

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA DE
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE COSECHA DE PINO

por

María Lucía ARBIZA FORNAROLI
Kristian Bernardo ELVERS FERNÁNDEZ

PROYECTO presentado como uno
de los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2018

Proyecto aprobado por:

Director:

Ing. Agr. Mag. Martha Tamosiunas

Ing. Agr. Gonzalo García

Dr. Ing. Agr. Forestal Gustavo Daniluk

Fecha: 26 de febrero de 2018

Autores:

María Lucía Arbiza Fornaroli

Kristian Bernardo Elvers Fernández

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo fue posible gracias a la ayuda de muchas personas:

- A nuestras familias y amigos, que estuvieron presentes durante todo el camino, brindando todo el apoyo necesario para culminar esta etapa.

- A nuestros docentes Martha Tamosiunas, Gonzalo García y Gustavo Daniluk, todo nuestro agradecimiento, por guiarnos y lograr que fuera posible llevar adelante nuestro proyecto, y, sobre todo por regalarnos su tiempo y confiar en nosotros.

- A Sully Toledo, quien con mucha paciencia siempre estuvo dispuesta para las correcciones.

- A Luis Sancho, José Casado, Federico Rodríguez, Javier Bidegain, Olimpio Pereira, Leonardo Boragno, Mariana Boscana, Nelson Ledesma, Jorge Lorenzo, Juan Isasa, Virginia Vera y Fernando Irisity, quienes colaboraron con mucha información, que de otra manera hubiera sido difícil de encontrar.

- Al Departamento Forestal, por los conocimientos, la amabilidad y hospitalidad que siempre tuvieron con sus alumnos, estando siempre disponibles para cualquier duda que tuviéramos.

“Cuando los sueños que sueñas vengan hacia ti; cuando coseches todo el trabajo que has hecho, permítete sentir el orgullo, pero siempre mantente humilde y amable.”- Tim McGraw.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>DIAGNÓSTICO</u>	2
2.1 <u>DESCRIPCIÓN</u>	2
2.1.1 <u>Recurso forestal</u>	2
2.1.1.1 Superficie y distribución de los bosques.....	3
2.1.1.2 Empresas productoras de pino	4
2.1.1.3 Plan de manejo de la especie	5
2.1.1.4 Viabilidad técnica del pino para su uso energético.....	8
2.1.1.5 Caracterización de los residuos.....	9
2.1.2 <u>Mercado de pino</u>	16
2.1.2.1 Principales productos y destino	16
2.1.2.2 Tendencias del mercado.....	21
2.1.2.3 Subproductos	23
2.1.2.4 Posibilidades de procesamiento de diámetros finos	24
2.1.3 <u>Capacidades instaladas en la zona</u>	25
2.1.3.1 Infraestructura.....	25
2.1.3.2 Empresas de servicio de cosecha operando en la zona.....	29
2.1.3.3 Industrias de la transformación de la madera	29
2.1.3.4 Industrias dedicadas a la generación de energía a partir de biomasa..	30
2.1.3.5 Fenirol S.A.....	32
2.1.4 <u>Distribución de los bosques respecto a Fenirol</u>	34
2.2 <u>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA OFERTA DE PINO</u>	35
2.2.1 <u>Análisis FODA</u>	37
2.2.1.1 Fortalezas	37
2.2.1.2 Oportunidades	37
2.2.1.3 Debilidades	38
2.2.1.4 Amenazas.....	38

2.3	CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO	39
3.	<u>PROYECTO</u>	40
3.1	OBJETIVOS.....	40
3.2	ESTUDIO TÉCNICO.....	40
3.2.1	<u>Procesamiento de la biomasa, alternativas técnicas posibles</u>	40
3.2.1.1	Sistemas de astillado en campo	42
3.2.1.2	Sistema de astillado en orilla de camino.....	42
3.2.1.3	Sistema de astillado en terminal intermedia	43
3.2.1.4	Astillado en el destino.....	44
3.2.2	<u>Supuestos</u>	44
3.2.3	<u>Proceso de producción</u>	45
3.2.4	<u>Inversión; bienes necesarios para la producción</u>	50
3.3	ESTUDIO DE MERCADO.....	51
3.3.1	<u>Supuestos del estudio de mercado</u>	51
3.3.2	<u>Oferta y demanda del producto</u>	51
3.3.3	<u>Inversiones necesarias</u>	52
3.3.4	<u>Insumos y servicios necesarios para la operación</u>	53
3.3.4.1	Mano de obra	53
3.3.4.2	Vehículo de apoyo	55
3.3.4.3	Oficina	55
3.3.4.4	Combustible y lubricante	56
3.3.4.5	Reparaciones y mantenimiento.....	57
3.3.4.6	Transporte entre predios	57
3.3.4.7	Seguros de maquinaria.....	58
3.3.4.8	Transporte de las astillas.....	58
3.3.4.9	Servicios externos	59
3.3.4.10	Imprevistos.....	59
3.3.4.11	Capital de trabajo	60
3.4	ESTUDIO ECONÓMICO.....	60
3.4.1	<u>Costo por tonelada</u>	60
3.4.2	<u>Flujo de caja</u>	62

3.4.2.1	Indicadores financieros	64
4.	<u>ESTUDIO DE SENSIBILIDAD Y RIESGO</u>	65
4.1	RIESGO.....	66
4.1.1	Búsqueda de objetivo	69
5.	<u>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES DEL PROYECTO</u>	71
6.	<u>RESUMEN</u>	75
7.	<u>SUMMARY</u>	76
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	77
9.	<u>ANEXOS</u>	87

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Evolución de la superficie efectiva de <i>P. taeda</i> en hectáreas en Tacuarembó-Rivera, 2012-2017.	4
2. Resumen plan de manejo grupo empresas A.	7
3. Resumen plan de manejo grupo empresas B.....	7
4. Composición promedio de la oferta de MS; expresado en toneladas por hectárea de materia seca (ton MS/ha).....	11
5. Composición porcentual de la biomasa según manejo.	11
6. Estimación de volumen de residuos en peso verde según componente, expresado en kg/ha, y en porcentaje respecto al total.	12
7. Contenido de humedad, según fracción de biomasa, expresado en porcentaje.	12
8. Poder calorífico inferior (PCI), en función del contenido de humedad; <i>Pinus taeda</i>	14
9. Extracción de madera en rollo de coníferas según destino productivo para años 2012-2016, en miles de metros cúbicos.	16
10. Destino de las exportaciones de madera rolliza de coníferas para el año 2016.	19
11. Destino de las exportaciones de madera aserrada para el año 2016.	19
12. Precios de madera rolliza y aserrada de coníferas.	20
13. Subproductos forestales	23

14.	Clasificación de la red vial nacional para los departamentos de Tacuarembó y Rivera; expresados en kilómetros (km), según tipo de red.....	26
15.	Clasificación vial de los departamentos de Tacuarembó y Rivera, según tipo de pavimento, expresado en kilómetros (km).	26
16.	Estado de conservación al año 2016 según departamento y categoría, expresado en kilómetros (km).....	28
17.	Empresas generadoras de energía eléctrica y capacidad de generación, a nivel nacional, cuya materia prima es la biomasa.....	31
18.	Características y valores de parámetros del combustible, requeridos por la empresa.....	33
19.	Coeficientes de producción, etapa de extracción.	48
20.	Coeficientes de producción, etapa de astillado.	49
21.	Inversiones necesarias.....	52
22.	Depreciación de la maquinaria.....	52
23.	Costo de mano de obra teniendo en cuenta salario nominal y aportes patronales.	54
24.	Costo de seguros contra accidentes laborales, según categoría.	54
25.	Equipos de protección personal.	55
26.	Consumos y costos de combustible.	56
27.	Reparaciones y mantenimiento.	57
28.	Transporte entre predios.....	58
29.	Costo seguros maquinaria.	58
30.	Costo por tonelada producida puesta en planta.....	61

31.	Flujo neto de caja, valores expresados en miles de dólares.	63
32.	Indicadores financieros	64
33.	Variables y parámetros considerados en la simulación de riesgo.	66
34.	Análisis de búsqueda de objetivo	70

Figura No.

1.	Evolución de la superficie forestada bajo proyecto. Superficie en hectáreas según año.	3
2.	Madera rolliza y astillas de pino.	17
3.	A la izquierda tablas de madera clear, y a la derecha tablas de madera para mueblería.	18
4.	A la izquierda madera para decks, y a la derecha escuadrías.	18
5.	Evolución del estado de conservación de la red vial para el departamento de Rivera, período 2005-2016.	27
6.	Evolución del estado de conservación de la red vial para el departamento de Tacuarembó, período 2005-2016.	28
7.	Áreas tentativas de cosecha, incluyendo superficie, edades y distancias al hasta el cliente.	35
8.	Sistemas de extracción y procesos involucrados, en función de donde es llevada a cabo la reducción del tamaño de partícula de la biomasa.	41
9.	Esquema del proceso de producción, desde la extracción del residuo en bruto a la carga de las astillas	47
10.	Flujo del material en el campo.	50

11.	Peso relativo de cada componente sobre el costo total por tonelada.....	61
12.	Simulación de riesgo para flujo neto de caja acumulado, probabilidades acumuladas.	66
13.	Gráfica tornado para flujo neto de caja acumulado; entradas clasificadas por su efecto en la salida media.	67
14.	Simulación de riesgo para valor actual neto, probabilidades acumuladas.	67
15.	Gráfica tornado para valor actual neto; entradas clasificadas por su efecto en la salida media.	68
16.	Simulación de riesgo para la tasa interna de retorno, probabilidades acumuladas.	68
17.	Gráfica tornado para la tasa interna de retorno; entradas clasificadas por su efecto en la salida media.	69

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente texto, es la expresión del trabajo final de carrera llevado a cabo para cumplir con los requisitos exigidos para la formación de ingenieros agrónomos de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de la República. El mismo representa un estudio de pre-factibilidad, el cual, es un estudio de viabilidad que se sitúa dentro de la etapa de pre-inversión, considerando el ciclo de formulación de proyectos que describe Sapag y Sapag (2008), y por lo tanto la información que brinda está basada en fuentes de información secundaria, no demostrativa.

Introduciendo al problema para el cual se propone el estudio, según cálculos realizados en base a PROBIO (2015), luego de la cosecha de pino, quedan a campo aproximadamente 66 toneladas de residuos por hectárea sin contar corteza, que no son aprovechados, surgiendo así el tema del trabajo, de analizar un sistema de aprovechamiento de residuos de pino en la zona noreste del país, ya que en dicha zona se concentra el 77 por ciento de la superficie efectiva forestada con *Pinus sp* del total del país.

El estudio tiene el principal objetivo de hallar los costos por tonelada del sistema propuesto para aprovechar los residuos, así como también analizar la viabilidad técnica, económica y financiera del mismo. Se estimará nivel de inversión, costos operativos e ingresos que demandará y generará el proyecto.

Se partirá del supuesto de que las proyecciones se realizarán tomando en cuenta la demanda de biomasa de la empresa FENIROL S.A., buscando cubrirla en un 80 por ciento, en un ciclo de 5 años.

Finalmente, en la evaluación del proyecto se incluirán el análisis financiero y el de sensibilidad y/o riesgo, para decidir la conveniencia y rentabilidad del mismo.

2. DIAGNÓSTICO

Dentro del diagnóstico se desarrolla, primero, un apartado dedicado a la descripción; en el que se trata el recurso forestal, considerando la superficie y distribución de los bosques, empresas que presentan o administran plantaciones de pinos, planes de manejo, comparaciones entre las dos especies predominantes en el país y caracterizaciones de los residuos. Segundo, se describe el mercado del pino, sus principales productos, tendencias de mercado, el comercio de subproductos y las diferentes posibilidades de procesamiento para los mismos. Tercero, le sigue la temática de las capacidades instaladas en la zona de trabajo, describiendo de esta manera la infraestructura vial, empresas de servicios y manejos de las mismas, industrias que procesan madera rolliza, industrias con capacidad para generar energía con biomasa, y la descripción de la planta de Fenirol S.A. En adición, se hace referencia a la distribución de los bosques respecto a Fenirol.

Siguiendo a la descripción se establecen conclusiones derivadas de la información consultada. Finalmente, se encuentra el capítulo de análisis e interpretación, en donde a partir de las conclusiones se analiza la situación actual del recurso forestal, de la zona de trabajo, de los residuos y del mercado; con el fin de pautar los lineamientos para el desarrollo del proyecto.

2.1 DESCRIPCIÓN

Se describe el recurso forestal existente en el área de Tacuarembó y Rivera en el ejercicio julio 2016 - junio 2017, incluyendo superficie, edad, volúmenes por especie y distancia al centro de consumo objeto de estudio (Tacuarembó)

Los demás apartados nombrados, sirven para brindar un marco sobre la situación del pino, la zona de trabajo y el cliente potencial.

2.1.1 Recurso forestal

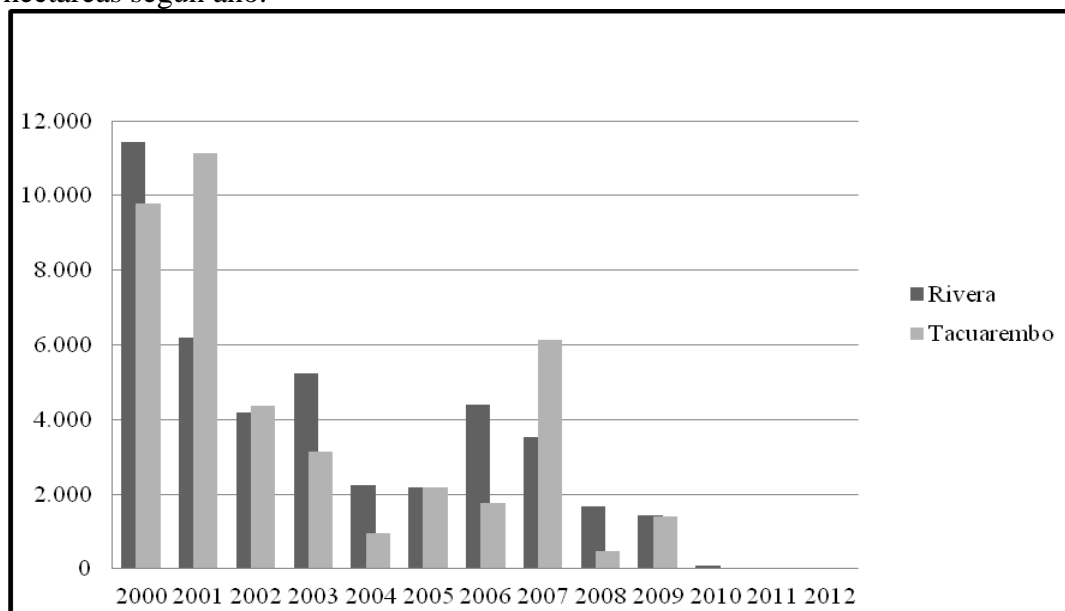
Se realiza una introducción y aproximación al recurso forestal presente en la zona, con énfasis en la producción de pino; mencionando las empresas radicadas en la zona de influencia que se dedican a la producción de esta especie, el plan de manejo que se realiza para la misma, la superficie aproximada, y las características de los residuos.

2.1.1.1 Superficie y distribución de los bosques

De acuerdo a lo publicado por la MGAP. DGF (2017c), la superficie forestada efectivamente con *Pinus sp.* en los departamentos de Tacuarembó y Rivera, para el año 2012, incluyendo *Pinus taeda* y *Pinus elliotti*, en los mencionados departamentos era de 58.335 ha y 70.233 ha respectivamente. Si se compara dicha superficie con el total de bosques presentes en cada departamento, que incluye plantaciones de *Eucalyptus sp.*, bosque nativo, y otras exóticas; se aprecia que un 39% de los bosques de Rivera eran de *Pinus sp.*, y un 28% de los bosques de Tacuarembó se correspondían con esta especie. La gran cantidad de monte nativo, hace que esos porcentajes sean menores. Sin embargo, si se compara dentro de la misma especie a nivel nacional, se aprecia que en los departamentos de Tacuarembó y Rivera, se encuentra el 77% de la superficie efectiva forestada con *Pinus taeda* y *Pinus Elliotti*, del total del país.

En cuanto a la evolución de la superficie plantada, la MGAP. DGF (2017a), muestra una tendencia a la disminución para el período 2000-2012, llegando a valores de cero para el año 2010, tal como se aprecia en la figura 1. Es importante destacar que esta superficie difiere de la presentada en el párrafo anterior, ya que aquí se corresponde con superficie afectada bajo proyecto; y por lo tanto incluye áreas que no son bosques, llevando esto a que los datos esperados en la plantación efectiva sean menores.

Figura 1. Evolución de la superficie forestada bajo proyecto. Superficie en hectáreas según año.



Fuente: elaborado en base a MGAP. DGF (2017a)

En la MGAP. DGF¹ se obtuvieron polígonos georreferenciados, determinados a partir del análisis de imágenes LANDSAT del 2012. A partir de los polígonos se procesó la información en Google Earth pro, donde se trabajó con la herramienta de imágenes históricas y se evaluó la evolución de las plantaciones que estaban comprendidas en los polígonos determinados en el 2012 hasta el 2017. El procedimiento constó de excluir de la contabilización aquellas superficies que presentaron procedimientos de cosecha en el período comprendido, quedando presentes a contabilizar aquellos bosques que no tuvieron intervenciones de cosecha final. Esto llevó a una estimación de la superficie efectiva para el año 2017, de 49.570 ha en el departamento de Rivera, y 48.946 ha en el departamento de Tacuarembó.

Cuadro 1. Evolución de la superficie efectiva de *P. taeda* en hectáreas en Tacuarembó-Rivera, 2012-2017.

	Tacuarembó	Rivera
Superficie efectiva a 2012 (ha)	58335	70233
Superficie efectiva estimada a 2017 (ha)	48946	49570
Variación (ha)	-9389	-20663
Variación en %	16%	29%

Como se muestra en el cuadro 1, hubo una reducción en el área efectiva en los departamentos considerados. Si se compara ambos, el departamento de Rivera presentó una mayor reducción de área, cercana al 30%; mientras que la reducción en Tacuarembó fue de 16%.

2.1.1.2 Empresas productoras de pino

En el país se encuentran diversas empresas dedicadas a la producción forestal, las cuales varían en cuanto a las superficies que ocupan y sus ubicaciones. A efectos del presente trabajo, se define a la unidad de producción o empresa como toda aquella que tenga una superficie cubierta por árboles en una proporción mayor al 55% del área total. Dentro de esa diversidad de empresas se encuentran, empresas con integración vertical como el caso de las plantas de celulosa y algunas industrias de aserrado y debobinado; fondos de inversión y fideicomisos, y productores independientes. De acuerdo a Pou (2016), la propiedad de las plantaciones a nivel nacional se distribuía en; 41% plantas de celulosa, 29% fondos de inversión y fideicomisos, 16% aserraderos e industrias de debobinado, 4% empresas integradas al astillado de madera, y 10% a otros, siendo estos últimos donde se concentran especialmente los productores independientes.

¹ Boscana, M. 2017. Com. personal.

De acuerdo a FSC (2017), las empresas y/o fondos de inversión que poseen o administran plantaciones de *Pinus sp.* en los departamentos de Tacuarembó y Rivera son: Bosques del Sur S.A., Cloverly S.A. y Terena S.A. en el primero; FYMNSA en el segundo; y, Cambium Forestal Uruguay S.A. y Lumin (antes Weyerhaeuser Productos S.A.) en ambos.

Presentes también en estos departamentos se encuentran otros grupos de inversión; algunos de ellos son Phaunos Timber Found Limited, Global Forest Partners (Pou, 2011). Es de destacar que estas empresas no son las únicas que presentan plantaciones de pino, las mismas fueron nombradas ya que cuentan con certificación FSC®, lo que conlleva a que tengan resúmenes públicos sobre sus manejos.

2.1.1.3 Plan de manejo de la especie

El manejo de las plantaciones se encuentra asociado al destino que posean las mismas y los requerimientos de la industria o cliente demandante. En el caso de las plantaciones de pino en nuestro país, la mayoría se manejó con el objetivo de obtener madera de calidad aserrable; implicando esto que en los planes de manejo se establezcan calendarios de poda y raleos.

Los planes de manejo son establecidos por cada empresa y los mismos pueden presentar variaciones entre sí, estos se encuentran publicados como resúmenes públicos, por parte de las empresas que se encuentran certificadas. Se describen entonces los planes de manejo pertenecientes a las empresas; Forestadora y Maderera del Norte S.A. (FYMNSA), Cloverly S.A. y Bosques del Sur S.A. (ambas bajo la gestión de Timbertec S.A., operador de GMO Renewable Resources para Uruguay), Cambium S.A, Lumin, y Terena S.A.

El plan de manejo de FYMNSA (2002), tuvo como objetivo la obtención de árboles con volumen y características suficientes para la producción de tablas y tirantes mediante el proceso de aserrado; así como también la producción de chapas mediante el proceso de debobinado, obtenidas a partir de las trozas basales. En cuanto al manejo en sí, las plantaciones comienzan con densidades de 1.111 árboles/ha, con un espaciamiento de 4 x 2,25m; con esta densidad y pérdidas posteriores de 7% permiten una selección de un 36% a los 3-4 años; llegando así al primer raleo productivo con 660 árboles/ha. La selección es realizada teniendo en cuenta los árboles inferiores, bifurcados y deformados; y en situaciones en que las características mencionadas previamente no se encuentran se puede realizar raleos sistemáticos. Las podas se realizan a los 3-5 años (poda baja, hasta 3m de altura) y a los 6-9 años (poda alta, mejores árboles podados hasta 7,3m).

Por otra parte, el plan de manejo de las empresas Cloverly S.A. y Bosques del Sur S.A., se encuentran establecidos en el resumen público de certificación FSC de la empresa Timbertec (2015). La plantación comienza con una densidad de 1.000 árboles/ha; se pautaron la concreción de dos raleos, el primero, no comercial a los 3-4 años de edad, y el segundo comercial a una edad de entre 12 a 15 años de edad. Respecto a las podas, se realizan tres intervenciones, la primera alcanza los 3m de altura y se realiza cuando el 70% de la plantación supera los 6m de altura; la segunda intervención es hasta los 4,6m de altura y se lleva a cabo cuando el 70% de la plantación alcanza los 9m de altura; en la última intervención se llega a una altura podada de 9m y esta se realiza cuando la totalidad de los árboles, exceptuando los suprimidos, alcanzan una altura de 12m. La cosecha es realizada entre los 20 y 25 años de edad, dependiendo de evaluaciones económicas y tasa de crecimiento. En el mencionado plan no se hace referencia a la cantidad de árboles remanentes que quedan luego de los raleos.

Cambium Forestal Uruguay (2013), establece en su plan de manejo iniciar la plantación con una densidad de 1.000 árboles/ha, se pautó la realización de dos raleos, el primero no comercial, cuando el bosque alcanza los 6m de altura dominante, y el segundo comercial, cuando el bosque alcanza 16m de altura dominante. Respecto a la poda se establecieron tres intervenciones hasta alcanzar una altura podada de 5,5m. La cosecha está planificada para llevarse a cabo a los 22 años de edad, dependiendo de la evaluación económica y tasa de crecimiento.

En el plan de manejo de Lumin (2009, antes Weyerhaeuser Productos S.A.), se establece que las plantaciones comenzaron con densidades de 800-1.000 árboles/ha. En la planificación de podas se establecieron 4 a 5 intervenciones hasta alcanzar una altura podada de 5,8 m. Se definió un primer raleo no comercial entre los 2-4 años de edad del bosque, bajando la densidad entre un 30 y 50%; y luego dos raleos comerciales más, a edades de 11-14 años el primero, y 15-17 años el segundo. Finalmente se procede a la tala rasa a una edad del bosque comprendida entre 19-23 años.

Terena S.A., es una empresa que se encuentra administrada por Río Biabo S.A. En el plan de manejo de Río Biabo (2015), se establecieron las plantaciones con una densidad de 840-860 árboles/ha; el calendario de podas pauta cuatro intervenciones hasta alcanzar los 5,5m de altura podados. Respecto a los raleos, estos comienzan con un raleo a pérdida a los 3-4 años de edad del bosque, en donde se reduce un 35% la densidad de arboles, y luego se realiza un raleo comercial a los 9-11 años de edad. La tala rasa se plantea para cuando el bosque se encuentre en el entorno de los 18-20 años de edad.

En base a los distintos planes de manejo presentados por cada empresa, se puede establecer una separación en dos grupos, A y B, con base en la cantidad de intervenciones de raleo que presentan en los planes. En este caso se tiene que un grupo de empresas A (cuadro 2), presenta más de un raleo productivo, compartiendo las edades

en las cuales son llevadas a cabo dichas intervenciones; también es de destacar que estas empresas presentan una integración vertical entre la fase agraria y la fase industrial, presentando en cada caso industrias de la transformación mecánica asociadas. En contraparte se encuentra el grupo de empresas B, presentando solamente una única intervención de raleo productivo compartiendo el rango de edad a la cual es llevado el mismo. Se destaca también, que este grupo de empresas no presentan una industria asociada, sino que se tratan de fondos de inversión.

Cuadro 2. Resumen plan de manejo grupo empresas A.

Operación	FYMNSA		LUMIN	
	Edad (años)	Árboles/ha	Edad (años)	Árboles/ha
Plantación	0	1111	0	800-1.000
Raleo no comercial	3-4	660	2-3	(400-560)-(500-700)
1er. raleo productivo	9	550	9-14	--
2do. raleo productivo	12	450	15-17	--
3er. raleo productivo	15	300	--	--
Podas*	2 / 7,3 m		4-5 / 5,8 m	
Corta final	20	0	19-23	0

Fuente: elaborado en base a planes de manejo Forestadora y Maderera del Norte (2002), Weyerhaeuser Productos (2009).

Cuadro 3. Resumen plan de manejo grupo empresas B.

Operación	TIMBERTEC		TERENA		CAMBIUM	
	Edad (años)	Árboles/ha	Edad (años)	Árboles/ha	Altura dominante (m) o edad (años)	Árboles/ha
Plantación	0	1000	0	840-860	0	1000
Raleo no comercial	3-4	--	3-4	294-301	6m	--
1er. raleo productivo	12-15	--	9-12	--	16m	--
2do. raleo productivo	--	--	--	--	--	--
3er. raleo productivo	--	--	--	--	--	--
Podas*	3 / 9 m		4 / 5,5 m		3 / 5,5 m	
Corta final	20-25	0	18-20	--	22 años	0

* El primer número representa el número de intervenciones, y el segundo la altura podada en metros. La ubicación en el cuadro, es independiente del momento en que se realiza la intervención en el tiempo.

Fuente: elaborado en base a planes de manejo Timbertec (2015), Cambium Forestal Uruguay (2013), Río Biabo (2015).

Comparando todos los planes de manejo entre sí (cuadros 2 y 3), se puede apreciar que todos presentan operaciones de poda y raleo, con la finalidad de obtener madera de calidad con destino aserrable. Las densidades de plantación manejadas por las distintas empresas se encuentra en un rango de 800 a 1.111 árboles/ha, en todos los manejos se establece un raleo no comercial, es decir a pérdida, entre los 2-4 años de edad del bosque. La cosecha entre los distintos planes de manejo se encuentra comprendida entre los 18-25 años de edad teniendo en cuenta evaluaciones económicas y tasas de crecimiento.

2.1.1.4 Viabilidad técnica del pino para su uso energético

Se realiza una comparación entre los dos materiales que se encuentran presentes en el país, estos son *Pinus sp.* y *Eucalyptus sp.* Uno de los aspectos centrales es el comportamiento que los materiales pueden presentar sobre los equipos de combustión y si son adecuados para la quema y generación de energía.

Con respecto al uso del pino como combustible en calderas; Rodríguez² manifestó que la opinión del uso del pino en el país se encuentra polarizada; *“en Uruguay hay dos posturas, por un lado personas que tienen aversión al pino y toma esa postura como una verdad; y por el otro lado se encuentra gente que lo usa desde hace años sin tener ningún problema”*, tal es el caso de un cliente, con una planta de cogeneración de energía y una caldera de la década de los 80, que, años atrás no conseguían biomasa debido a que no consideraban la oferta de madera de pino. Una vez que se comenzó a incluir este material, el cliente pudo abrir el espectro de la oferta de biomasa e incluso obtener la misma a menores costos. También manifestó que existe un falso argumento en cuanto al no uso del pino, donde hay opiniones que mencionan al uso del pino y la generación de compuestos orgánicos volátiles, y resinas que pueden afectar la estructura de la caldera; si bien, estos casos se pueden dar por malas combustiones que generan alquitranes orgánicos que están en los humos de emisión, esto es causado por un mal funcionamiento del equipo y no por que se esté utilizando pino como combustible; *“las calderas por norma no pueden tener orgánicos en las emisiones, entonces si se dan problemas de corrosión en las mismas es porque están quemando mal, pero nuevamente no es por el pino, una caldera que queme bien no tiene problemas”*. Los puntos críticos en la operación de la caldera están sobre la humedad del material, el contenido de cenizas y respecto a esta, el punto de fusión. Si el punto de fusión es bajo, las cenizas se funden, y cuando se enfría se generan piedras que son las que causan daños en la caldera por la generación de obstrucciones. Respecto a lo anterior, Rodríguez expresó, *“El pino por la particularidad que tiene la corteza, viene con mucha arena, tierra y mugre, entonces se funde en las cenizas y se genera el problema para la caldera; lo cual se puede evitar con buenos manejos del material*

² Rodríguez, F. 2017. Com. personal.

evitando los contenidos de tierra, arena y suciedad, y manejando con cuidado los puntos de fusión para evitar que se formen las piedras, las cuales no salen de la caldera”. Comparando *Pinus sp.* con *Eucalyptus sp.* desde el punto de vista energético no hay grandes variaciones, las diferencias son mínimas y de segundo orden. La característica que determina el rendimiento energético en primer orden es el contenido de humedad; la diferencia entre *Pinus sp.* y *Eucalyptus sp.* respecto a la misma, es que el segundo una vez seco no reabsorbe la humedad tanto como el primero al exponerse, por ejemplo, a condiciones de lluvia.

Estudios llevados a cabo por PROBIO (2015), evaluaron de forma comparativa el comportamiento para la generación de energía de los residuos de *Pinus sp.* contra *Eucalyptus sp.*; los resultados hallados mostraron que *Eucalyptus sp.* presentó para el parámetro poder calorífico los menores valores promedio para las fracciones madera, corteza y ramas; y a su vez para las fracciones corteza, ramas y hojas presenta los mayores contenidos de cenizas. Las cenizas son un inconveniente en la quema debido a que estas deben ser extraídas en el proceso, lo cual conlleva un costo; por lo tanto es deseable que el contenido sea el menor posible. Respecto a este parámetro, los resultados obtenidos por PROBIO (2015), Arroyo y Reina (2016), mostraron que *Pinus sp.* presenta un menor contenido de cenizas que *Eucalyptus sp.* En adición a lo presentado, Carrasco (2007), Francescato et al. (2008), plantean que es viable el uso del pino como combustible en las calderas.

Teniendo en cuenta que la oferta de residuos de pino que quedan en campo luego de la cosecha duplica la de eucalipto (PROBIO, 2015), y la existencia de viabilidad técnica para el uso de pino como combustible, se toma esta especie como referencia para el trabajo.

2.1.1.5 Caracterización de los residuos

Es importante conocer el material disponible para el trabajo y la planificación. Dentro de los aspectos más relevantes a tener en cuenta sobre este, se encuentran: la disponibilidad en volumen, punto determinante en su oferta, y las propiedades de los mismos, en especial su comportamiento en la combustión.

Introduciendo al concepto de biomasa, Angelis-Dimakis et al. (2011) la definen como el resultado de procesos biológicos, siendo esta la fracción biodegradable de esos procesos; la biomasa puede ser residual donde se incluyen los residuos de las actividades agrícolas y ganaderas, forestales, y de las industrias relacionadas. En contrapartida la biomasa puede ser cultivada sin necesariamente tener que ser un residuo, este es el caso de los cultivos y plantaciones energéticas. Respecto a la biomasa forestal, Mora de Souza et al. (2012) dividen la misma en tres grupos; materiales provenientes de restos de cosecha, residuos generados en el proceso de transformación de la madera, y la madera

proveniente de plantaciones energéticas. Guzmán (1984) afirma que los residuos forestales componen una fracción importante de la biomasa generada por el bosque; estos residuos se dividen en dos grupos que son los tocones y el sistema radicular, y los residuos que quedan por encima del suelo, ramas, hojas. Casado (2013) expresa que la biomasa forestal residual se encuentra constituida por los restos derivados de tratamientos silvícolas u operaciones de aprovechamiento forestal, los cuales no presentan un destino comercial y de no ser extraídos, se descomponen en el campo siguiendo procesos de degradación naturales. A partir de esta clasificación es importante destacar que en el presente informe se evalúa solamente la extracción de los residuos que quedan por encima del suelo, ramas y copa excluyendo acículas.

Como fue mencionado en el apartado correspondiente a los manejos realizados por las empresas, se destaca que el *Pinus sp.* es manejado con el objetivo de obtener madera de calidad aserrable. Con este objetivo de producción el producto principal del bosque serán los rolos con destino a aserrío, quedando como residuos sobre el suelo la copa, hojas y ramas (PROBIO, 2015).

En cuanto a términos de volumen respecta, la información disponible en el país es escasa y hace pocos años que se comenzó a generar la misma, debido a que la mayoría de los inventarios realizados centran su foco de atención en la parte comercial del bosque. Los últimos trabajos se centraron en relevar y mejorar la información pertinente a la cuantificación y uso de la biomasa forestal.

En el estudio llevado a cabo por PROBIO (2015), fueron evaluados seis sitios para *P. taeda*, en los departamentos de Tacuarembó, Rivera, Paysandú y Río Negro; encontrándose las plantaciones sobre suelos CONEAT 7 y 9. Todos los rodales de *P. taeda* evaluados presentaban como destino productivo la madera sólida, por lo tanto contaban con manejos silviculturales como podas y raleos. Para tala rasa, se consideraron turnos de cosecha de entre 20-22 años y los datos presentados se igualaron a un turno promedio de 21 años, con densidades finales de 343 a 423 árboles/ha y un promedio de 380 árboles/ha. Se aprecia que, la duración de estas rotaciones se asemeja a las manejadas en los planes establecidos por las distintas empresas presentados en el apartado previo.

En el informe de PROBIO se menciona que se deben manejar con cuidado los datos presentados a la hora de extrapolar, puesto que se evaluaron pocos sitios; los datos se toman como una guía orientativa a la hora de trabajar, asumiendo que se trata de un análisis de pre-factibilidad y que son los únicos datos disponibles sobre la materia.

Se presenta la información correspondiente al informe de PROBIO (2015), mostrándose para *P. taeda* los promedios de las fracciones extraídas; quedando comprendidas en el componente madera todo lo que es comercial; y en las fracciones corteza, hojas, ramas y punta, todo lo que se corresponde con el termino de biomasa o

residuos, establecido previamente. En adición se presenta la proporción que abarca cada uno de los componentes que conforman los residuos, en relación a la biomasa.

Cuadro 4. Composición promedio de la oferta de MS; expresado en toneladas por hectárea de materia seca (ton MS/ha)

Especie/manejo	Madera	Corteza	Hojas	Ramas	Punta	Biomasa (residuos)*	Edad cosecha o raleo (años)
<i>Pinus</i> 1er. raleo comercial	19,1	1,8	3,7	7,2	4	16,7	11-13
<i>Pinus</i> 2do. raleo comercial	37,6	2,8	5,8	7,4	2,6	18,6	17
<i>Pinus</i> tala rasa	152,7	10,9	15,2	32,4	11,9	70,4	21

*Nota: suma de las fracciones corteza, hojas, ramas y punta.

Fuente: PROBIO (2015).

Cuadro 5. Composición porcentual de la biomasa según manejo.

Especie/manejo	Corteza	Hojas	Ramas	Punta	Biomasa (residuos)
<i>Pinus</i> 1er. raleo comercial	11%	22%	43%	24%	100%
<i>Pinus</i> 2do. raleo comercial	15%	31%	40%	14%	100%
<i>Pinus</i> tala rasa	15%	22%	46%	17%	100%

Fuente: modificado de PROBIO (2015).

Se aprecia claramente que los residuos presentan una notoria concentración en la fracción ramas, seguido por hojas, mientras que la corteza y la punta, definida por PROBIO (2015), como la parte del fuste que se presenta un diámetro menor a 19 cm, tienen menores pesos relativos.

En el informe, donde se presentaron los valores que componen los cuadros, se destacó que no se pueden manejar los resultados como la suma de las intervenciones, ya que los datos se tomaron en predios distintos; donde el primer raleo comercial no antecede al segundo. En adición, las densidades remanentes siempre fueron menores a las muestreadas en la intervención siguiente. En el primer raleo se bajo la densidad de 449 a 141 árboles/ha; y en el segundo raleo se bajo de 350 a 150 árboles/ha. Como fue mencionado previamente, en tala rasa se manejo en promedio 380 árboles/ha. Estas diferencias establecidas en el informe PROBIO (2015), se encuentran explicadas por factores de mercado, donde las empresas habían optado en los últimos años a disminuir el número de intervenciones de manejo, llegando a turnos finales con mayores números de individuos; y a su vez, cuando se logran estabilizar los mercados, en el momento del raleo tratan de colocar la mayor cantidad de producto dejando densidades menores a turno final.

Los datos presentados anteriormente se encontraban expresados en base a materia seca, es decir quedando excluido el contenido de humedad; pero, es importante conocer los valores en peso fresco o peso verde; debido a que el material en el campo se encuentra en este estado. Para ello, se presentan los resultados obtenidos por PROBIO (2015) en cuanto a la cuantificación de los residuos en tala rasa por fracción y por hectárea.

Cuadro 6. Estimación de volumen de residuos en peso verde según componente, expresado en kg/ha, y en porcentaje respecto al total.

	Corteza	Hojas	Ramas verdes	Ramas secas	Punta	Total
Kg/ha en verde	23.756	39.968	53.626	12.972	24.292	154.613
% Componente	15	26	34	9	16	100-100

Fuente: elaborado en base a PROBIO (2015).

Si se observan los valores presentados en el cuadro 6 y se los compara con los valores del cuadro 4 para tala rasa, se aprecia que las proporciones se mantienen similares, el componente ramas (incluyendo tanto ramas secas como ramas verdes) es el predominante, seguidos por hojas, punta y corteza. Como será explicado más adelante el contenido de humedad es una variable de notoria relevancia para la calidad de la biomasa y el transporte; respecto a esto se presentan los contenidos de humedad determinados por PROBIO (2015) para las distintas fracciones presentadas previamente, con excepción de la fracción punta.

Cuadro 7. Contenido de humedad, según fracción de biomasa, expresado en porcentaje.

	Corteza	Hojas	Ramas verdes	Ramas secas
Contenido de humedad (%)	55	57	58	22

Fuente: elaborado en base a PROBIO (2015).

Como se puede apreciar, el contenido de humedad de las distintas fracciones que componen la biomasa, medido al momento de la cosecha, se encuentra comprendido en un rango que va desde el 50 a 60% aproximadamente a excepción de las ramas secas las cuales presentan un contenido de humedad comprendido en el rango de 13 a 30%.

Como fue mencionado previamente, además de conocer la disponibilidad en volumen del material, también es de relevancia conocer las propiedades del mismo, y en especial aquellas propiedades que afectan el comportamiento para la combustión.

Las características más relevantes a evaluar del material destinado a la generación de energía son el contenido de humedad, el tenor de cenizas y el poder calorífico inferior, el cual se encuentra influenciado por las dos variables anteriores Mora de Souza et al. (2011), Schmidt Furtado et al. (2012), Routa et al. (2016), hacen énfasis sobre la importancia de conocer las propiedades físicas y químicas del material, debido a la gran influencia que presentan las mismas en el rendimiento y mantenimiento de los equipos (calderas); el contenido de humedad es uno de los factores más importantes a tener en cuenta, ya que el poder calorífico sigue tendencias inversamente proporcionales al contenido de agua presente en los mismos.

El contenido de humedad, se expresa en porcentaje (%), y representa la cantidad de agua presente en el material en relación a su peso total; el otro parámetro expresado en porcentaje es el tenor de cenizas, este representa el contenido de sustancias inorgánicas presentes en el material (Schmidt Furtado et al., 2012). El contenido de humedad puede ser expresado en base húmeda, donde se tiene en cuenta el peso del agua libre y el agua que se encuentra en las paredes celulares en relación al peso total; o en base seca, donde se refiere al peso del agua en relación al peso de la madera sin tener en cuenta el contenido de agua (Casado, 2013).

El poder calorífico (PC), se encuentra expresado en Kcal/kg, Coronel (1994) lo define como la cantidad de calor desprendido por kilogramo de combustible, teniendo en cuenta una combustión completa a presión y temperatura atmosférica normal. El poder calorífico puede ser expresado como poder calorífico superior (PCS), y poder calorífico inferior (PCI); el poder calorífico superior es el que se determina a volumen constante y donde el agua formada en la combustión es condensada y el calor de esa condensación es recuperado; mientras que el PCI es la energía que efectivamente está disponible y se determina descontando al PCS la energía necesaria para evaporar el agua contenida.

Los parámetros descriptos, se encuentran relacionados entre sí; pudiendo uno incidir sobre el otro, tal es el caso del contenido de humedad y el PCI. Rodríguez² afirmó que la característica que determina el rendimiento energético de la biomasa en primer orden es el contenido de humedad, siendo este un punto clave al trabajar con la biomasa. De acuerdo a Casado (2013), el contenido de humedad es tan primordial para el PCI que es el factor que se toma en cuenta para la fijación de precio del producto por encima de los demás factores que determinan la calidad; el PCI se puede incrementar en un 38% al pasar de un contenido de humedad de 50% (verde recién cosechado), a un contenido de humedad de 35% (valor común para el consumo en planta).

Cuadro 8. Poder calorífico inferior (PCI), en función del contenido de humedad; *Pinus taeda*.

Contenido de agua en base húmeda (%)	PCI (kcal/kg)
0	4435
5	4184
10	3933
15	3682
20	3432
25	3181
30	2930
35	2679
40	2428
45	2177
50	1926
55	1675
60	1424
65	1173

Fuente: Rodríguez²

Como datos de referencia para el contenido de humedad, Almeida et al. (2010) determinaron contenidos de humedad en residuos de cosecha de *Pinus sp.* de 55,99% en base húmeda, para árboles recién cosechados. Valores de contenido de humedad similares al anterior fueron determinados por Schmidt Furtado et al. (2012), presentando un valor de 52%; mientras que Ferreira et al. (2016), determinaron contenidos de humedad de 56 a 65%. A partir de los valores encontrados en la bibliografía, los materiales recién cosechados presentan contenidos de humedad que se encuentran por encima del 50%; si se compara este dato con lo presentado en el cuadro 8, se estaría contando con un material con un PCI inferior a 1926 Kcal/kg.

Brand y De Muñiz (2010) no recomiendan utilizar los residuos recién cosechados debido a los altos tenores de humedad y el bajo PCI que presentan, lo cual implicaría rendimientos energéticos más bajos, por lo que sería necesario contar con algún tratamiento previo como el almacenaje para reducir el contenido de humedad y mejorar el rendimiento energético; esto puede ser logrado acopiando el material y no procesándolo inmediatamente (Brand et al., 2014).

Routa et al. (2016), hacen mención al contenido de humedad no solamente relacionado con la calidad del combustible, sino también en la incidencia que puede tener sobre el transporte. En adición, el manejo del contenido de humedad se vuelve

muy importante, debido a que si los residuos son extraídos y apilados con un elevado contenido de humedad es posible que se genere sobrecalentamiento de las pilas y esto conlleve a pérdidas de materia seca notorias. Sin embargo, si los residuos permanecen en el campo, se pueden generar atrasos en las preparaciones de los sitios para las subsiguientes plantaciones.

Respecto al contenido de cenizas presente en la biomasa, Almeida et al. (2010) determinaron un valor de 0,53% para residuos recién abatidos y 0,35% para residuos que estuvieron almacenados por un mes, mientras que Schmidt Furtado et al. (2012) un valor de 0,76% para los residuos. Hay información nacional respecto al contenido de cenizas generada en el proyecto PROBIO (2015), donde se presentan valores de contenido de cenizas pero separadas por fracciones, encontrándose para corteza, ramas y hojas valores de 1,2%, 0,9% y 3,7% respectivamente, es importante destacar que estos valores son en relación al peso seco; por lo tanto si se toma en cuenta el contenido de humedad, es esperable que sean menores.

La ceniza generada en las calderas representa un problema en las plantas de generación, debido que esta pasa a ser un residuo y al ser manipulada genera ciertos costos; por lo tanto a mayores contenidos de cenizas que el material posea, aumentaran los costos del manejo de la misma y la necesidad de un mayor espacio físico para su deposición. Según PROBIO (2015), si se comparan los valores del contenido de cenizas de *Pinus sp.* con *Eucalyptus sp.* se tiene que el primero presenta contenidos de cenizas menores que el segundo haciendo que el género *Pinus* puede tener una mejor performance a la hora de generar energía en una planta. Como fue mencionado previamente, el tenor de cenizas representa el contenido inorgánico del material, luego del proceso de combustión, es importante destacar que este material inorgánico se corresponde con los nutrientes minerales que fueron tomados del suelo. Los mayores contenidos de cenizas y por tanto de nutrientes fueron encontrados en la fracción de hojas o acículas en este caso (Nurmi y Hillenbrand 2001, PROBIO 2015); por lo tanto un aspecto de relevancia para controlar este componente es minimizar la extracción de acículas del campo. En este sentido, se puede plantear posponer la extracción de los residuos por un período de tiempo con la finalidad de obtener un material con menor contenido de humedad y menor contenido de acículas. Nurmi y Hillenbrand (2001), condujeron un estudio en el cual se evaluó la evolución del contenido de acículas en el tiempo en residuos de *Picea abies* y *Pinus sylvestris*, donde como resultado encontraron que el contenido de acículas paso de ser 19,1% a 1,8%, luego de transcurrido un mes el material en el área de corta; esto quiere decir que la fracción acículas se redujo un 89,6%, implicando una menor extracción de nutrientes y aumentos en la calidad del material por reducciones en el contenido de humedad así como también reducciones en el contenido de cenizas.

En síntesis, teniendo en cuenta la información consultada a partir de distintos autores, se toma como valores de referencia para la biomasa del proyecto, un contenido de humedad del 40% (considerando que no se utilizan los residuos recién cosechados); un PCI de 2428 kcal/kg de combustible, y un tenor de ceniza comprendido en el rango de 0,35 a 0,53 %.

2.1.2 Mercado de pino

A modo de caracterizar el comportamiento del mercado nacional e internacional del pino, se describen los principales productos y destinos de la madera; las tendencias de los productos derivados del bosque; la existencia de subproductos desde una perspectiva crítica en cuanto al aprovechamiento de los diámetros finos y finalmente la gama de posibilidades de procesamiento para dichos diámetros, sección en la cual queda comprendida la temática de dicho proyecto.

2.1.2.1 Principales productos y destino

Según información de las empresas, el pino en el país se produce para la obtención de trozas de calidad para aserrío, mediante el correspondiente manejo con podas y raleos como se menciona en el apartado del plan de manejo de las especies de las diferentes empresas. Tuset y Durán (2008), citan que los usos más característicos del pino, independientemente de si en el país se llevan todos a cabo, son para tablas, chapas, aberturas interiores, muebles y pulpa.

Las trozas pueden estar destinadas a abastecer los aserraderos nacionales, lo cual ocurre con la mayoría de la madera extraída del campo, o para exportación, como es el caso del reciente mercado de exportación de rollos a China. En el cuadro 9, se observan los diferentes destinos productivos de la madera cosechada para el período 2012 - 2016 en el país.

Cuadro 9. Extracción de madera en rollo de coníferas según destino productivo para años 2012-2016, en miles de metros cúbicos.

Producto	2012	2013	2014	2015	2016
Combustible de madera	0	0	0	21	29
Trozas de aserrío, tableros y chapas	602	637	808	687	853
Madera para pulpa (rolliza y astillas)	78	15	24	107	0
Otra madera en rollo industrial	0	0	1	1	1
Total madera en rollo	680	652	833	816	883

Fuente: elaborado en base a MGAP. DGF (2017b)

Se denomina "extracción" a la madera que se cosecha del bosque. Los volúmenes presentados se elaboraron en base a información relevada de instituciones, informantes calificados y empresas del sector. La extracción de madera para combustible se elabora en base a la información más actualizada que se encuentra disponible del consumo de leña, aportada por el Ministerio de Industria, Energía y Minería. La extracción de madera para distintos usos industriales se estima en base al consumo industrial y a los datos de exportación de madera en rollo y partículas aportados por el Banco Central (MGAP. DGF, 2017b).

Como se puede apreciar, el mayor porcentaje de la madera rolliza se produce con el fin de obtener madera de calidad ya sea para trozas de aserrío o para tableros y chapas industrializadas. Un porcentaje menor se destina a uso energético o para pulpa; teniendo en cuenta que para éste último el 100% es para exportación, ya que en el país, la celulosa de fibra corta se hace con madera de eucalipto (Presidencia de la República, 2016)

En las imágenes a continuación, se pueden observar diferentes productos derivados de la madera de pino, tanto primarios como de segunda transformación. Se debe tener en cuenta, que las etapas por las cuales los rollizos se transforman en productos de madera de segunda transformación con destino a exportación son: aserrado, secado y remanufactura (FYMNSA, s.f.).

Figura 2. Madera rolliza y astillas de pino.



Fuente: Bidegain³ (derecha); SPF (2017, izquierda)

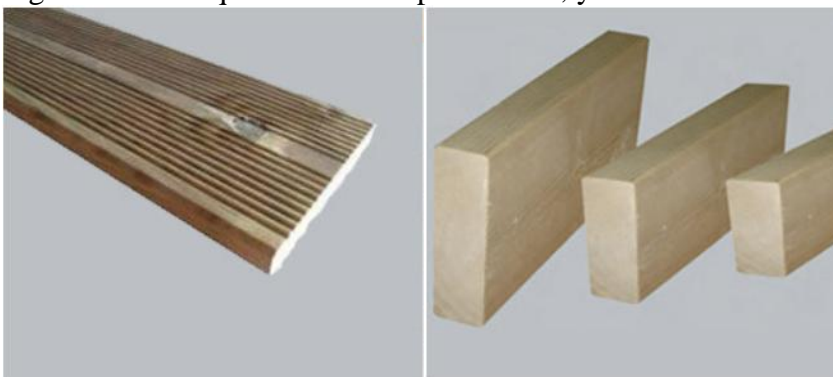
³ Bidegain, J. 2017. Com. personal.

Figura 3. A la izquierda tablas de madera clear, y a la derecha tablas de madera para mueblería.



Fuente: FYMNSA (s.f.)

Figura 4. A la izquierda madera para Decks, y a la derecha escuadrías.



Fuente: Forestal Caja Bancaria (2012)

Con respecto a los destinos que pueden tener los diferentes productos derivados del pino, en la bibliografía consultada no se ha encontrado información fidedigna acerca del mercado interno del pino. López, citado por Dieste (2014) afirma que el mercado interno local de madera es poco desarrollado y pequeño, pero que en los últimos cinco años anteriores a 2014, se había registrado un aumento en el consumo, con una demanda creciente de productos de buena calidad.

Los datos encontrados, hacen referencia a los destinos de exportación de los mismos; siendo estos los más importantes si se toma en cuenta que los aserraderos más grandes y de mayor producción, destinan la misma al mercado externo (Uruguay XXI, 2017). Se debe tener en cuenta que el mercado internacional de la madera es prácticamente libre y que está controlado por la oferta y la demanda (Dieste, 2014). Según MGAP. DGF (2017b), los destinos difieren según se trate de madera rolliza o de madera aserrada.

Cuadro 10. Destino de las exportaciones de madera rolliza de coníferas para el año 2016.

País	FOB (USD)	(%)
China	4.388.384,00	95%
ZF Rivera	220.823,00	5%
Ceylan	13.597,00	0%
Taiwan	11.764,00	0%
Corea del Sur	3.679,00	0%
Vietnam	2.018,00	0%
Total	4.640.265,00	

Fuente: elaborado en base a MGAP. DGF (2017b)

Como se puede apreciar, el principal destino de la madera en rollo según el valor monetario expresado como precio FOB, es China con un 95% del total exportado. Luego le sigue la zona franca de Rivera, y en menor proporción otros países asiáticos como Ceylan, Taiwán, Corea del Sur y Vietnam.

En cuanto a la madera aserrada, los principales destinos difieren un poco de los anteriores, estando más del 50% concentrado en los mercados a Estados Unidos, China y México como aparece en el cuadro a continuación.

Cuadro 11. Destino de las exportaciones de madera aserrada para el año 2016.

País	FOB (USD)	(%)
Estados Unidos	8.991.231,00	31%
China	4.430.875,00	15%
México	3.535.239,00	12%
Guatemala	3.265.172,00	11%
Vietnam	2.532.253,00	9%
Arabia Saudita	1.988.771,00	7%
Brasil	1.837.402,00	6%
Perú	1.362.756,00	5%
Taiwán	447.851,00	2%
Chile	270.947,00	1%

Fuente: elaborado en base a MGAP. DGF (2017b)

Faroppa (2017), con respecto a los mercados, afirma que si bien Uruguay en cuanto a la madera de construcción o aserrada de pino posee mercado en Estados Unidos y México, para el caso de Estados Unidos, se destina solo madera para construcción, que sería básicamente paneles compensados y madera aserrada.

Los demás productos forestales tienen mercado en Asia y Europa, siendo estos los mercados más importantes para el país en cuanto a volumen y monto de negocios; preferentemente en cuanto a los productos derivados de los eucaliptos. En lo que a Asia respecta, juegan un papel importante Taiwán y Vietnam como mercado de madera aserrada y rolliza de pino.

Para caracterizar el mercado, se cree pertinente hacer mención a los precios. En el lineamiento de la búsqueda de información para el trabajo, se encontró que es un sector en donde esos datos no se encuentran fácilmente disponibles y no existe un precio de referencia como para otros sectores.

Los únicos datos encontrados fueron los precios de exportación para madera rolliza y aserrada de coníferas para Estados Unidos, reflejados en el siguiente cuadro.

Cuadro 12. Precios de madera rolliza y aserrada de coníferas.

Producto	oct. 15	nov. 15	dic. 15	ene. 16	feb. 16	mar. 16	abr. 16	may. 16	jun. 16	jul. 16	ago. 16	sep. 16
Madera rolliza	159	151	167	176	156	173	141	140	149	146	146	146
Madera aserrada	329	319	311	314	308	303	306	310	311	311	311	311

Fuente: elaborado en base a MGAP. OPYPA (2016)

Si se observa el cuadro, para la madera en rollo, se puede apreciar que hasta marzo del 2016, el precio del metro cúbico sólido estaba por encima de los 150 USD, manteniéndose luego en el entorno de los 146 USD; además de la tendencia también se demarca una clara diferencia entre el precio del rollo y el de la madera aserrada, estando el de la segunda muy por encima del primero, lo cual estaría siendo un claro ejemplo del valor agregado de los productos, y también se debe tener en cuenta que incide el rendimiento del aserrado, el cual es aproximadamente de 50 %. Para esta, si bien se observa una tendencia del precio a la baja, en promedio se mantiene alrededor de los 312 USD por metro cúbico aserrado; lo cual, según MGAP. OPYPA (2016), se mantiene en torno a los promedios de los últimos 10 años.

Según Faroppa (2017), el mercado de la madera se encuentra sin mayores variantes en los precios, habiendo arrancado el año con precios similares a igual período de 2016, limitando la lectura al trimestre inicial de cada período. Afirma que es posible que los precios sigan mejorando lentamente y que tal vez, a fin de año se logre un mejor nivel en cuanto a la exportación.

Para el caso de las astillas, las cuales serán uno de los productos propuestos en el informe, no existe información publicada. El precio que será manejado para las

mismas está en torno a las 6 a 20 USD por tonelada, según entrevistas a informantes calificados. El mismo se corresponde con el precio pago de las astillas puestos en planta.

En cuanto a los fardos de residuos, no existe ninguna información de precios.

2.1.2.2 Tendencias del mercado

El punto de partida para tratar las tendencias del mercado de pino, es tener presente que las hectáreas de dicha especie que existen hoy, están excedidas para la posibilidad que tiene el país de procesar su madera (Presidencia de la República, 2016).

El gobierno, a través de la ley forestal la cual otorga beneficios fiscales a las plantaciones destinadas a la producción de madera de calidad aserrable, intenta atraer inversión extranjera para la industrialización de la misma y retomar las plantaciones de dicha especie; para evitar una matriz productiva basada en *Eucalyptus sp.* para celulosa, la cual ha llevado a que se deje de podar, manejar y plantar pino. También se ha dejado de plantar debido a la caída de la demanda de algunos mercados que primero afectaron a Estados Unidos en 2007, y luego a Europa en 2008 (SPF, 2016).

Una vía de comercialización para los pinos, es el reciente mercado de exportación de rollos a granel con destino a China, que comenzó con su primer embarque a fines del año 2016 (Héguy, 2017). Dicho mercado se presenta como un escenario alentador, considerando que la superficie de pino plantada en Uruguay, como afirma Quincke, citado por Héguy (2017), es suficiente para enviar dos buques cargados al mes durante 80 años. Si bien, la oferta de madera no sería un problema, la viabilidad del negocio a futuro estaría condicionada por la logística y capacidad operativa del puerto de Montevideo ante un eventual congestionamiento de mercadería; considerando que una de las más grandes dificultades es el elevado costo país, explicado mayormente por el elevado costo del flete, teniendo en cuenta que el pino proviene del litoral y del norte, y que el transporte ferroviario no se encuentra desarrollado. Además, el precio del metro cúbico sólido deja márgenes muy ajustados.

Pou (2016), con respecto a la industria de transformación mecánica de las maderas, afirma que las deficiencias en infraestructura vial y la falta de competitividad regional en cuanto a costos, han desalentado a los nuevos proyectos para la instalación de dichas industrias. En adición, la poca industrialización ha causado que los productores realicen acuerdos con las plantas de celulosa, por lo que en un futuro cercano la tendencia es a la sustitución de las plantaciones de pino en Rivera, Tacuarembó y Cerro Largo, por eucalipto con destino pulpable

Se debe considerar que en la industria de primera transformación de la madera, la rentabilidad está determinada por la economía de escala, y la mayoría de los

aserraderos del país son pequeños a nivel internacional, en comparación con sus competidores. Esta genera márgenes pequeños basado en la eficiencia de operación, provocando ello problemas de competitividad en el futuro cercano (Dieste, 2014).

Dieste (2014), afirma que el mercado tradicional de madera aserrada se concentra en productos para la construcción, específicamente tablas, vigas y tableros contrachapados; y que en los últimos años se han modernizado las técnicas constructivas, llevando ello a prever una disminución del uso de la madera. Por ello, la estrategia más acertada para el futuro podría ser la exportación de productos de mayor valor agregado que se alejen de los “commodities”.

Las tendencias del pino, tal como se habla en los párrafos anteriores, se centra en los productos comerciables de dicha especie, sin considerar los residuos que quedan en el campo. A continuación, se habla de ellos como biomasa forestal.

En base a Uruguay XXI (2016), la matriz energética del país tiene como principales fuentes de abastecimiento el petróleo, la energía hidroeléctrica, y a la biomasa. Según Cardozo (2007), las fuentes de energía renovables están siendo muy importantes en la generación de energía, siendo la biomasa forestal en nuestro país la de importancia primordial, apareciendo en el escenario con importantes potencialidades.

La biomasa forestal como fuente de energía presenta varias ventajas. Es un recurso renovable, para la producción del cual el país posee ventajas competitivas; permite, además de atenuar las fluctuaciones en el abastecimiento de combustibles fósiles, un importante ahorro de divisas; genera fuentes de empleo en el interior del país; y finalmente permite mejorar el valor final del bosque a cosecharse al generarse una demanda genuina por los subproductos forestales sin posibilidades actuales de industrialización (Cardozo, 2007). Tal es así, que en Brasil, según Soares et al. (2003), la tendencia actual es que parte de las plantaciones, sean aprovechadas en busca de multiproductos para la obtención de un mayor retorno financiero.

Tomando como una posible tendencia, la producción de energía en base a residuos forestales a campo, se debe considerar que, según afirma Uruguay XXI (2016a), las inversiones en equipamiento y servicios necesarias para llevar adelante proyectos de generación de energía a partir de la biomasa pueden hacerse en base a suministros locales, ya que el país cuenta con la tecnología y los recursos humanos necesarios para la fabricación de gran parte de los equipos necesarios para las centrales térmicas. Según Faroppa (2010), para el período 2008-2020, Tacuarembó, Rivera y Paysandú, serían los departamentos con mayor potencial para producir energía en base a residuos. Además de ello, en base a datos técnicos, aproximadamente un 66% de la energía producida en base a residuos forestales, sería la que proviene de los residuos del campo.

2.1.2.3 Subproductos

Los subproductos forestales pueden dividirse en dos tipos: los que provienen de la cosecha y extracción de trozas de los bosques (residuos de campo), y que se consideran generalmente de valor económico nulo para su posterior transformación, y los que generan las industrias forestales durante los procesos de transformación de la madera (FAO, 1990).

Cuadro 13. Subproductos forestales

Fuente	Subproducto
Operaciones a campo	Ramas, hojas, tocones, raíces, madera con defectos, recortes y aserrín
Aserrío	Corteza, aserrín, recortes, madera partida, virutas, lijaduras
Producción de tableros	Corteza, aserrín, restos de tableros, lijaduras

Fuente: elaborado en base a FAO (1990)

Como se observa en el cuadro, los subproductos difieren según provengan de campo o de la industria.

Casado (2013), afirma que tradicionalmente las industrias forestales son muy selectivas en cuanto a calidad y tipo de productos forestales que utilizan, de manera que solo se llegan a transformar en productos finales, una pequeña parte de la producción neta de los bosques. Según FAO (1990), de un árbol apeado, se obtienen menos de las dos terceras partes para su posterior elaboración, mientras el tercio restante queda abandonado en el campo, o lo recogen como leña los habitantes del lugar.

Dados los usos productivos de la madera de pino, se debe destacar que la cosecha se realiza hasta diámetros de 18-20 centímetros en árboles destinados a aserraderos y a madera rolliza, o hasta diámetros de 30 centímetros para la que se utiliza para debobinado (García, 2016), quedando así, en el campo, un gran volumen de madera no aprovechada, ya que, Según Dieste (2014), en el país la madera de diámetros finos no se utiliza para transformación mecánica.

Con respecto a los residuos de los aserraderos, según Casado (2013), del total de la madera que ingresa como materia prima, el rendimiento en producto final es de un 45-50 %.

El rendimiento de la biomasa total que se produce en los bosques, es todavía menor si se consideran las cortas y podas debidas a los tratamientos silvícolas durante el ciclo completo del manejo de los cultivos (Casado, 2013).

Las industrias forestales, a diferencia de otras industrias, tienen la ventaja de poder utilizar sus residuos para cubrir sus necesidades energéticas; tal es así, que en la mayoría de las instalaciones para la elaboración de madera en los países desarrollados, incorporan quemadores que funcionan con los residuos de los aserraderos para ahorrar así determinados suministros costosos de combustibles fósiles (FAO, 1990).

En Uruguay, la disponibilidad de subproductos de la cadena forestal, como corteza, pellets, astillas y aserrín, le permiten a muchas de las empresas del sector generar su energía y ser autosuficientes (Fermi, 2017)

2.1.2.4 Posibilidades de procesamiento de diámetros finos

En base a García (2016), entre los productos maderables que admiten diámetros menores uno de ellos es la pulpa de celulosa que admite hasta diámetros mínimos de entre 3 y 4 centímetros. Con respecto a este producto, como ya se mencionó, en el país la celulosa de fibra corta se hace con madera de eucaliptos, siendo este un posible destino para la colocación de los diámetros finos, en el caso de que se instalasen plantas que utilice dicha especie. Otra posibilidad puede ser la elaboración de productos de transformación secundaria, según Dieste (2014), para la producción de madera de apariencia, en el aserradero se maximiza el aprovechamiento de la madera, abriéndose así una ventana para el procesamiento de menores diámetros, además se trata de una industria que puede ser competitiva con menos capital que la industria de primera transformación.

Otra alternativa para el aprovechamiento de diámetros menores a 18 a 30 centímetros, es utilizarlos para realizar elementos encolados de madera (EEM) de apariencia, ya que éstos permiten corregir defectos y obtener piezas más cortas, que mediante uniones dentadas pasan a formar parte de una pieza de mayor largo.

Los tableros de fibras, podrían ser otra opción a tener en cuenta, dado que utilizan fibras de madera de cualquier especie, aunque provengan de madera reciclada o aserrín, en combinación con resinas y unidas mediante presión y temperatura (Dieste, 2014).

Haciendo foco en lo que respecta a este trabajo, la bioenergía es otro uso que permite que las otras fracciones, o parte de ellas, que no son aprovechadas, puedan tener un destino complementario. Las diferentes fracciones, difieren en sus características como combustible. El aprovechamiento energético de los tocones es posible, pero es un material contaminado con tierra y piedras que precisa un procesamiento intenso. La corteza, es un buen combustible, pero posee la limitante de tener un alto porcentaje de cenizas. Mientras que la copa, en el caso de las coníferas, tienen una mayor proporción de biomasa que las latifoliadas, así como mayor porcentaje de leño, que provoca una

mejor calidad como combustible, con respecto a las ramas y hojas, se hace mención a que las ramas son una fuente interesante de biomasa, que varía con la especie y el largo de las rotaciones. Los troncos que provienen de descartes, aunque se encuentran en una baja proporción en el total de la biomasa, contribuyen a aumentar la calidad del total del conjunto dada su muy alta calidad como combustible (Casado, 2013).

La tecnología utilizada en la bioenergía, se ha dirigido desde la manipulación y recolección de los residuos, hasta su procesamiento en formatos de consumo adecuados para optimizar los costos del transporte, siendo éstos bajo la forma de biomasa bruta o como astillas (Casado, 2013), los cuales se tratarán en el apartado de procesamiento de la biomasa.

2.1.3 Capacidades instaladas en la zona

Se describen las capacidades instaladas en la zona de trabajo; describiéndose la infraestructura, principalmente la vial, las industrias procesadoras de madera que se encuentran presentes y son demandantes de madera de pino, así como también las plantas que generan energía a partir de biomasa.

2.1.3.1 Infraestructura

Respecto a la infraestructura, es de gran relevancia conocer la estructura vial; puesto que la misma es condicionante del transporte e influye en los costos del mismo. La descripción de la misma se realiza con información perteneciente al Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTO); para los departamentos de Tacuarembó y Rivera.

En primera instancia se describe la red vial nacional, según clasificación de red. La clasificación de red se encuentra establecida en la Ley No. 10.382 del 13/02/1943, donde se definen las siguientes categorías:

- Corredor internacional: se encuentra asociado a la importancia estratégica nacional que asegura las potencialidades productivas nacionales con los diferentes territorios de la región.
- Red primaria: está integrada por los caminos que unen directamente la capital de la república o los caminos que unen la capital departamental.
- Red secundaria: integrada por los caminos que unen la capital de un departamento o un camino nacional, con un puerto nacional, estación ferroviaria terminal, paso importante de la frontera del país, parque público nacional o población balnearia designada por ley.
- Red terciaria: integrada por caminos que unen dos capitales de departamentos contiguos, carreteras transversales que pasando a menos de un kilómetro de ciudades, villas o pueblos del país, unen entre si las radiales nacionales que parten de Montevideo.

Definidas las categorías que componen la red vial nacional, se presenta la distribución que presenta cada categoría en los departamentos de Tacuarembó y Rivera.

Cuadro 14. Clasificación de la red vial nacional para los departamentos de Tacuarembó y Rivera; expresados en kilómetros (km), según tipo de red.

Departamentos	Clasificación de la RVN				Total
	Corredor internacional	Red primaria	Red secundaria	Red terciaria	
Rivera	72	41	300	25	439
Tacuarembó	177	178	180	39	574

Fuente: MTOP (2016a)

En el cuadro anterior, se aprecia que en ambos departamentos la red secundaria es la más extensa, y la terciaria la menor; pero es de destacar que en el departamento de Tacuarembó, la distribución es más homogénea, donde la extensión de corredores internacionales y de red primaria se asemejan al de red secundaria; situación que no es compartida en el departamento de Rivera.

Además de la clasificación anterior, es de importancia mostrar cómo se encuentra compuesta la red vial según el tipo de pavimento. Los tipos de pavimento que se clasifican son el hormigón, concreto asfáltico, tratamiento bituminoso, imprimación reforzada y tosca.

Cuadro 15. Clasificación vial de los departamentos de Tacuarembó y Rivera, según tipo de pavimento, expresado en kilómetros (km).

Departamentos	Tipo de pavimento					Total
	Hormigón	Concreto asfáltico	Tratamiento bituminoso	Imprimación reforzada	Tosca	
Rivera	0	72	255	93	18	439
Tacuarembó	0	177	388	0	10	574

Fuente: MTOP (2016b)

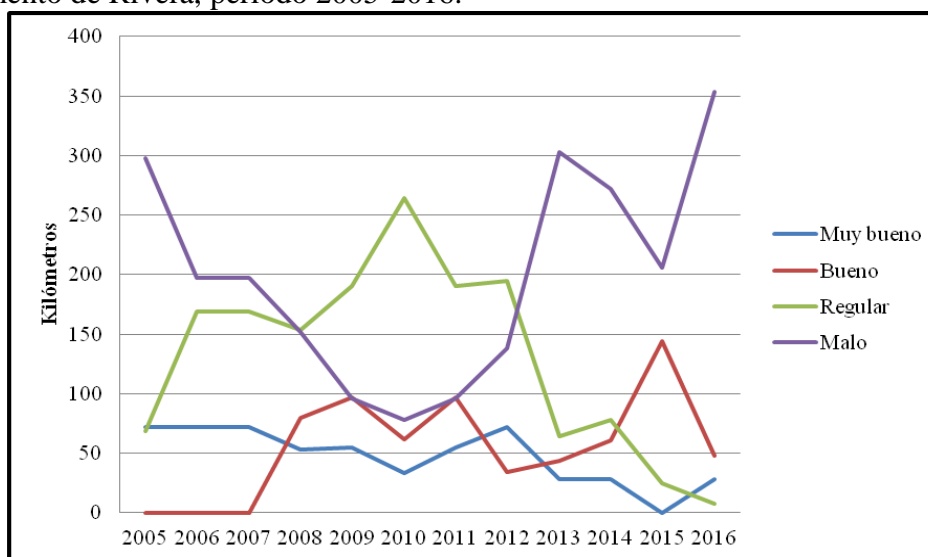
Respecto a la información presentada en el cuadro anterior, es de destacar que en ambos departamentos el tratamiento bituminoso es el tipo de pavimento que predomina, y no se encuentra el hormigón como tipo de pavimento.

En los cuadros 14 y 15 se aprecia la jerarquía de las redes viales. En el cuadro 15 se realiza una clasificación más específica en cuanto a los kilómetros de red en base al tipo de material utilizado en su construcción. Sin embargo, esta información no brinda

datos en concreto sobre la calidad y el estado de la caminería en los mencionados departamentos; los cuales son relevantes, dado que si bien se puede contar con una caminería importante y con un material duradero, si el estado de la misma no es bueno causaría inconvenientes en el transporte carretero.

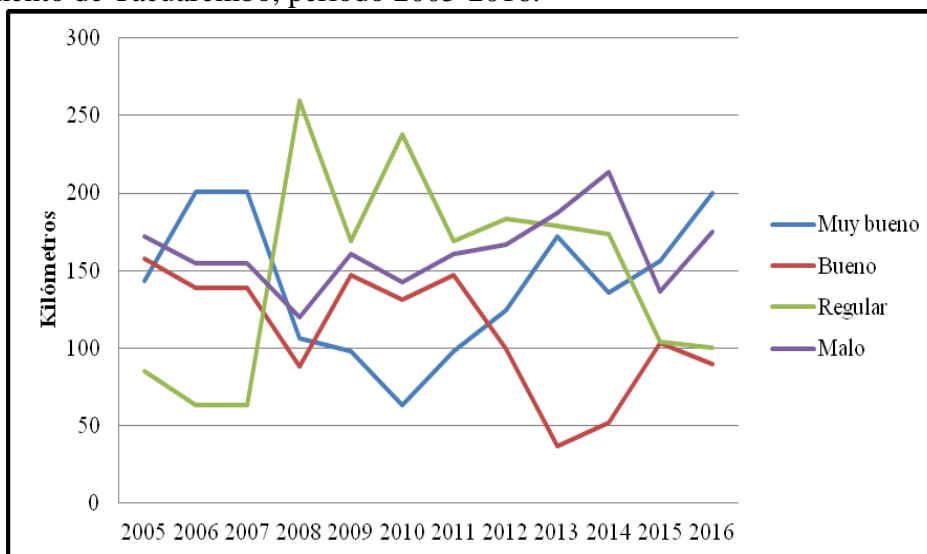
El MTOP (2016c), ha relevado información en cuanto al estado de la red vial, evaluándose el estado de conservación de las mismas. Con respecto a estas evaluaciones se encuentran disponibles datos que van desde el 2005 hasta el 2016; permitiendo esta información apreciar la evolución de los mismos en el período mencionado. Se grafica la evolución del estado de conservación de las redes viales en los departamentos de Tacuarembó y Rivera, en el período 2005-2016; el cual se evaluó utilizando parámetros cualitativos estableciéndose cuatro categorías: muy bueno, bueno, regular y malo. De esta forma cada año se contó con una evaluación del estado de conservación, cuantificándose y asignándose a cada categoría una suma de kilómetros pertenecientes a la red vial.

Figura 5. Evolución del estado de conservación de la red vial para el departamento de Rivera, período 2005-2016.



Fuente: MTOP (2016c)

Figura 6. Evolución del estado de conservación de la red vial para el departamento de Tacuarembó, período 2005-2016.



Fuente: MTOP (2016c)

En los gráficos se aprecia que la evolución del estado de conservación es diferente en cada departamento, destacándose en el departamento de Rivera un aumento del deterioro de las vías a partir del año 2013, reflejado en un aumento en la categoría malo; y en adición a eso, la categoría muy bueno no presentó aumentos en el período. Sin embargo, si se observa la gráfica para el departamento de Tacuarembó, la situación tiende a ser más equilibrada, donde si bien hay un componente alto de la categoría malo, se aprecia que la categoría muy bueno presentó incrementos en el período.

Cuadro 16. Estado de conservación al año 2016 según departamento y categoría, expresado en kilómetros (km).

Departamento	Estado de conservación					Total
	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Sin evaluar	
Rivera	28	48	8	354	0	439
Tacuarembó	200	90	100	175	10	574

Fuente: MTOP (2016c)

Si se toma del cuadro las cuatro categorías establecidas, y se las reduce a dos categorías, la positiva y la negativa, que contienen la suma de los estados muy bueno y bueno la primera; y la suma de los estados regular y malo la segunda; se puede apreciar que en el departamento de Rivera la categoría negativa abarca un 82,5% del total de kilómetros, mientras que en Tacuarembó esta categoría tiene un porcentaje de 47,9%. Por lo tanto en base a estos datos es posible decir que en el departamento de Rivera la infraestructura vial muestra un mayor grado de deterioro que en Tacuarembó.

2.1.3.2 Empresas de servicio de cosecha operando en la zona

En la actualidad se encuentran diversas empresas brindando el servicio de cosecha. La siguiente descripción se realiza a partir de información recabada en entrevista a un contratista de cosecha que se encuentra operando en la zona, y realiza el sistema de corte a medida (“cut to length” - CTL).

Lorenzo⁴, plantea el sistema de corte a medida realizando el apeo del árbol con 1 “feller buncher”, el trozado del mismo utilizando 2 “harvester”, y la extracción de la madera utilizando 1 “forwarder”, los residuos quedan en el campo en rameros formados cada 10 filas, quedando el material ordenado en estos. En este sistema la tasa de cosecha se encuentra en 4 ha/día.

2.1.3.3 Industrias de la transformación de la madera

Como ya se mencionó, en la actualidad en el país no se encuentran presentes industrias dedicadas a la transformación química de la madera de pino, es decir, no se encuentran plantas de celulosa de fibra larga. Por otra parte, se encuentran presentes industrias dedicadas a la transformación mecánica de la madera, encontrándose aserraderos y carpinterías. La MIEM. DNI (2016), afirma que en Tacuarembó – Rivera, se encuentran los principales aserraderos del país, caracterizándose los más grandes por una fuerte integración vertical partiendo desde la fase agraria hasta la generación de energía con los residuos generados. Las mismas se encuentran orientadas al mercado externo.

Barrenechea et al. (2012), manifiestan que los departamentos de Tacuarembó y Rivera se diferencian de los demás en dos aspectos, primero en que el principal destino de la madera es el aserrío, mientras que en el resto del territorio nacional el principal destino es la celulosa; y el segundo aspecto es la especie dominante, en donde predominan las especies de *Pinus* por sobre las de *Eucalyptus sp.*, siendo esta situación inversa a la del resto de los departamentos. Además se menciona que distribuidos en los dos departamentos se encuentran cinco de los principales aserraderos del país, Lumin, Frutifor (antes Urupanel), Fymnsa, Urufor y Tingelsur; y en adición a estos se agregan aserraderos de mediano y pequeño porte, así como también carpinterías que se encuentran a destinadas a satisfacer el consumo interno.

De las empresas mencionadas por los distintos autores, se destaca el cambio de firma y sistema de producción de la empresa Frutifor.

⁴ Lorenzo, J. 2017. Com. personal.

En un informe más reciente, Rodríguez⁵; menciona para el departamento de Rivera, la presencia de 5 aserraderos de lógica exportadora, Fymnsa (Dank), Urufor, JCE, Inmsur y Tingelsur, sumándose a estos 33 aserraderos y 23 carpinterías.

Como es posible notar, a partir de los datos de los distintos autores y fuentes, se tiene que los departamentos de Tacuarembó y Rivera, concentran un número importante de las industrias de transformación mecánica de la madera. Se debe destacar que la localización de las mismas es cercana a las plantaciones cuyo destino es la producción de madera sólida.

2.1.3.4 Industrias dedicadas a la generación de energía a partir de biomasa

Según Pou y Güida (2013), el uso de productos madereros como energía, tanto en el país como en el mundo, se encuentra en los primeros lugares para la cocción de alimentos y calefacción. A su vez en el país se encuentran industrias como frigoríficos, fábricas de papel y cartón, malterías, aceiteras, laneras, secaderos de granos, industrias lácteas, entre otras agroindustrias; que demandan y consumen madera como combustible utilizado en sus procesos de producción. Sumado a esto la industria forestal requiere de energía eléctrica y vapor para completar sus procesos industriales, surgiendo de esta manera la cogeneración como una forma de llevar a cabo el proceso industrial con costos competitivos. Por otra parte, UTE y los organismos competentes en la materia desarrollaron programas de adquisición de energía eléctrica generada a partir de tres modalidades que son; contratos a partir de licitaciones públicas, contratos a partir de llamados a un precio fijo, y compra directa al precio “spot”, con la finalidad de impulsar el desarrollo de industrias dedicadas a la generación de energía.

Respecto a la generación de energía a partir de biomasa, en el país se encuentran empresas de distinto tipo, por ejemplo hay empresas de transformación mecánica de la madera las cuales asociadas a su proceso cuentan con una planta generadora de energía; industrias de transformación química como las plantas de celulosa, que cuentan con plantas de generación de energía eléctrica que apoyan y acompañan el proceso de producción; y por último se encuentran empresas dedicadas solamente a la generación de energía eléctrica a partir de biomasa, en las cuales toda la generación de energía es volcada a la red eléctrica.

Se presenta el listado de empresas que se encuentran registradas para la generación de energía a partir de biomasa, mostrándose además la potencia instalada y la potencia bajo contrato fijo con UTE, o mediante contrato “spot”.

⁵ Rodríguez, A. 2016. Relevamiento del sector de transformación mecánica de la madera en Rivera y Tranqueras (aserraderos y carpinterías). Documento interno de consultoría. 56 p. (sin publicar).

Cuadro 17. Empresas generadoras de energía eléctrica y capacidad de generación, a nivel nacional, cuya materia prima es la biomasa.

Empresa	Departamento	Potencia instalada (MW)	Potencia contrato UTE (MW)	Potencia mercado "spot" (MW)	Materia prima
Celulosa y Energía Punta Pereira S.A. (Montes del Plata)	Colonia	180	80	-	Licor negro/forestal
UPM	Río Negro	161	40	-	Licor negro
Weyerhaeuser Productos S.A.	Tacuarembó	12	5	-	Forestal
Bioener S.A.	Rivera	12	9	3	Forestal
Lumiganor S.A.	Treinta y Tres	11,4	-	11,4	Forestal
Alur S.A. (planta Bella Unión)	Artigas	10	5,5	-	Bagazo/Forestal
Fenirol S.A.	Tacuarembó	10	8,8	1,2	Forestal/Cascara de arroz
Ponlar S.A.	Rivera	7,5	3,5	4	Forestal
Liderdat S.A.	Paysandú	5	-	4,85	Forestal

Fuente: PROBIO y DNE (2017)

Como se puede apreciar, hay varias empresas que generan energía a partir de biomasa. En cuanto a la materia prima, la mayoría tienen presente el componente forestal, y dentro de este es que se encuentran los residuos foresto industriales y residuos de campo.

Respecto a la potencia instalada de las distintas industrias, es notorio como las industrias de celulosa se separan de las demás industrias. Si se tiene en cuenta que las potencias registradas en contrato y mercado "spot", son las que se vuelcan a la red eléctrica, el suministro de Montes del Plata es el doble que el suministro que hace UPM, y a su vez, si se compara cada planta de celulosa con el resto, se observa que el suministro de Montes del Plata es 6,6 a 16 veces, y el de UPM es 3,3 a 8 veces el de las demás industrias.

También se debe destacar que todas las empresas se encuentran operando, a excepción de Lumiganor S.A. que se encuentra construida pero no está funcionando. Del listado de empresas presentado, solamente tres (Lumiganor S.A., Fenirol S.A. y Liderdat S.A.) se encuentran dedicadas exclusivamente a la generación de energía eléctrica, las demás si bien generan energía lo hacen en cogeneración con industrias que se

encuentran asociadas. De las tres empresas mencionadas el foco de atención será situado sobre Fenirol S. A., debido a su ubicación y la cercanía de la misma con las áreas de bosque donde se encuentra la biomasa.

2.1.3.5 Fenirol S.A.

Según la información presentada en el estudio de impacto ambiental, la empresa Energía Renovable Tacuarembó (E.R.T), es una empresa de capitales Uruguayos fundada con el fin de producir energía eléctrica a partir de biomasa. Dicha empresa se encuentra ubicada en la 4ta sección judicial y catastral del departamento de Tacuarembó; teniendo acceso a la misma por la ruta 26 en dirección al este a 400 metros del empalme con ruta 5. Los datos georreferenciales son: latitud 31° 41' 53,21" S; longitud 55° 56' 08,22" W (E.R.T-Fenirol, 2009).

Las instalaciones de la planta cuentan con accesos terrestres multimodales como lo son las carreteras y las vías férreas. La justificación de la ubicación de la planta se debe a distintos factores, destacándose entre ellos; que se encuentra en el eje de las rutas 5 y 26, siendo este lugar un punto estratégico para la recepción de la materia prima, que la energía generada es vendida a UTE en exclusividad a partir de los términos establecidos en la licitación pública P35404, que al encontrarse cercana a las redes de alta tensión se reducen las pérdidas en la transmisión, y en último lugar, que se encuentra próxima al arroyo Tres Cruces desde donde se extrae el agua para la generación de vapor.

La potencia del generador es de 10 MW (megavatios), y la biomasa a ser utilizada se compone de subproductos forestales, tanto de campo como de industria, y de cascara de arroz proveniente de industrias de la zona; en una proporción de 80 y 20% respectivamente. Los 10 MW capaz de generar la planta representan según Pou (2013), el consumo comercial y residencial de la ciudad de Tacuarembó. A su vez un 10 % de la generación de la planta es utilizado para su propio funcionamiento.

La industria se encuentra enmarcada en el mecanismo de desarrollo limpio (MDL) por cumplir con dos requerimientos básicos: la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y el desarrollo de actividades sustentables para el país, siendo en este caso la generación de energía a partir de la biomasa.

La planta operando a plena capacidad como fue mencionado previamente, tiene una capacidad de producir 10 MW, teniendo un consumo anual de biomasa 100.000 ton de subproductos forestales (residuos de campo y residuos industriales), y 22.000 ton de cascara de arroz. Dicho combustible es proveniente de industrias y campos que se encuentran comprendidos en un radio de 100 kilómetros. Pou (2013), expresó que la materia prima forestal utilizada por la planta, son astillas de madera, aserrín y costaneros

de aserraderos, además de trozas tanto de *Pinus sp.* como *Eucalyptus sp.* que presenten imperfecciones y rolos finos de menos de 18 cm de diámetro, provenientes en su mayoría de plantaciones de pino; siendo estos materiales procesados en la astilladora de la planta.

Se presentan las características que debe presentar el combustible que se remita a la planta para lograr un buen funcionamiento de la caldera, y una combustión eficiente.

Cuadro 18. Características y valores de parámetros del combustible, requeridos por la empresa.

Análisis elemental	% en peso promedio
Carbono	34,3
Hidrógeno	4,21
Azufre	0,00
Cloro	0,00
Nitrógeno	0,35
Oxígeno	30,8
Cenizas	0,35
Humedad	30
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	2789

Fuente: ERT-Fenirol (2009)

A partir del cuadro anterior se observa que el material deberá cumplir con dichos requerimientos y en especial el de obtener un poder calorífico inferior de 2789 kcal/kg, para un contenido de humedad de 30%; pero se admite el material con hasta 50% de humedad como máximo.

En adición, si se compara el cuadro de los requerimientos de la empresa, con las características de los residuos mencionadas en el apartado correspondiente a la caracterización de los residuos, se puede apreciar que los residuos de cosecha se ajustan a la demanda de la empresa, donde en la bibliografía se encontró valores de contenido de cenizas en un rango de 0,35 a 0,76%. En cuanto al poder calorífico inferior requerido, se aproxima al presentado en el cuadro 9, en donde el PCI para un contenido de humedad de 30% es de 2930 kcal/kg.

El único parámetro encontrado que se encuentra por fuera de los requerimientos de la empresa, es el contenido de humedad, el cual en los materiales recién cosechados se encuentra por encima del 50%. Este parámetro puede ser manejado a través del almacenamiento del material, lo que permite disminuir el contenido de acículas y por ende de cenizas.

2.1.4 Distribución de los bosques respecto a Fenirol

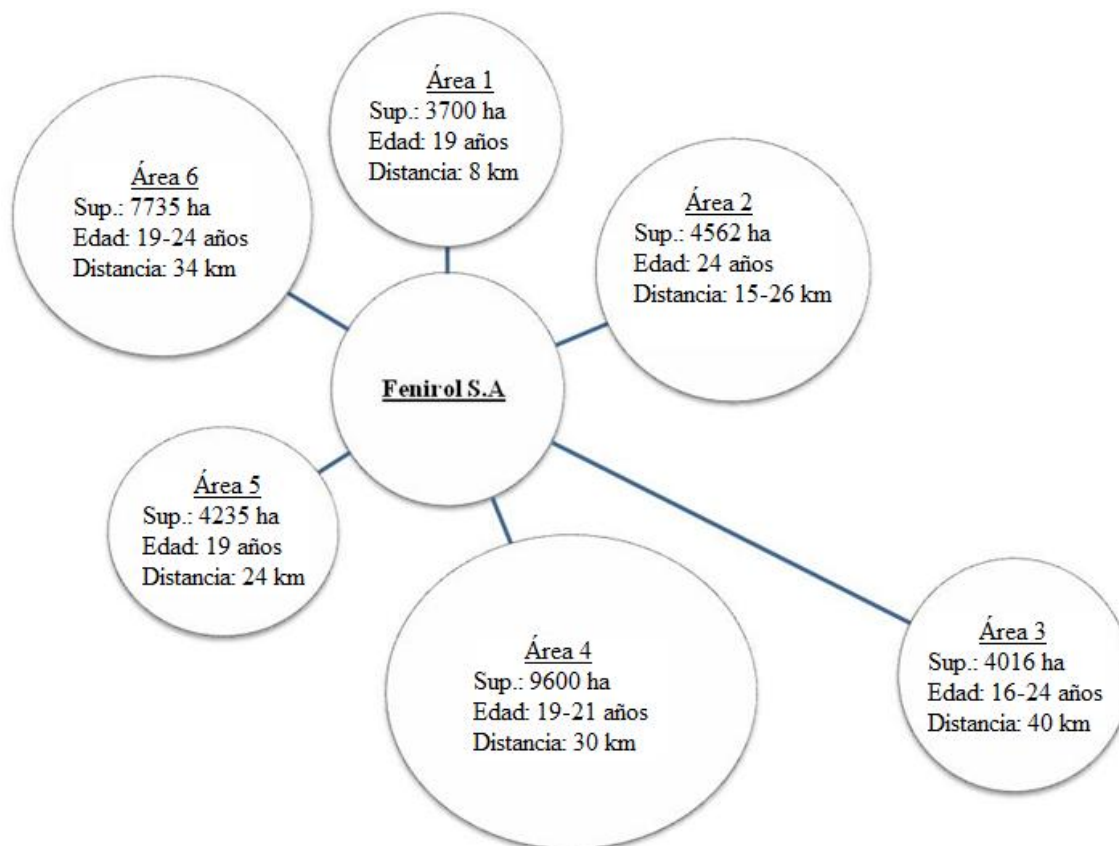
Como fue mencionado previamente en el apartado 2.1.1.1, se estima que al 2017, se encuentran forestadas unas 48946 ha efectivas en Tacuarembó y unas 49570 ha efectivas en Rivera. Si bien este dato es de relevancia, es importante también conocer o tener una aproximación de cómo se distribuyen los bosques donde se encuentra la materia prima, respecto al cliente potencial; en este caso Fenirol S.A.

El área total forestada en Tacuarembó y Rivera fue compartimentada en un sector a menos de 30 km (ver mapa en anexo 1) de la planta de Fenirol y otro a más de 30 km . El círculo próximo a Fenirol supone un área total de 283 mil hectáreas. En esta superficie se agruparon masas boscosas homogéneas por especie, edad y se delimitó la ruta de abastecimiento de cada grupo. Para realizar este trabajo se usó Google Earth Pro, los datos georreferenciados de la base de datos del MGAP. DGF¹.

Otro aspecto a considerar es la composición etaria de esas masas boscosas, la cual fue difícil de determinar. Para ello, se obtuvo información del inventario forestal nacional. A partir de los datos georreferenciados brindado por la MGAP. DGF¹, se localizó el centro de la parcela y se tomó la edad promedio de la misma, actualizándola al 2017. De esta forma se asignaron las correspondientes edades a las distintas áreas cosecha, lo cual ayudó a la planificación y proyección de la logística del proyecto al cruzar esta información con los datos de los planes de manejo de las distintas empresas.

Como resultado a la metodología descrita previamente, se estimó que en el radio de 30 kilómetros del cliente, existe una superficie efectiva forestada con pino de aproximadamente 33.848 hectáreas, que se divide en seis áreas de cosecha potenciales. Se presentan las características de las distintas áreas, incluyéndose la superficie, la composición etaria, y la distancia al cliente.

Figura 7. Áreas tentativas de cosecha, incluyendo superficie, edades y distancias hasta el cliente.



En la figura 7, la longitud de las flechas representa la distancia a la planta, y el tamaño de los globos representa la superficie de pino, a mayor tamaño, más hectáreas efectivas plantadas con pino.

2.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA OFERTA DE PINO

Las plantaciones de pino ubicadas en los departamentos de Tacuarembó y Rivera, serían la materia prima a tener en cuenta para la realización del proyecto. Si sumamos la existencia de bosques de pino de ambos departamentos, estas abarcan un total de 98.500 hectáreas.

Considerando que el supuesto cliente es Fenirol S.A., ubicado en Tacuarembó, existe alrededor del mismo, en un radio de no más de 30 kilómetros, una disponibilidad de 34.000 hectáreas de pino potencialmente aprovechables, o lo que es lo mismo un 34% de las 98.500 hectáreas existentes. Según lo expresado en la figura 7, si se toma en cuenta que esas hectáreas se dividen en 6 áreas diferentes considerando distintas

combinaciones de edades medias y distancia promedio a la planta, el proyecto tendría una continuidad en el tiempo, dado que no todas las plantaciones tienen la misma edad. Además cinco de esas seis áreas tienen edades de entre 19 y 24 años, rango que queda dentro de los turnos manejados por las empresas, por lo que si se quisiera el proyecto podría llevarse a cabo cuando se desee.

Si se tiene en cuenta, la cosecha de pino de 883.000 metros cúbico para el año 2016 que aparece en el cuadro 9, el incremento medio anual (IMA) aproximado de 15 m³/ha/año para Tacuarembó y 20 m³/ha/año para Rivera citado por PROBIO (2015), la duración de la rotación manejada por las empresas de entre 18 y 25 años; asumiendo un IMA promedio para los dos departamentos de 17,5 m³/ha/año, se puede decir que en el año 2016 fueron cosechadas en promedio entre 2.000 y 3.000 hectáreas. Sumado a lo anterior, como se vio en el cuadro 6, por cada hectárea cosechada a turno final se generan 130 toneladas de residuos (sin contar corteza), que luego de oreadas equivalen a 66,2 ton/ha. En base al supuesto de una cosecha anual de 2000 hectáreas, la oferta potencial de biomasa será de 132 mil toneladas, cantidad superior a la demanda actual de Fenirol estimada en 100 mil toneladas. De todas formas, esto sería un valor teórico potencial, ya que la productividad dependerá del sistema elegido y de si se utiliza el material verde o seco.

La oferta de residuos a partir del raleo supone una reserva de biomasa que no se integra a los cálculos de oferta anual esperada y que opera como fondo de reserva.

En cuanto a los requisitos de la parte demandante, en este caso Fenirol S.A., la biomasa tiene que cumplir con un PCI de 2789 Kcal/Kg para un contenido de humedad de 30% y un contenido de cenizas promedio de 0,35%; la planta acepta un contenido de humedad máximo de 50%, ofrecido por los residuos de pino, lo cual da la pauta que la planta en teoría consumiría residuos recién cosechados, aunque ello no fuera lo óptimo ya que la humedad determina mayormente el rendimiento energético como ya se mencionó. Si se compara esto con las características de los residuos, el PCI para un 30% de humedad estaría cumpliendo el requisito ya que posee un valor de 2930 Kcal/Kg. En cuanto a las cenizas, según PROBIO (2015) las mismas poseen valores para corteza, ramas y hojas de 1,2%, 0,9% y 3,7% respectivamente, por lo que estarían pasadas de lo que exige Fenirol, de todas formas estos valores son expresados en base a la materia seca; pero existe un trabajo de Almeida et al. (2010) que determina un contenido de cenizas promedio de 0,35% para residuos que estuvieron almacenados un mes, lo cual demuestra que no sería lo mejor remitir los residuos recién abatidos.

Observando el comportamiento del mercado actual del pino, se puede decir que la transición del residuo a subproducto, representa un nuevo actor en el mercado, el cual podría aportar para que el actual mercado no siguiera en decadencia, y además se estaría dando valor a algo que hoy no lo tiene y así se estimularía el uso multiproductivo de los

bosques que aportaría a la sustentabilidad de los sistemas, principalmente la económica ya que aumentaría el valor final de los mismos.

En cuanto a la zona en donde se realizará el proyecto, la misma cuenta con infraestructura que hace factible el proyecto, aunque el estado de la red vial no sea el mejor, la accesibilidad a la mayoría de las plantaciones es por rutas principales y además las mismas se encuentran cercanas a la planta. El deterioro de la red vial, podría causar que los tiempos de espera sean mayores, y también que tenga que tomarse las respectivas precauciones en cuanto a la carga de los camiones y al traslado de la maquinaria de un predio a otro.

En cuanto a los servicios, se sabe que existen empresas que brindan el servicio de cosecha, y dado el desarrollo de la zona en cuanto a la cantidad de industrias asociadas a la madera que existen, se podría deducir que hay disponibilidad de mano de obra que presentan conocimiento, si bien no de la actividad en concreto de procesar los residuos, sino de la forestación en general en cuanto a la especie.

2.2.1 Análisis FODA

El método FODA es un método global de diagnóstico, el cual puede ser implementado también en la planeación estratégica. Es un análisis que contempla aspectos de tipo cuantitativos y cualitativos. Se basa en la identificación de fortalezas y debilidades, internas a la empresa, y de oportunidades y amenazas, externas a la misma.

Este método es utilizado básicamente en empresas que se encuentran en funcionamiento con una estructura armada y que permite el análisis de la misma.

2.2.1.1 Fortalezas

Existe un inversor con capital y capacidad gerencial para llevar adelante la ejecución del proyecto.

2.2.1.2 Oportunidades

Se entienden por oportunidades a aquellos factores positivos que se generan en el entorno y que, una vez identificados, pueden ser aprovechados. Bajo este concepto, se enumeran las que se consideran más pertinentes.

El aprovechamiento de los residuos significaría un uso más eficiente de la masa forestal ya que se estaría explotando un recurso que actualmente es abandonado en el campo, y además se le estaría dando valor a una materia prima que actualmente carece del mismo, aumentando así la rentabilidad del bosque.

Al extraer los residuos del campo, las tareas de plantación podrían llevarse a cabo en un horizonte temporal más próximo a la cosecha, reduciendo así el TUP (“temporary unplanted” o campo temporalmente sin plantar). Además, dicha extracción reduciría el alto impacto ambiental que provocan los residuos abandonados en el campo por ser focos de alto riesgo de incendio, principalmente en los meses más calurosos, y por suponer además, fuente de plagas y enfermedades, e impactar sobre la fauna de la zona, dado que se limita su movilidad.

Desde una perspectiva más económica, en concordancia con lo que expresan Hubbard et al. (2007), retirar los residuos de cosecha llevaría a disminuir los costos de plantación a través del ahorro en preparación de tierras (despejados y laboreos), los cuales podrían ser llevados a cabo con maquinaria más liviana.

También desde el punto de vista social podrían haber oportunidades, si se considera que se generarían nuevos puestos de trabajo, y además por ser una idea nueva a nivel Nacional, ofrece la oportunidad a personas emprendedoras que quieran llevarlo adelante.

2.2.1.3 Debilidades

Falta de información local que valide los cálculos realizados.

2.2.1.4 Amenazas

Las amenazas son situaciones negativas externas, que pueden atentar contra éste, por lo que llegado al caso, puede ser necesario diseñar una estrategia adecuada para poder sortearlas.

Teniendo en cuenta la naturaleza del material a procesar, la factibilidad del proyecto estará limitada por la disponibilidad de la biomasa, ya que si no ocurre la cosecha, no habría residuos. Una característica particular de los residuos de campo es que no se encuentran concentrados, ya que la forestación en el país es conocida por su amplia fragmentación, lo cual encarece el proceso de extracción, significando ello una desventaja frente a los residuos que provienen de los aserraderos, en donde se encuentran grandes volúmenes concentrados en pocas empresas, que además poseen alta calidad como combustibles.

Ligado a lo anterior, en el mercado se encuentra resistencia por la parte demandante al desconocer el producto y su calidad.

Otra amenaza potencial que se puede enumerar, es la fuerte contribución de la energía eólica en la matriz energética nacional, la cual compite a mejores precios que la generación de energía en base a biomasa, y además posee la ventaja de que genera un flujo constante de energía, en contraposición con la biomasa en donde la capacidad de una oferta sostenida es altamente dependiente de factores como el clima que no es controlable. Sumado al escenario nacional en cuanto a la energía, existe falta de promoción por parte del estado a la instalación de calderas alimentadas por biomasa, y además el bajo precio del megavatio hace que no sea atractivo generar energía en base a residuos, ya que ello achica los márgenes de ganancia de las empresas que lo llevan a cabo.

En cuanto al aspecto ambiental, es una realidad que al extraer material del suelo, se estarían extrayendo nutrientes afectando principalmente a suelos poco fértiles, y además la maquinaria utilizada podría causar tanto problemas de erosión como de compactación en aquellos suelos que estén más degradados. Ligado también al tema ambiental, se debe destacar que los esquemas de certificación, contemplan a la biomasa residual como un coproducto en el caso que se comercialice la misma, por lo tanto se debería evaluar en cada caso el beneficio entre la obtención de productos múltiples y el impacto de la extracción de nutrientes.

La situación actual de la forestación con pino en el país, podría ser una amenaza a largo plazo, dado que es una especie que se ha dejado de plantar, y recientemente con la apertura del nuevo mercado de exportación de rollos, la superficie irá disminuyendo. Además, existe una creencia de que el pino como combustible, genera problemas en las calderas debido a la resina, lo que hace que la demanda de la especie como combustible sea menor.

2.3 CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO

En base a lo discutido y considerando, la existencia de un inversor interesado y con capacidad gerencial, una gran oferta de residuos de pino en la zona, y que los mismos, a su vez, cumplen con los requisitos de calidad exigidos por la parte demandante, que en el país los diámetros finos no son aprovechados y que en la zona existen los servicios y la infraestructura con capacidad para la ejecución del proyecto, se propone evaluar un proyecto para la producción de astillas.

3. PROYECTO

3.1 OBJETIVOS

La etapa de proyecto del trabajo se realiza con el principal cometido de establecer los costos del procesamiento de los residuos de la cosecha de pino.

Como objetivos secundarios, se plantea analizar la viabilidad técnica, económica y financiera de la alternativa de extracción con “forwarder” y astillado a orilla de camino, a través de indicadores financieros. También, se plantea identificar las variables de riesgo de mayor peso para el proyecto.

3.2 ESTUDIO TÉCNICO

El estudio técnico sirve para contemplar los aspectos técnico-operativos, necesarios en el uso eficiente de los recursos disponibles para la producción de un bien o servicio. Su objetivo principal es demostrar la viabilidad técnica del proyecto que justifique que la alternativa se adapta a los criterios de optimización.

3.2.1 Procesamiento de la biomasa, alternativas técnicas posibles

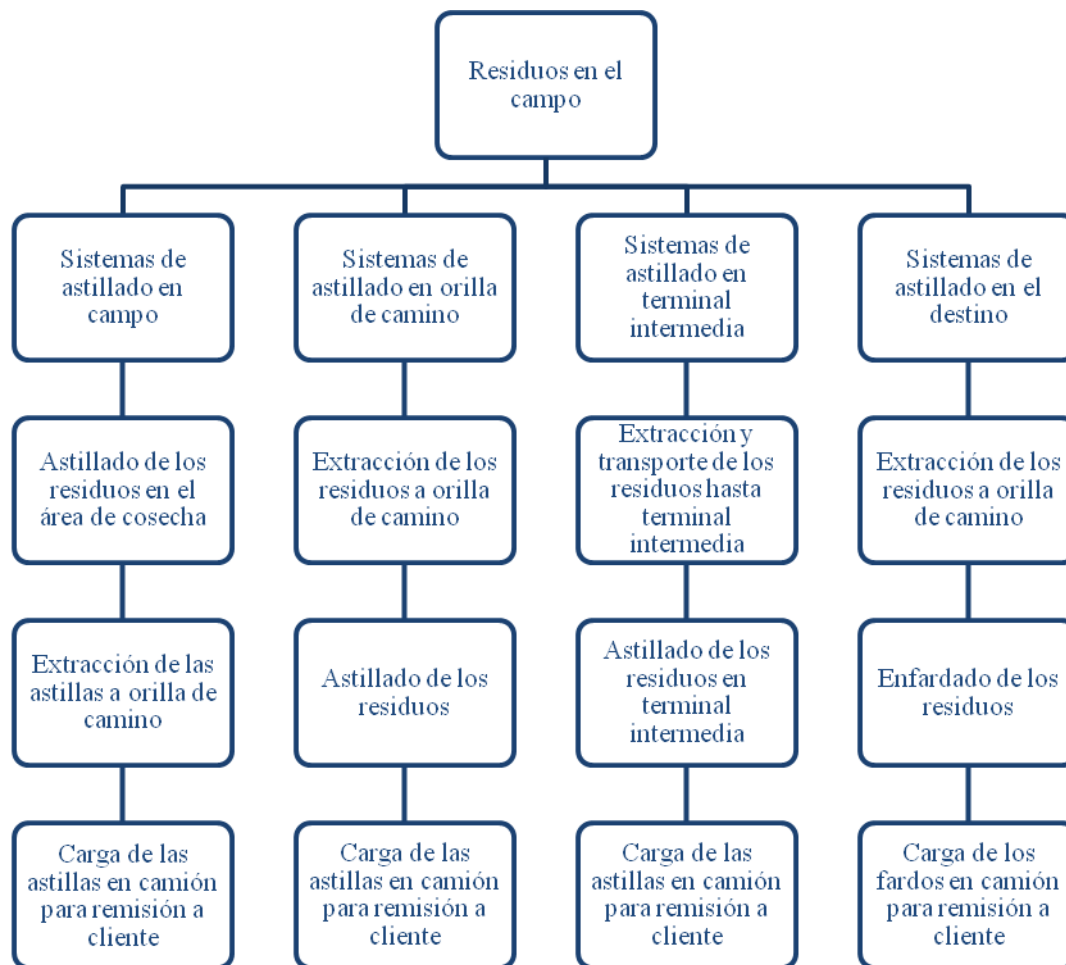
Para llevar a cabo la extracción y procesamiento de la biomasa existen numerosas técnicas y metodologías desarrolladas. Estas técnicas están condicionadas, primeramente, por el sistema de cosecha previo llevado a cabo.

Hubbard et al. (2007), expresan que los sistemas de cosecha forestales tienen tendencia a elevar los procesos de mecanización, realizar un uso intensivo del capital y estar en una continua adaptación a las condiciones y búsqueda de nuevos productos y oportunidades, siendo en este último punto donde surge la recuperación y procesamiento de la biomasa residual.

Respecto a los sistemas de cosecha, en base a consultas a las empresas que operan en el área, se encuentra el sistema de corte a medida. En base a Ackerman et al. (2013), en el sistema de corte a medida CTL, los residuos permanecen dentro del campo, por lo tanto la extracción de los mismos se realizaría en una etapa posterior a la extracción de la madera rolliza.

En función del lugar donde se lleve a cabo el proceso de reducción de tamaño de la biomasa, se encuentran distintos sistemas de extracción, tal como aparece en la figura 8.

Figura 8. Sistemas de extracción y procesos involucrados, en función de donde es llevada a cabo la reducción del tamaño de partícula de la biomasa.



Leinonen (2004) expresa que cada sistema se divide en varias fases: la extracción del material del campo, el almacenamiento y secado, el procesado del material y por último el transporte al cliente. De acuerdo a Leinonen (2004), Ackerman et al. (2013), se encuentran cuatro sistemas: astillado en el campo, astillado en la orilla de camino, astillado en una terminal intermedia, o astillado en el destino (cliente).

Leinonen (2004), Hubbard et al. (2007), hacen mención a una nueva tecnología de procesamiento donde la biomasa es empacada en “bundles”, siendo estos atados de ramas, cuyas dimensiones son de menos de 0,75 m de diámetro y 3 m de longitud. Este proceso se ubica previo a la etapa de extracción o luego de la misma, dependiendo de si el empacado se hace en campo o a orilla de camino. Este tipo de tecnología se torna atractiva debido al hecho de que es posible manejar los atados de la misma manera que se manejan los rolos y no se necesita de camiones especializados para su transporte. En

adición a esto, el material se puede almacenar por mayores períodos de tiempo sin que haya pérdidas de materia seca.

3.2.1.1 Sistemas de astillado en campo

De acuerdo a Leinonen (2004), el sistema de astillado en campo se realiza con astilladora móvil, donde a medida que se avanza con el proceso de astillado, las astillas son almacenadas en un contenedor y luego cuando se llega a la capacidad de llenado de la máquina, estos son extraídas fuera del terreno y cargadas al camión. En este caso es necesario que los residuos se encuentren apilados de forma ordenada siguiendo el recorrido que realizó el “harvester”, para que de esta manera puedan ser cargados de forma más eficiente en la boca que alimenta la astilladora. En general, las astilladoras móviles, frecuentemente están montadas en los chasis de los “forwarders”. En este sistema los residuos son procesados luego de la cosecha, cuando el material está aun verde, por lo tanto se espera que el producto presente un mayor contenido de humedad.

De acuerdo al mismo autor, en comparación con el sistema de astillado en orilla de camino, este sistema presenta como ventaja que puede ser llevado a cabo con una menor cantidad de maquinaria, haciendo que la organización del trabajo se simplifique, y que no se necesita espacio para almacenar los residuos en pilas. Como desventajas se plantea que el material generado tiene altos contenidos de humedad, y se puede dificultar el tránsito de la maquinaria en terrenos de difícil acceso.

3.2.1.2 Sistema de astillado en orilla de camino

De acuerdo a lo expresado por Leinonen (2004) las fases de este sistema son, la extracción de la biomasa a la orilla del camino, el apilado y secado del material en el lugar, el proceso de astillado, y la carga del material en el camión para su transporte al destino final. Los residuos son extraídos al momento de la cosecha, donde se apilan en el borde de camino y disminuye su contenido de humedad, permitiendo mejorar la calidad para su combustión como fue mencionado en capítulos previos. Una vez que el contenido de humedad descendió, el material es astillado directamente al camión y remitido al cliente.

La extracción del material puede ser llevada a cabo con el uso de “forwarders”, los cuales pueden ser modificados de manera sencilla para aumentar la capacidad de carga de los mismos, ya que en el caso de los residuos, y no como sucede con la madera rolliza, la limitante de carga en este caso se encuentra dada por el volumen y no por el peso. Para el caso de la grapa del “forwarder”, Tolosana et al. (2009), recomiendan el uso de una grapa con espada cortadora, para que los materiales pueden ser cortados y

obtener un mayor orden. En adición, realizar esto contribuye a dejar en el campo las acículas, puesto que se llevaría solamente trozas que van de un diámetro de 19 cm hasta aproximadamente 5 cm.

Acorde a lo planteado por Leinonen (2004), la etapa de estoqueado y secado es un punto crucial, según resultados de investigaciones, durante el verano, la pila de residuos puede pasar de contenidos de humedad del orden de 50-60% en base húmeda, a porcentajes menores al 30% en base húmeda. Es recomendable que las pilas se dispongan en lugares abiertos y con exposición al viento. La altura de la pila puede ser según Leinonen (2004) de hasta 5 m; mientras que Tolosana et al. (2009), establecen que la altura de la pila no puede superar la altura de la cabina de la astilladora, de esta forma se permite una buena visibilidad por parte del operario.

Para el proceso de astillado, Leinonen (2004), propone el uso de astilladoras alimentadas por un tractor, astilladora móviles montadas en el chasis de un “forwarder”, o astilladoras móviles montadas en el chasis de un camión. Las últimas mencionadas, al estar sobre un camión pueden ser más fáciles y versátiles a la hora de transportarse entre los distintos predios. Se debe destacar que el camión transitara por los caminos donde se saco la madera, por lo que estas vías de acceso no representarían ningún inconveniente. El material una vez astillado puede ser cargado directamente en el camión o apilado en el suelo y cargado al camión mediante el uso de una cinta transportadora.

3.2.1.3 Sistema de astillado en terminal intermedia

Leinonen (2004), plantea como fases de producción para este sistema, la extracción del material desde el terreno hasta la terminal, almacenado y secado, astillado del material y carga de las astillas para su remisión al cliente final. Para este sistema, la terminal intermedia debe estar a menos de 10 km de los rodales donde se cosecha; y la biomasa es transportada a la terminal en la misma maquinaria que se extrae del terreno, en este caso se plantea el uso de un tráiler compactador. El material astillado puede ser depositado en el suelo o directamente en el camión para su envío al consumidor final. Los factores que se deben considerar para la localización de la terminal intermedia son; la presencia de biomasa en el área circundante, suficiente espacio para almacenar tanto la biomasa sin procesar así como también las astillas, caminería en buen estado, lugar abierto que permita la circulación de viento y terreno plano (Leinonen et al., citados por Leinonen, 2004).

Una vez astillado el material, si este es almacenado en la terminal intermedia, se debe cuidar la degradación del mismo, debido al aumento de la superficie de contacto de las astillas, estas se encuentran con mayor predisposición al ataque de microorganismos que llevan a reacciones biológicas y químicas del material, generando pérdidas de materia seca. Leinonen et al., citados por Leinonen (2004), establecen al

contenido de humedad inicial de las astillas como el condicionante principal en la pérdida de materia seca y el almacenaje del material a largo plazo; si bien no recomiendan el almacenaje del material por largo plazo, si este es llevado a cabo, recomiendan contenidos de humedad menores al 30% en base húmeda y que se cubran las pilas. Los autores afirman que lo adecuado sería manejar un período máximo de retención de las astillas de dos semanas, para evitar las pérdidas de materia seca.

En este sistema los residuos disminuyen su contenido de humedad en las playas de acopio de la terminal, y además se evitan contaminantes como piedras y otros materiales que afectan la calidad del producto. En adición a ello, se obtienen astillas de mayor calidad con tamaño de partículas y contenido de humedad controlados (Leinonen, 2004).

3.2.1.4 Astillado en el destino

En este sistema la etapa de extracción del material del campo puede ser realizada de la misma manera y con los mismos equipos que en el sistema de astillado a orilla de camino (Leinonen, 2004).

Korpilahti, citado por Leinonen (2004), manifiesta que el principal desafío de este sistema radica en el transporte a larga distancia del material, debido a la densidad de los residuos, 130-180 kg/m³ para contenidos de humedad de 30-50% en base húmeda. Tal es así, que se plantea el sistema que involucra el empacado del material en fardos o pacas como forma de aumentar la densidad del material y mejorar la eficiencia en el transporte a larga distancia. De acuerdo a lo presentado por Sylvain (2007), el material enfardado tiene una razón de compresión de 80% con respecto al material suelto, por lo tanto aumenta la densidad. A su vez, como fue mencionado previamente, el manejo de los fardos se hace de la misma manera que la madera rolliza, encontrándose el “know-how” ya establecido.

Por lo tanto, este sistema se basaría en la extracción de la biomasa de la misma manera que en el sistema de astillado en orilla de camino hasta el apilado del material en el mismo sitio; luego se enfarda el material y los fardos son remitidos al cliente.

3.2.2 Supuestos

Considerando la situación de Uruguay, más precisamente en la zona centro-norte del país, donde la producción es destinada a la obtención de madera sólida, Casado (2013), plantea como métodos para el procesamiento de residuos, el sistema de enfardado y el sistema de astillado en orilla de camino; tanto para sistemas de cosecha de corte a medida como para los de árbol entero.

Como primer supuesto, se debe considerar que se parte de sistemas de cosecha de corte a medida (CTL) con “harvester” y extracción con “forwarder”. Quedando los residuos dispuestos en el campo, en rameros conformados durante la cosecha y una distancia media de extracción a orilla de camino de 300 metros.

Se supone que la materia prima para el trabajo (los residuos de cosecha), existe, y no representa un costo, es decir, no hay que pagar por el acceso a la misma al propietario del monte. Entablándose una relación de mutuo beneficio entre la empresa procesadora de los residuos y el propietario del campo, este último beneficiándose en la mitigación de daños por problemas sanitarios, disminución de riesgo de incendios, entre otros.

El área potencial de operación se encuentra en un radio de 30 kilómetros alrededor de la planta generadora de energía, Fenirol. Cuenta con una superficie efectivamente forestada de 34 mil hectáreas, fragmentadas en seis sub-áreas. Se asume un promedio de 66 toneladas por hectárea de residuos (teniendo en cuenta un contenido de humedad de 40%). La densidad manejada para los residuos es de 130-180 kg/m³ (Korpilahti, citado por Leinonen, 2004).

De las 66 toneladas por hectárea que quedan a campo, teniendo en cuenta que el grapo del “forwarder” tiene una eficiencia de recolección de 80% (Casado, 2013); se estarían recolectando efectivamente unas 53 toneladas por hectárea.

Los residuos no son colectados del campo en seguida de la cosecha, sino que son dejados en el sitio por un período aproximado de un mes. Luego de extraídos a orilla de camino, nuevamente se espera un período de un mes, hasta que se lleve a cabo el proceso de astillado y su remisión al cliente.

Se asume una cantidad de días trabajados en el año igual a 240, buscando una distribución de 20 días al mes.

3.2.3 Proceso de producción

Se describe el proceso por el que transitan los residuos hasta convertirse en astillas. Como punto de inicio se tiene la extracción de los residuos que se encuentran en el campo, hacia la orilla del camino. La extracción se realiza luego de transcurrido un mes pasada la cosecha, utilizando como maquinaria “forwarder” compactador. Considerando el supuesto de que se parte de sistemas de cosecha de corte a medida, los residuos se encuentran dispuestos en rameros en el campo, por lo tanto la maquinaria deberá recolectar los mismos, y extraerlos a orilla de camino, donde serán apilados. Respecto a la conformación de las pilas, Tolosana et al. (2009), recomiendan que el

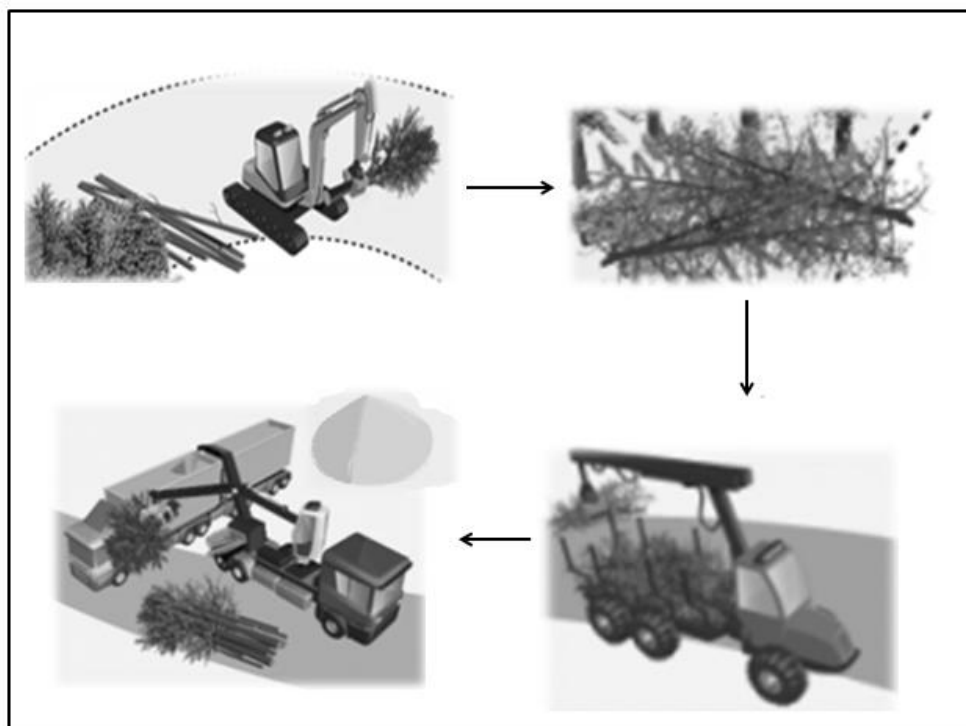
lugar de apilado sea en una parte del terreno firme, con exposición al aire, y baja rocosidad (para evitar daños en la astilladora); en cuanto al dimensionamiento de las pilas se debe considerar que la altura de las mismas no puede superar la visibilidad de la cabina de la astilladora, esto es aproximadamente unos 4 a 5 m de altura. El ancho será de 4 m y el largo de 100. Con estas dimensiones y considerando la densidad de los residuos, cada pila tiene aproximadamente 360 toneladas.

Una vez apilado el material en la orilla de camino, este es dejado por un mes más en el lugar para que continúe el proceso de pérdida de humedad. Llegado el momento, se transforman los residuos en bruto a astillas. Para este proceso se utilizará una astilladora montada sobre un camión, siendo este un equipo sumamente versátil a la hora de permitir los movimientos entre predios. La astilladora tiene la capacidad de auto-cargarse ya que cuenta con un grapo. Las astillas son depositadas directamente desde la boca de salida de la astilladora hacia la caja del camión, donde harán su recorrido hasta su destino final, la planta generadora de energía.

Respecto a la logística de las astillas, se debe tener en cuenta que se trata de una logística de graneles, muy diferente a la de productos sólidos como la madera. Desde el momento en que la biomasa forestal se astilla, dejan de ser utilizables los equipamientos tradicionalmente utilizados para el aprovechamiento de la madera, y un nuevo tipo de manejo aparece. Respecto a este nuevo equipo, se encuentran los camiones transportadores los cuales deben ser específicos para el transporte de astillas; en este caso se plantea el uso de camiones con zorra de aluminio y piso basculante (Casado, 2013).

Se expone en la figura 9, el esquema que representa el proceso de extracción y astillado de los residuos, explicado en los párrafos anteriores.

Figura 9. Esquema del proceso de producción, desde la extracción del residuo en bruto a la carga de las astillas



Fuente: modificado de METLA (2017)

Como se puede apreciar en la figura 9 y en la descripción del proceso, es necesario contar con distintos tipos de maquinaria para poder llevar a cabo la totalidad del proceso productivo; un “forwarder” compactador, el cual presenta una productividad media de extracción de 11 t/hora efectiva, en un rango de distancias de extracción de 140 a 350 metros (Ghaffariyan et al., 2012), y un consumo de combustible de 9 l/hora (Ackerman et al., 2013); y una astilladora montada sobre un camión que de acuerdo a información brindada por García⁶ y Casado⁷, presenta una productividad media de astillas de 30 ton/hora, y un consumo promedio de combustible de 45 l/hora. Teniendo en cuenta estas productividades y consumos, se presentan los coeficientes de producción para el proceso para la etapa de extracción y astillado, llegando a cubrir la demanda del cliente en un 80% (80.309 toneladas al año).

⁶ García, G. 2017. Com. personal.

⁷ Casado, J. 2018. Com. personal.

Cuadro 19. Coeficientes de producción, etapa de extracción.

Parámetro	Unidad	Valor
Oferta neta de residuos por hectárea	ton/ha	52,8
Productividad del FW	ton/hora efectiva	11
Consumo de combustible FW	l/hora efectiva	9
Horas programadas de trabajo FW por turno	horas programadas	10
Eficiencia operacional FW	%	80
Horas efectivas trabajo FW por turno	horas efectivas	8
Toneladas extraídas por FW/turno	ton	88
Consumo de combustible FW/turno	litros	72
Cantidad de FW	unidades	2
Cantidad de turnos	turnos	2
Volumen extraído por día	ton/día	352
Combustible consumido por día	l/día	288
Litros de combustible por tonelada extraída	l/ton	0,82
Días trabajados al año	días/año	240
Volumen extraído al año	ton/año	84.480
Consumo de combustible al año	l/año	69.120

Considerando la productividad del “forwarder” compactador, y trabajando con dos equipos a dos turnos de 10 horas programadas por día, con una eficiencia operacional de 80%, se tiene una extracción de biomasa de 352 toneladas por día, valor que se traduce a un total anual de 84.480 toneladas, y un consumo de combustible de 69.120 litros por año.

Llevando los datos a superficie que se cubre diariamente, por día se realizara la extracción de residuos en 6,6 hectáreas, representando un total anual de 1600 hectáreas. Un aspecto importante a considerar, es el movimiento que debe realizar la maquinaria para poder cubrir esa superficie; para lo cual, se asume que la maquinaria va siguiendo la cosecha realizada por los frentes de cosecha que operan en la zona y sus movimientos. Según Lorenzo⁴, un frente cosecha 1.000 hectáreas por año, y se muda de área de cosecha 4 veces al año. Por lo tanto cada 250 ha trabajadas se realiza la mudanza de la maquinaria, recurriendo al uso de chatas para el transporte de la misma. Teniendo en cuenta lo anterior, los equipos se tendrían que mudar 7 veces en el año.

Cuadro 20. Coeficientes de producción, etapa de astillado.

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen disponible para astillar	ton/año	84.480
Merma en carga de astilladora	%	2,5
Volumen cargado en astilladora	ton/año	82.368
Productividad astilladora	ton/hora efectiva	30
Horas efectivas por año	horas efectivas/año	2.746
Días trabajados al año	días	240
Horas efectivas a trabajar por día	horas efectivas/día	12
Turnos por día	turnos	2
Horas efectivas por turno	horas efectivas/turno	6
Horas programadas por turno de astilladora	horas	8
Consumo de combustible por hora efectiva	l/hora efectiva	45
Consumo de combustible por turno	l/turno	257
Consumo de combustible por día	l/día	515
Consumo de combustible al año	l/año	123.552
Merma de proceso de astillado	%	2,5
Astillas producidas por día	ton/día	335
Astillas producidas al año	ton/año	80.309

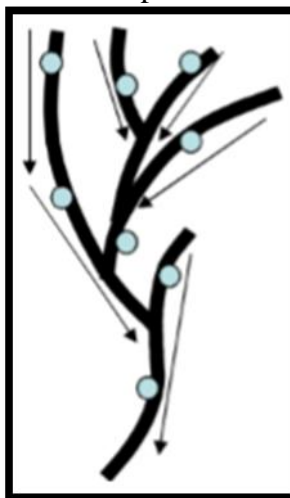
Para la etapa de astillado se debe tener en cuenta que el insumo de esta es el producto de la extracción, partiéndose de 84.480 toneladas. Este valor se ve reducido en un 2,5%, dado por una merma en el abastecimiento de la astilladora debido a que parte del material es dejado en la base de la pila para evitar contaminación. Teniendo en cuenta este volumen y la productividad de la astilladora, para poder procesar el material serían necesarios dos turnos de 8 horas, donde se trabajan 5,72 de forma efectiva, presentando una eficiencia de operación de 71,5%.

Por día se producen 334,6 toneladas, valor que incluye una merma de 2,5% por pérdidas en la salida de las astillas; considerando el volumen de material que contienen las pilas en promedio (360 ton), cada una alcanzaría para cubrir aproximadamente un día de astillado. Tomando en cuenta que la capacidad de carga de un camión es de 22 toneladas, serían necesarios 16 viajes de camión por día para completar la remisión de material.

Para este nivel de producción en esta etapa se requieren 123.552 litros de combustible por año.

En la figura 10 se ejemplifica el flujo de material en el campo. Se observa el proceso de extracción hasta el lugar en donde se conforma la pila de residuos, que posteriormente, pasarán por el proceso de astillado y carga en camión para la remisión al cliente.

Figura 10. Flujo del material en el campo.



Fuente: Navarro (2015)

En la figura presentada, las líneas negras representan la caminería interna del bosque, utilizada también por la cosecha; los puntos celestes esquematizan los lugares donde se encuentran las pilas con los residuos y las flechas la dirección de salida de los camiones ya cargados con las astillas.

3.2.4 Inversión; bienes necesarios para la producción

Según lo expresado por Tolosana et al. (2009), para el sistema de astillado a orilla de camino, en la etapa de extracción, se recomienda el uso de “forwarder” equipado con un grapo con espada cortadora. En adición, Casado (2013), plantea como alternativa más eficiente el uso de “forwarder” compactador, donde para el mismo estima mejoras en productividad del desembosque de hasta el 40% con respecto a un “forwarder” con remolque ordinario. Por lo tanto en base a esta información se plantea para esta situación el uso de “forwarder” compactador equipado con un grapo con espada cortadora.

En la etapa de astillado sería necesario el uso de una astilladora montada sobre un camión, para el procesamiento de los residuos.

Como herramienta complementaria a las tareas de extracción se plantea la adquisición de un “combylub” liviano, para realizar las tareas de mantenimiento, mecánica liviana y abastecimiento de combustible y lubricante, y una cisterna de 6000 litros también para combustible.

3.3 ESTUDIO DE MERCADO

Este estudio se presenta con la finalidad de determinar los niveles de demanda, oferta y los precios tanto de insumos y productos; así como también, las inversiones necesarias para el proyecto (Sapag y Sapag, 2008).

3.3.1 Supuestos del estudio de mercado

Se maneja como supuesto el cubrir un 80% de la demanda del cliente, y que el mismo se encuentra dispuesto a comprar la totalidad de la producción ofrecida.

Los costos se expresan en dólares americanos, tomando como tipo de cambio de referencia la cotización de dicha moneda al día 18/12/2017, la cual fue \$ 27,95 la venta (BROU, 2017).

Los precios y costos utilizados representan precios constantes fijados al mes de noviembre de 2017.

3.3.2 Oferta y demanda del producto

Como fue mencionado en el apartado 2.1.3.5 donde se describe el cliente demandante de biomasa, se tiene que la demanda potencial anual de producto es de 100.000 toneladas, que se componen tanto de residuos de campo como residuos de aserradero.

Por otra parte, con el dimensionamiento de maquinaria fijado en el estudio técnico, el proyecto tendría la capacidad de cubrir un 80% de la demanda anual; estableciéndose un flujo mensual de aproximadamente 6700 toneladas (6666,6 ton).

Según actores consultados, el precio de referencia para las astillas, se encuentra comprendido en un rango que va desde los 6 a 20 USD/ton. Se trabajó con un rango debido a que se consultaron distintos agentes que operan en el mercado, quienes pidieron se reservase la fuente. A la hora de realizar los cálculos se tomará como precio más probable para las astillas 17,5 USD/ton.

3.3.3 Inversiones necesarias

Se plantea como necesario para el desarrollo del proyecto, la inversión en activos fijos, en este caso principalmente la maquinaria, y la inversión en capital de trabajo, necesario para la puesta en marcha del proyecto.

Cuadro 21. Inversiones necesarias.

Activos fijos			
Concepto	Monto unitario USD	Unidades necesarias	Monto total USD
"Forwarder" compactador	390.000	2	780.000
Astilladora	480.000	1	480.000
"Combylub"	18.000	1	18.000
Cisterna 6000 l	12.000	1	12.000
Capital de trabajo			
Concepto	Monto total USD		
Capital de trabajo	263.885		

Respecto a las inversiones, es importante tener en cuenta la pérdida de valor que sufren las mismas debido a su uso. En el caso de este proyecto, se considera un valor de recuperación de la maquinaria que se corresponde con el 5% del valor a nuevo de la misma, denominado valor residual. La vida útil de la maquinaria se puede estimar que se encuentra en unas 20.000 horas, García⁶. Por lo tanto, teniendo en cuenta la intensidad de uso que se le será dada a la maquinaria en el proyecto, mostrada en el apartado 3.2.2, se tienen diferentes valores de vida útil en años, según la maquinaria considerada. Se resume en el cuadro 22, los distintos valores de depreciación que presenta la misma. En el caso de la cisterna y "combylub" no se tiene en cuenta un valor residual y se asume que su valor al concluir el proyecto es cero.

Cuadro 22. Depreciación de la maquinaria.

Maquinaria	Valor a nuevo	Vida útil en horas	Vida útil en años*	Depreciación anual USD
"Forwarder" compactador	390.000	20.000	5	71.136
Astilladora	480.000	20.000	7	65.664

*Según intensidad de uso planteada.

Si bien, la depreciación representa un costo en no efectivo, es muy importante tenerlo en cuenta. Considerando la totalidad del sistema, la cuota anual de depreciación que se tiene es de 207.936 USD.

Visto que el "forwarder" compactador es la maquina con mayor peso en la inversión y que su vida útil es de cinco años, se decide concluir las proyecciones en este momento, ya que el activo de mayor valor llega al final de su vida útil. Se plantea la venta y un ingreso en efectivo para el caso de la astilladora por un valor de 155.328 USD, correspondiente con dos cuotas de depreciación más el valor residual; y para el caso de los "forwarders" un valor de venta de 39.000 USD correspondiente a su valor residual.

3.3.4 Insumos y servicios necesarios para la operación

Se desarrollan los insumos y servicios necesarios para llevar a cabo el procesamiento de los residuos, con sus correspondientes precios y cantidades a utilizar. Los insumos a utilizar son en su mayoría, los mismos que utilizan las empresas de cosecha mecanizada, y como fue visto en el diagnóstico las mismas se encuentran operando en la zona; por lo tanto, se puede decir que hay disponibilidad de todos estos recursos en la zona de trabajo.

3.3.4.1 Mano de obra

Si bien el proceso que se plantea es altamente mecanizado, es necesario contar con una estructura de mano de obra que sustente la operación. En este caso se plantea una estructura organizativa que contempla un puesto gerencial responsable de las ventas y adquisición de contratos de operación, un supervisor de operaciones a campo con capacidad básica administrativa, cuatro puestos de maquinistas especializados, y dos puestos de chofer de camión especializado. Dentro del componente mano de obra se evalúa también el seguro de responsabilidad empresarial contra accidentes laborales, y en adición los equipos de protección personal (EPP) necesarios para la producción. El componente de alimentación y vivienda se contempla para los operarios que se encuentran en campo; es decir, al supervisor y los operarios representando un costo anual de 10.314 USD.

Se presenta en el cuadro 23, los salarios correspondientes a cada categoría mencionada previamente.

Cuadro 23. Costo de mano de obra teniendo en cuenta salario nominal y aportes patronales.

Categoría	Salario nominal (USD/mes)	Aportes patronales* (USD/mes)	Cantidad	Total mes (USD/mes)	Total año (USD/año)*****
Gerente***	2.504	316	1	2.820	39.481
Supervisor**	1.009	127	1	1.136	15.907
Maquinista especializado**	667	84	4	3.004	42.055
Chofer especializado**	667	84	2	1.502	21.027
Total	4.847	612	8	8.463	118.470

*Cálculo de aportes patronales realizado con simulador BPS, en rama de industria y servicios.

**Fuente: MTSS (2017).

***Salario asumido como supuesto por ser puesto de confianza.

****Salario anual incluye: aguinaldo (8,33%) , salario vacacional (4,76%) y licencia (5,66%), en base al salario nominal.

Para operar bajo el cumplimiento de la normativa legal, en este caso la ley No. 19.196, se deberá contar con seguros de accidentes laborales, en consultas realizadas al Banco de Seguros del Estado, Pereira⁸, informó que la prima de riesgo para los trabajadores sería de \$21,6 por cada \$1.000 de salario nominal; y de \$26,4 por cada \$1.000 para la categoría de maquinista especializado. A esa prima de riesgo se le suma \$1,2244 por el concepto de salud pública. Se presentan en el cuadro 24, los montos correspondientes a cada categoría.

Cuadro 24. Costo de seguros contra accidentes laborales, según categoría.

Categoría	Seguro mes USD/mes	Seguro año USD/año
Gerente	57	743
Supervisor	23	299
Maquinista especializado	74	958
Chofer especializado	30	396
Total	-----	2.396

En sintonía con el cumplimiento de la ley mencionada previamente, es necesario brindarle a los operarios los equipos de protección personal.

⁸ Pereira, O. 2018. Com. personal.

Cuadro 25. Equipos de protección personal.

EPP	Costo unitario (USD)	Durabilidad (años)	Costo anual USD/año
Casco	6	0,5	12
Chaleco	12	0,5	24
Botas	39	0,5	78
Gafas	2	0,5	4
Polainas	17	0,5	34
Protección auditiva	7	0,5	14
Guantes	3	0,0416	72
Total EPP	86,4		238

En el cuadro 25 se aprecia que el costo que se tendría por año en EPP, sería de 238 USD por persona, por lo tanto si se lleva esto al total de personal que hará uso de los mismos se tiene un costo anual de 1.666 USD.

Por lo tanto, el costo total que tiene el proyecto para el concepto mano de obra es de 132.847 USD/año.

3.3.4.2 Vehículo de apoyo

Se plantea el uso de un vehículo utilitario, el cual cumplirá la función de transportar a los maquinistas al sitio de trabajo; estos maquinistas son los que realizan la extracción de los residuos, ya que el chofer especializado se traslada directamente en el camión con la astilladora montada. El vehículo de apoyo es utilizado por el supervisor de operaciones. Se plantea el uso de una camioneta “pick-up”, gestionada bajo un contrato de alquiler. A partir de consultas a distintas empresas de alquiler que operan en país, el rango de precio de referencia para este componente se encuentra entre, 10.000 a 14.000 USD/año; tomándose como valor para el proyecto 12.000 USD/año.

3.3.4.3 Oficina

Como base de operaciones se plantea el alquiler de una oficina en la ciudad de Tacuarembó, para desarrollar las tareas administrativas y gerenciales. A partir de información publicada en páginas webs de inmobiliarias de Tacuarembó, se tiene que el alquiler de un local comercial u oficina estaría en el entorno de los \$17.000/mes; lo cual llevado a dólares según el tipo de cambio establecido serian unos 600 USD/mes; sumando un total anual de 7200 USD.

3.3.4.4 Combustible y lubricante

Debido a la alta mecanización del sistema, el combustible es en volumen uno de los principales insumos que tiene el proyecto; es por eso que el estudio del mismo es sumamente importante. A efectos de las proyecciones se tomara el último ajuste de precios de gasoil correspondiente a la fecha 24 de junio de 2017, ajustado por IPC cuyo valor es de \$37,85 por litro, que equivalen a 1,35 USD/l (valores calculados en base a ANCAP 2017, INE 2017).

En base a los consumos de combustible considerados en el estudio técnico se presenta en el cuadro 26 los consumos anuales para el proyecto.

Cuadro 26. Consumos y costos de combustible.

Consumo de operación				
Maquinaria (cant.)	Consumo (l/h)	Horas trabajadas (h/año)	Consumo anual (l/año)	Costo anual (USD/año)
Astilladora (1)	45*	2.746	123.552	167.315
“Forwarder” (2)	9**	7.680	69.120	93.603
Total	-----			260.918
Consumo de transporte				
Vehículo	Consumo (km/l)	Distancia recorrida anual (km/año)	Consumo anual (l/año)	Costo anual (USD/año)
Astilladora	2,6***	14.400	5.538	7.500
Camioneta	11,6****	38.400	3.310	4.483
Total	-----			11.983

*García.⁶

**Ackerman et al. (2013)

***Encamion.com (2017)

****Test del ayer (2017)

Se extrae del cuadro 26, que el consumo de combustible por año es de 201.520 l, lo que representa el monto de 272.901 USD/año.

En cuanto al consumo de aceites lubricantes, incluyendo aceite de motor SAE 15W40, líquido hidráulico 10W30, y grasas; se toma la referencia de Malinovsky (s.f.), quien plantea como convención internacional que el costo de este concepto puede ser estimado como un 20% del costo de combustible. Presentando, para los consumos proyectados un valor de 54.580 USD/año.

3.3.4.5 Reparaciones y mantenimiento

De acuerdo a Álvarez y Tamosiunas (2011), es posible aplicar un factor sobre el consumo de combustible del 15%. En este caso se aplica el 15% al costo anual que se tiene en combustible; quedando de esta manera un monto de 40.935 USD por año, para el concepto reparaciones y mantenimiento.

En adición a esto se debe tener en cuenta el costo que tiene la reposición de las cuchillas de la astilladora, estas cuchillas tienen una vida útil de 8 horas y un costo de reposición de 7,2 USD/unidad. En base a Garcia⁶, se debe tener en cuenta que la astilladora presenta 15 cuchillas. Por lo tanto para el régimen de trabajo anual planteado se tiene que el costo de reposición de cuchillas anualmente sería de 38.880 USD/año.

Se presenta en el cuadro 27 la información correspondiente a los costos de reparaciones y mantenimiento proyectados por año.

Cuadro 27. Reparaciones y mantenimiento.

Concepto	Costo anual (USD/año)
Reparaciones y mantenimiento	40.935
Cambio cuchillas	38.880
Total	79.815

3.3.4.6 Transporte entre predios

Un aspecto relevante a considerar es el movimiento de la maquinaria entre los predios, para este caso se tiene que los “forwarders” acompañan a los frentes de cosecha, es decir luego de la tala rasa y la extracción de la madera sólida estos se encargan de extraer los residuos. Como se mencionó previamente, un frente de cosecha se desplaza unas 4 veces al año y cosecha unas 1.000 hectáreas, por lo tanto se puede decir que cada 250 ha hay una mudanza de predio. Sí al año se tiene proyectado procesar 1600 ha, y dadas las características de la maquinaria, se deberá utilizar el servicio de chatas 7 veces al año. Como supuesto se toma una distancia de viaje de 30 km, tanto para la chata en viaje vacío como para la chata en viaje cargada. Se debe destacar que una chata carga solamente un “forwarder”.

Cuadro 28. Transporte entre predios

Concepto	Costo unitario (USD/km)	Distancia media (km)	No. de Viajes por año	Costo anual (USD)
Viaje en vacío	1,5*	30	21	945
Viaje cargada	2,5*	30	14	1050
Total	-----			1995

*García⁹

En función de lo presentado, se tendría un costo anual en transporte de maquinaria de 2.000 UDS aproximadamente.

3.3.4.7 Seguros de maquinaria

Para la maquinaria utilizada, tanto para el "forwarder" como para la astilladora, se considera el seguro contra todo riesgo operativo propuesto por el Banco de Seguros del Estado (BSE). Se presenta en el cuadro 29 el costo de seguros para maquinaria.

Cuadro 29. Costo seguros maquinaria.

Maquinaria asegurada	Valor del seguro USD/año/unidad	Unidades	Valor total USD/año
Forwarder	1.862*	2	3.724
Astilladora	4.092*	1	4.092
Total	-----		7.816

*Pereira⁸

Del cuadro se aclara que en el caso de la astilladora, la misma no se encontraba en la base de datos del BSE, por lo tanto fue tomada como prima similar, la de un aserradero móvil. Como se aprecia el costo en seguros para obtener una cobertura del total de parque de maquinaria, ronda en los 7.800 USD/año.

3.3.4.8 Transporte de las astillas

Como se mencionó en apartados anteriores, las astillas serán cargadas directamente sobre los camiones que tendrán como destino final el cliente. Estos camiones están configurados con remolques de aluminio y piso basculante para facilitar la descarga del material. En consulta a distintos actores que operan en el sector, se

⁹ García, A. 2018. Com. personal.

registro la información correspondiente al flete de las astillas; Bidegain³, brindó valores de flete de astillas que rondan los 32 USD/ton para una distancia de 320 km, y de 10 USD/ton para una distancia de 70 km, quedando respectivamente 0,1 USD/ton/km en distancias largas, y 0,15 USD/ton/km en distancias cortas. En otra consulta, Ledesma¹⁰, brindó un valor de 6 USD/ton para una distancia de 14 km, lo que queda en 0,43 USD/ton/km; se destaca que este último valor es referido a astillas de *E. globulus*, mientras que los primeros se refieren a astillas de pino.

Teniendo en cuenta la información relevada se decide realizar las proyecciones con un costo de flete promedio de 0,20 USD/ton/km, y una distancia media del bosque a la planta de 25 kilómetros. Esto representaría un costo de 5 USD/ton, que llevado al valor anual, teniendo en cuenta la totalidad de la producción serían 401.544 USD/año.

3.3.4.9 Servicios externos

En este caso se plantea el uso de asesoría y servicios externos, dentro de estos se incluyen la contratación de un técnico prevencionista, entrenamiento de los operarios, y el servicio de administración y gestoría. Cada servicio tiene un costo diferente, lo único que se asume como común a todos son los viáticos, estimándose los mismos en \$1500 por día, equivalentes a 54 USD/día.

En el caso del técnico prevencionista, se planea la contratación para una visita al mes, según García⁶, esto tendría un costo de \$4500 más viáticos, lo que equivale a 215 USD/mes, representando un costo anual de 2580 USD/año.

Para el caso de entrenamiento, se tiene que el costo del mismo solo tiene en cuenta para el primer año. Los operarios comienzan su entrenamiento en un simulador, dicho entrenamiento según Toledo¹¹, tiene un costo de 3500 USD por operario; luego se pasa al entrenamiento a campo con un entrenador, donde el primer mes pasará el entrenador una semana con cada operario, y el tercer mes 2 días con cada operario. El costo del entrenador a campo es de 65 dólares por hora más viáticos. Para el caso de los cuatro operarios, el entrenamiento tendría un costo total de 33.712 USD.

En cuanto a la administración, no conlleva viáticos; y se tiene un costo anual de 5.766 USD.

3.3.4.10 Imprevistos

Si bien no hay una cuantificación precisa de cuanto es el costo que pueden tener los imprevistos, se manejara como supuesto que los mismos se encuentren en un 7% del

¹⁰ Ledesma, N. 2017. Com. personal.

¹¹ Toledo, M. 2017. Com. personal.

total de los costos en el primer año de funcionamiento del proyecto; disminuyendo un punto por año, ya que se espera que los imprevistos se reduzcan con el pasar del tiempo por el proceso de aprendizaje. Este valor se incluye directamente en el flujo de fondos que se presenta más adelante.

3.3.4.11 Capital de trabajo

El capital de trabajo refiere a los recursos que necesita una empresa para poder operar. En el corto plazo, previo a que el proyecto haya generado ingresos, se necesita capital para la puesta en marcha de la operación en el campo.

A efectos del flujo neto de caja, se considera que el capital de trabajo es la cuarta parte de los costos generados en un año, por lo que se estarían cubriendo los costos de tres meses de operación. Para la estructura de costos presentada, se necesitaría la suma de 263.885 USD.

3.4 ESTUDIO ECONÓMICO

Con base en estudios anteriores y la determinación de los costos e inversiones, se presenta en este estudio los resultados económicos y financieros del proyecto; donde se obtuvo el costo por tonelada y el flujo de caja para los cinco años de proyecto; a partir del cual se calculó el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

3.4.1 Costo por tonelada

Dada la estructura de costos presentada, se puede establecer cuál sería el costo por tonelada puesto en planta para el sistema de producción, teniendo en cuenta una producción anual de 80.309 toneladas de astillas. Se presenta en el cuadro 30 y en la figura 11, el costo por tonelada y el porcentaje que presenta cada concepto en el total de los costos respectivamente.

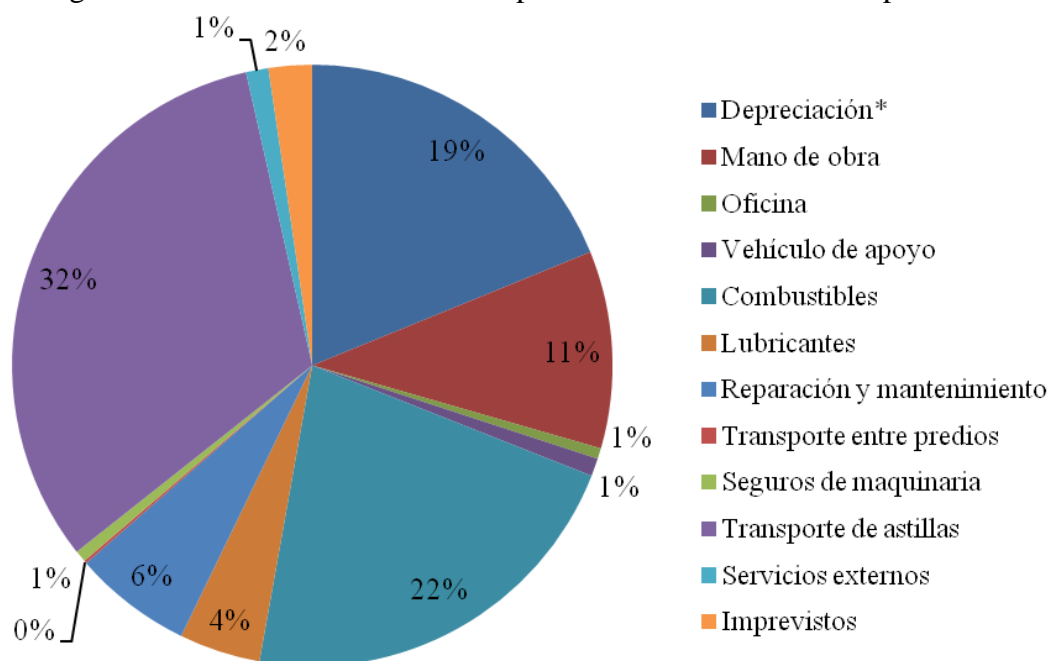
Cuadro 30. Costo por tonelada producida puesta en planta

Categoría	Costo anual USD/año	Costo por tonelada USD/ton	Costo relativo al total
Depreciación*	235.536	2,93	19%
Mano de obra	132.847	1,65	11%
Oficina	7.200	0,09	1%
Vehículo de apoyo	12.000	0,15	1%
Combustibles	272.900	3,40	22%
Lubricantes	54.580	0,68	4%
Reparación y mant.	79.815	0,99	6%
Transporte entre predios	1.995	0,02	0%
Seguros de maquinaria	7.816	0,10	1%
Transporte de astillas	401.545	5,00	32%
Servicios externos	15.088	0,19	1%
Imprevistos**	28.767	0,36	2%
Total	-----	15,57	100%

*Nota: costo no efectivo

** Se tomó como promedio 5% del total de costos exceptuando el transporte de astillas y depreciación.

Figura 11. Peso relativo de cada componente sobre el costo total por tonelada.



*Nota: costo no efectivo

Se aprecia en el cuadro 30 que el costo total por tonelada puesto en planta es de 15,57 USD. Se debe tener en cuenta que en dicho valor está incluida la depreciación, que representa un costo en no efectivo. En adición, se debe considerar que los impuestos y la ganancia no se toman en cuenta; si solamente se tuviesen en cuenta los costos en efectivo, este valor sería de 12,64 USD/ton. En cuanto al peso relativo de cada componente en la estructura total de costos, se observa que el de mayor peso es el transporte de las astillas, el cual representa un 32% del costo por tonelada (trabajando a una distancia de 25 km con un precio de flete de 0,2 USD/ton/km), en segundo lugar, le sigue el combustible con un 22% del total de los costos, y en tercer lugar se ubica la depreciación con 19%, quedando en cuarto lugar la mano de obra con 11% del total de los costos.

En adición se calculó el costo de la tonelada de astillas producidas en portera, es decir sin tener en cuenta el costo del transporte y descontando el valor de los imprevistos debido a que estos componentes, si bien se consideran en la totalidad del sistema, no tienen incidencia directa sobre el procesamiento de las astillas. El costo de producción por tonelada de las astillas en campo es de 10,21 USD. Separando los costos en fijos y variables (ver anexo 3), se observó que los costos variables alcanzan un valor de 5,86 USD/ton, y los costos fijos un valor de 349.400 USD/año. Teniendo en cuenta la estructura presentada y el precio unitario de las astillas en campo de 12,14 USD, valor obtenido de descontar al precio en planta el costo de transporte de astillas y los imprevistos, la producción de equilibrio se encuentra en 55.644 ton/año, esto es equivalente al volumen generado en 155 días de trabajo aproximadamente. Con un margen de contribución de 51,74%, el punto de equilibrio expresado en unidades monetarias es de 675.313 USD/año. Es de destacar que la producción de equilibrio se encuentra por debajo de la producción anual proyectada, por lo tanto es posible determinar el mínimo precio que se puede aceptar en portera para la producción proyectada a efectos de cubrir la totalidad de los costos sin percibir ganancia alguna; este valor sería de 10,21 USD/ton en portera.

3.4.2 Flujo de caja

Se presenta en el cuadro 31 el flujo neto de caja proyectado para los cinco años de duración del proyecto, donde se contemplan las inversiones necesarias, los egresos y los ingresos esperados, teniendo en cuenta una producción anual de 80.309 toneladas.

Cuadro 31. Flujo neto de caja, valores expresados en miles de dólares.

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	km	Años					
					0	1	2	3	4	5
Inversión					1.554					
"Forwarder"	2	USD	390.000		780					
Astilladora	1	USD	480.000		480					
Cisterna	1	USD	12.000		12					
"Combylub"	1	USD	18.000		18					
Capital trabajo	1	USD	263.885		264					
Mano de obra					133	133	133	133	133	133
Estructura fija	1	USD/año	69.765		70	70	70	70	70	
Etapa extracción	4	USD/jornalero/año	10.514		42	42	42	42	42	
Etapa astillado	2	USD/jornalero/año	10.514		21	21	21	21	21	
Combustible					273	273	273	273	273	273
Operación "forwarder"	69.120	l/año	1,35		94	94	94	94	94	
Operación astilladora	123.552	l/año	1,35		167	167	167	167	167	
Transporte astilladora	5.538	l/año	1,35		8	8	8	8	8	
Transporte camioneta	3.310	l/año	1,35		4	4	4	4	4	
Aceites e hidráulicos					55	55	55	55	55	55
Estimación consumo aceite	20	% cons. comb.	1		55	55	55	55	55	
Reparación y mantenimiento					80	80	80	80	80	80
Reparaciones y mantenimiento	15	% ficto cons. comb.	1		41	41	41	41	41	
Cambio cuchillas	5.400	cuchillas/año	7,2		39	39	39	39	39	
Costos varios					71	37	37	37	37	37
Alquiler vehículo	1	USD/año	12.000		12	12	12	12	12	
Alquiler oficina	1	USD/año	7.200		7	7	7	7	7	
Transporte entre predios	1	USD/año	1.995		2	2	2	2	2	
Seguros maquinaria	1	USD/año	7.816		8	8	8	8	8	
Entrenamiento	1	USD/año	33.712		34	0	0	0	0	
Servicios externos	1	USD/año	8.346		8	8	8	8	8	
Transporte astillas					402	402	402	402	402	402
Flete	80.309	USD/ton/km	0,2	25	402	402	402	402	402	
Imprevistos	7-3	% ficto total costos			43	35	29	23	17	
Total egresos					1.554	1.055	1.014	1.008	1.002	996
Ingresos					1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.860
Ingreso venta astillas	80.309	ton/año	17,5		1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	
Ingreso venta maquinaria	1	USD	193.328							193
Ingreso recuperación capital trab.	1	USD	263.885							264
Total ingresos					1.405	1.405	1.405	1.405	1.405	1.863
FNC					1.554	350	392	397	403	866

Nota: valores correspondientes a las columnas cantidad, valor unitario y km, no se encuentran expresados en miles.

El flujo neto de caja se realizó antes de impuestos.

Como se aprecia en el flujo, a excepción del año cero, donde se realizan las inversiones, para los años restantes se tiene un saldo positivo, en los que se espera un ingreso neto que ronda los 350 a 403 mil dólares por año, a diferencia del último año donde el ingreso aumentaría a 866 mil dólares debido a la venta de maquinaria que todavía se encuentra dentro de la vida útil y la recuperación del capital de trabajo. Si se suman los flujos netos de todos los años, se obtiene un saldo acumulado positivo de aproximadamente 854 mil dólares, pero es importante destacar que si no se recuperase la maquinaria, en los 5 años, este valor sería de 661 mil USD.

El análisis financiero del proyecto se realiza utilizando indicadores como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), calculados en base al flujo neto de caja. Los mismos se presentan en el cuadro 32, en el apartado 3.3.6.1.

3.4.2.1 Indicadores financieros

Se presentan los resultados de los indicadores financieros obtenidos, antes de impuestos. Se debe tener en cuenta que para el caso del valor actual neto, se tomo como tasa de corte una tasa de 7%.

Cuadro 32. Indicadores financieros

Indicador	Valor
VAN (7%)	USD 364.966
TIR	14,27%

Nota: resultados presentados son antes de impuestos

Para el escenario presentado y proyectado, los resultados obtenidos fueron; un VAN positivo de 364.966 USD, y una TIR de 14,27%. Teniendo en cuenta que los resultados son antes de impuestos, es de esperar que al incluir los mismos, los indicadores muestren reducciones; desconociéndose la magnitud.

4. ESTUDIO DE SENSIBILIDAD Y RIESGO

En el estudio financiero en base a indicadores, se analiza el proyecto asumiendo condiciones de certeza y se evalúa el resultado solamente de uno de los escenarios proyectados.

Según Sapag y Sapag (2008), el comportamiento del flujo de caja analizado bajo un escenario particular es incierto, ya que no es posible conocer con anticipación cual de todos los hechos que pueden ocurrir y que tienen efecto sobre el flujo de caja ocurrirán efectivamente. Introduciendo al concepto de riesgo, se dice que existe riesgo cuando hay una situación en la cual una decisión tiene más de un posible resultado, y la probabilidad de cada resultado se conoce o se puede estimar. Por otro lado, se habla de incertidumbre cuando esas probabilidades no se conocen o no se pueden estimar.

El riesgo en un proyecto es la variabilidad que existe entre los flujos de caja reales respecto a los estimados, por lo tanto a mayor variabilidad, más riesgoso será el mismo. Se debe tener en cuenta, que la incertidumbre en un proyecto crece con el tiempo (Sapag y Sapag, 2008).

En base a los mismos autores, se define el estudio de sensibilidad como aquel que hace posible medir cuán sensible es la evaluación realizada a variaciones en uno o más parámetros decisivos; por ejemplo, el precio de la materia prima o el rendimiento del proceso. La evaluación del proyecto será sensible a las variaciones de uno o más parámetros si, al incluirlas en el criterio de evaluación esperado, la decisión inicial cambia.

Estos estudios, tienen la finalidad de que se entreguen los máximos antecedentes posibles sobre el proyecto, para que quien deba tomar la decisión de emprenderlo disponga de los elementos de juicio suficiente para ello, dado que se tratan de proyectos a largo plazo, en dónde el futuro es desconocido.

Para analizar el riesgo y la sensibilidad del proyecto, se utilizó el “software” (@Risk) que se basa en ensayos estadísticos en base a distribuciones de probabilidades, utilizando la metodología Monte Carlo.

4.1 RIESGO

En el cuadro 33 se describen las variables ingresadas para realizar la simulación del riesgo del proyecto.

Cuadro 33. Variables y parámetros considerados en la simulación de riesgo.

Variable considerada	Distribución de probabilidad	Media	Desvío estándar	Mínimo	Más probable	Máximo
Productividad “forwarder”*	Normal	11	1,1			
Distancia*	Uniforme			0,7		1,3
Precio combustible	Uniforme			1,35		1,48
Imprevistos**	Uniforme			1,1		2
Salarios extracción	Triangular			9764	12693	26192
Salarios astillado	Triangular			9764	12693	26192
Costo de flete	Triangular			0,13	0,2	0,27
Precio astilla	Triangular			6	17,5	20

*Se hicieron variar año a año.

** Sólo se hizo variar el primer año del proyecto.

En las figuras 12 a 17, se exponen los resultados obtenidos a partir de la simulación para los indicadores VAN, TIR, y para el valor del flujo neto de caja acumulado. En anexo 4 se presentan los informes completos resultado de la simulación.

Figura 12. Simulación de riesgo para flujo neto de caja acumulado, probabilidades acumuladas.

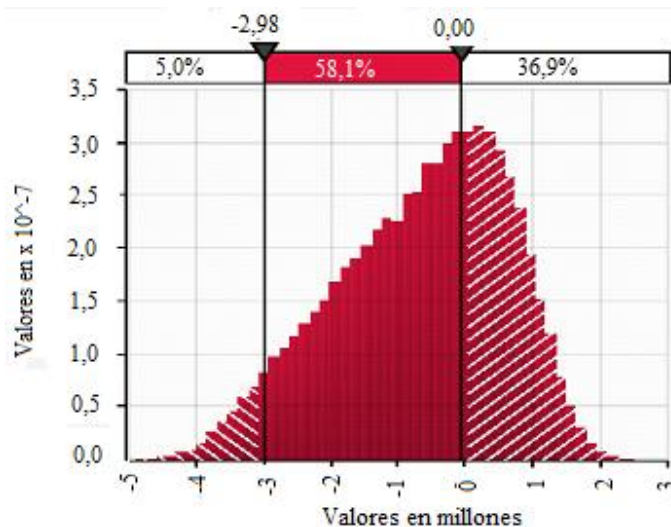
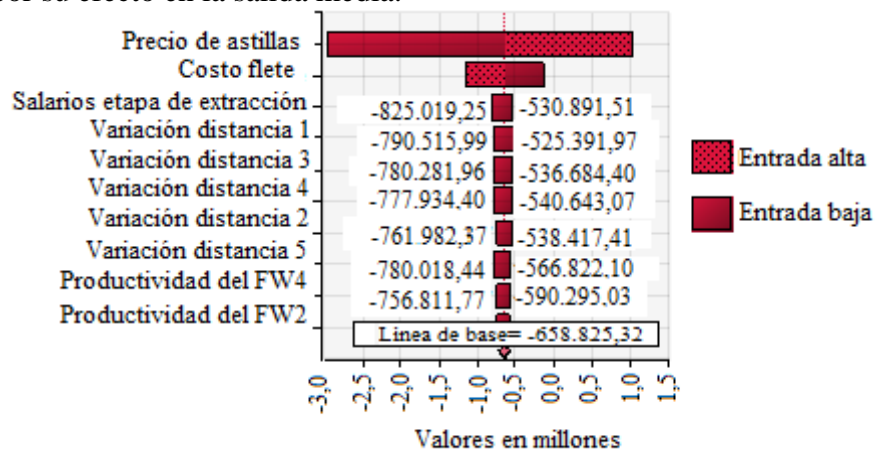


Figura 13. Gráfica tornado para flujo neto de caja acumulado; entradas clasificadas por su efecto en la salida media.



Los resultados de la simulación muestran, como se aprecia en las figuras 12 y 13, que existe un 37% de probabilidad de obtener un FNC acumulado mayor a cero, es decir la posibilidad de cubrir al menos los costos y la inversión. Las variables de mayor peso que explican estos resultados son el precio de las astillas, seguido del costo del flete, la variación de salarios en la etapa de extracción, y en menor medida por las variaciones en distancia entre el campo y el cliente, resultando que la variable de menor peso sea la productividad del “forwarder” en la etapa de extracción.

Figura 14. Simulación de riesgo para valor actual neto, probabilidades acumuladas.

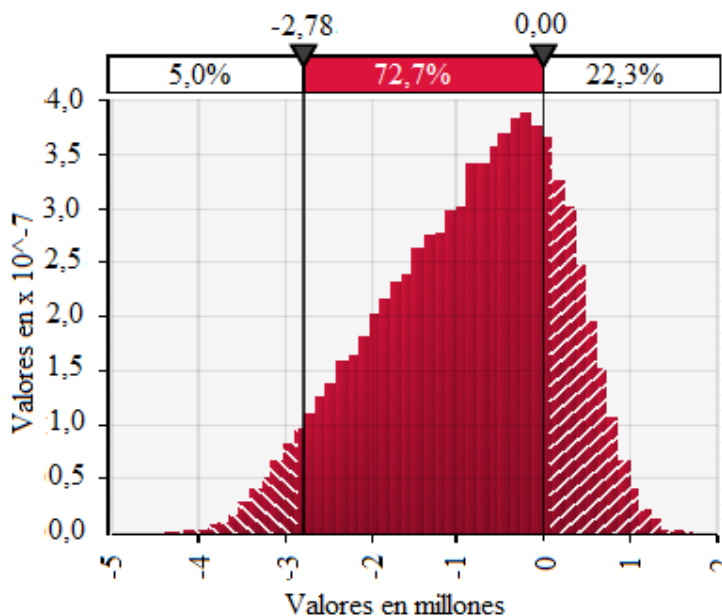
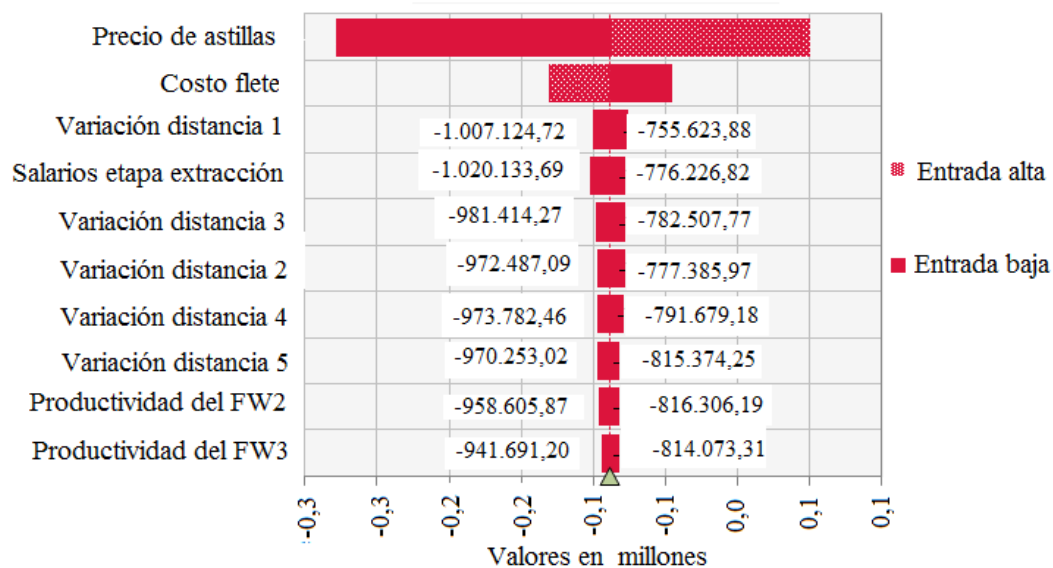


Figura 15. Gráfica tornado para valor actual neto; entradas clasificadas por su efecto en la salida media.



Para el indicador VAN, con una tasa de corte de 7%; el resultado de la simulación de riesgo muestra que hay una probabilidad de 22,3% de obtener un valor actual neto igual a cero; dicho en otras palabras existe un 22,3% de probabilidad de que el proyecto cubra sus costos operativos, la inversión, y el costo de oportunidad del inversor representado en este caso por la tasa de corte del 7%.

Figura 16. Simulación de riesgo para la tasa interna de retorno, probabilidades acumuladas.

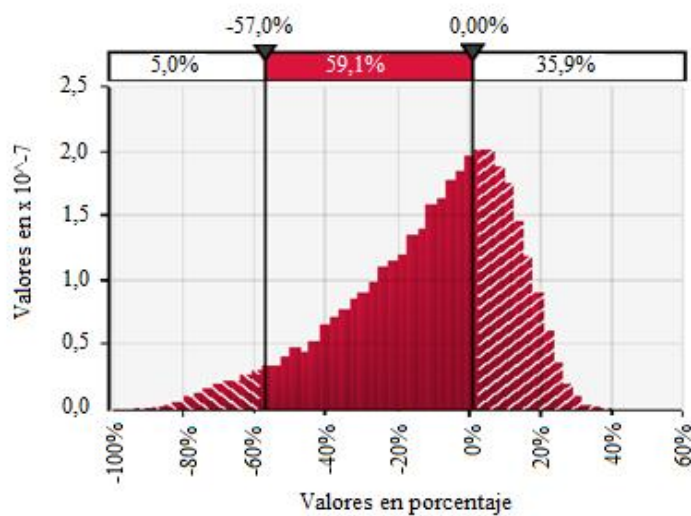
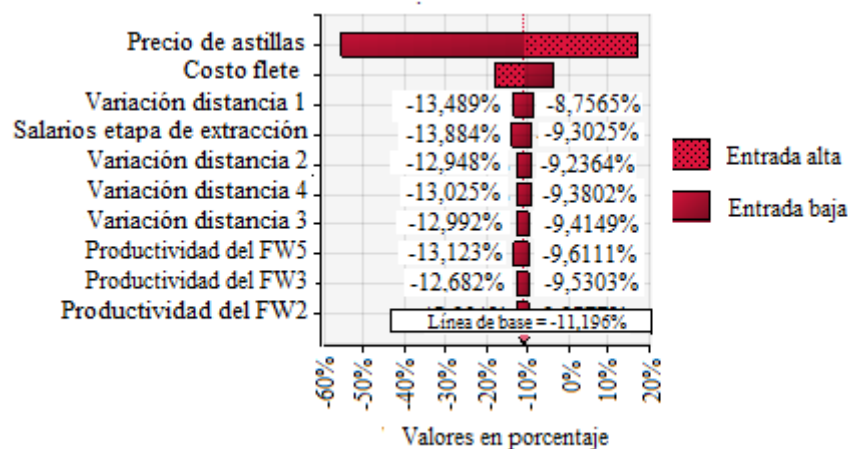


Figura 17. Gráfica tornado para la tasa interna de retorno; entradas clasificadas por su efecto en la salida media.



En cuanto al indicador TIR, los resultados de la simulación muestran aproximadamente un 36% de probabilidad de obtener una TIR igual a cero, es decir que el proyecto cubra sus costos sin obtener ganancia alguna, valor similar al obtenido en el estudio del flujo de caja neto acumulado. Las probabilidades de obtener una TIR de 7%, se reducen a 24%, resultado similar a la probabilidad de obtener un VAN de cero. En la proyección realizada y presentada en el cuadro 32 se obtuvo una TIR de aproximadamente 14%, si se toma en cuenta este valor luego de la simulación de riesgo, la probabilidad de obtener esta tasa es de un 10%. Otro aspecto importante a considerar es que hay escenarios donde la TIR puede alcanzar valores superiores al 25% pero con muy bajas probabilidades, menores a 1,4%.

En síntesis general para las variables de salida consideradas en el análisis de riesgo, se aprecia en los gráficos tornado, que la variable de mayor peso sobre los indicadores es el precio de las astillas, seguido del costo del flete. Luego en tercer y cuarto lugar se encuentra las variaciones en distancia y el salario de la etapa de extracción, pero el impacto que generan estas últimas es marcadamente menor que el caso de las primeras.

4.1.1 Búsqueda de objetivo

En la búsqueda de objetivo se analiza el comportamiento de distintas variables con el objetivo de obtener un VAN (7%) igual a cero. Las variables que se toman en cuenta para este análisis son las que presentaron mayor incidencia en los resultados mostrados en el apartado anterior. Las variables a considerar son el precio de las astillas, el costo del flete y la distancia entre el campo y el cliente. Se destaca que en este análisis

las variables se mueven una a una quedando las demás fijas. En el cuadro 34 se presentan las variaciones de las distintas variables para el cumplimiento del objetivo.

Cuadro 34. Análisis de búsqueda de objetivo

Para VAN (7%) = 0	Unidad	Valor inicial	Valor objetivo
Precio de astillas	USD/ton	17,5	16,4
Costo flete	USD/ton	0,2	0,24
Distancia	km	25	30

En adición, si se toma en cuenta solamente el precio de las astillas y se busca como objetivo el valor del flujo neto de caja acumulado igual a cero, el valor que debe alcanzar el mismo para cumplir con esto es de 15,4 USD/ton.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES DEL PROYECTO

En base al diagnóstico y a la etapa de proyecto, se discuten los resultados obtenidos. El proyecto tenía el principal objetivo de hallar los costos de una alternativa en particular para el procesamiento de los residuos de pino. Este objetivo se cumplió satisfactoriamente donde se determinó los costos de procesamiento de los residuos de cosecha, y se realizó la evaluación financiera del sistema.

Respecto a la situación del pino en el país, la falta de infraestructura para el procesamiento de la oferta de madera que hay, el avance de la forestación con *Eucalyptus sp.*, así como de las industrias de transformación química, y la reciente apertura del mercado de madera rolliza hacia Vietnam, hacen que la permanencia en el tiempo de la especie este bajo un escenario de incertidumbre, lo cual podría repercutir sobre el proyecto. De igual manera, se destaca que en el radio de 30 km de la ciudad de Tacuarembó se encuentra una superficie efectiva forestada con pinos de 34 mil hectáreas, en edades que van de los 16 a 24 años. Teniendo en cuenta que el proyecto demanda 1600 hectáreas por año, habría disponibilidad de material para 21 años de proyecto; por lo tanto, la oferta de biomasa es suficiente para el cumplimiento de los objetivos. Por otro lado, al no existir un mercado para los residuos, el destino como biomasa es una opción tentativa, aunque actualmente la coyuntura no sea la más favorable, dados los bajos precios, y la sobreoferta que existe a nivel del país de energía, provocando que los precios del megavatio dejen un margen muy escaso a las empresas que la producen o deseen hacerlo. Sin embargo, muchas industrias utilizan madera como combustible, como por ejemplo los secaderos, frigoríficos, industrias lácteas, aceiteras, entre otros, pudiendo ser otra opción de mercado para el producto del proyecto.

Teniendo en cuenta el impacto ambiental, se debe considerar que la extracción de los residuos en general, causa un impacto significativo, lo cuál podría ser un tema tentativo de evaluar en un trabajo siguiente. Se debe tener en cuenta, que en el sistema de cosecha CTL y el sistema propuesto de procesamiento de residuos, debido a la eficiencia del "forwarder", por hectárea quedaría un 20% de los residuos que no son extraídos, y además por el tiempo de espera entre la cosecha y la extracción, las acículas, que son las que tienen mayor contenido de nutrientes, quedan en el campo. Por otro lado, y también considerando el efecto sobre el ambiente, procesar los residuos presenta ventajas; entre las cuales, se disminuye el tiempo entre la cosecha y la plantación, se disminuye el riesgo sanitario de las nuevas plantaciones por reducir la fuente de inóculo de enfermedades, y también disminuye el riesgo de incendio.

El sistema propuesto plantea el uso de "forwarders" compactadores para la extracción de los residuos como alternativa técnica; como se mostró existen además otras alternativas de extracción, pero el uso del "forwarder" presenta cierta versatilidad en el sentido que la misma máquina puede ser utilizada también para la extracción de madera, debido a que la única variación estructural que presenta es la unidad

compactadora la cual tiene un costo de 40 mil USD. Esto puede presentar una oportunidad para empresas de cosecha que ya cuentan con la maquinaria y una estructura empresarial conformada, donde pueden invertir en las unidades compactadoras y realizar la extracción de los residuos. Al considerar la globalidad del sistema, se observó un cuello de botella en la etapa de extracción de los residuos, donde la productividad del “forwarder” es menor en comparación con la astilladora. Esta situación se podría mejorar agregando maquinaria, como por ejemplo un sistema que incluya el “forwarder” y en tándem asociado a este un tractor con casamba el cual es cargado y descargado por el mismo “forwarder”; este sistema podría llevar a reducir el nivel de inversión. El uso de enfardadoras es una alternativa que se puede considerar, pero se debe tener en cuenta que realizar el fardo conlleva un costo, luego está el costo de extracción del mismo y el de astillado, por lo tanto este sistema si bien está aumentando la productividad también aumenta los costos y se debería evaluar si hay un beneficio en esto. Otro sistema que se podría implementar, es realizar la extracción del material por arrastre ya sea con “skidder” o con un tractor con pala, donde se forman pilas de residuos y el “forwarder” carga el material directamente de esas pilas y no de los rameros; esto podría llevar a incrementos en las productividades pero se debe considerar que el producto final puede perder calidad ya que en el arrastre se aumentaría la contaminación con tierra y rocas.

El ciclo de proyecto dura cinco años, donde al último año, los “forwarders”, llegan al final de su vida útil. Con la salvedad del año cero que es donde se realiza la inversión, de 1,55 millones de dólares, los demás años se obtienen ingresos netos por lo tanto el proyecto se autofinancia con los ingresos de caja.

Dentro de la estructura del proyecto es importante centrar atención en el componente mano de obra, y dentro de este, el cargo de gerente desempeña un papel fundamental. El gerente, deberá contar con una gran capacidad de negociación tratando de conseguir el acceso a la materia prima y colocando el producto, intentado conseguir el mejor precio posible. Teniendo en cuenta un precio de 17,5 USD por tonelada puesto en planta, y un costo por tonelada de 15,57 USD, se puede ver que el margen es muy escaso; y que el flete representa un tercio de esos costos.

El flujo neto de caja proyectado para los cinco años, demuestra que bajo un escenario donde el precio es de 17,5 USD/tonelada, los precios de los factores de producción se toman como precios constantes, el combustible se encuentra como precio deflactado y no se tienen en cuenta los impuestos, sería posible cubrir los costos de producción y la inversión, ya que el FNC acumulado presenta un valor positivo. En cuanto a los resultados de los indicadores financieros, se obtuvo un valor actual neto, para una tasa de 7%, cercano a los 465 mil dólares; y una tasa interna de retorno de 14,3%. Considerando la estructura de costos, la producción de equilibrio para el proyecto es de 55.644 ton/año, siendo esta la producción que cubre los costos fijos y por encima de ella se comienza a obtener ganancia.

Asociado al proyecto y sus resultados, hay un componente de riesgo que debe ser considerado. El proyecto tiene una probabilidad del 68% de obtener un VAN negativo, y un 63% de probabilidad de no obtener ganancia alguna. En base a los resultados obtenidos en la proyección, existe una probabilidad del 10% de obtener una TIR de 15%. Si bien existe una posibilidad de obtener una TIR de 40%, esta es muy baja, dado que la probabilidad de obtener una TIR de 25% es de 1,4%. Se determinó que la variable que mayor peso tiene en los resultados es el precio de las astillas, seguida del costo de flete; este efecto podría ser atenuado con una buena capacidad gerencial donde se acuerden precios convenientes con la industria, y se generen contratos con empresas de transporte asegurándoles a las mismas la totalidad de los viajes del producto, permitiendo esto llegar a acuerdos en el costo del flete, y buscando generar una cadena de valor entre todos los actores del sistema.

Es importante tener en cuenta quien será capaz de llevar a cabo el proyecto, en este caso se tienen distintos actores; un actor podría ser un inversor que tenga la capacidad gerencial y los recursos para ejecutarlo, teniendo en cuenta el riesgo que conlleva el mismo. Un segundo actor interesado podría ser la misma planta generadora de energía, la cual ante un escenario de mejora en los precios del megavatio busque asegurar su demanda de biomasa a través del control del proceso y abastecimiento de la misma. En tercer lugar, el proyecto puede ser recomendado para empresas de cosecha que se encuentran operando, las cuales presentan una estructura fija montada, y donde los costos fijos se pagarían en parte con la extracción de la madera, lo cual podría llevar a una reducción de la producción de equilibrio y disminuiría la sensibilidad frente al precio de las astillas debido al aumento en el margen unitario.

En síntesis, como conclusiones generales se establecen las siguientes:

- En base a la revisión bibliográfica realizada y las diferentes entrevistas, se concluye que el procesamiento de los residuos de pino es técnicamente viable.
- En cuanto al objetivo por el cual se realizó el proyecto, fue posible estimar el costo por tonelada del procesamiento para un sistema en particular, 10,21 USD en portera y 15,57 USD puesto en planta.
- La actividad, es rentable, pero sumamente riesgosa, por lo que es recomendable para quienes presenten una estructura que pueda sostener los elevados costos fijos, como podrían ser las empresas de cosecha o el cliente demandante de biomasa.
- La gran falta de información basada en experiencia nacional supuso una gran debilidad, pero por otro lado, al existir esta carencia, el proyecto brinda el punta pie para quienes deseen seguir investigando en el tema, y poder así generar información.

- Los resultados del proyecto reflejan la explicación de por qué en el país no se procesan los residuos, y se dejan abandonados en el campo.

6. RESUMEN

El proyecto representa un estudio de pre-factibilidad para un sistema de aprovechamiento de biomasa generada luego de la cosecha de pino, para obtener astillas con destino energético. El trabajo fue planteado a realizarse en la zona noreste de Uruguay, ya que en los departamentos de Tacuarembó y Rivera se encuentra el 77% de las plantaciones de pino del país, reuniendo en total para el ejercicio 2016-2017, 98 mil hectáreas. Por hectárea, luego de la cosecha se estima que quedarían 66 toneladas de residuos oreados, que actualmente no son aprovechados, sino que son dejados a campo. Por ello, se plantea un sistema de producción, en donde se extraen los residuos con "forwarder" compactadores a orilla de camino, donde luego de transcurrido un mes, se los astilla utilizando una máquina astilladora que deposita las astillas directamente sobre un camión. El estudio económico del proyecto resultó en un costo por tonelada puesta en planta de 15,57 dólares, considerando una distancia de transporte de 25 km, lo que deja un margen estrecho considerando el precio manejado de 17,5 USD por tonelada. Dentro de los costos, el flete es el que se lleva la mayor parte. Con respecto a la evaluación financiera, el valor actual neto con una tasa de corte de 7% para los 5 años de proyecto fue de 365 mil dólares y una tasa interna de retorno de 14,3%, bajo un escenario de precios constantes y con el precio por tonelada de astillas considerado anteriormente. Si bien, los resultados son positivos, el proyecto tiene un riesgo elevado explicado principalmente por la variación de precios de astillas, el costo de flete y la distancia del monte a la planta. Dado el alto riesgo financiero y los elevados costos fijos, el proyecto puede ser recomendable para empresas que tengan una estructura sólida que pueda solventar dichos costos y genere rentabilidades con otras actividades.

Palabras clave: Pre-factibilidad; Residuos de cosecha; Biomasa; Astillas.

7. SUMMARY

This project represents a pre-feasibility study for a biomass harvesting system based on the harvest residues of Pine, with the aim of obtain chips for energy use. In the period 2016-2017, 98 thousand hectares of pine plantations were available in the departments of Tacuarembó and Rivera, where the 77 percent of the country's pine plantations are located. Nowadays after the harvest, 66 tons of residues remain in field. There are different systems for biomass harvest, but in this work the system evaluated consists on carry the residues using compressing forwarders from the field towards the roadside, where they remain for a period of time; after that the residues are chipped and transported to the final destination. The cost of produce and transport one ton of chips is 15,57 USD, considering a transport distance of 25 kilometers, this cost left a narrow margin when is compared with the considered price of chips (17,5 USD per ton). Considering the costs, transport cost is the most significant. Considering a constant price scenario and the price of chips mentioned before, for the 5 years of project, the net present value was 365 thousand dollars, assuming 7% of opportunity cost; and the internal rate of return was 14,3 percent. It is important to mention that the project has a high risk level, and is very sensitive to variations on chips price, transport costs and distance to client. Considering this high level of risk and the high fixed costs, the project could be feasible for companies that have a solid structure to afford the costs with help of another activity; for example, a harvest contractor.

Keywords: Pre-feasibility; Harvest residues; Biomass; Woody chips.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Ackerman, P.; Ham, C.; Dovey, S; Du Toit, B; De Wet, J; Kunneke, A; Seifert, T.; Meincken, M.; Von Dorerer, C. 2013. The use of forest residues for bioenergy in southern Africa. (en línea). Forest Egeineering Southern Africa and The Institute For Comercial Forestry Research. ICFR bulletin 03. 173 p. Consultado 29 ago. 2017. Disponible en <http://www.icfr.ukzn.ac.za/sites/default/files/inline-files/03-2013BioenergyF.pdf>
2. Almeida, N. F. D.; Camargo, D. T.; Arriel, D. A. A.; Mori, F. A. 2010. Avaliação das propriedades dos resíduos de *Pinus patula* em diferentes períodos de armazenamento visando a cogeração de energía. (en línea). Floresta. 40 (2): 269-274. Consultado 20 sep. 2017. Disponible en <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/17822/11624>
3. Álvarez, J.; Tamosiunas, M. 2011. Los costos en la empresa agropecuaria. In: Álvarez, J.; Falcao, O. eds. Manual de gestión de empresas agropecuarias. 2a. ed. Montevideo, Facultad de Agronomía. p.55.
4. ANCAP (Administración Nacional de Combustibles Alcohol y Pórtland, UY). 2017. Precios combustible; histórico. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 20 dic. 2017. Disponible en <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/2254/1/innova.front/historico-precio-combustibles.html>
5. Angelis-Dimakis, A.; Biberacher, M.; Domínguez, J.; Fiorese, G.; Gadocha, S.; Gnansounou, E.; Guariso, G.; Kartalidis, A.; Panichelli, L.; Pinedo, I.; Robba, M. 2011. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. Renewable Sustainable Energy Reviews. 15 (2): 1182-1200.
6. Arroyo, J.; Reina, W. 2016. Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. (en línea). Ingenius. no. 16: 20-29. Consultado 15 feb. 2018. Disponible en <https://revistas.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/download/16.2016.03/1155>
7. Barrenechea, P.; Rodríguez, A.; Troncoso, C. 2012. La cadena forestal maderera y su impacto en términos de desarrollo territorial: las economías de Tacuarembó y Rivera. Anuario OPYPA 2012: 349-364.

8. BPS (Banco de Previsión Social, UY). 2017. Simulador de aportes dependientes. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 18 dic. 2017. Disponible en <https://serviciosenlinea.bps.gub.uy/ServiciosEnLinea/todosLosServsEmbExt.xhtml?srvext=8786&ultIdx=true>
9. Brand, M.; De Muniz, G. 2010. Influência da época de colheita da biomassa florestal sobre sua qualidade para a geração de energia. (en línea). Scientia Forestalis. 38 (88): 619-628 Consultado 14 jun. 2017. Disponible en http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/16768/ScientiaForestalis_v38_n88_p619-628_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y
10. _____.; Stähelin, T.; Ferreira, J.; Neves, M. 2014. Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. (en línea). Revista Árvore. 38 (2): 353-360. Consultado 1 jun. 2017 Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622014000200016&lng=pt&tlng=pt
11. BROU (Banco de la República Oriental del Uruguay, UY). 2017. Cotizaciones. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 18 dic. 2017. Disponible en <https://www.portal.brou.com.uy/web/guest/cotizaciones>
12. Cambium Forestal Uruguay S.A. 2013. Resumen público, reporte de auditoria Cambium Forestal Uruguay S.A. (en línea). Montevideo, Uruguay, s.e. Consultado 12 sep. 2017. Disponible en <http://fsc.force.com/servlet/servlet.FileDownload?file=00P4000000JSLCqEAP>
13. Cardozo, E. 2007. Biomasa forestal; recurso más que residuo. Revista Forestal no. 11: 2-4.
14. Carrasco, J. 2007. Módulo: biomasa; combustión directa de la biomasa. (en línea). Madrid, Escuela de Organización Industrial. 30 p. Consultado 15 feb. 2018. Disponible en http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45279/componente45278.pdf
15. Casado Alcaide, J. A. 2013. Análisis del Estado del Arte a nivel del sector forestal con una perspectiva global. Proyecto PROBIO (URU/10/G31), PNUD Uruguay. Montevideo, s.e. 142 p.

16. Coronel, E. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas; 1ª. parte, fundamentos de las propiedades físicas de las maderas. Santiago del Estero, El Liberal. 187 p.
17. Dieste, A. 2014. Posibles destinos para los productos de madera fabricados en Uruguay. (en línea). Montevideo, Ministerio de Industrias, Energía y Minería. Dirección Nacional de Industrias. 34 p. Consultado 9 oct. 2017. Disponible en <http://www.dinamige.gub.uy/documents/6511777/0/Informe%205.pdf>
18. EN CAMIÓN. 2017. Prueba Consumo MAN TGX 18.500 Efficientline 3. (en línea). Barcelona. s.p. Consultado 20 dic. 2017. Disponible en <http://www.encamion.com/man/tgx/d26/18.500/efficientline/3/euro6/tractora/camion/encamion/prueba/consumo/ruta/transporte/potencia>
19. ERT- FENIROL S.A. 2009. Proyecto de generación de energía eléctrica (10MW) a partir de biomasa; estudio de impacto ambiental. (en línea). Tacuarembó, s.e. s.p. Consultado 17 ago. 2017. Disponible en http://www.mvotma.gub.uy/component/k2/item/download/378_d5a0c58e21f11720d3b39c58aaddb59d.html
20. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1990. Energy conservation in the mechanical forest industries; the potential use of wood residues for energy generation. (en línea). Roma, Italy. s.p. (Paper no. 93). Consultado 11 oct. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/t0269e/t0269e08.htm>
21. Faroppa, C. 2010. Evaluación de la disponibilidad de residuos o subproductos de biomasa a nivel nacional. (en línea). Montevideo, Energy Consulting Services. 43 p. Consultado 9 oct. 2017. Disponible en <http://www.dne.gub.uy/documents/10180/0/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20disponibilidad%20de%20residuos%20o%20subproductos%20de?version=1.0&t=1351101834000>
22. _____. 2017. El negocio forestal arrancó 2017 con mayores certezas. Revista Forestación. no. 174: 8-10.
23. Fermi, M. 2017. De alto voltaje: el papel de la biomasa forestal. Revista Forestal no. 18: 26-31.
24. Ferreira, J.; Stähelin, T.; Valin, M.; Brand, M.; De Muñiz, G. 2016. Qualificação da biomassa em povoamentos florestais de *Pinus taeda*. (en línea).

- Floresta. 46 (2): 269-276. Consultado 06 jun. 2017. Disponible en <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/41208/28552>
25. Forestal Caja Bancaria, UY. 2012. Productos; industriales. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 30 sep. 2017. Disponible en <http://www.forestalbancaria.com.uy/index.php/es/productos/industriales>
 26. Francescato, V.; Antonini, E.; Zuccoli, L. 2008. Manual de combustibles de madera. (en línea). Valladolid, Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. 82 p. Consultado 15 feb. 2018. Disponible en <https://es.scribd.com/document/199210343/Manual-de-Combustibles-de-Madera-CE>
 27. FSC (Forest Stewardship Council, DE). 2017. FSC certificate database. (en línea). Bonn. s.p. Consultado 02 ago. 2017. Disponible en <https://info.fsc.org/certificate.php#result>
 28. FYMNSA (Forestadora y Maderera del Norte S.A., UY). s.f. Industria. (en línea). Rivera. s.p. Consultado 3 oct. 2017. Disponible en <http://www.fymnsa.com/industria.php>
 29. _____. s.f.. Industria; productos. (en línea). Rivera. s.p. Consultado 3 oct. 2017. Disponible en <http://www.fymnsa.com/productosind.php>
 30. _____. 2002. Resumen publico de certificación de Forestadora y Maderera del Norte S.A. (en línea). Rivera, s.e. s.p. Consultado 02 ago. 2017. Disponible en <http://fsc.force.com/servlet/servlet.FileDownload?file=00P40000007z0MGEAY>
 31. García, G. 2016. Cosecha forestal; productos del bosque. Montevideo, Facultad de Agronomía. 45 p.
 32. Ghaffariyan, M; Spinelli, R; Brown, M. (2012). Forwarding technologies to collect harvesting residues for bioenergy use. (en línea). Cooperative Research Centre for Forestry. Bulletin no. 32. 3 p. Consultado 15 dic. 2017. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Mohammad_Ghaffariyan/publication/259220582_Forwarding_technologies_to_collect_harvesting_residues_for_bioenergy_use/links/0c96052a7eeba0ce36000000/Forwarding-technologies-to-collect-harvesting-residues-for-bioenergy-use.pdf?origin=publication_detail

33. Guzmán, J. 1984. Study of wood chip production from forest residues in Chile. (en línea). Biomass. 5 (3): 167-179. Consultado 27 jul. 2017. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0144456584900210?via%3Dihub>
34. Héguay, M. 2017. El pino vuelve a moverse. Revista Forestal. no. 17: 33-37.
35. Hubbard, W.; Biles, L.; Mayfield, C.; Ashton, S. 2007. Sustainable Forestry for Bioenergy and Bio-based Products: trainers curriculum notebook. (en línea). Athens, Southern Forest Research Partnership. 316 p. Consultado 02 sep. 2017. Disponible en <http://www.forestbioenergy.net/training-materials/training-curriculum-notebook/BiomassTrainNotebook.pdf>
36. INE (Instituto Nacional de Estadística, UY). 2017. Nivel general y variaciones mensual, acumulada del año y últimos doce meses. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 20 dic. 2017. Disponible en http://www.ine.gub.uy/c/document_library/get_file?uuid=b06717a8-980b-4669-b4ae-faf52c1e5fbb&groupId=10181
37. Leinonen, A. 2004. Harvesting Technology of Forest residues for fuel in the USA and Finland. (en línea). Espoo, VTT Tiedotteita. Research Notes no. 2229. 132 p. Consultado 02 sep 2017. Disponible en <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2229.pdf>
38. Malinovsky, R. s.f. Metodología de costo-hora para máquinas forestales. (en línea). La Plata, Argentina, UNLP. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 7 p. Consultado 24 ene. 2018. Disponible en http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/23904/mod_resource/content/1/Metodolog%C3%ADa%20de%20Costo%20Apunte.pdf
39. METLA (Finnish Forest Research Institute, FI). 2017. Integrated harvesting of roundwood and energy wood. (en línea). Joensuu. s.p. Consultado 14 dic. 2017. Disponible en <http://www.forestenergy.org/pages/images/>
40. MGAP. DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2017a. Bosques plantados de *Pinus* registrados (1975-2012). (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 21 jul. 2017. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/pinus2012.xls>

41. _____. _____. 2017b. Estadísticas forestales 2017. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 20 sep. 2017. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/dgf_boletin_estadistico_2016_0.pdf
42. _____. _____. 2017c. Superficie total de bosques según cartografía 2012 en línea). Montevideo. s.p. Consultado 21 jul. 2017. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/areacartografia2012.pdf>
43. _____. OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Política Agropecuaria, UY). 2016. Análisis sectorial y cadenas productivas. (en línea). Montevideo. 582 p. Consultado 1 oct. 2017. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/anuario_opypa_2016_en_baja.pdf
44. MIEM. DNETN (Ministerio de Industria, Energía y Minería. Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear, UY). 2006. Generación de energía eléctrica a partir de la biomasa en Uruguay. La dendroenergía. (en línea). Montevideo. 21 p. Consultado 23 oct. 2017. Disponible en <http://www.miem.gub.uy/documents/48237/7560189/Generaci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20a%20partir%20de%20la%20biomasa%20en%20Uruguay.%20La%20dendroenerg%C3%ADa%20-%20Octubre%202006.pdf>
45. _____. DNI (Ministerio de Industria, Energía y Minería. Dirección Nacional de Industria, UY). 2016. Ministerio de Industria, Energía y Minería organiza la primera reunión del Consejo Sectorial Forestal-Madera de 2016. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 23 ago. 2017. Disponible en <http://www.dni.gub.uy/-/ministerio-de-industria-energia-y-mineria-organiza-la-primera-reunion-del-consejo-sectorial-forestal-madera-de-2016>
46. Mora De Souza, M.; Silva, D.; Rochadelli, R.; Santos, R. 2011. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. (en línea). Floresta. 42 (2): 325-334. Consultado 06 jun. 2017 Disponible en <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/26593/18434>

47. MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, UY). 2016a. TC2 - Red vial nacional por departamento según clasificación de red, en kilómetros. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 ago. 2017. Disponible en http://observatorio.mtop.gub.uy/planillas/03_Transporte_Carretero/TC02%20-%20Red%20Vial%20Nacional%20por%20departamento%20según%20clasificación%20de%20red,%20en%20kilómetros.xls
48. _____. 2016b. TC3 - Red vial nacional por departamento según tipo de pavimento en kilómetros. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 ago. 2017. Disponible en http://observatorio.mtop.gub.uy/planillas/03_Transporte_Carretero/TC03%20-%20Red%20Vial%20Nacional%20por%20Departamento%20según%20tipo%20de%20Pavimento%20en%20kilómetros.xls
49. _____. 2016c. TC5 - Red vial nacional por departamento según estado de conservación, en kilómetros. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 ago. 2017. Disponible en http://observatorio.mtop.gub.uy/planillas/03_Transporte_Carretero/TC05%20-%20Red%20Vial%20Nacional%20por%20Departamento%20según%20Estado%20de%20Conservación,%20en%20kilómetros.xls
50. _____. DNV (Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Dirección Nacional de Vialidad, UY). 1943. Decreto de Ley No. 10.382, categorización de la red vial nacional con la finalidad e mantener actualizado el patrimonio vial. Montevideo. s.p.
51. MTSS (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, UY). 2017. Consejo de Salarios, Forestación Ajuste julio 2017. (en línea). Montevideo. s.e. 2 p. Consultado 18 dic. 2017. Disponible en https://www.mtss.gub.uy/c/document_library/get_file?uuid=f89d613a-b72d-43d6-bd10-498fb7482b0c&groupId=11515
52. Navarro, M. 2015. Modelo de generación de energía a partir de biomasa forestal. (en línea). Memoria Ing. Civil. Santiago de Chile, Chile, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 96 p. Consultado 14 dic. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/134250/Modelo-de-generacion-de-energia-a-partir-de-biomasa-forestal.pdf;sequence=1>

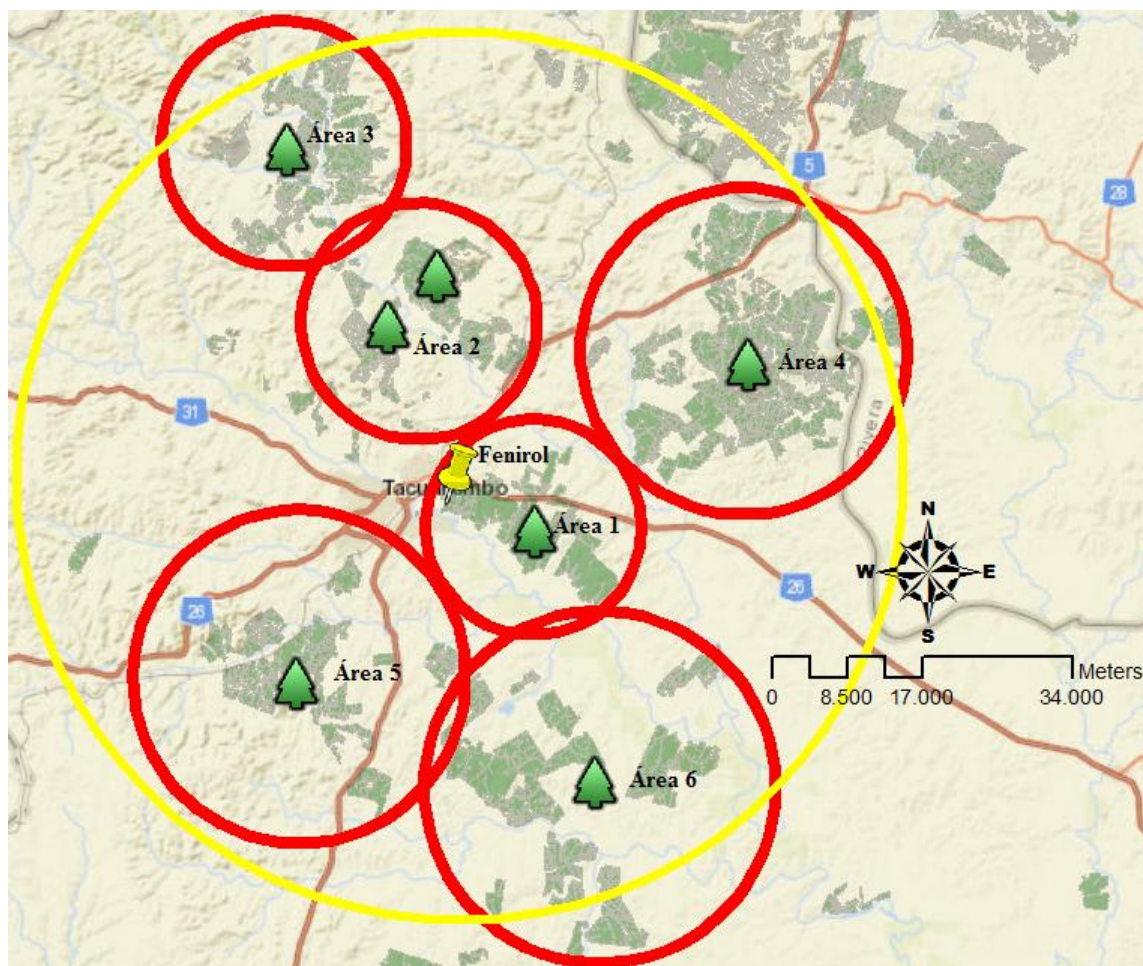
53. Nurmi, J.; Hillebrand, K. 2001. Storage alternatives affect fuelwood properties of norway spruce logging residues. (en línea). New Zealand Journal of Forestry Science. 31 (3): 289-297. Consultado 26 sep. 2017. Disponible en http://www.scionresearch.com/data/assets/pdf_file/0007/38239/NZJFS_313P289_297NURMI.pdf
54. Pou, R. 2011. Caracterización de la forestación en Uruguay; aspectos técnicos, empresariales del desarrollo forestal a mayo de 2011. (en línea). Montevideo, s.e. s.p. Consultado 02 ago. 2017. Disponible en <http://www.uruguayforestal.com/informes/Forestacion%20en%20Uruguay-2011.pdf>
55. _____.; Güida, G. 2013. Agenda forestal 2013; Uruguay. Rosario Pou. Agenda forestal no. 4. 139 p.
56. _____. 2016a. Forestación en Uruguay; una apuesta al porvenir. Montevideo, Plus Ultra. 156 p.
57. _____. 2016b. Uruguay Forestal; principales tendencias del año 2016. (en línea). Rosario Pou and Asociados - inversiones forestales. Montevideo. 5 p. Consultado 3 oct. 2017. Disponible en <http://www.uruguayforestal.com/informes/uruguayforestal16.pdf>
58. Presidencia de la República, UY. 2016. Forestación: China presentó interés en comprar producción uruguaya de pino. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 21 sep. 2017. Disponible en <https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/aguerre-china-forestacion>
59. PROBIO; DNE (Producción de Electricidad a Partir de Biomasa, UY; Dirección Nacional de Energía, UY). 2017. Resumen Plantas Generadoras Biomasa en el Uruguay Versión 01/2017. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 14 ago. 2017. Disponible en http://www.probio.dne.gub.uy/cms/images/pdf/Generadores/Listado_de_Generacion_Biomasa_ENERO_2017.pdf
60. _____.; INIA (Producción de Electricidad a Partir de Biomasa, UY; Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2015. Mejoramiento en la calidad de la información vinculada con la utilización de la biomasa forestal. Tacuarembó. 157 p.

61. RÍO BIABO S.A. 2015. Plan de manejos y resultados de monitoreo; resumen público. (en línea). Tacuarembó, s.e. 54 p. Consultado 11 sep. 2017. Disponible en <http://sitiioftp.com/Terena/Resumen-Publico-Plan-de-Manejo-y-Monitoreo-TERENA-SA-2015.pdf>
62. Routa, J.; Kolström, M.; Ruotsalainen, J.; Sikanen, L. 2016. Validation of prediction models for estimating the moisture content of logging residues during storage. (en línea). Biomass And Bioenergy. 94: 85-93 Consultado 06 jun. 2017. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953416302872?via%3Dihub>
63. Sapag Chain, N.; Sapag Chain, R. 2008. Preparación y evaluación de proyectos 5a. ed. Bogotá, McGraw-Hill Interamericana .463 p.
64. Schmidt Furtado, T.; Ferreira, J.; Brand, M.; Neves, M. 2012. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. (en línea). Revista Árvore. 36 (3): 577-582. Consultado 13 jul. 2017. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n3/v36n3a20.pdf>
65. Soares, T.; Bartolomeu Do Vale, A.; García Leite, H.; Cardoso Machado, C. 2003. Optimização de multiprodutos em povoamentos florestais. (en línea). Revista Árvore. 27 (6): 811-820. Consultado 11 oct. 2017. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v27n6/a07v27n6.pdf>
66. SPF (Sociedad de Productores Forestales, UY). 2016. El gobierno busca inversores para explotar miles de ha de pinos. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 30 sep. 2017. Disponible en <http://www.spf.com.uy/noticias/58/el-gobierno-busca-inversores-para-explotar-miles-de-ha-de-pinos>
67. _____. 2017. Pinos para China, un nuevo embarque. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 30 sep. 2017. Disponible en <http://www.spf.com.uy/noticias/190/pinos-para-china-un-nuevo-embarque>
68. Sylvain, M. 2007. Collection of Forest Residues; spreading out of the bundling method over Europe. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 05 sep 2017. Disponible en <https://es.slideshare.net/SylvainMartin/john-deere-forestry-bioenergy-by-sylvain-martin-english-version-oct-07>

69. TEST DEL AYER. 2017. Consumo combustible Chevrolet S10 2.8 4x4. (en línea). Buenos Aires. s.p. Consultado 20 dic. 2017. Disponible en <http://importados.testdelayer.com.ar/test/chevrolet-s10-dlx-4x4.htm>
70. TIMBERTEC S.A. 2015. Resumen público de certificación de Timbertec S.A. (en línea). Tacuarembó, s.e. Consultado 11 sep. 2017. Disponible en <http://fsc.force.com/servlet/servlet.FileDownload?file=00P3300000cT4nqEAC>
71. Tolosana, E.; Laina, R; Ambrosio, Y. 2009. Manual de buenas prácticas para el aprovechamiento integral de biomasa en resalvos de montes bajos de frondosas. (en línea). Soria, Cesefor. 57 p. Consultado 02 sep 2017. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Eduardo_Esteban/publication/278686883_Manual_de_buenas_practicas_para_el_aprovechamiento_integral_de_biomasa_en_resalvos_de_montes_bajos_de_frondosas/links/55840e9308ae4738295e0ac2/Manual-de-buenas-practicas-para-el-aprovechamiento-integral-de-biomasa-en-resalvos-de-montes-bajos-de-frondosas.pdf
72. Tuset, R.; Durán, F. 2008. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. 2a. ed. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 503 p.
73. Uruguay XXI. Promoción de Inversiones y Exportaciones. 2017. Oportunidades de inversión; sector forestal. (en línea). Montevideo. 32 p. Consultado 29 sep. 2017. Disponible en <http://www.uruguayxxi.gub.uy/informacion/wp-content/uploads/sites/9/2017/09/Sector-Forestal-Setiembre-2017.pdf>
74. Weyerhaeuser Productos S.A. 2009. Informe de certificación de manejo forestal; resumen público. (en línea). Tacuarembó, s.e. 64 p. Consultado 12 sep. 2017. Disponible en http://www.sgs.com/~/_/media/Global/Documents/Technical%20Documents/Reports/Certification%20Reports/SGS-SSC-Forest-20090093-UY-Weyerhaeuser-Productos-SA-SA2011-UY-11.ashx

9. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de plantaciones efectivas de *Pinus sp.*, en radio de 30 km de la ciudad de Tacuarembó.



Anexo 2. Preguntas realizadas en entrevista a Rodríguez, F.

- ¿Cómo ha sido la evolución de la generación de energía con biomasa en el país?
- Actualmente en el país, ¿cuántas plantas de generación de energía con biomasa se encuentran operando, que la empresa haya tenido participación?
- De esas plantas, ¿cuántas se abastecen de residuos forestales? ¿Y cuántas consumen residuos que sean de pino?
- ¿Cuáles son los principales inconvenientes que puede tener el pino sobre las calderas?
- En la operativa de una planta generadora de energía, es más sencillo para la misma, ¿llevar a cabo el procesamiento del material, es decir recibir el material enfardado y llevarlo al tamaño óptimo utilizando en este proceso parte de la energía generada en el proceso siguiente?
- ¿Cuáles son las perspectivas a futuro que ve desde su sector respecto a esta temática?
- Las industrias (lácteos, frigoríficos, secaderos de granos, etc) que hoy día consumen rollizos de madera en sus calderas, cual es la dificultad para reconvertirse y utilizar chips de residuos forestales (en especial pino, y luego eucaliptos), ¿ve esto como una posibilidad?

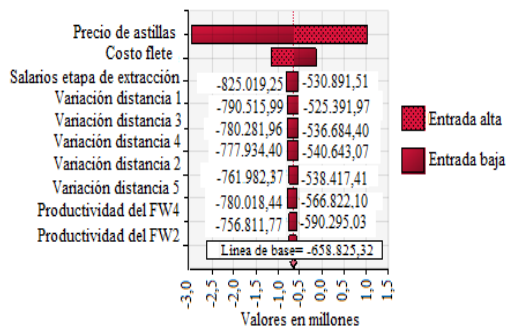
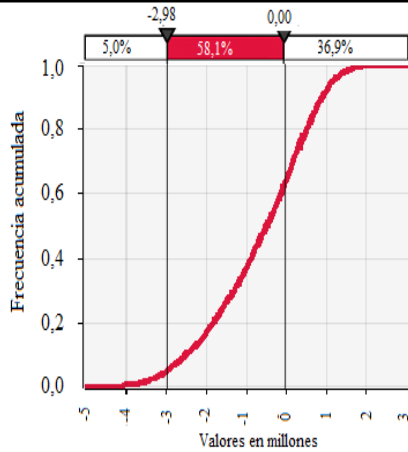
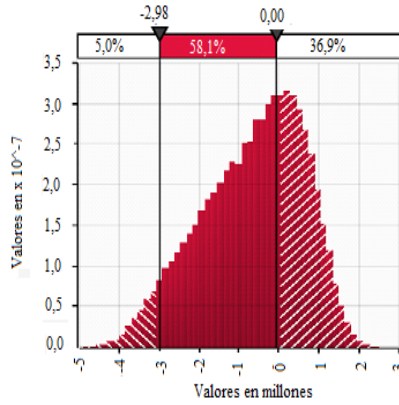
Anexo 3. Cuadros de costos fijos y variables.

Costos variables		
Categoría	Costos anual (USD/año)	Costo por tonelada (USD/ton)
Mano de obra operación	63.082	0,79
Combustible	272.900	3,40
Lubricantes	54.580	0,68
Reparación y mant.	79.815	0,99
Total	470.377	5,86

Costos fijos		
Categoría	Costos anual (USD/año)	Costo por tonelada (USD/ton)
Depreciación	235.536	2,93
Mano de obra fija	69.765	0,87
Oficina	7.200	0,09
Transporte entre predios	1.995	0,02
Servicios externos	15.088	0,19
Seguro de maquinaria	7.816	0,10
Vehículo de apoyo	12.000	0,15
Total	349.400	4,35

Anexo 4. Resultados simulación de riesgo.

Flujo de caja acumulado.

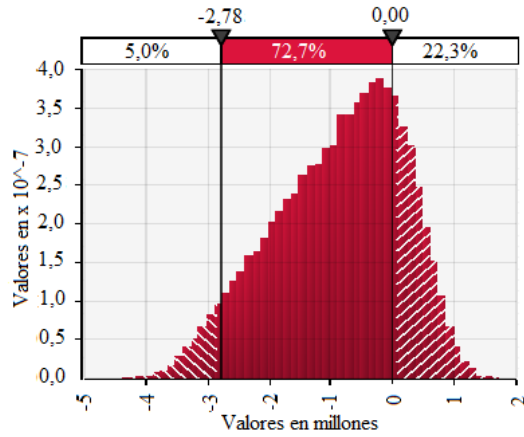


Información de resumen de simulación	
Número de simulaciones	1
Número de iteraciones	100000
Número de entradas	16
Número de salidas	8
Tipo de muestreo	Latino Hipercúbico
Tiempo de inicio de simulación	25/01/2018 15:14
Duración de simulación	00:02:29
Generador de # aleatorio	Mersenne Twister
Semilla aleatoria	1261631067

Estadísticos resumen para Flujo_de_caja_acumulado		
Estadísticos		Percentil
Mínimo	-4.913.760	5%
Máximo	2.558.504	10%
Media	-658.825	15%
Desv. Est.	1.270.778	20%
Varianza	1.61488E+12	25%
Indice de sesgo	-0.419477181	30%
Curtosis	2.495199073	35%
Mediana	-493.878	40%
Moda	-36.844	45%
X izquierda	-2.975.063	50%
P izquierda	5%	55%
X derecha	1.157.914	60%
P derecha	95%	65%
Diff X	4.132.978	70%
Diff P	90%	75%
#Errores	0	80%
Filtro min.	Apagado	85%
Filtro máx.	Apagado	90%
#Filtrado	0	95%

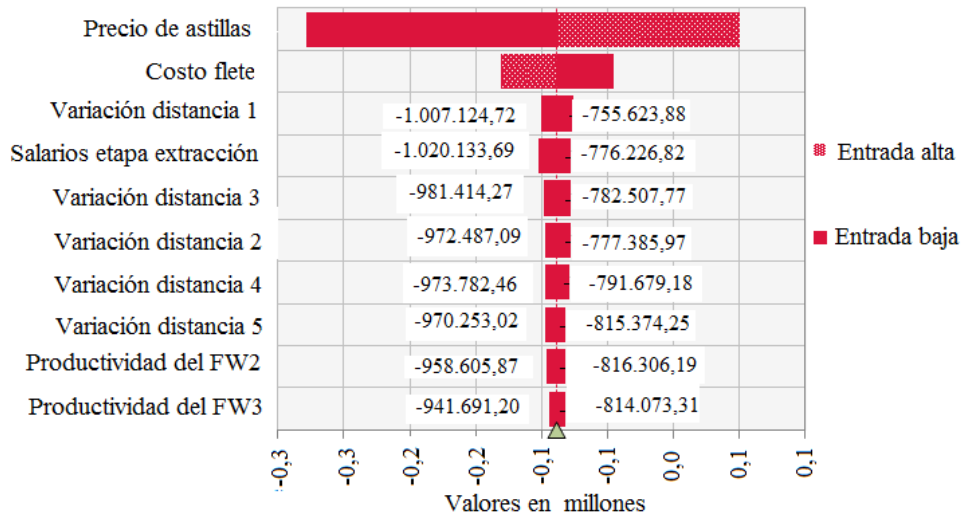
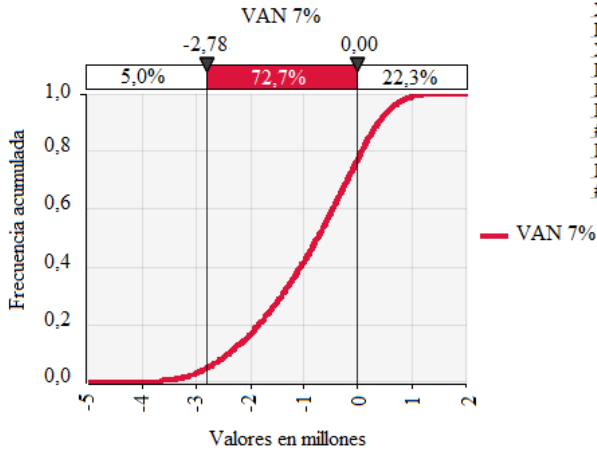
Cambio en la estadística de salida de Flujo_de_caja_acumulado			
Jerarquía	Nombre	Inferior	Superior
1	Precio de astillas	-2.978.159	1.030.815
2	Costo flete	-1.170.133	-141.474
3	Salarios etapa extracción	-825.019	-530.892
4	Variación distancia 1	-790.516	-525.392
5	Variación distancia 3	-780.282	-536.684
6	Variación distancia 4	-777.934	-540.643
7	Variación distancia 2	-761.982	-538.417
8	Variación distancia 5	-780.018	-566.822
9	Productividad del FW4	-756.812	-590.295
10	Productividad del FW2	-746.453	-583.361

Valor actual neto

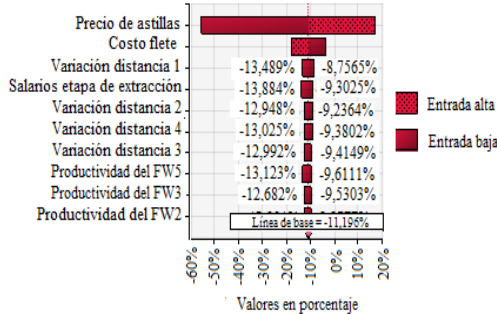
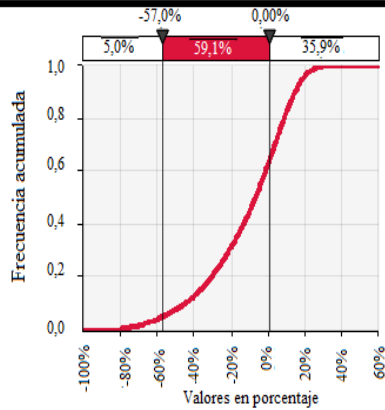
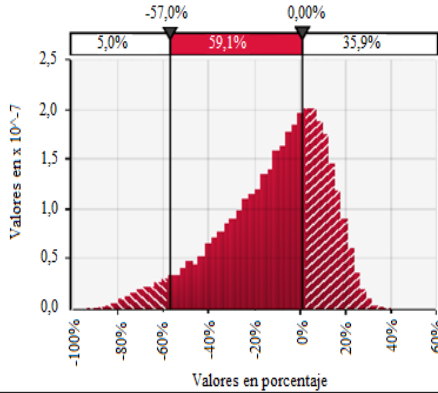


Información de resumen de simulación	
Número de simulaciones	1
Número de iteraciones	100000
Número de entradas	16
Número de salidas	8
Tipo de muestreo	Latino Hipercúbico
Tiempo de inicio de simulación	25/01/2018 15:14
Duración de simulación	00:02:29
Generador de # aleatorio	Mersenne Twister
Semilla aleatoria	1261631067

Estadísticos resumen para VAN_7			
Estadísticos		Percentil	
Mínimo	-4.404.933	5%	-2.782.588
Máximo	1.734.117	10%	-2.382.766
Media	-882.176	15%	-2.081.309
Desv Est	1.043.150	20%	-1.831.849
Varianza	1.088E+12	25%	-1.609.675
Índice de sesgo	-0.4187321	30%	-1.413.775
Curtosis	2.4976808	35%	-1.233.759
Mediana	-747.419	40%	-1.057.588
Moda	-214.833	45%	-893.702
X izquierda	-2.782.588	50%	-747.419
P izquierda	5%	55%	-601.511
X derecha	609.989	60%	-464.492
P derecha	95%	65%	-332.652
Diff X	3.392.577	70%	-202.358
Diff P	90%	75%	-70.034
#Errores	0	80%	63.082
Filtro mín	Apagado	85%	210.308
Filtro máx	Apagado	90%	378.625
#Filtrado	0	95%	609.989



Tasa interna de retorno



Información de resumen de simulación

Número de simulaciones	1
Número de iteraciones	100000
Número de entradas	16
Número de salidas	8
Tipo de muestreo	Latino Hipercúbico
Tiempo de inicio de simulación	25/01/2018 15:14
Duración de simulación	00:02:29
Generador de # aleatorio	Mersenne Twister
Semilla aleatoria	1261631067

Estadísticos resumen para TIR

Estadísticos	Percentil
Mínimo	5% -57.04%
Máximo	10% -44.81%
Media	15% -36.78%
Desv. est.	20% -30.59%
Varianza	25% -25.31%
Índice de sesgo	30% -20.90%
Curtosis	35% -16.70%
Mediana	40% -13.06%
Moda	45% -9.77%
X izquierda	50% -6.68%
P izquierda	55% -3.80%
X derecha	60% -1.11%
P derecha	65% 1.44%
Diff X	70% 3.93%
Diff P	75% 6.43%
#Errores	80% 8.98%
Filtro mín.	85% 11.80%
Filtro máx.	90% 14.96%
#Filtrado	95% 19.24%

Cambio en la estadística de salida de TIR

Jerarquía	Nombre	Inferior	Superior
1	Precio de astillas	-55.92%	16.99%
2	Costo flete	-18.43%	-3.50%
3	Variación distancia 1	-13.49%	-8.76%
4	Salarios etapa extracción	-13.88%	-9.30%
5	Variación distancia 2	-12.95%	-9.24%
6	Variación distancia 4	-13.02%	-9.38%
7	Variación distancia 3	-12.99%	-9.41%
8	Productividad del FW5	-13.12%	-9.61%
9	Productividad del FW3	-12.68%	-9.53%
10	Productividad del FW2	-12.90%	-9.86%