobre los materiales, resultando en una transformación efectiva del material. Por otro lado, las Operaciones que no Aportan Valor (*ONAV*) se refieren a aquellas que no generan cambios en el estado del material, como el transporte, almacenamiento o manipulaciones innecesarias.

A continuación, se muestra la tabla que detalla los procesos de la empresa Ritacuba Forestal, señalando si dentro del proceso de la transformación de la madera hay alguna operación que no añaden valor en la transformación de la madera.

Tabla 27. Operaciones que agregan valor en los procesos operativos

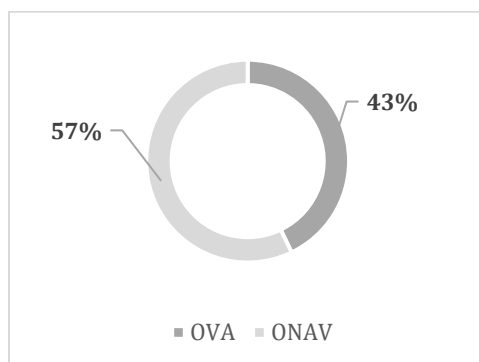
No	Procesos	Operaciones	
		<i>OAV</i>	<i>ONAV</i>
1	Tala	X	
2	Desramado	X	
3	Trozado	X	
4	Desorillado	X	X
5	Cuartoniado	X	X
6	Procesado	X	X
7	Machimbreado	X	X
		7	4

Fuente: Autores con base en Muñoz y Zapata (2022)

La tabla anterior muestra la presencia de operaciones dentro del proceso de transformación de la madera que carecen de valor. Estas operaciones están presentes desde el desorillado, donde

se inicia el almacenamiento de residuos forestales, y continúan hasta la obtención del producto en el proceso operativo denominado procesado.

Figura 24. Porcentaje de Operaciones *OAV* y *ONAV* en los procesos de transformación

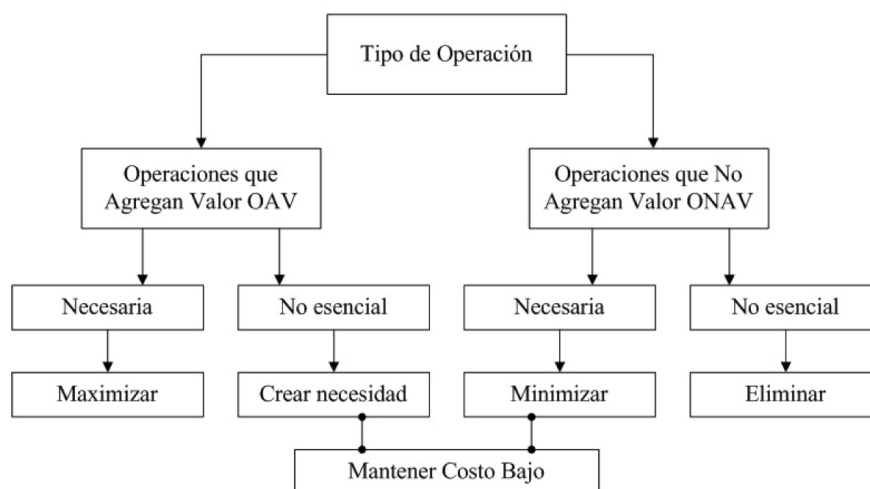


Fuente: Autores con base en Muñoz y Zapata (2022)

La figura 24 evidencia que alrededor de 57% de procesos tienen operaciones que no agregan valor en el proceso de transformación de la madera. Es evidente que estas operaciones no contribuyen de manera significativa al valor final del producto, lo que sugiere la necesidad de revisar estrategias de aprovechamiento de residuos forestales.

A continuación, se muestra la figura 25 que ilustra las acciones que deben tomarse en relación con las operaciones que añaden valor y aquellas que no lo hacen.

Figura 25. Acciones a tomar con las *OAV* y las *ONAV*



Fuente: Autores con base en Muñoz y Zapata (2010)

La figura 25 resalta la importancia de minimizar las operaciones que no agregan valor pero que son necesarias, considerando costos bajos. Este aspecto está directamente relacionado con la propuesta de mejora en la empresa Ritacuba Forestal, la cual se centra en el aprovechamiento de los derivados del proceso de transformación de la madera. Esto conduce a la formulación de las siguientes estrategias de aprovechamiento.

3.2 Acciones De Aprovechamientos De Residuos Forestales

3.2.1 Tablillas A Partir De Retal

El residuo conocido como retal, surgido durante el proceso de desorillado, muestra un porcentaje considerable de madera aprovechable, lo que sugiere un gran potencial para su reutilización o reciclaje. Es importante al considerar que, durante la explotación de la plantación forestal, se estima que se generarán más de nueve millones de toneladas de este residuo. Esta cifra significativa resalta la relevancia de establecer una estrategia efectiva de aprovechamiento. En donde al identificar y aprovechar la madera útil presente en este residuo, no solo se reduce el impacto ambiental asociado al almacenamiento de residuos, sino que también se da la oportunidad de creación de nuevas oportunidades económicas y comerciales.

A continuación, se presenta una figura que muestra el porcentaje de madera del retal que podría aprovecharse con la estrategia de aprovechamiento planteada.

Figura 26. Residuo retal



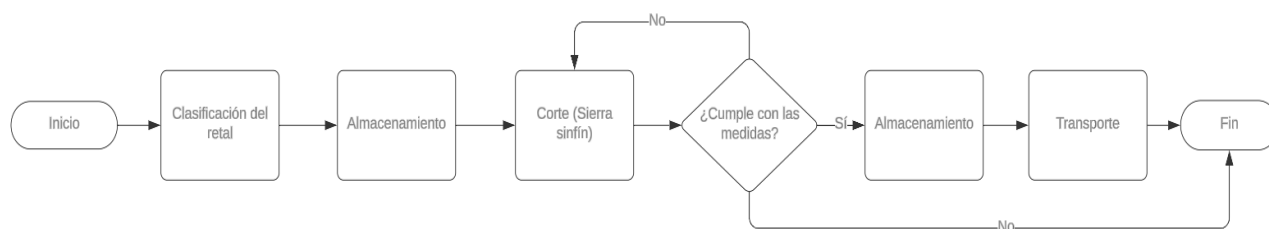
Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

Como parte de la estrategia de aprovechamiento de este tipo de residuo, se plantea la manera no convencional de crear un producto específico que se denominada tablilla corta, dicha estrategia no es convencional debió a que dentro de la investigación que se realizó a diferentes organizaciones del mismo sector y en diferentes bibliografías, no se encontró esta estrategia de aprovechamiento de residuos forestales.

Esta propuesta consiste en llevar a cabo un corte adicional en la sierra Sinfín. Es importante destacar que las dimensiones finales de cada tablilla corta dependerían en gran medida de la forma y tamaño del retal original.

A continuación se presentan el diagrama de flujo de la estrategia de aprovechamiento de producción de tablillas a partir del residuo retal.

Figura 27. Diagrama de flujo estrategia de aprovechamiento tablillas



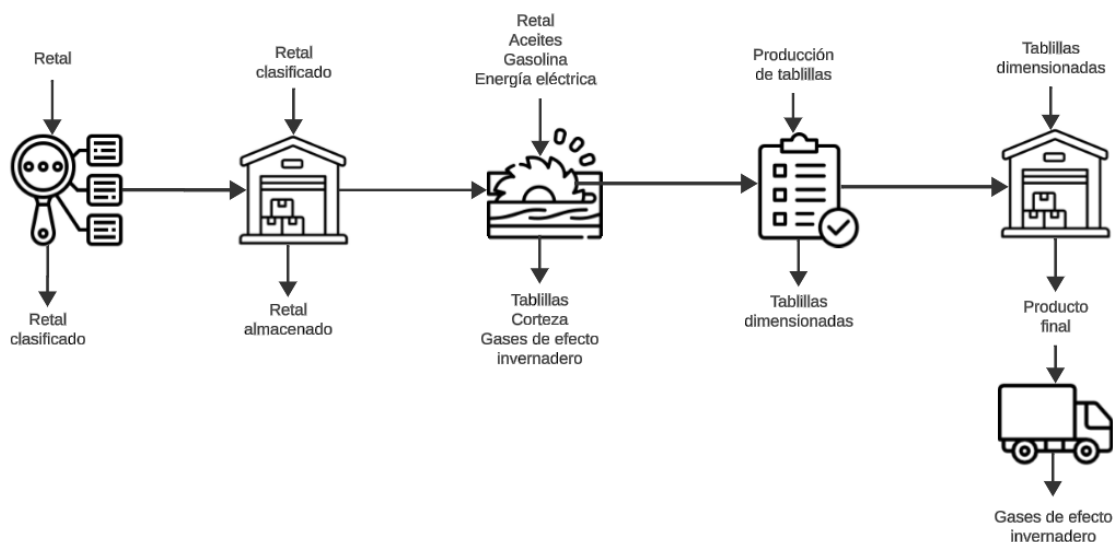
Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

En el diagrama de flujo se detallan los diversos procesos necesarios para transformar el retal en tablillas. El proceso se inicia con la clasificación del residuo, seguido por el corte en la sierra sin fin proporcionada por la organización. A continuación, se lleva a cabo una evaluación para asegurar el cumplimiento de las medidas de las tablillas.

Una vez completado este paso, las tablillas son almacenadas adecuadamente y preparadas para su transporte.

Este flujograma evidencia los procesos en donde se aplica la estrategia de aprovechamiento para la obtención de las tablillas a partir del residuo retal.

Figura 28. Ciclo de vida del producto tablillas

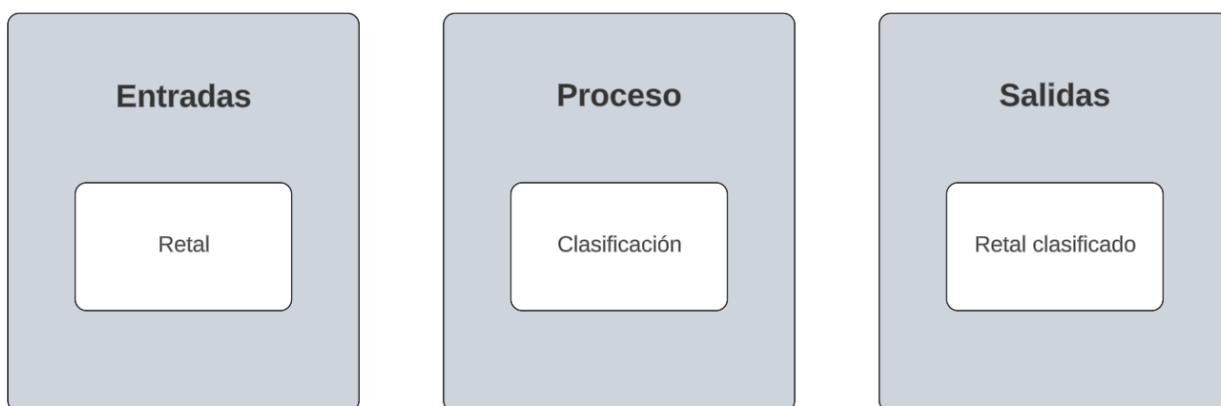


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

- Clasificación del retal

El proceso de clasificación del residuo denominado retal implica tener en cuenta sus diferentes dimensiones para así poder identificar las medidas que se utilizaran en la producción de tablillas.

Figura 29. Inventario de entradas y salidas en la clasificación del retal

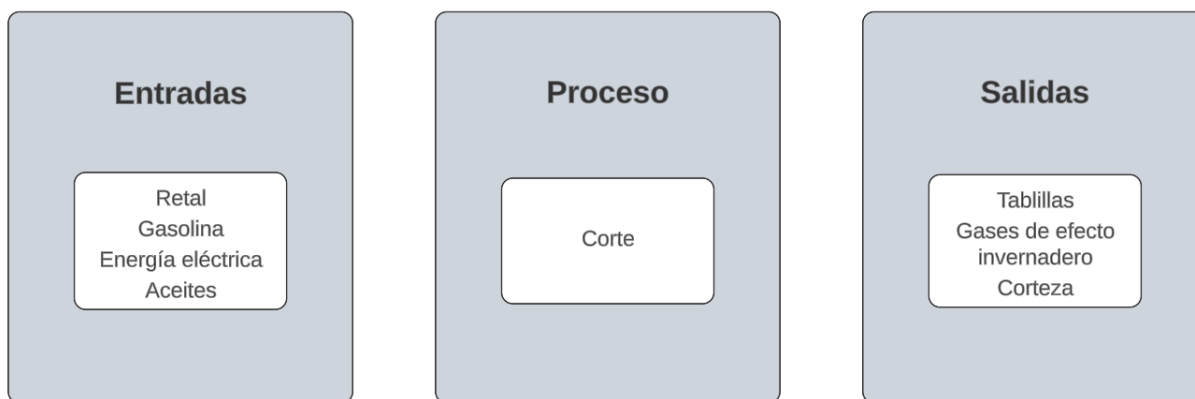


Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

- **Procesado**

Este proceso comienza con la recepción de retal y termina con la salida de la madera aserrada que es la tablilla con las dimensiones específicas.

Figura 30. Inventario de entradas y salidas en el procesado

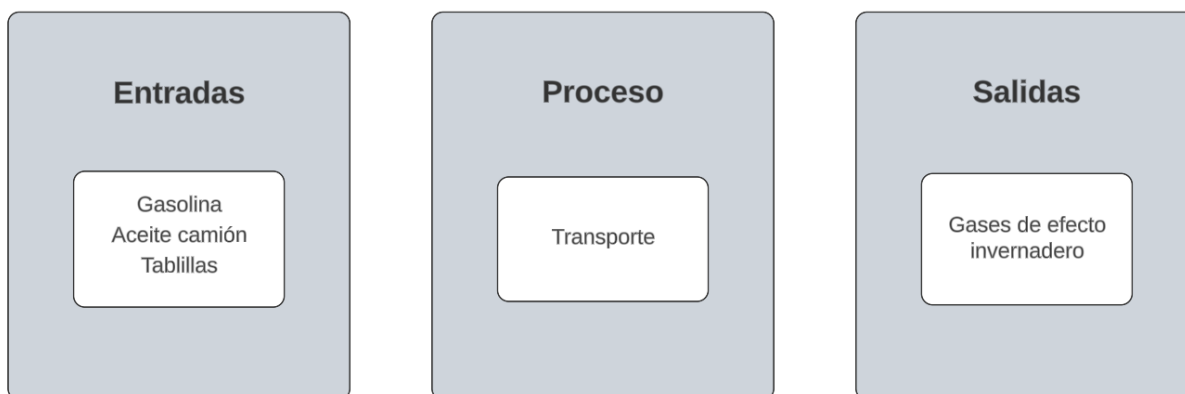


Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

- **Transporte tablillas a partir de retal**

Este proceso implica el transporte y la implementación de la estrategia de aprovechamiento del residuo retal, desde su origen hasta la entrega final al cliente.

Figura 31. Inventario de entradas y salidas en el transporte



Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

3.2.2 Producción De Carbón Vegetal

Además de la opción de fabricar tablillas con el retal, otra estrategia de aprovechamiento es la producción de carbón vegetal, el cual, según Ruiz (2023), se destaca como una excelente fuente bioenergética. El carbón vegetal se presenta como un combustible sólido de color negro, con una textura frágil y porosa, obtenido a través de un proceso de combustión o carbonización. El autor describe este proceso de la siguiente manera: La carbonización implica una combustión parcial de la madera a temperaturas que oscilan entre 400 y 700 °C, en presencia de cantidades controladas de aire. Durante este proceso, se liberan diversos productos, tales como vapor de agua y gases condensables y no condensables.

A continuación, se presenta la figura en donde se pueden visualizar los hornos en donde se realiza dicho proceso para la obtención de carbón vegetal.

Figura 32. Hornos de producción de carbón Vegetal



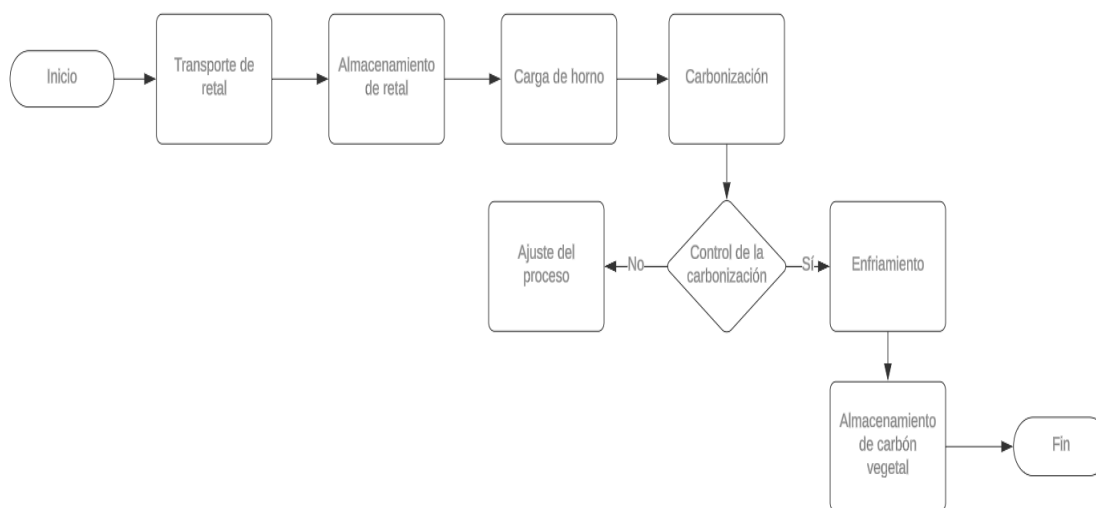
Fuente: Ruiz (2023)

Se puede apreciar que la estrategia de aprovechamiento forestal para la producción de carbón vegetal genera un impacto ambiental positivo en términos de gestión de residuos para la empresa Ritacuba Forestal. Sin embargo, es importante considerar que durante el proceso de producción del carbón vegetal se emiten una variedad de gases. Es necesario profundizar en la comprensión de estos gases y sus efectos ambientales para evaluar completamente el balance ambiental de esta estrategia.

Según *United Nation Climate Change* (2021), el carbón fue responsable de más del 40 % del aumento total de las emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial, alcanzando un récord histórico de 15 300 millones de toneladas. Asimismo, Navas (2012) que afirma que el transportar la leña para la producción de carbón vegetal aumenta significativamente su costo de producción.

A continuación se presenta el diagrama de flujo que se realiza en la producción de carbón vegetal a base de retal.

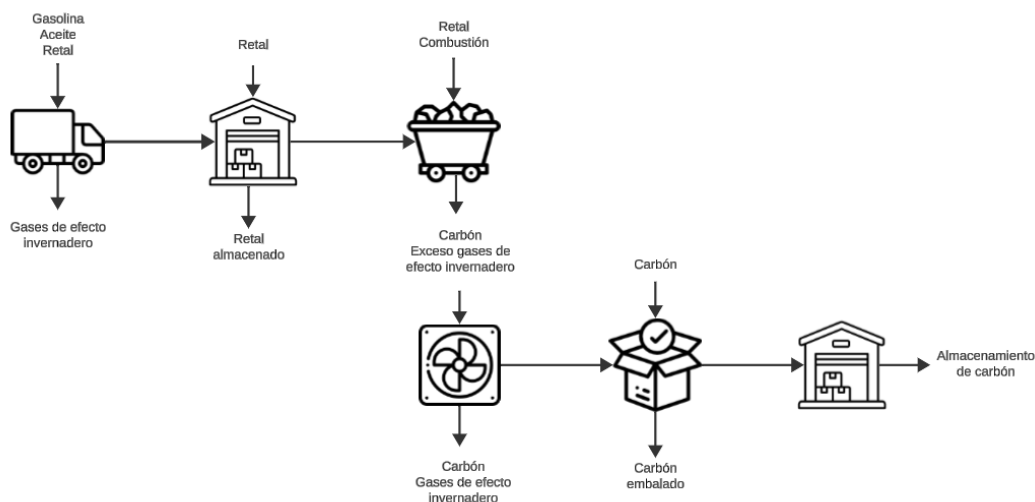
Figura 33. Diagrama de flujo estrategia de aprovechamiento carbón vegetal



Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

El proceso de producción de carbón vegetal implica una serie de procesos esenciales que van desde el transporte inicial del retal hasta la etapa final de almacenamiento del producto. Entre estos procesos, se destacan la carbonización, el enfriamiento y la posterior etapa de almacenamiento. Cada fase requiere una atención cuidadosa y métodos específicos para garantizar la calidad del producto final.

Figura 34. Ciclo de vida del producto carbón vegetal

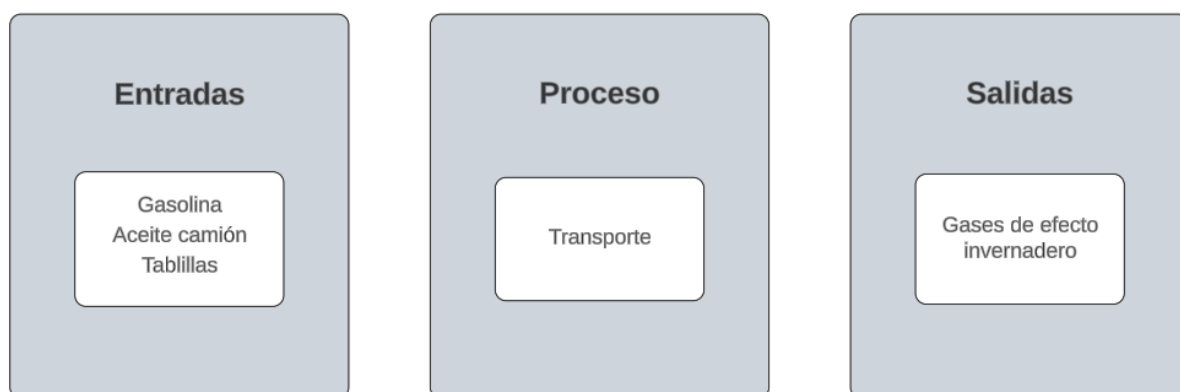


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

- Transporte carbón vegetal

Este proceso implica el transporte del retal desde su lugar de almacenamiento, que resulta de la transformación de la madera de la empresa Ritacuba Forestal, hasta una zona adecuada para la producción de carbón vegetal. Es importante considerar que el lugar donde se almacena el retal está ubicado en una zona cercana al Nevado del Cocuy, lo que plantea posibles consecuencias ambientales asociadas con la producción de carbón vegetal en esa área.

Figura 35. Inventario de entradas y salidas en el transporte

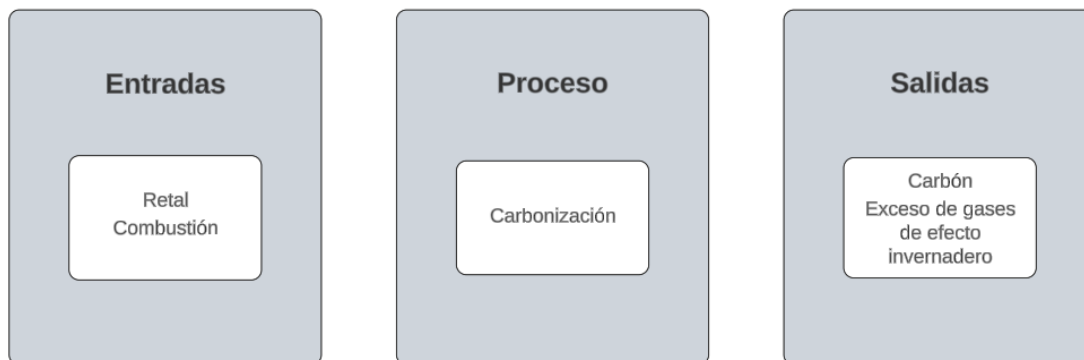


Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

- Carbonización

El proceso de combustión incompleta de la madera residual, conocido como retal, implica elevar la temperatura entre 400°C y 700°C en presencia de cantidades controladas de aire. Se resaltan la liberación de gran cantidad de gases de efecto invernadero en el proceso de carbonización.

Figura 36. Inventario de entradas y salidas en la carbonización



Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

- Enfriamiento

El proceso de enfriamiento ocurre después de que el material orgánico, como el retal, se ha sometido a altas temperaturas en un ambiente de controlada oxigenación. Una vez que se alcanza el punto deseado de carbonización, se detiene el suministro de calor y se permite que el material se enfríe gradualmente en un ambiente controlado.

Figura 37. Inventario de entradas y salidas en el enfriamiento

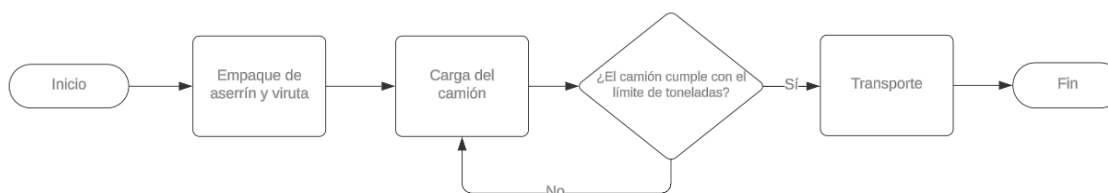


Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

3.2.3 Comercialización De Viruta Y Aserrín.

Dado el considerable volumen de aserrín y viruta acumulados, que asciende a más de un millón y medio de residuos aproximadamente, surge la necesidad de desarrollar una estrategia para aprovecharlos y evitar su simple almacenamiento. En este sentido, se propone impulsar la comercialización de estos residuos forestales. En Colombia, existen con varias empresas especializadas en la adquisición de este tipo de materiales, entre las cuales se destaca Primadera. Esta estrategia no solo ayudaría a reducir el impacto ambiental asociado al almacenamiento de residuos, sino que también brindaría a Ritacuba Forestal una nueva fuente de ingresos. A continuación se presenta el diagrama de flujo en el que se presenta la comercialización de viruta y aserrín como estrategia de aprovechamiento de residuos.

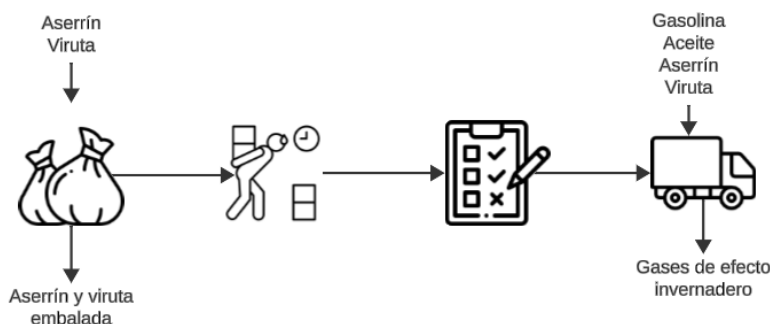
Figura 38. Diagrama de flujo estrategia de aprovechamiento comercialización de viruta y aserrín



Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

En la figura anterior se describen los diversos procesos involucrados en la estrategia de aprovechamiento conocida como comercialización de viruta y aserrín. En este proceso, los residuos se empaquetan para luego ser transportados y distribuidos a los clientes finales.

Figura 39. Ciclo de vida de la comercialización de aserrín y viruta

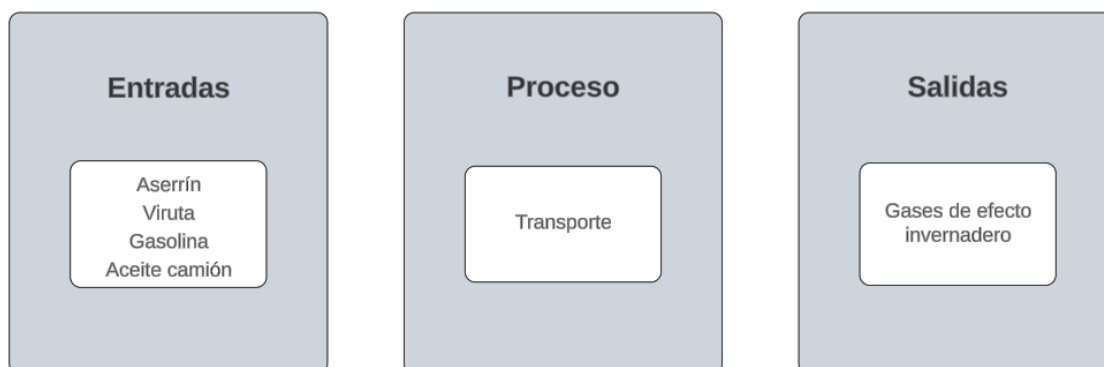


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

- Transporte comercialización de aserrín y viruta

Este proceso consta del transporte de la viruta y el aserrín, hasta los diferentes cliente que se gestionen gracias a la implementación de la estrategia de aprovechamiento.

Figura 40. Inventario de entradas y salidas en el transporte



Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

3.2.4 Pellets A Base De Aserrín Y Viruta

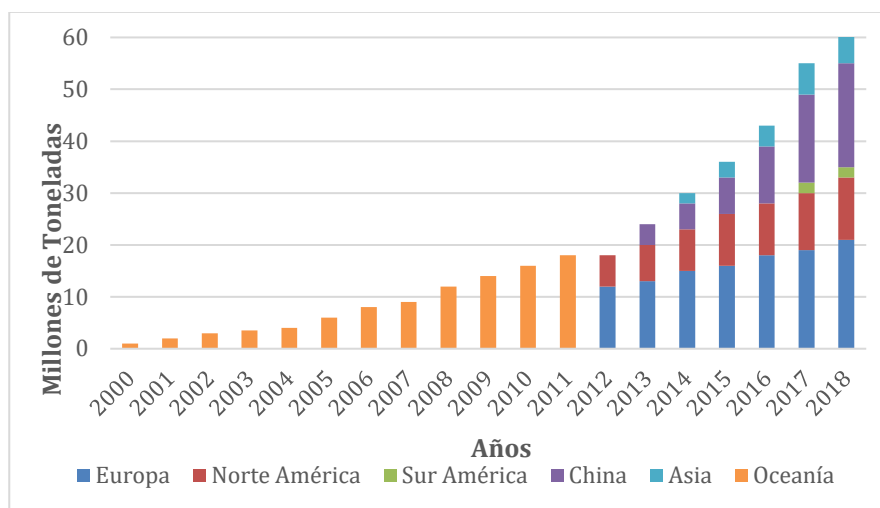
Otra de las estrategias que se pueden aplicar para el aprovechamiento del aserrín y la viruta son los pellets de biomasa, ya que sirven para generar calor. Los pellets en palabras de Delgado (2019) son un biocombustible estandarizado a nivel internacional, es un combustible sólido y de origen renovable formado por la densificación de biomasa. Esta estrategia de aprovechamiento de aserrín y viruta es importante ya que ayuda a reducir el impacto ambiental, contribuye a la energía renovable y evita la acumulación de desechos dentro de la empresa Ritacuba Forestal. Sin embargo, es considerable que durante el proceso de los pellets se generan emisiones de CO₂, uso de recursos naturales y el uso de químicos.

El mercado internacional de pellets ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años. Los datos muestran un incremento significativo desde el año 2000 hasta 2018, pasando de 1.7 a 55 millones de toneladas en producción. Este aumento se respalda con información del Informe Estadístico de Pellets de 2019 de Bioenergy Europe, que revela un crecimiento continuo del 14% entre 2017 y 2019, con una expansión especialmente rápida en Asia. En total, la

producción mundial de pellets alcanzó cerca de 55 millones de toneladas. Europa lidera este mercado, siendo responsable de aproximadamente la mitad de la producción global.

En la figura 41, se presenta la evolución de la producción de pellet a escala mundial, la cual está liderada por la Europa, que tiene aproximadamente el 50% de la producción.

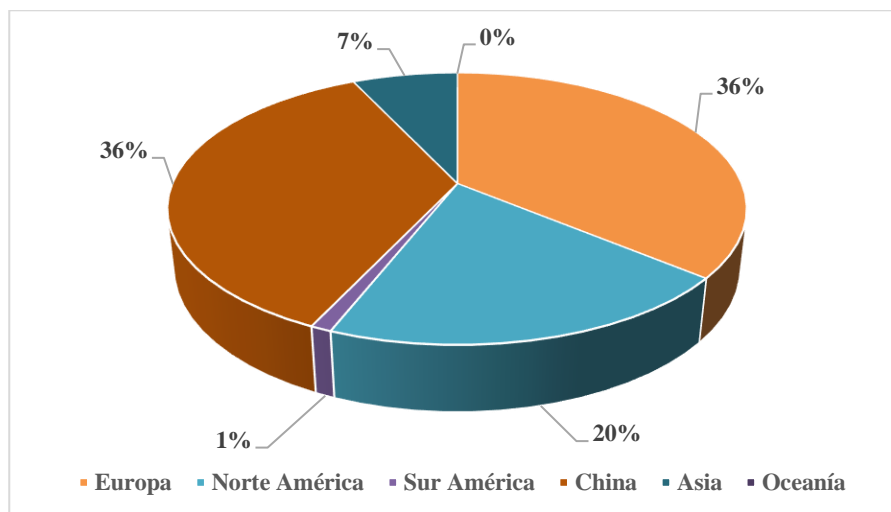
Figura 41. Evolución de la producción de pellets a nivel mundial



Fuente: Autores basados en Pinilla (2020)

La distribución porcentual de la producción mundial de pellet en 2018 se presenta en la figura 42.

Figura 42. Distribución de la producción mundial de Pellets

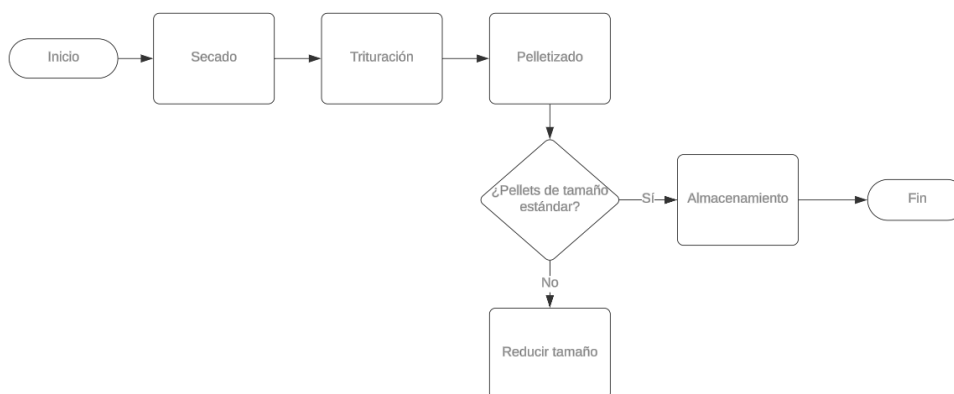


Fuente: Autores basados en Pinilla (2020)

Las figuras anteriores resaltan el crecimiento que ha tenido la producción de pellets en donde Europa y China son los mayores productores a nivel mundial.

A continuación se presenta el diagrama de flujo, en el que se presenta la producción de pellets a partir de viruta y aserrín como estrategia de aprovechamiento de residuos.

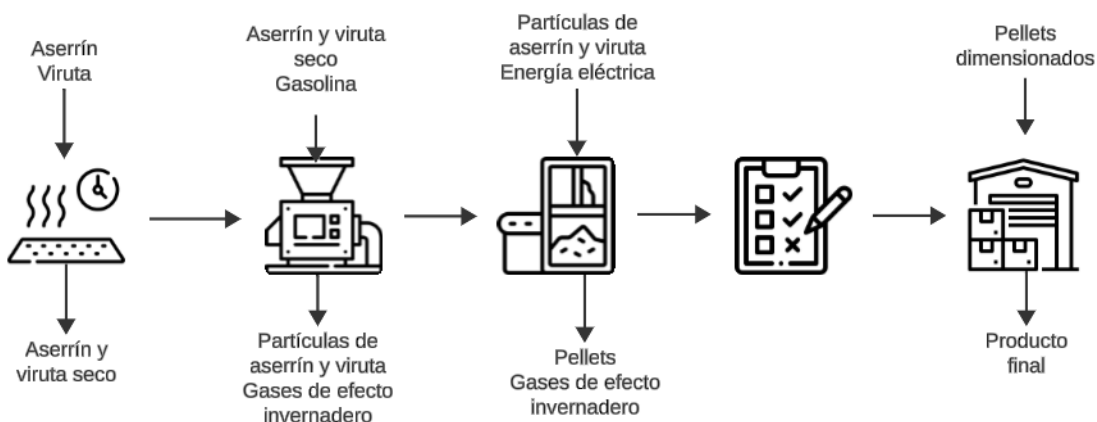
Figura 43. Diagrama de flujo estrategia de aprovechamiento producción de pellets



Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

En la figura 44 se detallan los procesos esenciales que deben tenerse en cuenta en la estrategia de aprovechamiento. Estos procedimientos abarcan desde el inicial secado de los residuos de aserrín y viruta, seguido por la trituración y el pelletizado, hasta llegar al momento de su almacenamiento subsiguiente.

Figura 44. Ciclo de vida del producto pellets

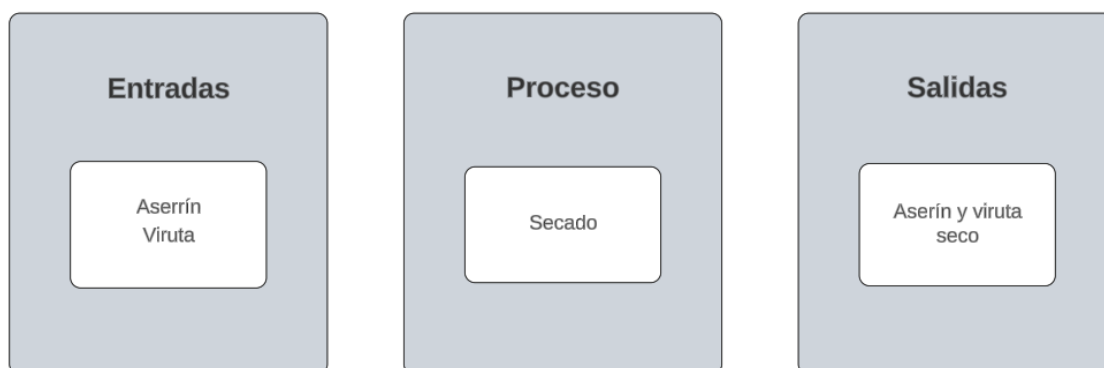


Fuente: Autores con base en información de la empresa (2024)

- Secado

Este proceso se fundamenta en el secado de los residuos forestales, específicamente aserrín y viruta, con el objetivo de alcanzar las características necesarias para la siguiente etapa del proceso.

Figura 45. Inventario de entradas y salidas en el secado

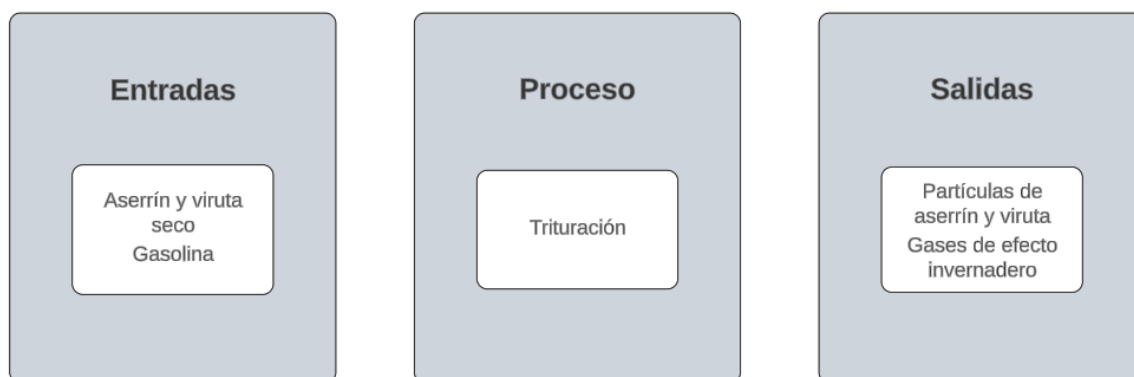


Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

- Trituración

El proceso de trituración está relacionado con la reducción de tamaño de la materia prima, que generalmente consiste en residuos como viruta y aserrín. Esta etapa es crucial para asegurar que el material tenga el tamaño adecuado para su posterior procesamiento en la forma de pellets.

Figura 46. Inventario de entradas y salidas en la trituración

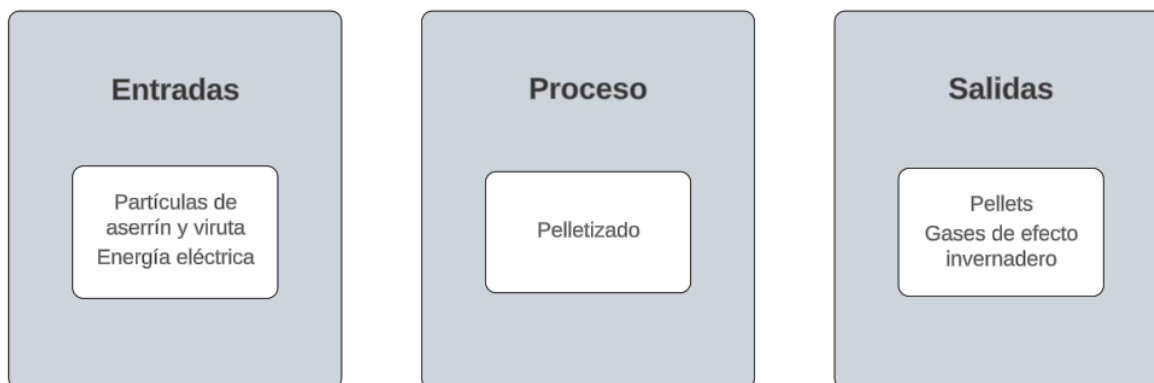


Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

- Pelletizado

El pelletizado es un proceso fundamental de la biomasa y consiste en la compactación de materiales, en forma de pequeños cilindros o pellets. Este proceso se lleva a cabo mediante la aplicación de calor y presión a la materia prima triturada.

Figura 47. Inventario de entradas y salidas en el pelletizado



Fuente: Autores basados en Llorente (2011)

3.3 Matriz Decisional

Una Matriz Decisional representa una valiosa herramienta que facilita a las administraciones de las organizaciones la toma de decisiones informadas y fundamentadas. Mediante el análisis exhaustivo y la identificación de las mejores opciones dentro de un contexto específico, esta herramienta permite a las organizaciones avanzar hacia el logro de sus metas de desarrollo organizacional (Losada, 2019).

Tomando en cuenta la definición anterior, se propone la implementación de una matriz de decisiones diseñada específicamente para evaluar factores relevantes en cuanto a las implementaciones de las estrategias de aprovechamiento.

Al utilizar esta matriz, se podrá examinar cada opción, teniendo en cuenta múltiples criterios y factores clave, lo que facilitará la toma de decisiones informadas y estratégicas para avanzar hacia una gestión efectiva de los residuos.

Según Sánchez (2019), los residuos generados en el proceso de transformación de la madera tienen un alto potencial de aprovechamiento, lo que refuerza la necesidad de evaluarlos desde distintos enfoques. El impacto ambiental recibió el mayor peso con 40 % debido al compromiso

con la protección del entorno natural y a la necesidad de implementar estrategias sostenibles que mitiguen los efectos negativos de la acumulación de los residuos.

El costo se valoró con un 35 %, considerando que, aunque la sostenibilidad es prioritaria, también es esencial que las estrategias sean económicamente viables para garantizar su implementación. Por último, la demanda se ponderó con un 25 %, dado que es relevante considerar la aceptación comercial de los productos mencionados en las estrategias.

A continuación se presenta la matriz decisional de las estrategias de aprovechamiento de residuos forestales, la cual permitirá identificar las opciones más adecuadas para el aprovechamiento de aserrín y viruta.

Tabla 28. Matriz decisional de estrategias de aprovechamiento de residuos.

Estrategias de aprovechamiento	Costo (35%)	Impacto ambiental (40%)	Demanda (25%)
Tablillas a base de retal	Bajo	Bajo	Media
Carbón vegetal	Alto	Alto	Alta
Comercialización de viruta y aserrín	Bajo	Bajo	Media
Pellets a base de aserrín y viruta	Alto	Medio	Alta

Fuente: Autores (2024)

La matriz decisional muestra el porcentaje asignado a cada estrategia, determinado gracias a la utilización de herramientas de ingeniería. Este análisis permitió identificar principalmente factores ambientales y los procesos necesarios para la implementación de las estrategias, además se evaluó la demanda del producto resultante de la estrategia de aprovechamiento de residuos propuesta.

La siguiente tabla presenta el cálculo de los factores relevantes en relación con las tablillas. Estos cálculos se derivan de la multiplicación del porcentaje de importancia de cada factor por la puntuación asignada, que varía de 1 a 3. Esta metodología proporciona una evaluación de cada ítem, permitiendo luego la suma de estos valores para obtener una puntuación (P) y una valoración (V). Cuanto mayor sea esta puntuación, mayor será el potencial para generar un mejor aprovechamiento de los residuos.

Tabla 29. Cálculo matriz de ponderación tablillas

	%	Tablillas	
		P	V
Costo	35%	3	1,05
Impacto ambiental	40%	3	1,2
Demanda	25%	2	0,5
			2,75

Fuente: Autores (2024)

La siguiente tabla muestra el análisis de la matriz de ponderación sobre el carbón vegetal. Los cálculos demuestran que sólo la demanda tiene una puntuación alta, lo que hace que la valoración de como resultado 1,5 convirtiéndose en una alternativa poco aprovechable.

Tabla 30. Cálculo matriz de ponderación carbón vegetal

	%	Carbón vegetal	
		P	V
Costo	35%	1	0,35
Impacto ambiental	40%	1	0,4
Demanda	25%	3	0,75
			1,5

Fuente: Autores (2024)

La Tabla 30 presenta la evaluación de la ponderación en cuanto a la comercialización de los residuos de madera generados en Ritacuba Forestal. Los cálculos reflejan una puntuación alta en cuanto al costo, el impacto ambiental. Sin embargo, la demanda media resulta en una valoración final de 2,75.

Tabla 31. Cálculo matriz de ponderación comercialización de aserrín y viruta

	%	Comercialización	
		P	V
Costo	35%	3	1,05
Impacto ambiental	40%	3	1,2
Demanda	25%	2	0,5
			2,75

Fuente: Autores (2024)

Al analizar y evaluar los pellets elaborados a partir de viruta y aserrín, se observa que el impacto ambiental obtiene puntuaciones medias, mientras que el costo tiene una puntuación baja. Esto resulta en una valoración total de 1,9, lo que sugiere que esta estrategia de aprovechamiento no tiene un potencial considerable.

Tabla 32. Cálculo matriz de ponderación pellets

	%	Pellets	
		P	V
Costo	35%	1	0,35
Impacto ambiental	40%	2	0,8
Demanda	25%	3	0,75
			1,9

Fuente: Autores (2024)

Después de analizar detenidamente las diversas alternativas y basándose en los criterios establecidos en la matriz decisional, se ha tomado la decisión de descartar la opción del carbón vegetal debido a su considerable impacto ambiental.

Asimismo, se ha decidido descartar los pellets a base de viruta y aserrín debido a los altos costos existentes en el proceso de obtención. En lugar de estas opciones, se ha optado por elegir las estrategias de tablillas a base de retal y comercialización de aserrín y viruta.

Estas opciones se consideran más favorables ya que ofrecen una combinación adecuada de costo, impacto ambiental y demanda, relacionando mejor la sostenibilidad y con mayor posibilidad de dar una rentabilidad para la organización.

3.4 Hallazgos

El ámbito del aprovechamiento de residuos forestales se caracteriza por su diversidad en términos de posibilidades de recuperación. En este contexto, en el presente capítulo se exponen y analizan cuatro opciones estratégicas específicas, las cuales son tablillas a partir de retal, producción de carbón, comercialización de viruta y aserrín y por último pellets a base de aserrín y viruta.

Estas alternativas fueron sometidas a una evaluación utilizando un conjunto de mismas herramientas de ingeniería industrial, lo que permitió establecer un criterio objetivo para su evaluación comparativa.

Los resultados obtenidos a través de la matriz decisional evidencian que, entre las estrategias consideradas, relacionadas con los residuos denominados viruta y aserrín presentan mayores ventajas en términos de impacto ambiental, costo y demanda. Específicamente, la comercialización de estos materiales se destaca como una opción altamente favorable en varios aspectos.

Por otro lado, al analizar los residuos forestales conocidos como retal, se identifica que la producción de tablillas a partir de este tipo de material es una estrategia de aprovechamiento no convencional. Este enfoque permite aprovechar el valor de los residuos, transformándolos en productos útiles y rentables.

Esta mejora aportaría beneficios significativos mejorando el manejo de derivados del proceso de transformación y al mismo tiempo, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental asociado con su disposición final actual.

En el próximo capítulo de la investigación, se llevará a cabo un análisis detallado de estas dos estrategias de aprovechamiento forestal con el fin de determinar su relación costo-beneficio.

4. Análisis Costo-beneficio De Las Propuestas De Aprovechamiento De Residuos

Este capítulo se enfocará en el análisis de costo-beneficio de las propuestas de aprovechamiento seleccionadas para la empresa Ritacuba Forestal por hectárea de árboles talados. Dichas estrategias incluyen el uso de tablillas fabricadas a partir de retal, así como la comercialización de aserrín y viruta.

El análisis detallado de los costos y beneficios asociados con la implementación de estas estrategias será fundamental para evaluar su viabilidad. Se examinarán aspectos como los costos de producción, los ingresos esperados, así como los beneficios ambientales derivados de la reducción de almacenamiento de residuos forestales.

4.1 Medida De Tablillas A Partir De Retal

Considerando que el residuo conocido como retal no posee medidas específicas, a continuación se presenta una tabla detallada que ilustra las dimensiones de las tablillas resultantes de la estrategia de aprovechamiento de residuos.

Además se realizó un estudio del estado de las tablillas en donde se identificó que 6 de cada 10 retales sirven para la obtención de la tablilla corta, esto debido a que llevan un tiempo considerable almacenado al aire libre y la humedad lo ha afectado notoriamente.

Tabla 33. Medida de Tablillas

Producto	Medidas cm			cm^3
	Ancho	Alto	Largo	
Tablilla 1	8	1,5	140	1680
Tablilla 2	6	1,5	140	1260
Tablilla 3	8	1,5	100	1200

Fuente: Autores (2024)

En el proceso de fabricación de tablillas a partir de retal, se distinguen tres medidas, cada una definida por dimensiones que van desde los 1200 cm^3 hasta los 1680 cm^3 . Este rango de medidas es adecuado para satisfacer diferentes necesidades en entornos industriales y comerciales.

4.2 Costos De La Propuesta De Aprovechamiento De Residuos De Tablillas A Partir De Retal

A continuación, se presenta la tabla de los costos por hectárea asociados con la estrategia de aprovechamiento de residuos para la producción de tablillas a partir de retal.

Tabla 34. Costos Tablillas a base de retal por Hectárea

Estrategia	Nombre	Costo	Costo por Hectárea
1	Tablillas a base de retal	Mano de Obra (3 personas)	\$ 18.360.000
		Mantenimiento Sierra Sinfín	\$ 7.500.000
		Alquiler Transporte	\$ 31.700.000
		Energía Eléctrica	\$ 3.100.000
Total			\$ 60.660.000

Fuente: Autores (2025)

Los costos totales asociados con la propuesta de aprovechamiento ascienden a un total de \$60.660.000. Es importante destacar que estos costos están directamente vinculados a la variable del residuo conocido como retal. Se estima que el total de estos residuos alcanza aproximadamente los 248.314,56 kilogramos por hectárea procesada. Sin embargo, se proyecta utilizar alrededor del 60% de estos residuos en el proceso de aprovechamiento, ya que dentro de este proceso hay un porcentaje de retal que se ha visto afectado, principalmente por las condiciones climáticas. El tiempo que se proyecta para el aprovechamiento de este residuo por hectárea es de más de 3,5 meses dada la cantidad potencial del residuo.

4.3 Proyección De Ventas De Tablillas A Partir De Retal

A continuación se presenta la proyección de ventas de las tablillas a base de retal en tres medidas distintas, con el objetivo de calcular las ventas por hectárea procesada.

Tabla 35. Proyección de ventas de tablillas por Hectárea

Producto	Cantidades	Precio Unitario	Venta por Hectárea
Tablilla 1	31.250	\$ 1.000,00	\$ 31.250.000
Tablilla 2	41.335	\$ 800,00	\$ 33.068.000
Tablilla 3	43.402	\$ 800,00	\$ 34.721.000
Total			\$ 99.039.000

Fuente: Autores (2025)

La tabla 34 proporciona una visión detallada del potencial comercial de este producto, con una expectativa de comercialización de 115.987 tablillas por hectárea. Esta proyección no solo se limita a cifras financieras, sino que también refleja una visión estratégica a largo plazo. Se anticipa una generación de ingresos de \$ 99.039.000.

4.4 Costos De La Propuesta De Aprovechamiento De Residuos De Comercialización De Aserrín Y Viruta

La tabla 35 muestra los costos asociados a la implementación de la propuesta de aprovechamiento de residuos forestales de la comercialización de viruta y aserrín por hectárea.

Tabla 36. Costo comercialización de aserrín y viruta por Hectárea

Estrategia	Nombre	Costo	Costo por Hectárea
2	Comercialización de aserrín y viruta	Mano de Obra (1 persona)	\$ 6.640.000
		Lonas (5304)	\$ 10.608.000
		Alquiler Transporte	\$ 14.200.000
Total			\$ 31.448.000

Fuente: Autores (2025)

En el ámbito de la comercialización de los residuos de viruta y aserrín, que actualmente están siendo almacenados conjuntamente, se proyecta utilizar aproximadamente el 85% de estos residuos forestales. Esta estimación tiene en cuenta el método de almacenamiento actual, que consiste en depositarlos sobre pasto en una montaña. Esta cifra representa un potencial de aprovechamiento de más de 133 toneladas por hectárea de residuos forestales, que contempla un periodo de operación aproximado de 4 meses.

4.5 Proyección De Ventas de Aserrín y Viruta

Posteriormente se presenta la proyección de ventas de la comercialización de aserrín y viruta, con el fin de hacer el cálculo de las ventas por hectárea.

Tabla 37. Proyección ventas comercialización de aserrín y viruta

Producto	Cantidad (Lonas)	Precio Unitario	Venta por Hectárea
Aserrín y Viruta	5304	\$ 9.000	\$ 47.736.000

Fuente: Autores (2025)

La tabla 36 ofrece una visión de la proyección de la comercialización de aserrín y viruta. Este análisis detallado revela una venta por hectárea de \$ 47.736.000, estableciendo un precio unitario de \$9.000 para cada lona de aserrín y viruta de 25 kilogramos. Estos datos demuestran un panorama prometedor para el producto, reflejando una demanda constante y una estrategia de precios efectiva.

4.6 Costos Totales De Las Propuestas Para El Aprovechamiento De Los Residuos

La tabla 37 muestra el costo por hectárea procesada de las tablillas a partir de retal y la comercialización de aserrín y viruta, este fue calculado sumando los costos de cada propuesta con el fin de analizar la implementación de estas dentro de la empresa Ritacuba Forestal.

Tabla 38. Flujo neto de las estrategias de aprovechamiento por Hectárea

Estrategias	Venta por Hectárea	Costo por Hectárea	Flujo Neto por Hectárea
Tablillas a partir de retal	\$ 99.039.000	\$ 60.660.000	\$ 38.379.000
Comercialización de aserrín y viruta	\$ 47.736.000	\$ 31.448.000	\$ 16.288.000
Total	\$ 146.775.000	\$ 92.108.000	\$ 54.667.000

Fuente: Autores (2024)

Los resultados muestran un costo total por hectárea de \$ 92.108.000 que se calculó de la suma de las dos propuestas. La primera estrategia muestra la suma de la mano de obra, mantenimiento de la sierra sinfín, alquiler del transporte y energía eléctrica estimando un costo de \$ 60.660.000.

En la segunda propuesta, los costos estimados resultan de la suma de mano de obra, lonas y el alquiler de transporte, dando como resultado un costo de \$ 31.448.000. Además, se resalta el flujo neto, al realizar la venta anual, menos los costos anuales de aproximadamente \$ 54.667.000.

4.7 Retorno De La Inversión

Considerando tanto los costos asociados con la propuesta de mejora como la inflación en Colombia para los próximos años, se ha elaborado un flujo de caja que ofrece una visión detallada del rendimiento de la inversión a lo largo de un período de cinco hectáreas, en donde cada una cuenta con un tiempo de operación de 3,5 meses.

Tabla 39. Flujo de caja para la propuesta de aprovechamiento

Costos	1	2	3	4	5
- \$ 92.108.000	\$ 146.775.000	\$ 149.710.500	\$ 152.646.000	\$ 155.581.500	\$ 158.517.000

Fuente: Autores (2025)

A continuación se relacionan los datos de retorno de la inversión en donde se puede observar la TIR, y la relación costo beneficio.

Tabla 40. Retorno de la inversión

TIR	92,14%
VAN	\$ 341.391.288
Beneficio/Costo	5,41
Payback	1

Fuente: Autores (2025)

El retorno de la inversión será en un año para la empresa, en donde se presenta una tasa interna de retorno del 92,14%, y resaltan que la relación costo beneficio es 5,41 lo cual refleja que la propuesta es viable a lo largo de los años y trae beneficios para la empresa.

4.8 Medición De Aprovechamiento De Residuos.

A continuación, se detalla el porcentaje de aprovechamiento de residuos forestales, basado en las dos propuestas seleccionadas para gestionar los tres tipos de residuos generados en los procesos de la organización.

$$\frac{RA\ 5.959,5\ (Tn)}{TRR\ 9.932,6\ (Tn)} \times 100\% = 60\% \text{ (Ecuación 7. Porcentaje aprovechamiento de retal)}$$

RA = retal aprovechado

TRR= total residuos de retal

$$\frac{AVA\ 5.339,8\ (Tn)}{TRAV\ 6.282,2\ (Tn)} \times 100\% = 85\% \text{ (Ecuación 8. Porcentaje aprovechamiento aserrín y viruta)}$$

AVA = Aserrín y viruta aprovechado

TRAV = Total residuos de aserrín y viruta

En conclusión, al analizar el porcentaje de aprovechamiento de los residuos generados en la producción, se observa que el 60% del retal, equivalente a 5.959,5 toneladas, se va a reutilizar de manera efectiva, de un total de 9.932,6 toneladas de residuos de retal generados. Por otro lado, el aprovechamiento del aserrín y viruta es más efectivo, alcanzando un 85%, lo que corresponde a 5.339,8 toneladas reutilizadas de un total de 6.282,2 toneladas generadas. Estos porcentajes reflejan un esfuerzo significativo en la gestión de residuos ya que el aprovechamiento de estos supera el 50% de la plantación.

4.9 Beneficios Ambientales

La propuesta de mejora para el aprovechamiento de residuos forestales dirigida a la empresa Ritacuba Forestal no solo tiene beneficios económicos, sino que también ofrece importantes ventajas ambientales. En primer lugar, al aprovechar los residuos forestales, se mejora la calidad del suelo donde estos están siendo almacenados, lo cual contribuye a la preservación del medio ambiente. Esta acción no solo reduce la cantidad de residuos acumulados, sino que también promueve la salud y la biodiversidad del suelo, favoreciendo así la regeneración de los ecosistemas locales.

Además, al implementar esta estrategia de aprovechamiento, se disminuye significativamente el riesgo de incendios forestales asociados con el almacenamiento descontrolado de residuos. Asimismo, el aprovechamiento de residuos forestales en productos útiles, como tablillas y la comercialización de viruta y aserrín, contribuye a la bioeconomía circular. Por consiguiente, la empresa puede, por tanto, posicionarse como un referente en sostenibilidad, incrementando su reputación y competitividad en el mercado.

5. Conclusiones Y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Al realizar el diagnóstico de la empresa Ritacuba Forestal, se identificaron problemas significativos relacionados con el almacenamiento excesivo de residuos forestales generados durante los procesos de transformación de la madera. En todos los procesos se generan residuos, de los cuales el 46% no son aprovechables debido a que son producidos en el área de la plantación.

En las 40 hectáreas de plantación, la cantidad de residuos forestales cuantificada asciende a más de 15.000 toneladas. Estos residuos se generan durante los diferentes procesos operativos de la organización en la transformación de la madera.

Las propuestas seleccionadas para el aprovechamiento de residuos se han diseñado considerando factores que minimizan el impacto ambiental en el ecosistema, especialmente dada la proximidad al nevado del Cocuy.

El aprovechamiento de residuos mediante las estrategias seleccionadas proyecta una utilización del 60% para el residuo denominado retal y del 85% para los residuos de aserrín y viruta. Esto implica que se aprovecharán más de 10.000 toneladas de residuos forestales, lo cual destaca el significativo potencial de estas estrategias.

La adecuada capacitación del personal operativo en las nuevas técnicas y procesos para el aprovechamiento de residuos forestales es fundamental para asegurar que estas prácticas se implementen de manera eficiente, minimizando errores y optimizando el uso de los recursos disponibles.

En términos económicos las estrategias seleccionadas son viables, debido a que el aprovechamiento de dichos residuos genera unas nuevas entradas de dinero para la empresa por aproximadamente \$ 54.667.000 COP por hectárea.

Desde la parte ambiental, la implementación de la estrategia de aprovechamiento tiene impactos positivos significativos, ya que reduce considerablemente tanto el riesgo de incendios como la contaminación de fuentes hídricas.

5.2 Recomendaciones

Es fundamental fomentar una cultura de mejora continua en la organización. Esto requiere involucrar activamente la participación de los colaboradores en el proceso de identificación de

oportunidades de mejora, así como establecer canales de comunicación que faciliten el intercambio de conocimientos y experiencias.

Se recomienda centrarse en la implementación efectiva de las estrategias de aprovechamiento propuestas, así como en el seguimiento y evaluación constante de los resultados obtenidos. Estas acciones contribuirán a generar un impacto significativo en la rentabilidad de la empresa y a promover la sostenibilidad del ecosistema.

Una estrategia para incrementar la eficiencia de la producción es implementar un plan de mantenimiento preventivo y calibración regular de las sierras y otros equipos que intervienen en el proceso de transformación de la madera. Esto ayudará a conservar la exactitud en los cortes, disminuir la cantidad de residuos producidos y aumentar el aprovechamiento de la madera.

La capacitación constante en técnicas de corte, manejo eficiente de los equipos y prácticas en la planta puede mejorar el rendimiento operativo y como resultado, aumentar el aprovechamiento de los recursos en el proceso de transformación de la madera.

Considerar la posibilidad de formar alianzas estratégicas con empresas que puedan incorporar residuos forestales como aserrín, viruta y retal en sus procesos productivos. Esto con el fin de abrir nuevas vías de ingresos para Ritacuba Forestal.

6. Referencias

- Álvarez Redondo, M., & Ferro Moreno, S. (2024). Aprovechamiento biocircular de residuos forestales en bosques nativos: análisis económico de los fachinales de caldén en La Pampa.
- Argüeso, B. (2019). El proceso de transformación de la madera.
- Asprilla, A (2023). Problemáticas de Aserraderos en Zonas Urbanas.
- Boletín Estadístico Forestal (2021).
- Bravo Martín, R. (2022). Aprovechamiento de residuos biomásicos para generar hidrógeno y energía.
- C3-Bioeconomy (2021). El comercio del carbón vegetal y su transitar hacia la bioeconomía.
- Cabeza, D (2024). Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro.
- Corporación del Valle, (2020). Guía para la elaboración del plan de manejo forestal – aprovechamiento persistente.
- Del Cisne Marín-Apolo, Y., Iñiguez, M. E. V., & Correa, D. O. (2025). Aprovechamiento de residuos agrícolas para producción de electricidad en Latinoamérica: Revisión literaria de casos exitosos en México, Colombia y Brasil. *Revista InGenio*.
- FAO (2020). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO (2021). Manual de aprovechamiento forestal maderable.
- Figueruela, N. (2018). Mejora de los procesos.
- Fedemaderas (2023). El mercado mundial de combustibles de pellets de madera.
- Feria líder internacional para el procesamiento de madera (2023).
- Fonseca, G (2021). Lean six sigma
- Galloway, D. (2022). Mejora continua de procesos: cómo rediseñar los procesos con diagramas de flujos y análisis de tareas.
- Gonzales, Y (2018). Aprovechamiento De Los Residuos De Madera.
- González, J. & Ramírez, P. (2018). Gestión y aprovechamiento de residuos sólidos en la industria maderera. *Revista de Ingeniería y Medio Ambiente*, 25(2), 45-60.
- González, Y (2020). Relatoría del estudio de impacto ambiental preliminar manejo forestal sustentable.
- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación.
- Llorente, I. (2011). Análisis del ciclo de vida de la ventana de madera.

- López, L (2019). Aprovechamiento de residuos madereros, cuantificación, caracterización y valorización.
- Losada, E. (2019). Qué importancia tiene la toma de decisiones para el desarrollo empresarial
- Maderero, D.D.F. (2022). Boletín Estadístico Forestal,(Forestal Maderero).
- Martínez, R (2019). Modelo de logística inversa en residuos electrónicos colombianos para contribuir con el cuidado del medio ambiente.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 1076 de 2015.
- Morales, J. (2018). Tecnología de la madera: Procesos y aplicaciones industriales.
- Moscoso, J (2016). Evaluación ambiental de alternativas tecnológicas de aprovechamiento energético de residuos forestales mediante análisis de ciclo de vida.
- Muñoz, J., Zapata, C. (2022). Lean manufacturing modelos y herramientas.
- Peña, E (2020). Residuos de la cosecha forestal.
- Piñeros, C (2021). Propuesta de una herramienta para el registro de proyectos de inversión en Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Pince, V (2011). La matriz Leopold para la evaluación del impacto ambiental.
- Restrepo, J (2024). Análisis del mercado para la exportación de pellets de PET de la Asociación de Recuperadores Ambientales.
- Reyes, G (2018). Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biocarbón como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de Acacia mangium Willd.
- Reyes Jipa, J. G. (2021). Aprovechamiento de los residuos forestales para la elaboración de productos con fines comerciales.
- Rodríguez, C. P. P., Ríos, L. A., González, C. S. D., Montaña, A., & Marroquín, C. G. (2023). Aprovechamiento de la biomasa residual como fuente de energía renovable en Colombia: Escenario de gasificación potencial. Palmas, 44(1), 65-82.
- Sánchez, J (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad.
- Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing. Paso a Paso.
- Traed Madera. (2018). Madera Urbana - Traed Madera.
- Zamora, J., & Rodríguez, C. (2021). Transformación primaria de la madera: técnicas y aplicaciones. Revista Ciencias Forestales y del Ambiente.
- Zúñiga, J. R., Guillén, M. D. J. G., & Pacheco, E. V. (2021). Factores de éxito en las empresas forestales comunitarias: un caso de estudio. Sociedad y Ambiente, (24), 1-29.

7. Anexos

Anexo A. Tablilla corta de la estrategia seleccionada



Anexo B. Lona de aserrín y viruta de 25 Kg



Anexo C. Machimbre



Anexo D. Varillones



Anexo E. Costos de producción de Carbón Vegetal

Estrategia	Nombre	Costo	Costo por Hectárea
2	Carbón Vegetal	Mano de Obra (5 personas)	\$ 36.200.000,00
		Alquiler Transporte	\$ 42.500.000,00
		Horno de Carbonización	\$ 19.900.000,00
		Mantenimiento del horno	\$ 3.340.000,00
		Gas-Energía eléctrica	\$ 8.500.000,00
Total			\$ 110.440.000,00

Anexo F. Costos de producción Pellets a base de aserrín y viruta

Estrategia	Nombre	Costo	Costo por Hectárea
4	Pellets a base de aserrín y viruta	Mano de Obra (5 personas)	\$ 36.200.000,00
		Alquiler Transporte	\$ 14.200.000,00
		Trituradora	\$ 10.500.000,00
		Pelletizadora	\$ 18.750.000,00
		Mantenimiento	\$ 5.200.000,00
		Energía eléctrica	\$ 10.500.000,00
		Lonas	\$ 10.608.000,00
Total			\$ 105.958.000,00

Anexo G. Estimación de la demanda de las estrategias de aprovechamiento

Estrategias	Demanda Nacional e Internacional	Tendencia de crecimiento
Tablillas a base de retal	Demanda en sectores de construcción, embalajes, carpintería rústica y muebles de bajo costo.	Crecimiento sostenido del mercado de tablillas de madera. Boletín estadístico Forestal (2021)
	Alta valorización de productos recuperados.	
Carbón vegetal	Consumo en Colombia: 7-8 millones de toneladas/año, principalmente para cocción, fundición artesanal y exportación.	Demanda estable, pero con riesgo por regulaciones ambientales. Carrillo (2021)
	Alta dependencia en sectores rurales.	
Comercialización de aserrín y viruta	Alta demanda en sectores porcinos, avícolas, compostaje y ganadería extensiva.	Mercado estable pero sin crecimiento exponencial. Boletín estadístico Forestal (2021)
	Uso en tableros MDF o aglomerados.	
Pellets a base de aserrín y viruta	Alta, con enfoque en países con políticas de descarbonización energética.	Tasa de crecimiento anual compuesta del 7.6% desde 2023 hasta 2032. Fedemaderas (2023)
	En crecimiento, especialmente en sectores como avicultura, floricultura y generación térmica.	

Anexo H. Matriz de evaluación de impacto ambiental (Leopold)

Estrategia / Factor	Calidad del aire	Calidad del suelo	Calidad del agua	Flora y fauna	Cont. del suelo	Cont. visual	Total	Nivel Global
1. Tablillas a partir de retal	1 2	2 4	1 2	1 2	2 3	2 3	26	Bajo
2. Carbón vegetal	-7 8	-4 6	-3 4	-3 4	-4 6	-3 4	-140	Alto
3. Comercialización de aserrín y viruta	1 2	2 4	1 2	1 2	1 3	2 3	23	Bajo
4. Pellets a base de aserrín y viruta	3 4	2 4	2 4	2 3	2 4	2 4	50	Medio