

# UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRES BELLO FAULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

# "DESARROLLO DE DIFERENTES MODELOS DE TRANSPORTE PARA UN TIPO DE BIOMASA A SER PROCESADA CON EL OBJETO DE OBTENER BIOCOMBUSTIBLE"

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar por el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR:

Ulises Lacoa

PROFESOR GUÍA:

Dr Henry Gasparin

FECHA:

Septiembre de 2011



# UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRES BELLO FAULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

# "DESARROLLO DE DIFERENTES MODELOS DE TRANSPORTE PARA UN TIPO DE BIOMASA A SER PROCESADA CON EL OBJETO DE OBTENER BIOCOMBUSTIBLE"

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado:

JURADO EXAMINADOR

Firma: Howard Acong, Firma:

Nombre: Nombre:

REALIZADO POR: Ulises Lacoa

PROFESOR GUÍA: Dr Henry Gasparin

FECHA: • Septiembre de 2011



# UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

"Desarrollo de diferentes modelos de transporte para un tipo de biomasa a ser procesada con el objeto de obtener biocombustible sólidos"

Autor: Ulises Lacoa

Tutor: Henry Gasparin

Fecha: Septiembre 2011

#### **SINOPSIS**

La presente investigación tiene como finalidad desarrollar diferentes modelos de transporte para un tipo de biomasa a ser procesada con el objeto de obtener biocombustible, brindando así un tipo de combustible factible alternativo que pueda reducir la dependencia de nuestra sociedad a los combustibles fósiles. Para esto se desarrollaron tres tipos de modelos de transportes: (1) Chipeado dentro del bosque, (2) Emplear un centro satélite como punto intermedio de recolección; y (3) el Transporte de troncos enteros. Se plantearon tres escenarios para cada modelo desarrollado en los cuales se variaron las distancias entre el bosque y la planta de pellets para 30, 50 y 70 millas. Para cada escenario se ajustó el número de vehículos utilizados en los tramos de cada modelo de manera que la utilización de las maquinas fuese máxima para las operaciones principales del sistema. Bajo estas condiciones el modelo con el centro satélite aportó la mayor cantidad de madera seca entregada con 40000 toneladas US al año aproximadamente, independientemente de la distancia entre el bosque y la planta. Desde el punto de vista financiero, el que aporta la mayor ganancia por tonelada de madera seca es el modelo de troncos enteros para una distancia de 30 millas con una ganancia por tonelada de \$ 154.36. Mientras que el peor escenario considerado para los modelos evaluados es también el de Troncos enteros pero para 70 millas con un ingreso de \$ 140.56 por toneladas US. Es importante resaltar que los costos se ven afectados en gran medida por la cantidad de camiones que se necesitan en el tramo por el que se transporta la biomasa más que por la distancia recorrida, los costos aumentan a medida que aumenta la cantidad de camiones asignados. Desde el punto de vista energético el modelo de transporte más favorable es el de Centro Satélite aportando 567.356, 567.500 y 567.396 para 30, 50 y 70 millas respectivamente.

Palabras clave: modelo de transporte, chipeado, centro satélite.



# Índice General

INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I: ESTUDIOS PRELIMINAR	3
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	3
I.2 JUSTIFICACION	4
I.3 OBJETIVOS:	4
I.3.1 Objetivo General:	4
I.3.2 Objetivos Específicos:	4
I.4 ALCANCES	5
I.5 LIMITACIONES	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	12
CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	14
IV.1 Logística de Transporte	14
IV.2 Procesamiento	15
IV.3. Sistemas de Transporte	17
IV.3.1Transporte de troncos directo desde el bosque	17
IV.3.2 Procesos dentro del bosque	18
IV.3.3 Centros Satélite	19
IV.4 Procesos Asociados al Sistema de Transporte	22
IV.4.1 Alimentar Descortezadora/Chipeadora	22
IV.4.2 Descortezar y chipear	23
IV.4.3 Secado	25
IV.4.4 Transporte de Madera	26
IV.4.5 Descarga de Chips.	29
IV.4.6 Descarga y Carga de troncos	30
IV.4.7 Carga de chips	32
CAPÍTULO V: IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES	33



V.1 Variables Operativas	33
V.1.1 Variables Operativas de Entrada	33
V.1.2 Variables Operativas de salida	40
V.2 Variables financieras	41
V.2.1 Costos de propiedad.	42
V.2.2 Costos de operación	44
V.2.3 Variables de costos de Entrada	46
V.2.4 Variables financieras de salida	48
V.3 Variables Energéticas	49
V.3.1Variables Energéticas de Entrada	49
V.3.2 Variables Energéticas de Salida	50
CAPITULO VI. DESARROLLO DE LOS MODELOS DE TRANSPORTES	51
VI.1 Configuración I. Chipeado Dentro del Bosque	54
VI.2 Configuración II. Transporte a Centros Satélite	57
VI.3 Configuración III. Transporte de Troncos Enteros.	60
CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE ESCENARIOS	62
VII.1 Resultados	62
VII.1.2 Resultados Operativos	62
VII.1.2 Resultados Financieros.	68
VII.1.2 Resultados Energéticos	70
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS	78



# Indices de Tablas

Tabla 1. Representación gráfica de la metodología	13
Tabla 2. Característica del tipo de árbol según el producto y valor en el mercado	34
Tabla 3.Expresiones para la densidad y gravedad especifica de la madera	37
Tabla 4. Datos de entrada para el cálculo de los costos de equipos estáticos	46
Tabla 5. Cálculos Intermedios para obtener el costo de las maquinarias empleadas	47
Tabla 6. Datos de entrada para el cálculo de los costos de transporte.	48
Tabla 7. Costos Finales de los equipos estáticos.	48
Tabla 8. Costos Totales	49
Tabla 9. Características del Equipo de Carga de Troncos.	52
Tabla 10. Características de la Chipeadora/Descortezadora	52
Tabla 11. Características de la plataforma de descarga de Camiones con Chips	52
Tabla 12. Características del cargador de ruedas para recolectar y transportar	52
Tabla 13. Características del cargador de ruedas para cargar el camión y regresar a pila de chips	
Tabla 14. Características del cargador de ruedas para recolectar chips con su pala	53
Tabla 15. Características del Equipo Knuckleboom para descargar troncos	53
Tabla 16. Características del volumen de cada cargamento de chips según el contenido de humedad de la carga.	.53
Tabla 17. Descripción de la lógica para el Modelo de Chipeado dentro del bosque	55
Tabla 18. Descripción de la lógica para el Modelo de Centro Satélite.	58
Tabla 19. Descripción de la lógica para el Modelo de Troncos Enteros	61
Tabla 20. Cantidad de Camiones Asignados dependiendo de la cantidad de millas a recorrer.	62
Tabla 21. Producción Anual de Madera Seca.	63
Tabla 22. Utilización de equipos para los distintos escenarios del Modelo de Chipeado dentro del Bosque.	64
Tabla 23. Utilización de equipos para los distintos escenarios del Modelo de Centro Satélite	



Tabla 24. Utilización de equipos para los distintos escenarios del Modelos de Tr Enteros	
Tabla 25. Costos Anuales del Modelo Chipeado dentro del Bosque. Fuente: Elaboración Propia	68
Tabla 26. Costos Anuales del Modelo Centros Satélite. Elaboración Propia	68
Tabla 27. Costos Anuales del Modelos Transporte de Troncos Enteros	69
Tabla 28. Ganancias por tonelada entregada de cada modelo de transporte para cescenario planteado, sin tomar en cuenta los costos de cosecha	
Tabla 29. Mejor modelo según el escenario planteado.	70
Tabla 30. Consumo de Combustible para el modelo de Chipeado dentro del Bosen galones/ año	-
Tabla 31. Consumo de combustible para el modelo de Centro Satélite en galones	
Tabla 32. Consumo de combustible para el modelo de Troncos Enteros en galones/año	71
Tabla 33. Conversión de energía	72
Tabla 34. Balance energético en MBTU/año	72
Índice de Figuras	
Figura 1. Transporte de Troncos directo desde el bosque	18
Figura 2. Proceso dentro del bosque	19
Figura 3. Centros Satélite	22
Figura 4. Descortezadora/Chipeadora	25
Figura 5. Tipos de Transporte de Madera	27
Figura 6. Camión con Contenedor entregando chips en el pit de recepción	29
Figura 7: Área En Forma de U para la descarga de Chips	30
Figura 8: Cargador hidráulico.	31
Figura 9. Cargador Frontal.	32
Figura 10. Cargador de rueda recogiendo chips de madera.	32



Figura 11. SVF para distintos tipos de Material
Figura 12. Diagrama de la lógica general del Modelo de Chipeado dentro del Bosque
Figura 13. Diagrama de la lógica general del Modelo Centro Satélite
Figura 14. Diagrama de la lógica general del Modelo Troncos Enteros
Figura 15. Comparación de la madera producida en cada modelo de transporte para los escenarios planteados
Figura 16. Balance de energía para cada modelo
Índice de anexos.
ANEXO 1. DATOS PARA EL CALCULO DE COSTOS DE EQUIPOS
ESTÁTICOS
ANEXO 2. DATOS PARA EL CALCULO DE COSTOS DE TRANSPORTES XII
ANEXO 3. TENDENCIA DE GANANCIA PARA LOS MODELOS DE
TRANSPORTE ESTUDIADOSXIV
ANEXO 4.INTERFAZ DE LOS MODELOS EN SIMIOXVI
ANEXO 5. ESCENARIOS PLANTEADOS EN SIMIOXX



# INTRODUCCIÓN

La biomasa leñosa de los bosques es una fuente potencial de material para la producción de energía. Los materiales a emplear pueden variar desde residuos hasta cultivos con propósitos meramente energéticos. Para tal fin pueden emplearse residuos dejados después de la cosecha de troncos, los componentes de la madera no comerciable, plantaciones administradas especialmente para la producción de biomasa o simplemente árboles con diámetros pequeños.

Los retos en el manejo de material leñoso son similares a los que se presentan en el de biomasa de tipo agricultura: el costo de cosechar y recolectar, transportar, manejar, procesar, y almacenar biomasa de baja densidad con alto contenido de humedad, pueden llegar a ser limitantes, sumamente difíciles de superar.

La mayoría de las maquinarias disponibles a nivel comercial están diseñadas para la recolección de madera y procesamientos. El diseño de cadenas de suministro para plantaciones con fines energéticos, efectivas desde el punto de vista económico y sostenible, representan retos muy singulares.

La cosecha, procesamiento y sistemas de transporte de biomasa no se encuentran integrados con una buena administración y planificación, ocasionando una ineficiencia generalizada. Dentro de dicha planificación se encuentra la compleja tarea de determinar las configuraciones óptimas de procesamiento y transporte, así como la dificultad presente al momento de balancear el sistema y los inventarios de los trabajos en proceso.

Motivado por el alza en los precios de combustibles fósiles, así como por la necesidad de limitar las emisiones de dióxido de carbono, el interés para buscar combustibles alternativos ha impulsado investigaciones para emplear la madera como combustible. Bajo el contexto sustentable, el uso de la madera con propósitos



energéticos es considerado neutral, debido a que la plantación y el crecimiento de nuevos árboles recaptura el dióxido de carbono liberado durante la combustión.

Para reemplazar los combustibles fósiles con madera se han intentado varias opciones, entre ellas la conversión a combustibles líquidos (etanol) y la combustión en plantas generadoras de energía, pero ninguna de éstas ha logrado superar las barreras económicas en las condiciones actuales, sin embargo, la quema de madera para la calefacción, por el contrario, se ha visto más favorecida.

Una de las maneras como el mercado ha respondido a estos cambios ha sido suministrando energía en forma de pellets de madera. La madera en su estado natural contiene baja densidad energética, la mitad del peso contiene agua, por lo tanto el transporte y manejo son costosos, debido a la baja densidad del cargamento. La fabricación de pellets de madera minimiza estas desventajas. Al densificar la madera, el contenido energético por unidad de volumen aumenta hasta estar cercano al del carbón. El contenido de humedad también disminuye desde un 50 % hasta 10 % (base húmeda).Con menos humedad, los pellets pueden generar más calor al ser quemados y logran una combustión más completa. La pérdida de agua y el aumento de la densidad del cargamento permiten economizar el transporte. Por último, el manejo de materiales se simplifica debido a la reducción del tamaño, permitiendo una alimentación automatizada en vez de una alimentación manual con leños.

Por las razones antes mencionadas, el presente Trabajo Especial de Grado tiene como objetivo desarrollar diferentes modelos de transporte para un tipo de biomasa a ser procesada con el objeto de obtener biocombustible.



## CAPÍTULO I: ESTUDIOS PRELIMINAR

#### I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

El estado de Carolina del Norte cuenta con un estimado de 8,3 millones de toneladas de materia prima leñosa sustentable, solamente con los residuos de la tala. Mientras existen 17,7 millones de hectáreas de bosques llenas de biomasa listas para cosechar, el costo de recolección y transporte a los mercados la convierte en un material de bajo valor comercial.

La biomasa leñosa puede ser fácilmente suministrada a las instalaciones a través de prácticas forestales sostenibles, mediante el aprovechamiento de los residuos forestales. La mayor parte de los residuos con que se cuentan se producen en el lado oriental del estado.

Sin un mercado para la biomasa, existe poco incentivo económico para el propietario forestal. Esto se traduce en una menor productividad y en un mayor deterioro del bosque. Sin embargo, las recientes investigaciones desarrolladas por la industria de la biomasa han incrementado su demanda.

Cuando se analiza el suministro de biomasa, se encuentran varias limitaciones: la madera es esencialmente 50 % agua, por lo que la reducción de la humedad en cualquier punto en la cadena resultaría en una reducción importante de costos. Cada punto del recorrido agrega costos, tales como la recolección, transporte y almacenamiento.

Es por ello necesario estudiar diferentes configuraciones para transportar la materia prima desde el punto de recolección hasta las plantas de procesamiento de la biomasa, tomando en cuenta la red y tipo de transporte, así como la distancia y costos de traslado dentro del estado.



### 1.2 JUSTIFICACION

Este estudio permite emplear los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, tales como Investigación de Operaciones, Ingeniería Económica, Cadena de Suministro, Contabilidad de costos, entre otros. Dicho trabajo puede representar una alternativa que contribuya a solventar el problema energético y la biomasa se convierta en una de las fuentes de energía que elimine la dependencia de los combustibles fósiles, mediante la implementación de herramientas como la desarrollada en dicho estudio.

La relevancia de dicha investigación es generar una herramienta que permita la toma de decisiones contemplando los costos asociados al transporte de la materia prima con la finalidad de encontrar alternativas que le permitan a la producción de biocombustible a partir de madera, ser competitiva y rentable; desarrollando modelos de transporte más eficientes dentro de dicho eslabón de la cadena de suministro.

#### **I.3 OBJETIVOS:**

### I.3.1 Objetivo General:

Desarrollar diferentes modelos de transporte para un tipo de biomasa a ser procesada con el objeto de obtener biocombustible.

### I.3.2 Objetivos Específicos:

- I.3.2.1 Analizar los procesos asociados al transporte de biomasa.
- I.3.2.2 Identificar los elementos necesarios para generar los diferentes modelos de transporte.
- I.3.2.3 Modelar los sistemas de transporte para la biomasa a evaluar.



I.3.2.4 Evaluar la comparación de los modelos de trasporte propuestos desde el punto de vista operativo, financiero y energético.

#### I.4 ALCANCES

El desarrollo del Trabajo de Grado se llevará a cabo mediante el estudio de las diferentes configuraciones para el trasporte de la materia prima hasta las plantas de procesamiento de biocombustible. Dicho trabajo propone buscar soluciones que permitan disminuir el costo del transporte y mejorar el suministro de biomasa.

#### I.5 LIMITACIONES

Debido a que el estudio se desarrollará en el Estado de Carolina del Norte, EEUU, una cantidad considerable de datos requeridos para el estudio serán suministrados por el Departamento de Ciencia de Madera y Papel de la Universidad Estatal de Carolina del Norte (NCSU).

El estudio se enmarcará a las empresas que tienen convenios con NCSU. El número de bosques, empresas de transporte y plantas procesadores a analizar será determinado por el Departamento de Madera y Papel de la Universidad durante la toma de datos en Carolina del Norte.

El ámbito geográfico del estudio se limitará a las empresas y bosques en el Estado de Carolina del Norte, debido a que las investigaciones del Departamento de Madera y Papel se enmarcan en esta área. La recolección de datos que se requiera hacer en la NCSU tendrá una duración de dos semanas.



# CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

El marco teórico contiene todos aquellos conceptos y definiciones básicas requeridas para la completa comprensión del presente Trabajo Especial de Grado.

Anchos de anillos: Los anchos de anillos se refiere a la distancia que existe entre las capas del que resultan de la sobre posición sucesiva de las capas de tejido leñoso en el tronco del árbol(José & Encinas B., 2008).

**Albura:** Es madera formada por tejidos jóvenes en un período de crecimiento (zona viva). Contiene mucha savia y materias orgánicas. Puede ser de coloración más clara que el duramen, más porosa y más ligera, con mayor riesgo frente a los ataques biológicos (hongos e insectos)(Errico, 2002).

**Biomasa:** Producto procedente de la naturaleza que al estar seco tiene un alto poder calorífico y que por tanto puede quemarse. Existe una gran variedad de productos con estas características que nos proporciona la naturaleza: virutas de madera, astillas, residuos de poda, etc.(TERMOSUN, 2006)

Chipeadora: Máquina empleada para procesar y convertir troncos o pedazos de árboles en chips de madera. No existe una traducción acertada del termino chipper (chipeadora) del inglés, razón por la cual durante el T:E:G se estará hablando de términos como chipeado y chipear para referirse a los proceso de conversión a chips de madera.

Chips de madera: Son pequeños trozos de madera, resultantes del proceso de corte y astillado de troncos y trozos de árboles. Estos chips de madera elaborados con biomasa forestal producen un gran poder calorífico.

**Duramen:** Es la madera de la parte interior del tronco. Constituido por tejidos adultos que han llegado a su máximo desarrollo. Puede ser de coloración más oscura



que la albura. El duramen es la parte del tronco de mayor interés para el empleo estructural de la madera(Errico, 2002).

**Pellets:** Material Biocombustible procesado de madera seca prensada en forma de pequeños cilindros. La madera empleada para su formación procede de los residuos de serrerías, podas, limpiezas de bosque, de industrias forestales o agroforestales.(TERMOSUN, 2006)

**Lignina:** Es el constituyente intermolecular incrustante o cementante de las células de la madera.(Forest Products Laboratory, 2010)

A continuación se realizara una breve descripción de software (SIMIO) empleado para el desarrollo de los distintos modelos a evaluar.

El software Simio permite construir y correr modelos animados 3D de un amplio rango de sistemas – por ejemplo: fábricas, cadenas de suministro, departamentos de emergencia, aeropuertos, y servicios de sistema. Simio emplea un enfoque en los objetos para el desarrollo de modelos, donde estos son construidos combinando objetos que representan los componentes físicos de los sistemas.

Un objeto tiene su propio comportamiento como definición, pero es el modelo interno lo que responde a los eventos en el sistema. En Simio las definiciones de objetos y modelos son lo mismo. Se puede construir un modelo donde esté definida la lógica para un objeto que puede ser usado en otros modelos. Un objeto (o modelo) es definido por sus propiedades, estados, eventos, vista externa y lógica.

Las propiedades son valores de entrada que pueden ser especificados por el usuario del objeto. Por ejemplo, un objeto representando un servidor puede tener una propiedad que especifiqué el tiempo de servicio. Cuando el usuario coloca el objeto de servicio dentro de su modelo facilitado también podrán especificar el valor de dicha propiedad.



Los estados de un objeto son valores dinámicos que pueden cambiar mientras el modelo es ejecutado. Por ejemplo, el estatus de 'ocupado' y 'vacío' de un objeto del sistema tiene la capacidad de mantenerse como una variable de estatus que cambia en cada momento que empiece o termine servicio en un cliente.

Los eventos son acciones que el objeto puede despedir en momentos ocasionales. Por ejemplo, un objeto de servicio puede disparar un evento cada vez que el servidor complete el proceso de un cliente, o un objeto depósito puede despedir un evento cuando llegue a lleno o vacío. Los eventos son útiles para informar a otros objetos de que algo importante ha ocurrido.

La lógica del objeto es un modelo interno que define como el objeto responde a eventos específicos que pueden ocurrir. Por ejemplo si el objeto servidor puede tener un modelo que especifique que acciones toman lugar cuando un cliente llega al servidor, el modelo interno le da al objeto su comportamiento único.

Algunos términos mencionados en el trabajo especial de grado relacionados con el software son:

Level continuous state variable: define una variable numérica que puede cambiar continuamente a lo largo del tiempo basado en el valor de su rata. Una variable de rata automática, basada en el LevelStateName.Rate puede ser utilizado para modificar la rata de cambio a lo largo de la simulación. La rata del State es un parámetro discreto que puede ser cambiado por una lógica de asignación durante tiempos discretos durante una simulación.

**Real:** una variable discreta de estado variable que representa un valor numérico que puede ser cambiado por una lógica de asignación durante tiempos discretos en una corrida.



**Monitor:** es un elemento usado para monitorear una variable State y disparar un evento cada vez que se presente un cambio discreto o se cruce el umbral de un valor de estado.

**Experiments:** son utilizados para definir un conjunto de escenarios a ser ejecutados utilizando el modelo. Es típicamente utilizado para hacer corridas de producción que comparan una o más variaciones del sistema



# CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

De acuerdo a los objetivos presentados anteriormente, se realizó una investigación que, según la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2006), es de carácter cuantitativa de tipo experimental en la cual se van a desarrollar diferentes modelos de transporte para un tipo de biomasa a ser procesada con el objeto de obtener biocombustible. La investigación se llevó a cabo en cinco fases, las cuales permiten la consecución de los objetivos planteados y las herramientas utilizadas.

Para desarrollar la metodología del Trabajo se procede a estructurar el mismo en etapas.

Fases	Estructura del T.E.G	Actividades	Objetivos Alcanzados	
Capítula	Capítulo IV:	Revisar las fuentes bibliográficas especializadas en el área	Analizar los procesos	
I	Descripción de los Procesos	Descripción de Diagramar los J	Diagramar los procesos identificados	asociados al transporte de biomasa
		Explicar los procesos de la cosecha		
		Identificar las variable de entrada que afectan a los procesos señalados	Identificar los elementos necesarios para generar los diferentes modelos de transporte.	
II	Capítulo V: Identificación de las variables	Analizar los procesos tomando en cuenta los criterios de las variables respuesta arrojadas por el modelo		
	, .	Definir el método apropiado para llevar a cabo la construcción del modelo de transporte		



Fases	Estructura del T.E.G	Actividades	Objetivos Alcanzados
Ш	Capítulo VI: Desarrollo de los modelos de transportes	Desarrollar la lógica del modelo	Modelar los sistemas de transporte para la biomasa, a evaluar.
		Construir el modelo haciendo uso de un paquete informático especializado	
		Verificar el funcionamiento del modelo	
IV	Capítulo VII. análisis de escenarios	Plantear Varios Escenarios en donde se cambie alguna de las variables de entrada del modelo	Evaluar la comparación de los modelos de trasporte propuestos desde el punto de vista operativo, financiero y energético.
		Estudiar los resultados desde el punto de vista operativo, financiero y energético	
V	Conclusiones	Analizar los resultados obtenidos	

Tabla 1. Representación gráfica de la metodología

Elaboración propia



## CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Los sistemas que se emplean para transportar biomasa se pueden separar en dos etapas generales, según sea el caso. Estas etapas se definen en Logística de Transporte y Procesamientos.

### IV.1 Logística de Transporte

Esta etapa se refiere a la manera como es transportada la madera desde el bosque hasta la planta procesadora. El método más común para transportar biomasa en Carolina del Norte es por medio de camiones. El tipo de camión a emplear dependerá del tipo de biomasa y de la cantidad que se desea transportar. Si la planta acepta troncos enteros, entonces se deben emplear camiones de tala estándar. Por el contrario, si se requieren chips, la infraestructura de recepción de la planta determinará qué tipo de van de chips se requiere.

Las plantas más grandes tienen volquetes de camiones para vaciar la van. Cualquier van de chips puede vaciarse utilizando este dispositivo. Puede ser que las plantas pequeñas no tengan dichos volquetes y solo puedan aceptar vanes que se puedan vaciar por sí solas. (College of Natural Resources NC State University, 2009)

Las vanes de chips soportan hasta 25 toneladas y pueden ser cargadas entre 20 y 40 minutos, dependiendo de la chipeadora utilizada. Los mercados en desarrollo pueden llevar a construir patios de almacenamiento de chips cerca de las vías del tren o puertos con la finalidad de crear más opciones para la venta de biomasa. (College of Natural Resources NC State University, 2009)

La baja densidad de los materiales provenientes de los árboles convierte al transporte de biomasa en un proceso costoso. La biomasa sin procesar no es muy densa y es posible que no cumpla con la carga máxima permitida cuando se utilizan equipos tradicionales de transporte. El alto costo del transporte limita las distancias a transportar. (Feedstock Logistics Interagency Working Group, 2010)



Existe una falta de estandarización en las formas de transporte para la biomasa comprimida. Los sistemas de transporte requieren cierta estandarización para la carga, descarga y los transportes. No hay un estándar de embalado de biomasa leñosa en Estados Unidos, haciendo más difícil encontrar camiones y alimentadores para aplicaciones específicas. (Feedstock Logistics Interagency Working Group, 2010)

Las vías dentro del bosque no están diseñadas para el transporte de la biomasa. Varias vías en los bosques de Estados Unidos, tienen curvas angostas, pendientes pronunciadas que dificultan la movilidad de las vans de chips. Esto limita el acceso de varias fuentes de residuos.

Se deben definir costos de transporte para la biomasa y desarrollar tecnologías de carga útil (payload) que permitan optimizar los sistemas de transporte. Es necesario motivar investigaciones que determinen el impacto del aumento de la carga útil regulada en los costos de transporte.

Una opción que podría mejorar la logística de transporte de biomasa consiste en desarrollar sistemas de transporte en dos etapas. Transportes intermodales, recarga de chips y carga dispuesta para conteiner son desarrollos posibles que pueden aumentar las distancias económicas de transporte para plantas grandes. (Feedstock Logistics Interagency Working Group, 2010)

#### IV.2 Procesamiento

Esta etapa hace referencia a los procesos por los que puede pasar la madera antes, después o entre tramos de transporte, con la finalidad de facilitar el manejo de la misma. Los pre-procesos dentro del bosque no son muy efectivos en lo que se refiere a las especificaciones de la materia prima, a diferencia de las operaciones en plantas estacionarias. La densificación de la biomasa leñosa empleando pre-procesos en el bosque, puede aumentar la eficiencia del transporte pero generalmente implican mayor consumo de energía y poca calidad de materia prima (Feedstock Logistics Interagency Working Group, 2010).



La falta de coordinación entre los sistemas de cosecha y pre-proceso conlleva a una baja utilización de los equipos y a la vez a un aumento del costo. Los sistemas de cosecha son generalmente menos productivos (en toneladas por hora) que las chipeadoras y trituradores, esto lleva a una baja utilización de la capacidad de los equipos y un aumento en los costos. (Feedstock Logistics Interagency Working Group, 2010)

En la actualidad se están desarrollando sistemas para la entrega de biomasa a la calidad y tamaño deseado. Más maquinaria eficiente en términos energéticos con un mejor control de la calidad de la materia prima se requiere para reducir los costos y permitir nuevos procesos de conversión. La separación de la corteza del árbol es un requerimiento crítico para la preparación de la materia prima, mientas que el preproceso de la madera es esencial para facilitar transportes más eficientes en términos energéticos.

Se deben desarrollar tecnologías que permitan gestionar la humedad de la biomasa. Esto incluye procesos de secado en el campo o secado forzado. El contenido de humedad es una variable crítica del proceso de conversión que afecta el costo desde el momento que el material es cosechado hasta convertirlo en un producto de valor agregado.

También se deben desarrollar tecnologías de conversión móviles para empezar los procesos más cerca del bosque. Esto incluye conversiones como líquidos, densificación y otros métodos de separación que reduzcan los costos de transporte (Feedstock Logistics Interagency Working Group, 2010).

Algunas plantas que producen etanol optan por comprar chips sucios. Estos son chips o materiales de suelo con la corteza y ramas incluidas. Los taladores que venden a este mercado compran chipeadoras y vans de chips para procesar la copa de los árboles, ramas y árboles pequeños. Algunas máquinas que se emplean para la conversión a chips tienen la habilidad de remover las pequeñas ramas y materiales pequeños para mantener los nutrientes. El bajo precio de los chips sucios se debe al



hecho de que es un material de menor valor de cosecha (College of Natural Resources NC State University, 2009).

Las plantas de pellets y ciertas plantas de combustibles líquidos requieren de chips limpias (chips sin corteza o ramas) Estas plantas compiten con las plantas de celulosa (pulpa) y tableros de virutas orientadas. Algunas de estas plantas tienen sus propias operaciones de descortezado y chipeado para alcanzar las especificaciones de la materia prima. Para estas plantas, los taladores entregan los troncos. Otras plantas de chips limpias solo compran chips procesados. Para vender a estas plantas, los taladores emplean maquinarias para descortezar y convertir en chips, aumentando el costo de las operaciones. A medida que se desarrollan las plantas de chips limpias, el aumento de la demanda para materiales de diámetros pequeños justificara los equipos extra. (College of Natural Resources NC State University, 2009)

### IV.3. Sistemas de Transporte.

Para el caso del T.E.G. se tomarán en cuentra tres configuraciones para desarrollar los distintos modelos de transporte. Estas configuraciones implican transporte de troncos directamente del bosque hacia la planta procesadora, la aplicación de procesamiento dentro del bosque y la utilización de centros satélite. En las figuras 1, 2 y 3 se muestra el diagrama para cada una de las configuraciones. A continuacion se explicarán los principios básicos de cada una de las configuraciones a desarrollar.

# IV.3.1Transporte de troncos directo desde el bosque.

Es la configuración más común y simple empleada no solo para el manejo de madera con la finalidad de producir combustible, sino para casi todos los productos provenientes del bosque. Los troncos ya cosechados son acumulados en cierta zona para ser cargada a un camion por medio de un brazo mecánico.

La principal ventaja de esta configuración es que permite maximizar la cantidad de material a transportar, ya que los troncos ofrecen una densidad del



cargamento mucho mayor a la densidad del cargamento de chips, o residuos forestales.

La desventaja que presenta este sistema es la dificultad que conlleva el menejo de troncos de tamaño considerable al momento de descargar y trasladar dentro de las intalaciones de la planta procesadora de pellets.



Figura 1. Transporte de Troncos directo desde el bosque.

Elaboración propia

## IV.3.2 Procesos dentro del bosque

El método de cosecha utilizado para producir chips dentro del bosque requiere en primera instancia clasificar el tipo de madera a ser utilizada para identificar la cantidad de árboles a ser procesados. Una segunda fase comienza con las operaciones de desramado, descortezado y chipeado, Las chips producidas en el bosque son enviadas a las plantas por medio de camiones.

La principal ventaja de chipear dentro del bosque(Favreau, 1992) es que el costo de transportar chips con camión con contenedor es menor al costo de transportar troncos en un camión con tráiler de varios ejes, sin tener en cuenta la distancia. Además, el chipeado dentro del bosque es más productivo que el uso de centros satélite para troncos de diámetro pequeño, debido a que las máquinas de desramado, descortezado y chipeado son capaces de procesar varios árboles de diámetro pequeño simultáneamente.

Sin embargo, el chipeado dentro del bosque tiene sus desventajas. Primero que nada, en ciertas regiones de cosecha, el costo de construir y mantener las vías es bastante elevado, lo que dificulta cualquier modificación para que la máquina de desramado, descortezado y chipeado pueda pasar. Segundo, cosechar pequeñas áreas



con pocos árboles significa que la máquina debe ser movida de manera frecuente, lo cual podría incrementar los costos significativamente. Finalmente, algunas plantas pueden rehusarse a producir chips dentro del bosque, justificando una calidad insatisfactoria. Esta baja calidad se debe principalmente a la baja eficiencia de las tecnologías de descortezado usadas en equipos portátiles, comparado con la tecnología utilizada en los equipos estacionarios utilizados en los centros satélites.(Chan, Jean-Francois, & Gilbert, 2008)



Figura 2. Proceso dentro del bosque

Elaboración Propia.

#### IV.3.3 Centros Satélite.

Los centros satélites son instalaciones aisladas que convierte la madera en chips. Un centro moderno pueden emplear entre 5-10 empleados, comprar entre 40 y 50 cargamentos de madera al día, y producir alrededor de 4.000 y 5000 US toneladas de chips a la semana. (Virginia Forest Landowner Update, 2000).

La escasez localizada y la tendencia de cosechar troncos más pequeños han convertido la implementación de centros satélite en una opción más atractiva. Un Centro Satélite tiene la maquinaria necesaria para producir chip (descortezar y chipear), pero con tamaños menores y en ocasiones de tipo portátil. Lograr un contenido de corteza entre 0.5- 1.0 % es un objetivo posible en la mayoría de los coníferos a una alta tasa de productividad. Estas unidades se encuentran generalmente localizadas en centros de colección cercanos al bosque donde los troncos y árboles pequeños pueden ser transportados pocas millas, pero las chips pueden ser transportadas cientos de millas de manera económica.(Fuller)

Las operaciones del centro satélite son bastante simples. Una vez el sector a cosechar se ha asignado a un centro satélite, los contratistas realizan la tala, selección,



desplazamiento y desramado. Los troncos son transportados en un camión con tráiler de varios ejes para luego ser agrupados y almacenado por tipo de madera en la zona de almacenamiento del centro.

Cuando la planta necesita chips de madera de cierto tipo de madera, llama al contratista y chipea la cantidad de madera necesaria para satisfacer la demanda. Para que esa demanda de chips pueda ser alcanzada, una o más líneas de producción se mantienen disponibles, permitiendo la producción de chips de alta calidad en poco tiempo. Estas líneas incluyen un cargador estacionario a la entrada, una o más cintas transportadoras, un triturador de residuos, uno o más descortezadores, y una chipeadora. Las chips de maderas son posteriormente cargadas a un camión con contenedor y transportado a la planta procesadora.

Son numerosas las ventajas de preparar un centro satélite (Favreau 1992). Primero, en caso de que la planta presente un aumento no esperado de la demanda, el tiempo promedio para suministrar chip hasta la planta se ve considerablemente reducido, dado que el inventario de troncos ya se encuentra en el centro satélite. Esta rápida disponibilidad le permite a la planta reducir la amplitud de las consecuencias negativas de un desabastecimiento de chips, dado que la situación puede ser rápidamente solucionada. La producción de la planta también está protegida hasta cierto grado de los inconvenientes causados por los incendios en el bosque, sequías y fuertes lluvias. Instalando centros satélites también se permite la regularidad del suministro de chips proveyendo mayor seguridad, debido a que el transporte entre los centros satélite y la planta procesadora de pellets no se ve afectado, o levemente afectado, por la reducción de cargamentos durante un eventual periodo de inconveniente en el bosque. Esto permitiría una reducción en los costos de transporte, comparado con las operaciones dentro del bosque.

Otra ventaja de los centros satélites es que existen menos máquinas de cosecha que requieren ser transportadas para ejecutar la cosecha, dado que en la mayoría de los casos los contratistas no necesitan mover rápidamente sus equipos de un sector de tala a otro cuando la planta requiera un tipo de madera específico en un



sector distinto. Es evidente que, con los centros satélites y el almacén de troncos en la planta, los contratistas ahora pueden completar la cosecha en un sector antes de tener que moverse hasta otro sector. Esto permite planificar los movimientos en el bosque con mayor eficiencia, reduciendo el número de viajes y al mismo tiempo el costo de producción de chips. Adicionalmente, la reducción en el número de traslados de los equipos de cosecha conlleva a una reducción en el número y el tamaño de carril producido en las vías del transporte de troncos.

Como las líneas de producción son estacionarias, el manejo y traslado de los equipos de chipeado es prácticamente eliminado. El hecho de que las cintas trasportadoras permitan un mejor alineamiento de los troncos cuando estos son introducidos a la chipeadora también reduce el riesgo de averías en los equipos. Similarmente, es más fácil organizar y respetar los períodos para el mantenimiento preventivo, ya que el inventario de troncos se encuentra en el centro. Por ejemplo, si la planta hace un pedido de chips durante el periodo de mantenimiento planificado del equipo de tala, este mantenimiento todavía puede llevarse a cabo dado que este equipo no es necesario para satisfacer la demanda, ya que el inventario de troncos se encuentra disponible. Para ir más allá, si un equipo sufre una avería, el tiempo requerido para repararlo se ve significativamente reducido dado que todas las herramientas se encuentran disponibles en el centro. Otra ventaja de utilizar centros satélites es la obtención de una mayor calidad de chips de madera como consecuencia de un mejor control de calidad.

A pesar de esta larga lista de ventajas asociadas a los centros satélites, aún existen ciertas desventajas. Primero, los contratistas deben lidiar con las regulaciones gubernamentales para el almacenamiento de los residuos de madera. En las operaciones dentro del bosque, los residuos son distribuidos a lo largo del área de tala, pero en el centro satélite, están concentrados en una sola área y debe ser tratada por los contratistas. Sin embargo, dadas las grandes porciones de residuos provenientes no solo de la corteza de los troncos, sino también de las fibras perdidas durante las actividades productivas, una posible solución al problema de los residuos



podría ser utilizar los residuos para generar energía para una parte de las operaciones del centro. Una segunda desventaja son las operaciones adicionales de carga y descarga que son añadidas a las actividades de suministro, debido al transporte de troncos desde el sector de cosecha hasta el centro satélite. (Chan, Cordeau, & Gilbert, Locating Satellite Yards in Forestry Operations, 2009)

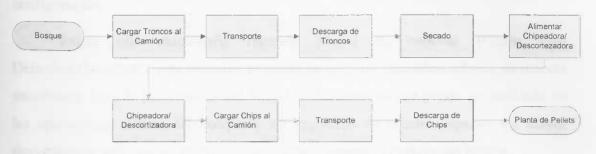


Figura 3. Centros Satélite

Elaboración Propia

# IV.4 Procesos Asociados al Sistema de Transporte

En cada uno de los sistemas mencionados se presentan procesos empleados según la configuración deseada. Dentro de dichos procesos encontramos el descortezado, chipeado, transporte de chips y troncos, así como carga y descarga según el material manejado. A continuación se describen cada uno de los procesos a incluir en los modelos a diseñar.

# IV.4.1 Alimentar Descortezadora/Chipeadora

Para alimentar el sistema de descortezado y chipeado es necesario emplear un brazo mecánico con garra que permita cargar los árboles almacenados alrededor de la máquina. Es importante que la maquinaria a emplear permita alimentar al sistema de descortezado y chipeado de madera continua, minimizando cualquier tipo de parada innecesaria.



## IV.4.2 Descortezar y chipear

En la zona de cosecha, los árboles son descortezados con un procesador de cadena de impactos, para entonces pasar por la chipeadora de disco. En la mayoría de los casos el procesador de cadenas y la chipeadora son combinados en una misma configuración.

Existe una maquinaria llamada Mayal de cadenas (Chain Flail Delimber/Debarkers), esta máquina es capaz de manejar pequeños árboles de manera simultánea. Una de las ventajas del Mayal de Cadenas es que puede ser utilizado en las operaciones dentro del bosque y no requieren de mucho espacio. La mayor desventaja de este equipo es la ineficiencia para separar la corteza del tronco.

Numerosos estudios han investigado las ratas de producción del mayal, así como la calidad de los chips, incluyendo el contenido de corteza. Una de las limitaciones de productividad del mayal de cadenas es el volumen de residuos (ramas, hojas y corteza) que deben ser separados del tronco y manejado especialmente durante los meses de verano cuando se presenta el follaje fresco(Hartsough, Spinelli, & Pottle, 2002).

El máximo contenido de corteza aceptado por las plantas que trabajan con chips de madera es de 1 porciento. Estudios anteriores han demostrado que el 1 por ciento en contenido de corteza puede ser mantenido en sistemas de descortezado de mayal(Watson, A., & J.B., 1993).

Los descortezadores de tambor son utilizados principalmente para descortezar, pero ciertas compañías las utilizan para desramar y descortezar coníferos. Los tambores son grandes, así que la mayoría son instalados permanentemente en centrales de procesamiento o en los aserraderos, aunque existen algunos modelos portátiles. Los residuos del tambor son almacenados y utilizados como combustible.

El mayal es generalmente apareado con el proceso de chipeado, permitiendo que la madera producida del derramado/descortezado sea alimentada directamente hacia la chipeadora. Recientemente las empresas que manufacturan estos equipos han



producido máquinas que realizan el desramado, descortezado y el chipeado; combinando el mayal con una chipeadora de discos en una sola máquina, eliminando la necesidad de un segundo operador y máquina.

Otro tipo de equipo utilizado para descortezar es el descortezador de anillo, el cual proporciona la mayor eficiencia energética entre todos los métodos de descortezado, debido a que utilizan cuchillas en vez de impactos para remover la corteza, minimizando además el daño al tronco. Normalmente se encuentran en centros permanentes por su tamaño y las cadenas transportadoras que requieren. A pesar de que las combinaciones desramado/descortezado de anillo han sido desarrollados, son considerado más costosos y no son utilizados en la actualidad. La principal desventaja del descortezado por anillo es que solo se puede procesar un árbol a la vez (Hartsough & Yomogida, Compilation of State-of-the-Art Mechanization Technologies for Short-Rotation Woody Crop Production, 1996).

Las chipeadoras se pueden clasificar por tipo, lo cual indica la forma como los cuchillos se encuentras montados (disco o tambor), tamaño, y fuente de poder (motor eléctrico o motor de combustión interna). Esencialmente cualquier tipo de estas máquinas puede producir material aceptable directamente a los mercados de biocombustible. Sin embargo, el chip ideal para generar energía está sujeto a una pequeña tolerancia en cuanto al tamaño del mismo, y las chipeadoras de disco más grandes son generalmente consideradas como las procesadoras de mayor calidad. Las cuchillas y el yunque en una chipeadora de disco pueden ser ajustadas para controlar el grosor de las chips, y las chipeadoras más grandes con mayor inercia pueden trabajar a velocidades uniformes.

Las chipeadoras instaladas en los centros son propulsadas por motores sincronizados y giran a velocidades constantes. Las cuchillas de las chipeadoras instaladas en los centros son probablemente menos susceptibles a daños de rocas y pueden ser reemplazadas en intervalos de tiempos más uniformes. Todos estos factores resultan en mejores chips procesadas por chipeadoras de discos grandes que de pequeñas chipeadoras portátiles, entonces, desde el punto de vista de la calidad de



las chips, sería óptimo si los árboles fuesen transportados a una central satélite o a un aserradero para ser procesados. Un gran porcentaje de madera de pulpa es manejado de esta manera, pero el remanente es chipeado en el bosque después de desramar y descortezar.

Las chipeadoras de tambor pueden procesar material de mayor tamaño y de menor uniformidad que las de disco de tamaño equivalente. Las cuchillas en las de tambor son menos susceptibles a ser afectadas por rocas y tierra, y pueden ser afiladas varias veces sin necesidad de remover las cuchillas, entonces las de tambor son comúnmente utilizadas con la finalidad de producir biomasa para ser utilizada como combustible.



Figura 4. Descortezadora/Chipeadora.

Fuente: PETERSON, 11

### IV.4.3 Secado

Existen ciertos problemas asociados con el alto contenido de humedad en materiales madereros utilizados como combustible, incluyendo: reducción del valor del combustible, degradación, congelamiento, mala administración del manejo y transporte de madera; y bajos valores de venta en el mercado. Para que la madera



pueda ser considerada como un combustible factible, estos problemas deben ser resueltos (Smith & Riley, 1985). Los beneficios de secar la biomasa leñosa son evidentes, pero los factores monetarios requieren de mayor desarrollo y fundamentos para la implementación de métodos alternativos. Existe una extensa variedad de métodos de secado: desde la más simple, como lo es el secado por transpiración para elaborar, altas temperatura sin llegar a la combustión(Stokes, McDonald, & Kelley). Este método de secado será evaluado en los modelos a desarrollar en el T.E.G.

De igual forma existen distintos métodos más complejos que conllevan a un mayor consumo de energía, pero que también proponen una reducción en los tiempos de secado, así como permiten obtener el contenido de humedad deseado en la madera. Por ejemplo, el secado de Chips de Madera es un proceso con alto consumo de energía y niveles de emisión para la producción de materiales provenientes de la madera. En todo el proceso productivo, aproximadamente el 66% de la energía total usada para productos madereros es requerida con el propósito de secar. (Gruber, 2001)

# IV.4.4 Transporte de Madera

El transporte de productos forestales es normalmente manejado por camiones. Varios tipos son usados dependiendo del tipo de material transportado y en el tipo de equipo con que se encuentran en el bosque así como en los centros satélites; el tipo de camión a utilizar también depende de los vehículos disponibles en cierta región. Pottie (1986) clasificó a los camiones en tres categorías: plataformas cerradas, plataformas abiertas y plataformas con contenedores. La figura 5 muestra varios tipos de vehículos para el transporte. Los tipos de plataforma cerrada y de contenedor se ajustan bien al transporte de pequeñas piezas de madera suelta, así como chips y trozos de madera no comerciables. Los camiones de plataformas cerradas (vans de chips) están mejor acondicionadas para transportar chip, dado que pueden transportar cargas más grandes. Las de plataforma abierta son usadas para transportar piezas más grandes de madera tales como árboles o trozos grandes de troncos.



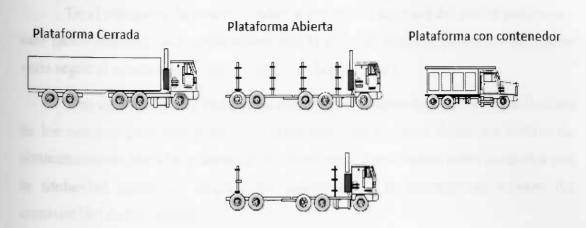


Figura 5. Tipos de Transporte de Madera

Fuente: Hartsough & Yomogida, 1996

Cada una de las configuraciones anteriores puede ser considerada con diferentes arreglos de ejes para el camión y el tráiler. Actualmente, varios estados permiten un peso máximo de 80.000 lbs para un camión de 5 ejes. Esto corresponde a una carga total de 25 toneladas (US). En algunos estados, se permiten cargas muchos más grandes.

Para el transporte de chips de madera, otra consideración es el volumen máximo que el contenedor puede soportar. La carga máxima de un tráiler es determinado ya sea por el peso o por el volumen. Generalmente, para el transporte de chips de madera, el peso es el factor limitante. Si el peso permitido es superado antes que el volumen, entonces la única forma de transportar más biomasa en el mismo cargamento es disminuir el peso de aquellos elementos que no sean biomasa. Esto solo puede realizarse ya sea removiendo la humedad o reduciendo el peso del camión o tráiler.

La eficiencia del embalaje es menor con árboles desramados provenientes de plantaciones con lento crecimiento, el peso máximo es por lo general alcanzado antes que el volumen máximo. Por otro lado, la eficiencia de la carga aumenta cuando se transporta en forma de chip, generando un menor costo de transporte.



En el transporte de troncos o árboles enteros, la longitud del tráiler pudiese ser otro factor limitante. Así como ocurre con el peso, la longitud permitida del tráiler varía según el estado (Hartsough, Spinelli, & Pottle, 2002).

Uno de los mayores factores de costo en un sistema logístico es la utilización de los caminos para transportar los cargamentos de biomasa desde los centros de almacenamiento hasta las plantas de procesamiento. Estos costos están asociados con la titularidad (costo de adquirir los camiones) y la operatividad (costos del combustible) de los camiones.

La planificación de transporte es hecha en una serie de pasos y se encuentra dividida en planificación estratégica y planificación táctica operacional. Dichas planificaciones de transporte de troncos son utilizadas desde el área de cosecha o terminales (puntos de suministro) hasta industrias tales como plantas de papel, plantas de pulpa, aserradero, plantas de calefacción, y terminales (puntos de demanda). Las decisiones a nivel estratégico están generalmente influenciadas por la cosecha y consideraciones para la construcción o mantenimiento de las vías, esto implica un período de varios años, mientras que las decisiones tácticas generalmente abarcan una planificación de una semana hasta un año.

Con base anual, el transporte es integrado con el calendario de cosecha. La planificación táctica también es utilizada como base para distribuir áreas a adquirir o subcontratar organizaciones de transporte. Un problema que usualmente toma entre una semana y un mes, es decidir el destino de los troncos, esto quiere decir, cuál punto de suministro debe entregar a cuál punto de demanda. Esto es utilizado posteriormente para definir las órdenes de transporte a los transportistas. El problema operacional consiste en decidir las rutas diarias detalladas para camiones individuales.

Gran parte de los problemas que elevan los costos de transporte están relacionados con la planificación de las rutas y la red de retorno (Backhauling). La planificación de la red de retorno consiste en encontrar dos flujos directos entre el suministro y la demanda (donde el camión viaja cargado en una dirección y vacío de



regreso) y combinarlos en una ruta donde el viaje de regreso (vacío) sea reducido(Andersson, Flisberg, Lidén, & Mikael, 2008).

## IV.4.5 Descarga de Chips.

Los Chips de Madera pueden ser entregadas de diferentes maneras (la capacidad de entrega es indicada en volumen de chips suelto):

- 1. Combinación tractor/tráiler (40-45 metros cúbicos)
- 2. Camión con volquete: (40-60 metros cúbicos)
- 3. Camión con container sobre sí mismo y otro container sobre el tráiler ( 40 metros cúbicos cada conteiner, 80 metros cúbicos en total)
- 4. Camión de piso desplazable (80-100 metros cúbicos)



Figura 6. Camión con Contenedor entregando chips en el pit de recepción.

Fuente: Kofman, 2007

Usualmente la entrega de Chips es hecha volcando las mismas desde el camión hasta un pit de recepción o simplemente sobre el suelo. En algunos casos excepcionales los chips pueden ser sopladas hacia un silo, pero esta es un opción más costosa.



La planificación para colocar las pilas de chips debe realizarse considerando el tipo de vehículos esperados y la ruta de admisión. La vía que conlleva a la pila de recepción debe ser lo más recta posible, de manera que no se pierda tiempo teniendo que maniobrar alrededor de esquinas cerradas o cualquier otro obstáculo. Lo ideal es que el vehículo pueda desplazarse hacia la salida del establecimiento, o por defecto debería existir suficiente espacio para que el camión dé la vuelta hacia la salida. Otros vehículos deben ser movidos desde el área de recepción antes de la entrega.

Una buena solución para una ruta de admisión es proveer un área en forma de ''U'' como se muestra en la figura 7, donde el camión pueda entrar por el lado más alejado del pit de recepción, llegue hasta la salida y retroceda para descargar los chips en el pit.(Kofman, 2007)



Figura 7: Área En Forma de U para la descarga de Chips.

Fuente: Elaboración propia con ideas de Kofman, 2007

## IV.4.6 Descarga y Carga de troncos

Generalmente los troncos son transportados por camiones, para el caso de contar con centros pequeños se emplean cargadores frontales (front-end loaders) con capacidad para levantar entre 30.000 a 50.000 lb capaces de realizar todas las



funciones y la descarga de camiones se realiza descargando paulatinamente según la capacidad del equipo. También se pueden encontrar cargadores hidráulicos (rubbertire mounted hydraulic log loader) como se muestra en la figura 8. En centros más grandes se emplean apiladores de troncos (log stackers) con capacidad para alzar entre 80.000 y 110.000 lb para descargar y transportar toda la carga en un viaje. Este equipo reduce el tiempo de espera del camión durante la descarga en comparación con los métodos para descargar en varios viajes. Otro método incluye empujar y halar las cargas del camión (Dramm, Jackson, & Wong, 2002).

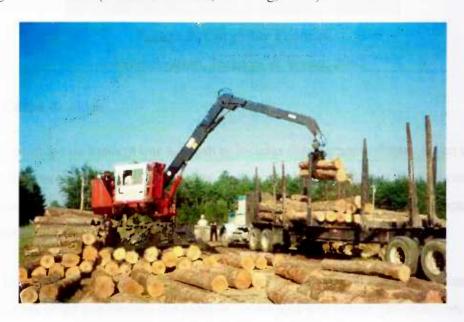


Figura 8: Cargador hidráulico.

Fuente: Dramm, Jackson, & Wong, 2002

Generalmente el manejo y transporte de los troncos ocurre entre la descarga, selección y almacenamientos mientras que es más eficiente transportar los troncos utilizando la capacidad máxima de las máquinas que mueven las cargas (figura 9). Los troncos son transportados unos pocos a la vez o de manera individual. Un centro de distribución eficiente debe emplear la máquina adecuada según el tipo, peso, tamaño y tasas de producción de los troncos procesados.





Figura 9. Cargador Frontal.

Fuente: Dramm, Jackson, & Wong, 2002

## IV.4.7 Carga de chips

Los chips de madera que no sean colocadas directamente dentro de un camión son por lo general almacenados en pilas. Para poder colocar dichos chips al camión es necesario emplear un cargador de ruedas que los recoja con su pala y los descargue en el camión.

En casos en los que el cargador de ruedas no cuenta con suficiente altura para descargar los chips por encima del camión, se emplea una rampa generalmente hecha de tierra para que cumpla con la tarea. Existen infinidad de tamaños y tipos de estos cargadores, el indicado a emplear dependerá de la rapidez con la que se necesite cargar el material.



Figura 10. Cargador de rueda recogiendo chips de madera.

Fuente: PEDERSEN GROUP, 2004



## CAPÍTULO V: IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

## V.1 Variables Operativas

Para el Trabajo Especial de Grado las variables operativas empleadas son aquellas relacionadas con el manejo, transporte y recolección de la madera, así como las características de esta.

## V.1.1 Variables Operativas de Entrada

A continuación se describen todas las variables de entrada a los procesos involucrados en los modelos de transporte a desarrollar.

## V.1.1.1 Tipo de madera

El tipo de Madera a utilizar para el estudio será el denominado "Pino Amarillo Sureño", debido a que esta madera es muy abundante en el estado de Carolina del Norte, además de ser ampliamente utilizada en las investigaciones en el Departamento de Ciencias de Papel y Madera de la Universidad Estatal de Carolina del Norte.

El término colectivo de "Pino Amarillo Sureño" (también llamados pinos sureños) incluye principalmente longleaf, short-leaf, loblolly, y slash que crece en los estados sureños desde Virginia hasta Texas. Los pinos sureños tienen rangos que se solapan en cuanto a su densidad, anchos de anillos anuales, ancho de la albura (sapwood), y otras cualidades que consecuentemente se solapan una a otra es sus usos. (United States Forest Service, 1986).

A continuación se presenta una lista con el criterio de selección de árboles según el tipo de producto deseado:



diametro (pulgadas)	forma	Productos	\$/cord
2 - 3	variable	pulpa, papel	12 19
4 - 6	recta	chips, 2x4s	54 - 74
8 - 10	recta	Tablones (lumber)	93 - 118
12	recta	contrachapado	98 - 118
6	muy recta	postes	130 - 174

Tabla 2. Característica del tipo de árbol según el producto y valor en el mercado Fuente: Dickens, Jackson, Beckwith, Moorhead, McElvany, & Clark, 2005.

Para este estudio se evaluará el transporte de pinos loblolly y por defecto pinos tipo slash por ser los que presentan mayor uniformidad en cuanto a densidad y gravedad específica en comparación con el resto de los ''pinos sureños''.

En (González, y otros, 2011) se describe al pino Loblolly (Pinus taeda) como una especie de madera suave (softwood) abundante en el sur de los Estados Unidos, cubriendo 11.7 millones de hectáreas y representando el 20% del volumen de pinos cosechados. Adicionalmente, el pino loblolly es una fuente importante para pulpa de madera. En 2002 esta especie representó aproximadamente el 73 % del volumen de madera suave (softwood) cosechada en el sur de los Estados Unidos(Johnson, Bentley, & Howell, 2003). Crece de forma natural desde el centro de florida hasta Delaware y Nueva Jersey por el norte, y hasta el este de Texas y Oklahoma por el oeste(Schultz, 1999). En Georgia, se maneja una rotación corta (10 a 12 años) de plantaciones de pino loblolly. Con una densidad de árboles entre 1502 a 1611 árboles por hectárea, se han reportado producciones de loblolly de 26.6 m³/ha/año (12.8 toneladas de madera seca por hectárea por año) para pulpa de madera(Borders & Bailey, 2001).

El pino loblolly ha sido estudiado para la producción de alcohol, y los resultados han demostrado que la producción de etanol de esta especie puede ser



económicamente competitiva, en comparación con el etanol producido de cosechas de maíz y otros materiales con alto contenido de lignina(Frederick, Lien, Courchene, DeMartini, & Iisa, 2008). Sin embargo, se necesita hacer más investigación en cuanto a mejoras en hidrólisis enzimática para asegurar un logro viable desde el punto de vista técnico económico.(Frederick, Lien, Courchene, DeMartini, & Iisa, 2008)

#### V.1.1.2 Contenido de Humedad

Varias propiedades físicas y mecánicas de la madera dependen del contenido de humedad de la madera. El contenido de humedad es usualmente expresado como un porcentaje y puede ser de la siguiente forma:

$$MC = \frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{wood}}} \left(1.00^{\circ} \text{ s}\right)$$

### Ecuación 1. Contenido de humedad en base seca.

Fuente: Forest Products Laboratory, 2010

Donde  $m_{water}$  es la masa de agua en la madera y  $m_{wood}$  es la masa a horno seco (ovendry) de madera. Operacionalmente, el contenido de humedad de un trozo de madera puede ser calculado por:

$$MC = \frac{m_{\text{wet}} - m_{\text{dry}}}{m_{\text{dry}}} (100\%)$$

# Ecuación 2. Contenido de humedad operacional.

Fuente: Forest Products Laboratory, 2010

Donde  $m_{wet}$  es la masa del espécimen a cierto contenido de humedad y  $m_{dry}$  es la masa del espécimen a secado de horno.

La madera verde (Green Wood) se define como la madera recién cortada en la cual la celda de la pared de la madera está completamente saturada con agua y el agua adicional puede encontrarse en la lumina. El contenido de humedad de la madera verde puede variar de 30 % hasta 200 %. En Maderas verdes suaves, el contenido de



humedad de la albura es generalmente mayor que en el duramen. Es maderas verdes duras, la diferencia entre el contenido de humedad en la albura y el duramen depende de la especie. (Forest Products Laboratory, 2010).

La humedad de la madera tambien puede ser calculada en base humeda, esta forma de expresar el contenido de humedad es comunmente utilizada por los especialistas en el área de los combustibles y la combustion, la mayoría ingenieros.

$$Contenido de humedad (h\'umedo) = \frac{peso de agua}{peso total de madera y agua} * 100$$

## Ecuación 3. Contenido de humedad en base húmeda.

Fuente: Koch, 1985

## V.1.1.3 Densidad y Gravedad Específica

La densidad de una sustancia  $\rho$  se define como la relación entre su masa con respecto a su volumen en el sistema internacional (SI) en unidades de kilogramos por metro cúbico (Kg/m³) en el sistema pulgada-libra (I-P) en términos de libras por pie cúbico (lb/ft³), o en el sistema centímetro-gramo-segundo (CGS) en unidades de gramos por centímetro cúbico (g/cm³). El sistema CGS es conveniente por su relación con la gravedad específica (también conocida como densidad relativa). La gravedad específica G se define como la relación de la densidad de una substancia con respecto a la densidad del agua  $\rho_w$  a una temperatura específica referenciada, normalmente 4 ° C (39 ° F), donde  $\rho_w$  es 1000 g/cm³ (1.000 Kg/m³ o 62.43 lb/ft³). Por lo tanto, un material con una densidad de 5 g/cm³ tiene una gravedad específica de 5.

A una temperatura constante, la densidad de un material que no absorbe humedad es también constante. Para materiales que absorben humedad pero no cambian su volumen, tal como las piedras, la densidad depende del contenido de humedad. Para estos materiales, la densidad puede ser calculada a cualquier contenido de humedad como la relación de la masa con respecto al volumen, y la relación entre la densidad y el contenido de humedad es lineal. La gravedad específica tiene solo una definición para estos materiales (porque el volumen es



constante): la relación de densidad de material seco con respecto a la densidad del agua.

En contraste con estos materiales, para la madera, tanto la masa como el volumen dependen del contenido de humedad. La densidad de madera seca ρ<sub>0</sub> varía significativamente entre especies. A pesar que la densidad de madera seca para la mayoría de las especies se encuentra entre 320 y 720 kg/m³ (20 y 45 lb/ft³), el rango verdaderamente se extiende desde 160 kg/m³ (10 lb/ft³) hasta 1040 kg/m³ (65 lb/ft³). Dependiendo de una especie específica, ρ<sub>0</sub> varía por sus características anatómicas tales la relación entre madera joven y madera vieja así como duramen y albura. Para un número limitado de especies, los minerales y sustancias extraíbles pueden afectar la densidad. Un coeficiente de variación de 10 % es considerado adecuado para describir la variabilidad de la densidad de madera seca entre las especies más comunes.

La madera es utilizada en un amplio rango de condiciones y por lo tanto tiene un amplio rango de contenido de humedad. La determinación de la densidad de la madera (incluyendo el agua) a un contenido de humedad dado,  $\rho_x$ , es necesaria constantemente para aplicaciones tales como estimar la estructura de las cargas o el peso de las mismas. Existen varios métodos que pueden ser utilizados para determinar  $\rho_x$ , el valor resultante debe ser considerado aproximado, debido a la variabilidad inherente en las propiedades usadas en el cálculo de  $\rho_x$ .

Tabla 3. Expresiones para la densidad y gravedad especifica de la madera.

Fuente: Forest Products Laboratory, 2010

Símbolo	En base a la masa	En base al volumen
$G_0$	Seco	seco
G <sub>b</sub> (gravedad especifica básica)	Seco	húmedo
G <sub>12</sub>	Seco	12% MC
$G_X$	Seco	%MC
$\rho_0$	Seco	seco



Símbolo	En base a la masa	En base al volumen
$\rho_{12}$	12% MC	12% MC
$\rho_{\rm x}$	X % MC	X % MC

x representa la cantidad de humedad a la que se hace referencia.

Existen varios métodos para calcular la densidad de la madera (incluyendo el agua) a cierto contenido de humedad. Para efectos de este estudio se empleará el método usando la ecuación que depende de la gravedad específica. La densidad es calculada de la siguiente manera:

$$\rho_x = \rho_w G_x (1 + x/100)$$

## Ecuación 4. Densidad de la Madera

Fuente: Forest Products Laboratory, 2010

## V.1.1.4 Densidad del cargamento

Las regulaciones de transporte en el sur de los Estados Unidos limitan el peso neto del vehículo hasta aproximadamente 36 toneladas métricas. Las limitaciones en cuanto al tamaño del tráiler varían de estado a estado, pero asumiendo un tráiler de 12.2 por 2.6 por 2.7 m con una carga permitida de 24.5 toneladas métricas (40'por 102' por 9', 27 toneladas U.S.), el material siendo transportado necesitaría una densidad de 286 kg/m³ (17.6 lb/ft³) para alcanzar el peso neto máximo legal y lograr un transporte más eficiente. Los cargamentos de árboles enteros de pulpa generalmente se encuentran bajo ese criterio, teniendo una densidad de cargamento de 500 Kg/m³, asegurando 50 % de contenido de humedad, sin embargo la especie del árbol podría lograr variaciones significativas sobre este valor. (McDonald, J., & McNeel, 1994)

La densidad de la carga depende del contenido de humedad de la madera, el Factor de Volumen Sólido (SVF por sus siglas en ingles), así como la densidad de la madera que se está transportando...



Para calcular la densidad de la carga se empleará la siguiente ecuación:

$$Densidad\ de\ Carga =\ Densidad\ de\ la\ especie * \left(1 + \frac{Contenido\ de\ Humedad}{100}\right) * \textit{SVF}$$

## Ecuación 5. Densidad de carga del transporte.

Fuente: Thompson, 2005

El SVF es un factor que varía dependiendo del tipo de material que se desee transportar.

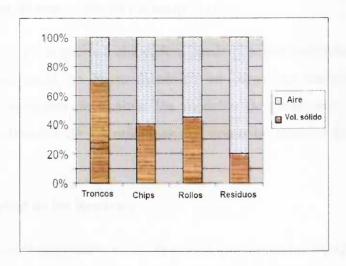


Figura 11. SVF para distintos tipos de Material.

Fuente: Rummer, Forest Operations Research

Para el caso del estudio en transcurso se considerará un SVF de 0.45 (Rummer, Forest Residues Transportation Costing Model, 2005) para el cálculo de la densidad de la carga.

#### V.1.1.5 Distancia

Las distancias que deben recorrer los camiones es un aspecto importante del estudio, porque está directamente relacionada con los costos y la energía consumida asociadas al transporte de la madera. También es un punto importante a evaluar en la



actualidad, tomando en cuenta los altos precios del combustible y el impacto ambiental derivado de la quema de combustibles fosiles.

Las distancias consideradas para el transporte de biomasa específicamente de pino loblolly descortezado es de 50 millas en promedio, como lo desarrollan en estudios realizados por (Gonzalez, Saloni, Phillips, & Wright, 2010). Para los escenarios a evaluar en los modelos de transportes a desarrollar se incluirán además distancias de 30 millas y 70 millas.

## V.1.1.6 Tiempos de operación de las maquinarias

Las ratas con las que una chipeadora puede procesar cierta cantidad de madera o el tiempo que tarda un brazo mecánico en cargar un camión, son variables importantes al momento de evaluar los modelos de transporte, ya que de ellas dependerá la utilización de las máquinas, así como la cantidad de material que se pueda procesar.

## V.1.1.7 Capacidad de los Recursos

Otra variable importante es la capacidad que tienen los equipos de carga y los transportes de manejar la madera, pues de estas variables también depende la cantidad de material a producir y la cantidad de recursos a utilizar, y esto afecta directamente los costos operativos y propiedad.

## V.1.2 Variables Operativas de salida

A continuación se describen las variables operativas de salida del modelos, las cuales seran utilizadas para su evaluacion.

#### V.1.2.1 Utilización de los recursos

La rata de producción para un sistema de cosecha conformado por varias máquinas trabajando en serie, está limitada a la menos productiva en el sistema. Existen varias formas de balancear las capacidades individuales de la maquinaria en



el sistema para hacerlo más eficiente. Una forma es aumentar la productividad o aumentar las horas de trabajo de la máquina con la menor tasa de producción. Otra opción es emplear varias máquinas en vez de una.

#### V.1.2.1 Cantidad de Madera Producida

Una de las formas de evaluar los modelos es por la cantidad de material seco que sale de cada configuración. Es importante que la forma de medir la cantidad de madera entregada a la planta sea en unidades de masa seca, ya que de este de esta depende el precio de compra y el cálculo de la cantidad de energía contenida.

#### V.2 Variables financieras

Matthews (Matthews, 1942) en su libro de texto clásico, Cost control in the logging industry, describía un método de análisis de costo llamado 'tarifa de maquina'. Con algunas modificaciones, este método de cálculos de costos de máquina es todavía extensamente usado hoy en día. En general, este método calcula el tiempo de vida de una máquina costo promedio por hora. Ambos, los costos modificados de la propiedad y los costos variables de operación están incluidos en esta fórmula.

Como cualquier método de estimación de costos, la calidad de los resultados depende de la calidad de la información utilizada para obtenerlos. Un sistema para clasificar la precisión de la estimación de costos fue propuesto por (Jarack, 1965).

Los costos pueden ser expresados sobre cualquier unidad de tiempo (segundos, horas, años) siempre y cuando los resultados tengan un significado para el usuario. Las tarifas de máquinas son comúnmente expresadas por hora productiva de la máquina (PMH) u hora programada de la máquina (SMH). El tiempo programado es el tiempo en el cual dicho equipamiento está programado para realizar trabajo productivo. El tiempo productivo es parte del tiempo programado durante el cual una máquina está realizando una función programada. La suma de tiempo productivo y



retraso no-productivo equivale al tiempo programado de operación. La proporción del tiempo productivo con el tiempo programado para una máquina es conocido como la tarifa de utilización de una máquina.

Para los costos presentados en este documento(Brinker, Kinard, B., & B., 2002), 2000 horas programadas de máquinas por año fueron asumidas por todas las máquinas. Las tarifas de utilización serán obtenidas de los modelos de transporte a desarrollar.

El procedimiento actual para el cálculo de tarifa de máquina (hoja de trabajo de tarifa de máquina, tabla 4). Los costos fueron determinados por poseer y operar la máquina.

## V.2.1 Costos de propiedad.

Los costos de propiedad, también conocidos como costos fijos o generales, son aquellos costos que pueden ser predichos y precisos con la longitud de propiedad (Matthews, 1942). Estos costos no dependen de las condiciones o técnicas de operación. En cambio, estos ocurren constantemente, incluso si la máquina está almacenada por una temporada. Mientras que los costos de propiedad pueden ser predichos, estos pueden ser solo controlados parcialmente por el encargado de la cosecha una vez que la máquina es adquirida. Los componentes de los costos de propiedad son tradicionalmente definidos como depreciación, intereses, seguro, e impuestos.

## V.2.1.1 Depreciación

El costo fijo conocido como depreciación es un intento de cuantificar la "pérdida de valor de la máquina debido al desgaste, insolencia y desgaste" (Warren, 1977). Esta pérdida en valor no es un costo "fuera-del-bolsillo" en el sentido de que un pago en efectivo es realizado. Más bien es la pérdida en valor "asociada con la producción de una unidad de salida" (Stuart, 1977). Los costos de depreciación



pueden ser expresados por unidad de tiempo o unidad de producto producido. La unidad de producto basada en depreciación es utilizada para determinar el precio de un producto. En cálculos de tarifas de máquinas del bosque, la depreciación es calculada usualmente por SMH o PMH unidades de tiempo.

El método utilizado para calcular los costos de depreciación de una máquina deben verse reflejados en la empresa, según el desempeño de la máquina (ej.: su capacidad de producir un producto) durante su vida útil en lugar de un método de depreciación acelerada para proporcionar los primeros beneficios de impuestos. Si se espera que una máquina funcione al mismo nivel cada año, la depreciación en línea recta debería ser usada para reflejar un uso uniforme de la productividad de la máquina. Para (Brinker, Kinard, B., & B., 2002) el método de línea recta es el más apropiado, porque todas las máquinas obtendrían un alto mantenimiento y la productividad anual sería constante.

La información requerida para realizar los cálculos de costos de depreciación es costo de compra, vida útil, y valor de salvamento.

#### V.2.1.2 Costo de intereses

Es definido como el monto de la renta cargado por el prestamista por el uso de dinero(Thuesen, F., W., & G.J., 1977). Los gastos por intereses están incluidos en los costos de la máquina para evitar comparaciones poco realistas entre máquinas con costos iniciales muy diferentes. Para compras financiadas, los costos de intereses toman forma de cargos financieros. En compras directas son cargados al monto que los fondos hubieran ganado si estos habrían invertido en otra parte, como en bonos o en una cuenta de ahorros.

La tarifa de interés es utilizada para determinar el costo de interés en el cálculo de la tarifa de máquina. Esta tarifa debe igualar la tarifa cargada por la institución prestamista por compras prestadas, o una inversión alternativa de una



empresa por compras en efectivo. Para los cálculos propuestos en(Brinker, Kinard, B., & B., 2002), se tomó una tarifa de interés del 10 por ciento, la tarifa porcentual anual (APR) fue utilizada. Este valor fue determinado mediante una encuesta de tarifas actuales cargadas por distribuidores de equipamiento o instituciones prestamistas. Una vez que la tarifa de interés ha sido determinada, es cargada al monto promedio de inversión anual (AYI) por la máquina. Este AYI también es referido en la literatura como "valor promedio para inversión anual" (AVI) (buscar) y "promedio de inversión anual" (AAI) (Miyata, 1980). El AYI es un valor que representa el promedio de costo de inversión de una máquina. La fórmula para calcular AYI puede ser encontrada en la hoja de trabajo de costos de máquina, tabla 4.

## V.2.1.3 Costo de seguro

Los costos de responsabilidad y cobertura del seguro varían dependiendo de la locación y tamaño de una operación de madera. Generalmente, a mayor cantidad de equipo que es asegurado, menor es el costo Premium por máquina. En(Brinker, Kinard, B., & B., 2002), el costo anual de seguro se estimó en un porcentaje del precio de compra así como en Werblow y Cubbage (Cubbage, 1981)

## V.2.1.4 Costos de impuestos

Los impuestos son costos pagados al gobierno local basados en el valor de tasación de la máquina. La licencia y los honorarios por uso de la autopista son incluidos en esta categoría de costo. Debido a que el equipamiento en bosques no está usualmente sujetos a la recaudación de impuestos, no se usaron tarifas de costos en este análisis.

# V.2.2 Costos de operación

Los costos de operación, también conocidos como costos variables, ocurren únicamente por la operación de la máquina. La magnitud de estos costos es



directamente proporcional con el tiempo en que la máquina opera. Los costos de operación están sujetos más al control operativo que a los costos por propiedad. Los objetos de costos de operación consisten, en combustible, lubricación, reparación y mantenimiento, y trabajo y beneficios. Generalmente los costos de trabajo son pagados durante las horas de horario de la máquina, mientras que el resto de costos de operación son pagados una vez terminadas horas productivas de la máquina.

#### V.2.2.1 Costos de combustible

La tarifa de consumo de combustible es principalmente una función de la valoración de los caballos de fuerza de la máquina, sin embargo, también influyen el tipo de transmisión y de máquina. Para obtener el costo de combustible por hora de productividad, la tarifa de consumo de galón por hora es multiplicada por el precio del galón de combustible.

#### V.2.2.2 Costos de lubricación

Estos incluyen el costo de aceite de motor, aceite hidráulico y lubricantes. Éste es usualmente determinado como un porcentaje de los costos de combustible, debido a que los factores que determinan el consumo de combustible (caballos de fuerza, tipo de transmisión, tipo de máquina, uso de máquina) también determinan la cantidad de aceites usados. En una tarifa de 36.8 por ciento de costos de combustible usado por hora es utilizado para determinar costos de lubricante. Esta tarifa fue calculada por (Plummer & Stokes, 1983).

## V.2.2.3 Reparación y mantenimiento

Estos son los costos menos predecibles de todos los gastos de máquina. Condiciones de operación, habilidades del operador, estrategia de reparación y mantenimiento y la calidad de la máquina influyen en este costo. Esta variable incluye el costo de partes de mantenimiento preventivo y trabajo, partes de reparación y trabajo, y en nuestro caso, costos de reemplazamiento de ruedas o cintas.



Este método de tarifa de máquina calcula costos de reparación y mantenimiento por hora, como un porcentaje de depreciación promedio anual. Estos cálculos resultan en un costo promedio alrededor de la vida útil de una máquina.

### V.2.3 Variables de costos de Entrada

Para el Trabajo Especial de grado las variables de costos de entrada se dividen en dos, aquellas relacionadas con los equipos estáticos y los relacionados con el transporte.

## V.2.3.1 Datos de Equipos Estáticos

Datos de entrada	Unidades
Precio de compra (p)	\$
Caballos de fuerza de la maquina (hp)	hp
Vida de maquina (n)	años
Valor de salvamento, porcentaje de precio de compra (rv%)	%
Tarifa de utilización (ut%)	%
Reparación y mantenimiento, porcentaje de depreciación (rm%)	%
Tarifa de intereses (in%)	%
Tarifa de seguro e impuestos (it%)	%
Tarifa de consumo de combustible (fcr)	gal/hp-hr
costo de combustible (fcg)	\$/gal
Lubricante y aceite, porcentaje de costo de combustible (lo%)	%
horas programadas maquina (SMH)	hrs/año

Tabla 4. Datos de entrada para el cálculo de los costos de equipos estáticos.

Fuente: Brinker, Kinard, B., & B., 2002

Todos los datos de la tabla 3 que se requieren para calcular los costos serán extraídos del estudio de (Brinker, Kinard, B., & B., 2002) a excepción de la tarifa de utilización (ut%) que se extraerá de la variable respuesta de utilización de cada uno de los modelos a desarrollar.



Cálculos	Unidades
Valor de salvamento (s) = $(P*rv\%)$	\$
Depreciación anual $(AD) = ((P-S)/n)$	\$
Inversión promedio anual (AYI) = $((((P-S)*(n+1))/(2*n))+S)$	\$
Horas productivas de maquina (PMH) = (SMH*ut%)	hrs/año
Costos de propiedad	Unidades
Costo de intereses (IN) = $(in\%*AYI)$	\$/año
Costo de seguro e impuestos (IT) = (it%AYI)	\$/año
Costo anual de propiedad $(YF\$) = (AD+IN+IT)$	\$/año
Costo de propiedad por SMH (F $\$$ SMH) = (YF $\$$ /SMH)	\$/año
Costo de propiedad por PMH ( $F\$PMH$ ) = ( $YF\$/PMH$ )	\$/año
Costos de operación	Unidades
Costo de combustible $(F) = (hp*fcr*fcg)$	\$/hr
Costo de lubricante (1) = $(F*lo\%)$	\$/hr
Costo de reparación y mantenimiento (RM) = (AD*rm%/PMH)	\$/hr
Costo de trabajo de operador y beneficio (WB/ut%)	\$/hr
Costo de operación por PMH ( $V*PMH$ ) = ( $F+L+RM$ )	\$/hr
Costo de operación por SMH (V\$SMH) = (V\$PMH*ut%)	\$/hr

Tabla 5. Cálculos Intermedios para obtener el costo de las maquinarias empleadas.

Fuente: Brinker, Kinard, B., & B., 2002

# V.2.3.2 Datos de Transportes

Los costos de transporte serán calculados de la manera como lo hace la Asociación de leñadores Profesionales de Carolina del Norte (NCAPL) (N.C. Association of Professional Loggers, 2011), como se muestra a continuación.

Costo de Propiedad	Unidades
Camión	Unidad
Precio	\$
Vida (años)	años
Valor de Salvamento (10% =0.1, 20%=0.2)	%
Depreciación Anual, menos el costo de salvamento	\$



Tráiler	Unidad
Precio	\$
Vida (años)	años
Valor de Salvamento	\$
Depreciación Anual, menos el costo de salvamento	\$
Seguro, impuestos	\$
Costo Anual	\$
Costo Operativo	Unidades
Costo de Neumáticos	\$
Vida de Neumáticos	años
Costo Anual de aceites	\$
Reparación y Mantenimiento	\$
Equipos Adicionales y de navegación	\$
Costo operativo anual (sin sueldos ni combustible)	\$
Costo de combustible	\$/gal
Distancia por consumo de gasolina	MPG
Costo de combustible por milla	\$/milla

Tabla 6. Datos de entrada para el cálculo de los costos de transporte.

Fuente: N.C. Association of Professional Loggers, 2011

### V.2.4 Variables financieras de salida

# V.2.4.1 Costos de Equipos Estáticos

Costos totales de maquina	Unidades
costo total por SMH (T\$SMH) = (F\$SMH+V\$SMH)	\$/hr
costo total por PMH (T\$PMH) = (F\$PMH+V\$PMH)	\$/hr

Tabla 7. Costos Finales de los equipos estáticos.

Fuente: Brinker, Kinard, B., & B., 2002

Para el T.E.G., de los resultados que se obtengan para cada equipo de la tabla 6 se empleará el costo total por SMH que luego será llevado a costo anual, asumiendo 2000 horas de trabajo anual.



## V.2.4.2 Costos de Transportes.

Costo Total	Unidades
Utilización Anual del vehículo	%
costos de propiedad por hora sin costo de combustible	\$
Costo Anual sin costo de combustible	\$
Millas Recorridas	millas
Consumo de gasolina	gal
Costo total Anual por millas recorridas	\$
Costo de transporte Total Anual	\$

Tabla 8. Costos Totales

Fuente: N.C. Association of Professional Loggers, 2011

Como se puede apreciar en las tablas de costos descritas anteriormente, los costos asociados a sueldos y mano de obra no son tomados en cuenta dada la variabilidad a la que están sujetos, dependiendo de la empresa a la que se realice el estudio.

# V.3 Variables Energéticas

Para el Trabajo Especial de Grado las variables energéticas empleadas son aquellas relacionadas con la cantidad de energía que se requiere para entregar la madera a la planta, la cantidad de energía contiene la madera entregada y el balance energético.

## V.3.1 Variables Energéticas de Entrada

A continuación se describen todas las variables de entrada a los procesos involucrados en los modelos de transporte a desarrollar.



### V.3.1.1 Madera Entregada

Es necesario conocer la cantidad de madera seca entregada a la planta de pellets para calcular la energía contenida en la misma. Este dato será extraído de los modelos de transporte desarrollados.

#### V.3.1.2 Consumo de Combustible

El combustible consumido por los equipos estáticos, así como los transportes de biomasa permiten calcular la cantidad de energía consumida. Al igual que la madera producida, la cantidad de combustible consumido será extraído de los resultados de los modelos de transporte desarrollados.

### V.3.2 Variables Energéticas de Salida

A continuación se describe la variable energética de salida de los modelos, la cual será utilizada para su evaluación.

## V.3.2.1 Balance Energético

Esta variable permitirá evaluar cada uno de los modelos de transporte desarrollados, para cada uno de los escenarios planteados. Es importante cuantificarla y establecer distinción entre los arreglos posibles de los sistemas de transporte y las implicaciones que su aplicación genera.

El balance energético será obtenido a partir del conocimiento del consumo de combustible de los equipos y transportes en cada modelo, así como de la energía contenida en la madera procesada.



#### CAPITULO VI. DESARROLLO DE LOS MODELOS DE TRANSPORTES

La producción de los procesos del modelo fueron medidos en unidades de toneladas de madera. Se consideró preferible medir la producción en toneladas sobre unidades de volumen por considerar las unidades de masa más consistentes y factibles al momento de medir los tamaños de las cargas, evitando errores de medición como consecuencia de los cambios de densidad al procesar la madera. El modelo a estudiar, así como gran cantidad de sistemas en los que se maneja madera(Lambert & Howard, 1990), se encuentra limitado por el peso que los equipos o transportes puedan manejar. Otra ventaja de medir la producción de madera en toneladas es que en caso de ser necesario, el peso de madera húmeda puede ser ajustado al contenido de humedad para reflejar el peso a diferentes contenidos de humedad, como por ejemplo unidades de madera seca (bone-dry units).

Con la finalidad de Evaluar el Sistema de Transporte de biomasa leñosa se desarrollará un modelo dinámico mixto estocástico. Para tal fin es necesario que el modelo se diseñe bajo la concepción de procesos tanto continuos como discretos.

Para el desarrollo de todos los modelos se asumió un almacén infinito de troncos desramados dentro del bosque, de manera que ninguno de los modelos presentará demoras por falta de material al momento de sacarla del bosque.

En las tablas a continuación se muestran los tiempos de procesamiento, así como las capacidades para manejo de material propias de cada equipo estático y de transporte a ser empleados de distintas formas según el modelo de transporte desarrollado.



Equipo	Toneladas (US) /agarre	Min/Ciclo
Cargador de Garra (Barko 395ML) tipo Knuckleboom	Triangular (0.1589, 0.2465, 0.403)	Triangular(0.18,0.52,1.53)

Tabla 9. Características del Equipo de Carga de Troncos. .

. Elaboración propia. Fuente: Wang, 2007

Equipo	Toneladas (US)/hora
Peterson-Pacific 5000	Triangular (31.955,45,50.7)

Tabla 10. Características de la Chipeadora/Descortezadora..

Elaboración propia. Fuente: Hartsough, Spinelli, & Pottle, 2002

Equipo	min/descarga
Plataforma Kewanee	Triangular(5, 5.5, 7)

Tabla 11. Características de la plataforma de descarga de Camiones con Chips.

Elaboración propia. Fuente: Roise, 2011

Equipo	Min/recolectar	Min/transportar
Cargador de Ruedas (Cat 950G)	Triangular(.17, .23,.32)	Triangular (.17,.22,.24)

Tabla 12. Características del cargador de ruedas para recolectar y transportar.

Elaboración propia. Fuente: Sweeten & Reddel, 1979



Equipo	Min/carga al camión	Min/regresar
Cargador de Ruedas (Cat 950G)	Uniforme (0.4,0.5)	Triangular (.13,.14,.17)

Tabla 13. Características del cargador de ruedas para cargar el camión y regresar a la pila de chips.

Elaboración propia. Fuente: Sweeten & Reddel, 1979

Equipo	Toneladas (US)/recolectar
Cargador de Ruedas (Cat 950G)	Uniforme (1.01, 1.32)

Tabla 14. Características del cargador de ruedas para recolectar chips con su pala.

Elaboración Propia. Fuente: Sweeten & Reddel, 1979

Equipo	Min/Descarga
Cargador de Garra (Barko 395ML) tipo	
Knuckleboom	Triangular (10.769, 11.514, 12.259)

Tabla 15. Características del Equipo Knuckleboom para descargar troncos

Elaboración Propia. Fuente: Deckard, Newbold, & Vidrine, 2003

Equipo	m³/cargamento (100 % humedad en base seca)	m³/cargamento (64 % humedad en base seca)
2012 Stoughton z-plate (40°)	46.67	56.91

Tabla 16. Características del volumen de cada cargamento de chips según el contenido de humedad de la carga.

Elaboración propia

El volumen para llenar un tráiler de chips se muestra en la tabla 14, éste se obtuvo a partir del cálculo de la densidad la carga, ecuación 5, para satisfacer el peso máximo permitido de 25 toneladas. Es importante resaltar que para ambos casos (madera al 100% y al 64 % de humedad en base seca), el tipo de contenedor a utilizar es el mismo ya que según (Freight Agents Network) la capacidad de un contenedor de 20 pies es de 33.2 m³, mientras que para un contenedor de 40 pies la capacidad aumenta



hasta 64.7 m<sup>3</sup>. Condicionando la utilización de un contenedor de 40 pies para ambos casos.

Para el desarrollo de los diferentes modelos de transporte se tomarán en cuenta tres configuraciones posibles para transportar la madera desde la recolección de troncos dentro del bosque hasta la entrega de chip en la planta procesadora de biomasa. Dichas configuraciones implican: (1) Chipeado de troncos dentro del bosque, (2) transporte de troncos desde el bosque hasta un centro satélite para ser chipeado, (3) Transporte de troncos desde el bosque hasta la planta procesadora para ser chipeados.

## VI.1 Configuración I. Chipeado Dentro del Bosque

A continuación se explicara a través de un diagrama la lógica aplicada en el programa SIMIO

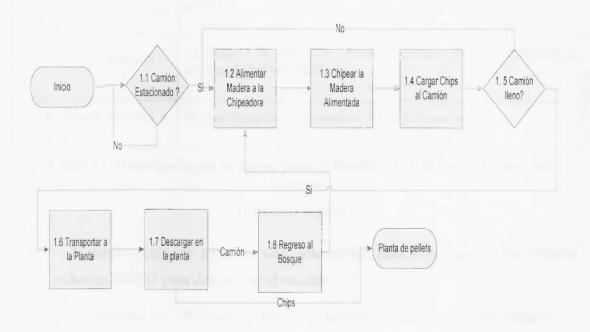


Figura 12. Diagrama de la lógica general del Modelo de Chipeado dentro del Bosque

Elaboración Propia



°N	Descripción	
1.1	Decisión en la cual se pregunta si existe algún camión disponible en el estacionamiento del bosque.	
1.2 (Proceso discreto)	Se toma material de almacén del bosque y se colocar en la entrada chipeadora.	
1.3 (Proceso continuo)	Los troncos son transformados a chips según una rata de producción.	
1.4 (Proceso continuo)	Se llena el conteiner de chip producidos.	
1.5	Decisión en la cual se pregunta si el camión ha llegado a su capacidad máxima.	
1.6 (Proceso discreto)	El camión circula por las vías designadas hasta llegar a la planta de pellets	
1.7 (Proceso discreto)	Al llegar a la planta, el contenido transportado por el camión es descargado por una plataforma.	
1.8 (Proceso discreto)	El camión regresa al bosque para ser cargado nuevamente	

Tabla 17. Descripción de la lógica para el Modelo de Chipeado dentro del bosque

Elaboración propia

A continuación se presenta una descripción más detallada de los objetos empleados en SIMIO para desarrollar el modelo.

El Proceso de Chipeado dentro del bosque se inicia con un Tanque de capacidad infinita, regido por un Level Continue-change State Variable el cual define una variable numérica que puede cambiar continuamente a través del tiempo dependiendo del valor de su rata. El State de rata es un valor discreto que puede variar en cualquier momento de la simulación.



Del tanque es removido cierto volumen de madera (100 % de humedad en base seca), representando a un cargado de garra que remueve material. Dicha carga removida del tanque es alimentado a la chipeadora, también representada por un Level Continue-Change State Variable el cual procesa el volumen de la carga según una rata de vaciado. A medida que se procesa la madera por la chipeadora/descortezadora se deposita el material al contenedor del camión, representado también por un Level Continue-Change State Variable. El proceso antes descrito se repite hasta que el contenedor del camión se llena por completo, momento en el cual sale el camión. En caso que no se encuentre ningún camión estacionado en la zona de carga del bosque los procesos de carga y chipeado se detienen.

Una vez sale el camión del bosque, viaja por las vías a cierta velocidad según la vía por la cual transita, al llegar a la planta se detiene para descargar en un Server. Cuando se ha terminado el proceso de descarga, el camión regresa al bosque, al estacionar en el lugar de carga, los procesos de carga y chipeado/descortezado vuelven a empezar..

En la tabla 9 se muestra la cantidad de material que es removido para alimentar la chipeadora/descortezadora, así como el tiempo de ciclo para agarrar material y alimentar nuevamente la chipeadora/descortezadora. La tabla 10 muestra la velocidad con la que la chipeadora/descortezadora procesa los troncos para convertirlos en chips.



## VI.2 Configuración II. Transporte a Centros Satélite.

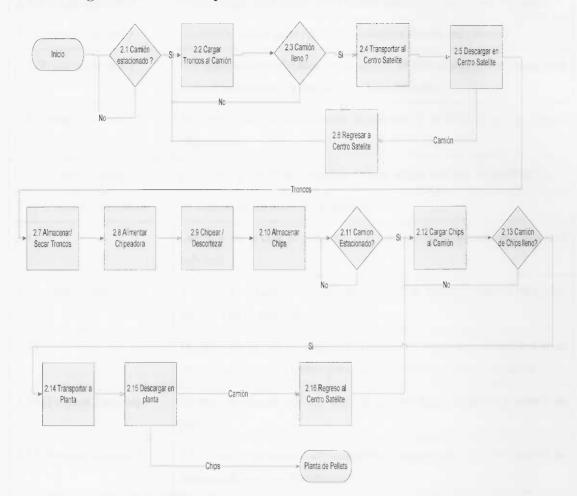


Figura 13. Diagrama de la lógica general del Modelo Centro Satélite

Elaboración propia

°N	Descripción	
2.1	Decisión en la cual se pregunta si existe algún camión disponible en el estacionamiento del bosque.	
2.2 (Proceso discreto)	Tomar material del almacén del bosque y cargar al camión.	
2.3	Decisión en la cual se pregunta si el camión ha llegado a su capacidad máxima	
2.4 (Proceso discreto)	El camión circula por las vías designadas hasta llegar al centro satélite.	



2.5 (Proceso discreto)	Se descargan los troncos en el centro satélite con un brazo mecánico	
2.6 (Proceso discreto)	El camión descargado regresa al bosque a buscar más troncos	
2.7 (Proceso discreto)	Los troncos serán dejados en el centro satélite durante 8 semanas para reducir su humedad hasta 40 % en base húmeda.	
2.8 (Proceso discreto)	Se toma material de almacén de secado y se colocar en la entrada chipeadora.	
2.9 (Proceso continuo)	Los troncos son transformados a chips según una rata de producción.	
2.10 (Proceso continuo)	Se depositan los chips en el almacén.	
2.11	Decisión en la cual se pregunta si el camión ha alcanzado su capacidad máxima	
2.12 (Proceso discreto)	Se emplea un cargador de ruedas que recoge los chips con su pala y los deposita en el conteiner del camión.	
2.13	Decisión en la cual se pregunta si existe algún camión disponible en el estacionamiento del centro para continuar con el proceso de carga	
2.14 (Proceso discreto)	El camión circula por las vías designadas hasta llegar a la planta de pellets.	
2.15 (Proceso discreto)	Al llegar a la planta, el contenido transportado por el camión es descargado por una plataforma.	
2.16 (Proceso discreto)	El camión regresa al centro satélite para ser cargado nuevamente.	

Tabla 18. Descripción de la lógica para el Modelo de Centro Satélite.

Elaboración propia

A continuación se presenta una descripción más detallada de los objetos empleados en SIMIO para desarrollar el modelo.

A la entrada del modelo, tenemos un tanque de capacidad infinita representando al almacén dentro del bosque, regido por un Level Continue-Change State, variable numérica que puede cambiar continuamente a través del tiempo dependiendo del valor de su rata. Se emplea un cargador de tipo knuckleboom el cual carga madera al tráiler. Una vez alcanzada la capacidad máxima del camión, éste sale



de la zona de carga del bosque hacia un centro satélite. El proceso de carga dentro del bosque continuará solo en el caso de tener al menos un camión estacionado para cargar, de lo contrario el proceso se detendrá.

Al llegar al centro satélite la madera es descargada por un knuckleboom y dejada en un almacén de troncos durante cierto tiempo para ser secado por el método de transpiración antes de pasar por la chipeadora. Una vez transcurrido el tiempo de secado los troncos pasan por una descortezadora/ chipeadora y son dejadas en un almacén de chips, esperando a un cargador con ruedas (Pile Loader) acondicionado con un cucharón, que las monte en el conteiner del camión que sale hacia la planta procesadora de pellets.

Similar a como sucede en las operaciones dentro del bosque, el proceso de cargar chips desde el almacén hasta el camión, se ejecuta solo en caso de estar disponible al menos un camión en el estacionamiento de salida del centro satélite.

Una vez cargado, el camión sale hacia la planta procesadora de pelletas para descargar el material, siendo empleada una plataforma de inclinación para realizar tal proceso y, al finalizar el proceso de descarga, retorna al bosque para ser cargado nuevamente.

Los equipos empleados para cargar lo troncos, chipear la madera y descargar el camión de chips se mantiene igual que en la configuración anterior. Para esta configuración se agrega el cargador de ruedas (tabla 14) y el equipo de descarga de troncos (tabla 15).



# VI.3 Configuración III. Transporte de Troncos Enteros.

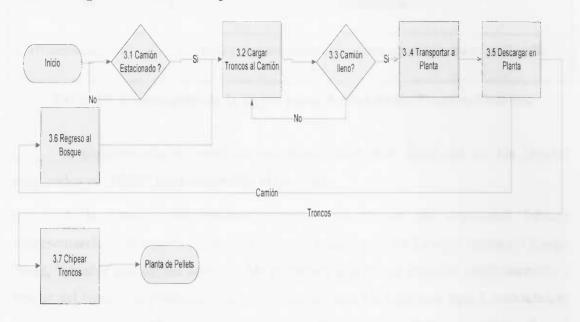


Figura 14. Diagrama de la lógica general del Modelo Troncos Enteros Elaboración propia

°N	Descripción
3.1 (Proceso discreto)	Tomar material del almacén del bosque y cargar al camión.
3.2	Decisión en la cual se pregunta si el camión ha llegado a su capacidad máxima
3.3	Decisión en la cual se pregunta si existe algún camión disponible en el estacionamiento del bosque.
3.4 (Proceso discreto)	El camión circula por las vías designadas hasta llegar a la planta
3.5 (Proceso discreto)	Al llegar a la planta, el contenido transportado por el camión es descargado por una plataforma.
3.6 (Proceso discreto)	El camión descargado regresa al bosque a buscar más troncos



°N	Descripción
3.7(Proceso continuo)	Los troncos son transformados a chips según una rata de producción.

Tabla 19. Descripción de la lógica para el Modelo de Troncos Enteros.

A continuación se presenta una descripción más detallada de los objetos empleados en SIMIO para desarrollar el modelo.

A la entrada del modelo, tenemos un tanque de capacidad infinita representando al almacén dentro del bosque, regido por un Level Continue-Change State, Variable que define una variable numérica que puede cambiar continuamente a través del tiempo dependiendo del valor de su rata. La máquina tipo Knuckleboom toma material del dicho tanque y lo carga al tráiler enganchado al camión, el cual también está representado por un tanque regido por una variable de tipo Level Continue-Change State.

Al alcanzar la capacidad máxima que puede transportar el tráiler, se activa un monitor que permite la salida del camión y le permite al cargador Knuckleboom continuar cargando solo en caso de estar presente un camión en la zona de carga del bosque.

Cada camión viaja hasta la planta procesadora de pelletas para ser descargado por un Knuckleboom y los troncos descargados pasan por una chipeadora/descortezadora. El camión regresa al bosque una vez terminada la descarga de troncos.



## CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Para evaluar el comportamiento de los distintos modelos, se desarrollarán escenarios partiendo de la variación en la distancia a la cual se debe transportar la biomasa desde que sale del bosque hasta que llega a la planta procesadora. Las distancias a ser evaluadas son 30 millas, 50 millas y 70 millas, mientras el resto de las variables se mantendrán fijas. Los experimentos se harán mediante la utilización de la herramienta de Experiments de SIMIO buscando maximizar la cantidad de madera entregada como variable respuesta.

Con la finalidad de mantener la mayor utilización de las máquinas del modelo, se ajustaron la cantidad de camiones necesarios para cumplir con dicha condición. El número de camiones asignados para cada modelo y escenario se muestran en la tabla 20.

Modelo/Tramo	30 millas	50 millas	70 millas
Chipear en Bosque	3	4	5
Centro Satélite Tramo I	2	3	3
Centro Satélite Tramo II	2	2	3
Transportar Troncos	3	5	6

Tabla 20. Cantidad de Camiones Asignados dependiendo de la cantidad de millas a recorrer.

Elaboración propia

#### VII.1 Resultados

## VII.1.2 Resultados Operativos

Escenario	Modelo	Madera Seca (U.S. ton.)
	Troncos Enteros	35708.75
30 millas Chipeado dentro del Bosque		34468.75
Centro S	Centro Satélite	40950.83
	Troncos Enteros	35125.00
50 millas	Chipeado dentro del Bosque	34477.50



Escenario	Modelo	Madera Seca (U.S. ton.)	
	Centro Satélite	40938.63	
	Troncos Enteros	34148.75	
70 millas	Chipeado dentro del Bosque	34471.25	
	Centro Satélite	40924.90	

Tabla 21. Producción Anual de Madera Seca.

Fuente: Elaboración Propia

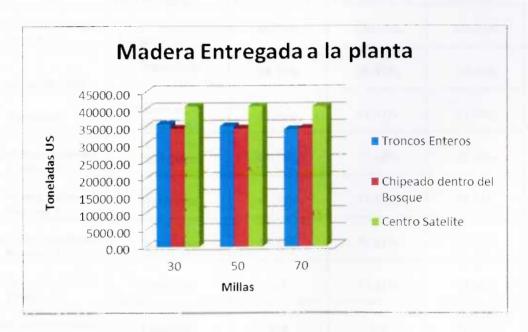


Figura 15. Comparación de la madera producida en cada modelo de transporte para los escenarios planteados.

En la tabla 21, así como en la figura 15 se puede observar que la cantidad de material anual entregado a la planta de pellets varía dependiendo del modelo empleado aumentando desde una valor cercano a las 34.500 toneladas para el chipeado dentro del Bosque, 35.000 toneladas para el chipeado dentro del bosque y 40.000 toneladas para el modelo que implica el Centro Satélite. El aumento en entrega de madera seca para el modelo del Centro Satélite se debe al proceso de secado por transpiración que se lleva a cabo en el mismo, permitiendo así la perdida de humedad y aumentando la cantidad de madera seca (útil) que se transporta a la planta.



A pesar que el modelo de Centro Satélite presenta una mayor cantidad de madera entregada es importante considerar que este modelo en específico requiere de una mayor cantidad de recursos para funcionar, por lo que es necesario realizar una evaluación económica y energética para conocer qué tan favorable es este modelo en comparación con los sistemas de Chipeado dentro del Bosque y Troncos Entero.

Modelo Chipeado dentro del bosque						
Escenario		30 millas	50 millas	70 millas		
Equipo	Tipo de equipo	Utilización %	Utilización %	Utilización %		
Knuckleboom (Barko 395ML)	Cargador de Garra	99.93%	100.00%	100.00%		
Peterson Pacific 5000	Chipeadora/ descortezadora	98.33%	98.47%	99.49%		
Kewanee	Plataforma de descarga	13.40%	13.41%	13.40%		
Camión International ProStar 1	Transporte	47.76%	51.14%	53.14%		
Camión International ProStar 2	Transporte	47.76%	51.13%	53.11%		
Camión International ProStar 3	Transporte	47.77%	51.11%	53.08%		
Camión International ProStar 4	Transporte	n/a	51.11%	53.06%		
Camión International ProStar 5	Transporte	n/a	n/a	52.96%		

Tabla 22. Utilización de equipos para los distintos escenarios del Modelo de Chipeado dentro del Bosque.

Elaboración Propia

	Modelo de	Centros Satelite		
Escenarios		30 millas	50 millas	70 millas
Equipo	Tipo de equipo	Utilización %	Utilización %	Utilización %
Kewanee	Plataforma de descarga	13.05%	13.05%	13.05%
Peterson Pacific 5000	Chipeadora/ Descortezadora	99.93%	99.92%	99.91%



	Modelo de	Centros Satelite		
Escenarios		30 millas	50 millas	70 millas
Equipo	Tipo de equipo	Utilización %	Utilización %	Utilización %
Cargador Knuckleboom (en Centro)	Cargador de troncos	99.96%	99.95%	99.95%
Cargador Knuckleboom (en Bosque)	Cargador de troncos	100.00%	100.00%	100.00%
Cat 950G	Cargador de Ruedas	51.51%	51.52%	51.52%
Descargador Knucleboom (en Centro)	Descargador de troncos	27.42%	27.42%	27.43%
Camión International ProStar 1. Tramo I	Transporte	51.62%	41.53%	48.36%
Camión International ProStar 2. Tramo I	Transporte	51.62%	41.39%	48.35%
Camión International ProStar 3. Tramo I	Transporte	n/a	41.24%	48.35%
Camión International ProStar 1. Tramo II	Transporte	34.01%	53.66%	48.86%
Camión International ProStar 2. Tramo II	Transporte	34.00%	53.59%	48.86%
Camión International ProStar 3. Tramo II	Transporte	n/a	n/a	48.83%

Tabla 23. Utilización de equipos para los distintos escenarios del Modelo de Centro Satélite.

Elaboración propia



Modelo de Troncos Enteros					
Escenarios		30 millas	50 millas	70 millas	
Equipo	Tipo de equipo	Utilización %	Utilización %	Utilización %	
Peterson Pacific 5000	Chipeadora/ Descortezadora	95.03%	95.00%	95.54%	
Cargador Knuckleboom. Barko 395ML	Cargador de troncos	99.96%	98.33%	95.54%	
Knuckleboom. Barko 395ML	Descargador de troncos	27.41%	26.96%	26.21%	
Camión International ProStar 1	Transporte	53.85%	50.05%	48.56%	
Camión International ProStar 2	Transporte	53.72%	49.03%	47.86%	
Camión International ProStar 3	Transporte	53.41%	47.19%	47.03%	
Camión International ProStar 4	Transporte	n/a	43.33%	45.65%	
Camión International ProStar 5	Transporte	n/a	32.03%	44.13%	
Camión International ProStar 6	Transporte	n/a	n/a	42.82%	

Tabla 24. Utilización de equipos para los distintos escenarios del Modelos de Troncos Enteros.

# Elaboración Propia

Se observa en las tablas 22 a 24, mostradas anteriormente, que la utilización para cada tipo de equipo estacionario se mantiene similar, independientemente del escenario planteado. Dicho comportamiento se debe a que se varió la cantidad de vehículos asignados a cada modelo dependiendo del escenario aplicado, desde el punto de vista de la utilización de los transportes, para los modelos de Troncos Enteros y Chipeado de dentro del Bosque (un solo tramo) se observa una disminución en la utilización de los mismos, a medida que se incrementa la distancia de transporte en cada uno de los escenarios, lo cual se justifica dado que a medida que se aumenta



la distancia también lo hace la cantidad de vehículos asignados, pudiendo ocasionar mayor tiempos de espera al momento de cargar y descargar la madera. Para el caso del modelo de Centro Satélite (dos tramos) la utilización de los transportes no se refleja en la distancia a recorrer, sino en la cantidad de vehículos asignados a cada tramo, esto se justifica de igual forma por los tiempos de espera que puede producir la asignación de un gran número de vehículos en cada tramo.

En las tablas 22 y 24 también se aprecia que, a pesar de ser sistemas muy similares en cuanto al número de equipos estáticos empleados, la cantidad de vehículos necesarios para mantener la continuidad de los procesos dentro del bosque es mayor para el modelo de Troncos Enteros que en el de Chipeado dentro del bosque, esto puede deberse a la rapidez con que se pueden descargar las chips empleando una plataforma de descarga en comparación al proceso de descarga de troncos en que se emplea un brazo mecánico. Dicha rapidez de ciclo en el modelo de Chipeado dentro del Bosque implica la asignación de una menor cantidad de vehículos para transportar la madera.

Otra de las ventajas que trae la determinación de la utilización de los recursos es que permite verificar el correcto comportamiento de los modelos. Se logra comprobar una mayor utilización de los recursos, mientras más cercano esté al bosque lo cual tiene coherencia, debido a que los procesos presentes dentro del bosque tienen mayor continuidad y no están sujetos a demoras. En cambio para los procesos de descarga y manejo de material fuera del bosque, se aprecia una disminución en la utilización, ya que dichos recursos deben esperar a que llegue el material para empezar el proceso.



### VII.1.2 Resultados Financieros

Concepto	Costo Escenario1 (\$)	Costo Escenario2 (\$)	Costo Escenario 3 (\$)
Carga	95,934.42	95,961.56	95,961.56
Chipeado	489,207.16	489,599.76	492,406.94
Transporte	359,952.28	486,176.90	610,680.48
Descarga	89,995.12	89,995.12	89,995.46
Costo Total	1,035,088.98	1,161,733.33	1,289,044.44

Tabla 25. Costos Anuales del Modelo Chipeado dentro del Bosque. Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 25 se observa un aumento en los costos de cada escenario a medida que aumenta la distancia de transporte, lo cual se debe a los altos costos de transporte asociados tanto a el precio del combustible como a los costos de propiedad.

Concepto	Costo Escenario1 (\$)	Costo Escenario2 (\$)	Costo Escenario 3 (\$)
Carga	95,961.56	95,961.56	95,961.56
Descarga	68,835.33	68,836.15	68,837.57
Alimentar Chipeadora	95,945.16	95,944.69	95,943.86
Chipeadora	493,612.12	493,591.97	493,571.50
Cargador de Ruedas	92,253.37	92,255.09	92,255.08
Transporte Tramo I	206,922.63	367,880.03	349,336.33
Transporte Tramo II	294,065.16	251,507.05	394,285.73
Descarga en Planta	89,940.04	89,940.05	89,940.02
Costo Total	1,437,535.36	1,555,916.60	1,680,131.65

Tabla 26. Costos Anuales del Modelo Centros Satélite. Elaboración Propia

Elaboración propia

Al igual que en los costos del modelo de chipeado dentro del bosque, en la tabla 26 se puede apreciar como el costo aumenta a medida que lo hace la distancia de transporte, como consecuencia del aumento de los costos de propiedad y el consumo de combustible de los transportes.



Concepto	Costo Escenario1 (\$)	Costo Escenario2 (\$)	Costo Escenario 3 (\$)
Carga	95,946.70	95,339.02	94,295.10
Transporte	346,282.26	650,387.14	774,839.34
Descarga	68,831.29	68,663.06	68,384.34
Chipeado	480,129.09	480,129.09	481,542.12
Costo Total	991,189.34	1,294,518.31	1,419,060.90

Tabla 27. Costos Anuales del Modelos Transporte de Troncos Enteros.

Para realizar una evaluación económica es necesario tomar en cuenta los precios de la madera retirada del bosque, así como el precio de venta de los chips de madera. En la tabla 28 mostrada a continuación, se observan las ganancias obtenidas por tonelada de madera seca, calculada a partir de los costos resultantes del T.E.G., un precio de 28.25 \$ (Fiery, 2011) por tonelada de madera seca extraída del bosque y un precio de 207.4 \$ (ForestrySA, 2011) por tonelada de madera seca entregada en la planta.

Modelo	Ganancia Escenario1 (\$)	Ganancia Escenario2 (\$)	Ganancia Escenario 3 (S)
Chipeado dentro del Bosque	152.09	148.42	144.73
Centro Satélite	147.02	144.11	141.07
Troncos Enteros	154.36	145.27	140.56

Tabla 28. Ganancias por tonelada entregada de cada modelo de transporte para cada escenario planteado, sin tomar en cuenta los costos de cosecha.

### Elaboración Propia

Cuando de observan las tablas 28 y 20 se ve una relación clara entre las ganancias de cada modelo para cada escenario con respecto al número de camiones asignados. A mayor número de camiones mayor es el costo relacionado a la propiedad de los camiones afectando a gran escala la ganancia por tonelada de madera seca.



Otro aspecto que resalta de la tabla 28 es que el modelo de troncos enteros tiende a disminuir su ganancia a medida que aumenta la distancia en comparación a los modelos de centro satélite y chipeado dentro del bosque. En el anexo 3 se pueden apreciar los gráficos con la tendencia de las ganancias para cada modelo.

Los costos de cosecha no están considerados dentro de las ganancias, ya que dependen de una gran cantidad de variables que no están enmarcadas en el T.E.G. De igual forma, los costos asociados al sueldo de los trabajadores tampoco se consideran en la evaluación financiera, debido a que esta variable depende en gran medida de las políticas de cada empresa.

	30 millas	50 millas	70 millas
Mejor Modelo	Troncos Enteros	Chipeado dentro del Bosque	Chipeado dentro del Bosque
Ingreso (\$)	154.36	148.42	144.73

Tabla 29. Mejor modelo según el escenario planteado.

Elaboración propia

En la tabla 25 se aprecia un resumen del mejor modelo según el escenario planteado. La decisión a tomar para seleccionar el modelo va a depender de la distancia a la que se necesite transportar la biomasa. Desde el punto de vista económico se demuestra que la aplicación de centros satélite de la manera en que se dispuso (distancias, capacidad y número de recursos) no es una opción adecuada, a pesar de ser la mejor opción desde el punto de vista operativo.

## VII.1.2 Resultados Energéticos

Concepto	30 millas (gal/ año)	50 millas (gal/ año)	70 millas (gal/ año)
Carga	7,185.90	7,191.12	7,191.12
Chipeado	61,946.26	62,036.10	62,678.48
Transporte	27,576.00	45,969.17	64,349.83
Descarga	401.96	401.96	402.03



Concepto	30 millas (gal/ año)	50 millas (gal/ año)	70 millas (gal/ año)
Costo Total	97,110.12	115,598.35	134,621.46

Tabla 30. Consumo de Combustible para el modelo de Chipeado dentro del Bosque en galones/ año.

Concepto	30 millas (gal/ año)	50 millas (gal/ año)	70 millas (gal/ año)
Carga	7,191.12	7,191.12	7,191.12
Descarga	1,971.79	1,971.95	1,972.22
Alimentar Chipeadora	7,187.97	7,187.87	7,187.71
Chipeadora	62,954.26	62,949.65	62,944.97
Cargador de Ruedas	4,110.62	4,111.03	4,111.02
Transporte Tramo I	49,538.62	73,434.87	97,314.94
Transporte Tramo II	55,151.64	100,010.28	144,834.45
Descarga en Planta	391.37	391.37	391.36
Costo Total	188,497.38	257,248.14	325,947.80

Tabla 31. Consumo de combustible para el modelo de Centro Satélite en galones/año.

Elaboración propia

Consumo (Gal/año)	30 millas	50 millas	70 millas
Carga	7,188.26	7,071.34	6,870.48
Transporte	28,567.00	46,835.83	63,746.67
Descarga	1,971.01	1,938.64	1,885.01
Chipeado	59,868.90	59,868.90	60,192.25
Costo Total	97,595.17	115,714.71	132,694.40

Tabla 32. Consumo de combustible para el modelo de Troncos Enteros en galones/año.



En las tablas 30 a 32 se puede observar como el consumo de combustible aumenta a medida que la distancia para transportar la biomasa aumenta, demostrando la dependencia del consumo energético a la distancia recorrida. Para todos los modelos desarrollados el transporte y el chipeado representan el mayor consumo de energía, para el caso de la chipeadora/descortezadora el alto consumo de combustible se debe a la alta potencia (Caballos de Fuerza) que dicha máquina requiere para operar.

	Energía	Fuente
BTU/BDT de Chips	16,460,000.00	(Cutshall, Greene, Baker, & Mitchell, 2011)
BTU/gal de diesel	138,690.00	(U.S. Energy Information Administration, 2011)

Tabla 33. Conversión de energía.

Elaboración propia.

Modelo	30 millas (MBTU/año)	50 millas (MBTU/año)	70 millas (MBTU/año)
Modelo con Centro Satélite	674,050.58	673,849.77	673,623.85
Troncos Enteros	587,766.03	578,157.50	562,088.43
Modelos de Chipeado Dentro del Bosque	567,355.63	567,499.65	567,396.78

Tabla 34. Balance energético en MBTU/año.

Elaboración propia

En la tabla 34 se muestra el balance energético de cada modelo y para cada escenario, representando la cantidad de energía que contiene la madera llevada a la planta menos la cantidad de energía gastada por los equipos para operar.



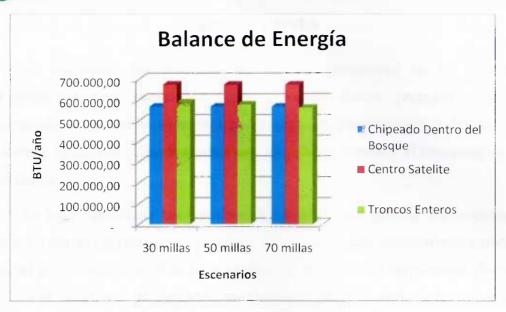


Figura 16. Balance de energía para cada modelo.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 16 se puede apreciar como el balance energético del modelo de Centro Satélite es favorecido por encima de los otros modelos. Esto se debe al proceso de secado que se lleva a cabo dentro de este modelo. La cantidad de energía contenida en la madera, debido a la pérdida de humedad, es mucho mayor a la energía que requieren consumir los procesos de manejo de la madera.

Se debe recordar que la evaluación energética está basada en el contenido de Energía que tienen los combustibles que intervienen dentro del modelo y que las eficiencias de las máquinas o calderas en la que funcionan no están contempladas dentro del T.E.G.



### **CONCLUSIONES**

Se analizaron los procesos que pueden presentarse en las diferentes configuraciones para transportar biomasa siendo dichos procesos: chipeado, descortezado, carga con brazo mecánico, descarga con brazo mecánico, descarga con plataforma, manejo de chips de madera con cargador de ruedas y el transporte de una o dos etapas.

Se logró identificar los elementos necesarios para generar los modelos de transporte, siendo los elementos operativos, el tipo de madera, contenido de humedad, densidad y gravedad específica de la madera, la densidad del cargamento, distancia recorrida en cada tramo de transporte, los tiempo de procesamiento de las máquinas y la capacidad de éstas para manejar la madera.

Se identificaron las tarifas de las máquinas, los costos de propiedad de los equipos estáticos y de transportes, costos de operación, precios de árboles en el bosque, así como el precio de los chips a vender en la planta procesadora de pellets y los elementos energéticos necesarios para generar los modelos son la cantidad de madera seca entregada y la cantidad de combustible consumida por los equipos transportes.

Se logró generar modelos de transporte con los procesos y elementos identificados para conformar diferentes configuraciones de máquinas y transportes, generando a su vez diferentes escenarios en los que se varían las distancias a las que se transporta la madera.

Según las condiciones evaluadas, desde el punto de vista operativo y energético el mejor modelo es el **centro satélite**. Desde ambos puntos de vista este modelo supera en promedio en 14,52 % y 15,79 % a los modelos de Troncos enteros y Chipeado dentro el bosque respectivamente.



Desde el punto de vista financiero el mejor modelo varía dependiendo del escenario desarrollado, siendo mejor el de troncos enteros para el escenario de 30 millas y el de chipeado dentro del bosque para los escenarios de 50 y 70 millas.

Las ganancias en términos monetarios para el modelo de troncos enteros lleva una tendencia muy marcada a disminuir rápidamente a medida que aumenta la distancia recorrida, mientras que para los modelos de chipeado dentro del bosque y centro satélite dicha tendencia no se presenta tan marcada.

Los procesos de manejo de madera pueden ser muy variables debido a las propiedades también variantes y poco predecibles de la madera.



#### RECOMENDACIONES

Una vez terminado el estudio, se pueden hacer recomendaciones relacionadas con las áreas de investigación, desarrollo de modelos, y metodologías de estudio.

Como recomendaciones de investigaciones a emprender tenemos:

- Realizar investigaciones donde se incluyan los costos de cosecha y mano de obra.
- Desarrollar investigaciones del sistema de transporte de biomasa en donde se conozca la demanda actual.
- Hacer investigaciones sobre la disponibilidad de almacenes de madera en los bosques, de forma que se conozca los tiempos de demora que existen en los procesos dentro del bosque y buscar sincronizar a estos con la cosecha.
- Estudios evaluativos de la calidad de los chips procesados dentro del bosque, en centros satélites y en plantas considerando el tamaño y el contenido de corteza.
- Investigar modelos con mayor número de bosques y plantas de pellets en los que se pueda emplear una planificación de red de retorno (backhauling) a los camiones.
- Estudiar otros tipos de pino sureño como longleaf y shortleaf.
- Estudiar mayores distancias a transportar para observar si se mantiene la tendencia en las ganancias monetarias para cada modelo evaluado.
- Estudiar la implementación de equipos de mayor capacidad dentro de los centros satélites que puedan hacer más rentable a sistema.

Como segundo aspecto se recomienda desarrollar:

- Modelos de transporte donde se empleen técnicas de secado más rápidas que el método por transpiración.
- Modelos con diferentes configuraciones de descarga en donde se evalúe la descarga por soplado y de almacenamiento en silos.

Finalmente acerca de la metodología se recomienda:



• Planificar entrevistas con expertos en procesos madereros de cosecha, transporte y manufactura que puedan dar una mejor visión del problema a tratar.

Planificar visitas a las zonas de cosecha, procesamiento y transporte de la madera para permitirle al investigador una mejor visión y conocimiento de los procesos a estudiar de manera de poder emplear dicha experiencia al modelo que se desee desarrollar.



### REFERENCIAS

- Andersson, G., Flisberg, P., Lidén, B., & Mikael, R. (2008). RuttOpt a decision support system for routing of llogging trucks. NRC Research Press, 1784– 1796.
- Borders, B., & Bailey, R. (2001). Loblolly pine pushing the limits of growth. Southern Journal of Applied Forestry, 69-74.
- Brinker, R., Kinard, F., B., R., & B., L. (2002). Machine Rates for Selected Forest Harvesting Machines. *Alabama Agricultural Experiment Station*, 30.
- Chan, T., Cordeau, J.-F., & Gilbert, L. (2009). Locating Satellite Yards in Forestry Operations. *INFOR*, 223-234.
- Chan, T., Jean-Francois, C., & Gilbert, L. (2008). *Locating Satellite Yards in Forestry Operations*. Canada: CIRRELT.
- College of Natural Resources NC State University. (noviembre de 2009). *Economics of Harvesting Woody*. Recuperado el 9 de marzo de 2011, de College of Natural Resources NC State University: www.ces.ncsu.edu/forestry/biomass.html
- CommercialTruckTrader. (s.f.). CommercialTruckTrader. Recuperado el Septiembre de 1 de 2011, de http://www.commercialtrucktrader.com/Day-Cab-Trucks/search-results?category=Day+Cab|2004600&type=light,medium,heavy
- Cubbage, F. (1981). *Machine rate calculations and productivity rate tables for harvesting southern pine*. St. Paul: Department of Forest Resources.
- Cutshall, J., Greene, D., Baker, S., & Mitchell, D. (2011). Transpirational drying effects on energy and ash content in a southern pine plantation. *34th Council on Forest Engineering* (págs. 1-9). Quebec: Center for Forest Business.
- Deckard, D. L., Newbold, R. A., & Vidrine, C. G. (2003). Benchmark roundwood delivery cycle-times and potencial efficiency gains in the southern United States. *Forest Products Journal*, 61-69.



- Dickens, D., Jackson, B., Beckwith, J., Moorhead, D. J., McElvany, B., & Clark, A. (2005). A Guide to Southern Pine Products and General Specifications. UGA-WSFR.
- Dramm, J. R., Jackson, G. L., & Wong, J. (2002). *Review of Log Sort Yards*. Madison, Wisconsin: Forest Service. USDA.
- Errico, M. (Octubre de 2002). Maderas: Mecánica de Materiales Avanzadas.
- Favreau, J. (1992). Le déchiquetage en foret: Une analyse de cout comparative. Quebec: Institut canadien de recherches en genie forestier.
- Feedstock Logistics Interagency Working Group. (2010). *Biofuel Feedstock Logistics: Recommendations for research and Commercialization*. Biomass Research and Development Board.
- Fiery, M. A. (2011). North Carolia Timber Report. Charlotte, NC: Forest2Market.
- Forest Products Laboratory. (2010). Wood handbook Wood as an enginneering material. Madison, Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Forest Products Laboratory. (2010). Wood handbook- Wood as an engineering Material. MAdison, WI: USDA.
- ForestrySA. (Julio de 2011). *Private Forestry Fact Sheet Number 11*. Recuperado el 23 de Agosto de 2011, de Woodchip export prices explained: http://www.forestry.sa.gov.au/privateforestry/FS\_11\_PFG34\_Woodchip\_Export\_prices\_explained.htm
- Frederick, W., Lien, S., Courchene, C., DeMartini, N. R., & Iisa, K. (2008). Co-Production of cellulose fiber from Southern pine: A technical and economic assessment. *Biomass and Bioenergy*, 5051-5057.
- Freight Agents Network. (s.f.). *Container Capaity*. Recuperado el 25 de Agosto de 2011, de Container Capaity:

  http://freightagents.net/resources/ContainerCapacity.htm



- Fuller, W. S. (s.f.). *Chip Quality. A Key to Pulping and Productivity*. Tacoma, Washington, U.S.A.: Weyerhaeuser Company.
- González, R., Phillips, R., Saloni, D., Jameel, H., Abt, R., Pirraglia, A., y otros. (2011). Biomass to Energy in the Southern United States: Supply Chain and deliverd cost. *BioResources*, 2954-2976.
- Gonzalez, R., Saloni, D., Phillips, R., & Wright, J. (2010). Loblolly pine biomass deliverde cost. *Biomass Conference*. Minneapolis.
- Gruber, T. (2001). Drying Wood Chips Potimized Energy Consumption and emission levels, combined with production of valuable substances. Braunschweig: Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut.
- Hartsough, B. R., Spinelli, R., & Pottle, S. J. (2002). Delimbing HyBrid Poplar prior to processing with a flail/chipper. *Forest Products Journal*, 85-93.
- Hartsough, B., & Yomogida, D. (1996). Compilation of State-of-the-Art

  Mechanization Technologies for Short-Rotation Woody Crop Production.

  Auburn, Alabama: Electric Power Research Institute and USDA Forest
  Service Southern Research Station.
- Hartsough, B., Spinelli, R., & Pottle, S. (2002). Delimbing Hybrid Poplar Prior to processing with a flail/chipper. *Forest Products Journal*, 85-93.
- Jarack, W. (1965). Machine Rate Calculation. APA Tech. Rel. 65-R-32, 6.
- Johnson, T., Bentley, J., & Howell, M. (2003). *The South's timber industry An assessment of timber product output and use*. United States Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station Resource.
- José, I. E., & Encinas B., O. (2008). *Epidometría Forestal*. Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales.
- Koch, P. (1985). *Utilization of hardwoods growing on southern pine sites*. Washington D.C.: Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service: For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O.



- Kofman, P. D. (2007). *Delivery and storage of wood chip fuel*. Recuperado el 12 de 7 de 2011, de www.woodenergy.ie
- Lambert, M., & Howard, J. O. (1990). Cost and Productivity and technology for harvesting and in-wood processing small diameter trees. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service*, 37.
- Matthews, D. M. (1942). Cost Control in the logging Industry. New York: McGraw-Hill.
- McDonald, T. P., J., S. B., & McNeel, J. F. (1994). Effect of Product Form, Compaction, Vibration and Comminution on Energywood Bulk Density. Auburn, Alabama: USDA Forest Service.
- Miyata, E. (1980). *Determining fixed and operating costs of logging equipment*. U.S. Department of Agriculture Forest Service.
- N.C. Association of Professional Loggers. (2011). Trucking Cost Analyzer. *Trucking Cost Analyzer 6 10 version 5.0*. NCAPL, Inc.
- PEDERSEN GROUP. (2004). *PEDERSEN*. Recuperado el 18 de Agosoto de 2011, de http://www.pedersen-group.co.nz/projects/chipping.html
- PETERSON. (04 de Abril de 11). *Peterson Corp.* Recuperado el 5 de Agosto de 2011, de http://www.petersoncorp.com/images/documents/brochures/5000h\_brochure.pdf
- Plummer, G., & Stokes, F. (1983). Petroleum product consumption estimator for off-highway forest operations. *Southwide Energy Committee*, 83 A.12.
- Roise, J. (20 de 07 de 2011). Biomass Logistics. (U. Lacoa, Entrevistador)
- Rummer, B. (05 de 2005). Forest Residues Transportation Costing Model.
- Rummer, B. (s.f.). Forest Operations Research. Forest Operations Research. US Forest Servicev.



- Schultz, R. (1999). Loblolly The pine for the twenty-first century. *New Forests*, 71-88.
- Screw Conveyor Corporation. (1987). Kewanee Hydraulic Truck Dumper Workin for your profit ability. Hammond, Indiana, Estados Unidos.
- Smith, N., & Riley, J. (1985). Drying systems for woody biomass. 175-178.
- Springer, E. L. (1980). Should Whole-Tree Chips be Dried Before Storage? USDA Forest Service.
- Stokes, B., McDonald, T., & Kelley, T. (s.f.). *Transpirational Drying and costs for transporting woody biomass*. Auburn, AL: USDA Forest Service.
- Stuart, B. (1977). An unpublished paper presented at the Virginia Polytechnical., (págs. 15-17).
- Sweeten, J. M., & Reddel, D. (1979). *Time-Motion Analysis of Feedlot Manure Collection System*. Transaction of the ASAE.
- TERMOSUN. (1 de 8 de 2006). *Totsolar*. Recuperado el 09 de Agosto de 2011, de Totsolar: http://www.totsolar.com/biomasa%20web.PDF
- Thompson, J. (s.f.). Forest Residue Trucking Model v.5. *Forest Residue Trucking Simulator*. Auburn, Alabama, E.E.U.U.: US Forest Service.
- Thuesen, H., F., W., F., & G.J., T. (1977). *Engineering economy*. Englewood, NJ 589 p.: Prentice Hall.
- U.S. Energy Information Administration. (26 de Julio de 2011). *U.S. Energy Information Administration*. Recuperado el 29 de Agosto de 2011, de BTU Conversion factors.
- U.S. Energy Information Administration. (2011). *Weekly Retail On-Highway Diesel prices*. Recuperado el 2011 de Agosto de 15, de EIA: http://www.eia.gov/oog/info/wohdp/diesel.asp#graph\_buttons
- United States Forest Service . (1986). Souther Yellow Pine . Madison, Wisconsin: Forest Products Laboratory.



- UPEL. (2006). Manueal de Trbajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. Caracas: Fondo Editorial.
- Virginia Forest Landowner Update. (2000). *Making Sense of the chip Mill Issue*. Recuperado el 28 de 07 de 2011, de Making Sense of the chip Mill Issue: http://cnre.vt.edu/forestupdate/newsletters/Volume14/14.1.2.htm
- Wang, J. (2007). Hardwood log bucking and loading Efficieny in West Virginia. *Forest Products Journal*, 84-90.
- Warren, J. (1977). *Analyzing logging equipment cost, in logging cost and production.*Logging and Forestry Operations Center.
- Watson, W., A., T. A., & J.B., H. (1993). Review of Chain Flail Delimbing-Debarking. *Journal of Forest Engineering*, 37-52.

**VALXOS** 





# ANEXO 1. DATOS PARA EL CALCULO DE COSTOS DE EQUIPOS ESTÁTICOS.

Knuckleboom (Barko 395ML)	Fuente	
Precio de compra (p)	153,290 \$	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Caballos de fuerza de la maquina (hp)	166 hp	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Vida de maquina (n)	5 año	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Valor de salvamento, porcentaje de precio de compra (rv%)	20%	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Reparación y mantenimiento, porcentaje de depreciación (rm%)	90%	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de intereses (in%)	0.1	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de seguro e impuestos (it%)	0.015	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de consumo de combustible (fcr)	0.02166 gal/hp-hr	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Costo de combustible (fcg)	3.8\$ por gal	(U.S. Energy Information Administration, 2011)
Lubricante y aceite, porcentaje de costo de combustible (lo%)	0.3677%	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Horas programadas maquina (SMH)	2000 hrs/año	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)

## Tabla.A 1. Datos de Costos para el cargador de brazo mecánico.

Peterson Pacif	fic 5000	Fuente
Precio de compra (p)	610000.00\$	(Rummer, Forest Residues Transportation Costing Model, 2005)



Peterson Pacific 50	00	Fuente
Caballos de fuerza de la maquina (hp)	1050.00hp	(Rummer, Forest Residues Transportation Costing Model, 2005)
Vida de maquina (n)	5.00 año	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Valor de salvamento, porcentaje de precio de compra (rv%)	20%	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Reparación y mantenimiento, porcentaje de depreciación (rm%)	75%	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de intereses (in%)	10%	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de seguro e impuestos (it%)	2%	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de consumo de combustible (fcr)	0.03 gal/hp-hr	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Costo de combustible (fcg)	3.80 \$ por gal	(U.S. Energy Information Administration, 2011)
Lubricante y aceite, porcentaje de costo de combustible (lo%)	15%	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
horas programadas maquina (SMH)	2000.00hrs/año	(Brinker, Kinard, B., &B., 2002)

Tabla.A 2. Datos de Costos para la Chipeadora



CAT 950G		Fuente
precio de compra (p)	205000.00\$	(Rummer, Forest Residues Transportation Costing Model, 2005)
caballos de fuerza de la maquina (hp)	190.00 hp	(Rummer, Forest Residues Transportation Costing Model, 2005)
Vida de maquina (n)	5.00 año	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Valor de salvamento, porcentaje de precio de compra (rv%)	20 %	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de utilización (ut%)	52%	Modelo de Transporte
reparación y mantenimiento, porcentaje de depreciación (rm%)	80 %	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de intereses (in%)	10 %	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de seguro e impuestos (it%)	2 %	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
Tarifa de consumo de combustible (fcr)	0.02 gal/hp-hr	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)
costo de combustible (fcg)	3.80 \$ por gal	(U.S. Energy Information Administration, 2011)
Lubricante y aceite, porcentaje de costo de combustible (lo%)	10 %	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)



CAT 950G		Fuente
horas programadas maquina (SMH)	2000.00 hrs/yr	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)

Tabla.A 3. Datos de Costos para el cargador de ruedas.

Kewanee		Fuente
Precio de compra (p)	230000.00\$	(Screw Conveyor Corporation, 1987)
Caballos de fuerza de la maquina (hp)	50.00hp	(Screw Conveyor Corporation, 1987)
Vida de maquina (n)	5 años	(Screw Conveyor Corporation, 1987)
Valor de salvamento, porcentaje de precio de compra (rv%)	20%	(Screw Conveyor Corporation, 1987)
Tarifa de utilización (ut%)	13%	(Screw Conveyor Corporation, 1987)



Kewanee	Fuente	
Reparación y mantenimiento, porcentaje de depreciación (rm%)	90%	Modelo de Transporte
Tarifa de intereses (in%)	10%	(Screw Conveyor Corporation, 1987)
Tarifa de seguro e impuestos (it%)	2%	(Screw Conveyor Corporation, 1987)
Tarifa de consumo de combustible (fcr)	0.03 gal/hp-hr	(Screw Conveyor Corporation, 1987)
Costo de combustible (fcg)	3.80\$ por gal	(U.S. Energy Information Administration, 2011)
Lubricante y aceite, porcentaje de costo de combustible (lo%)	37%	(Screw Conveyor Corporation, 1987)
Horas programadas maquina (SMH)	2000.00hrs/año	(Brinker, Kinard, B., & B., 2002)

Tabla.A 4. Datos de Costos para la plataforma de descarga de camiones.



## ANEXO 2. DATOS PARA EL CALCULO DE COSTOS DE TRANSPORTES.

Costo de Propiedad	Unidad	Fuente
Camión	2012 INTERNATIONAL PROSTAR	(CommercialTruckTrader)
Precio	104375	(CommercialTruckTrader)
Vida (años)	8	(N.C. Associatin of Professional Loggers, 2011)
Valor de Salvamento	20 %	(N.C. Associatin of Professional Loggers, 2011)
Depreciación Anual, menos el costo de salvamento	18996.25	(CommercialTruckTrader)
Tráiler	2012 STOUGHTON Z-PLATE DRY VAN	(CommercialTruckTrader)
Precio	25900	(CommercialTruckTrader)
Vida (años)	5	(N.C. Associatin of Professional Loggers, 2011)
Valor de Salvamento	20 %	(N.C. Associatin of Professional Loggers, 2011)
Seguro, impuestos	3600	(N.C. Associatin of Professional Loggers, 2011)
Costo Operativo	Unidad	Fuente



Costo de Neumáticos	6200	(N.C. Associatin of Professional Loggers, 2011)
Vida de Neumáticos (años)	2	(N.C. Associatin of Professional Loggers, 2011)
Costo Anual de aceites (\$)	1200	(N.C. Associatin of Professional Loggers, 2011)
Reparación y Mantenimiento (\$)	2000	(N.C. Associatin of Professional Loggers, 2011)

Tabla. A 5. Datos de Costos para el camión y tráiler.



# ANEXO 3. TENDENCIA DE GANANCIA PARA LOS MODELOS DE TRANSPORTE ESTUDIADOS.

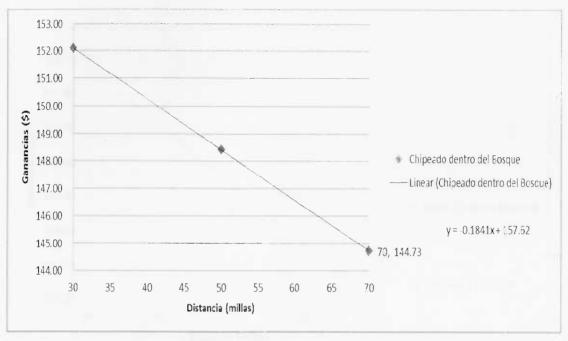


Figura. A 1 Tendencia de las ganancias para el modelo Chipeado dentro del bosque.

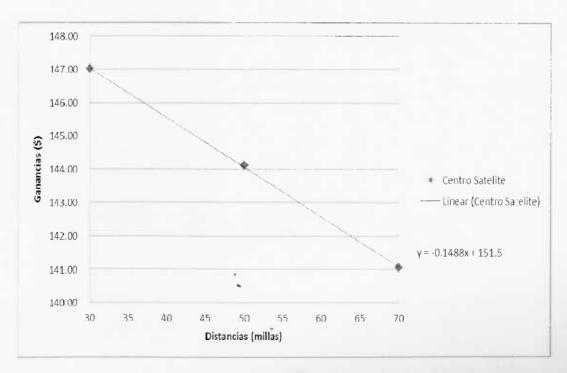




Figura. A 2 Tendencia de las ganancias para el modelo Centro Satélite

Elaboración propia

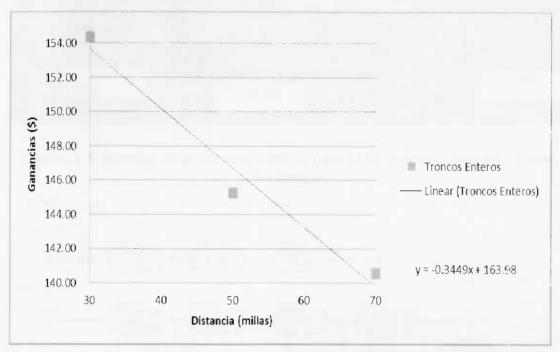


Figura.A 3. Tendencia de las ganancias para el modelo Troncos Enteros



## ANEXO 4.INTERFAZ DE LOS MODELOS EN SIMIO

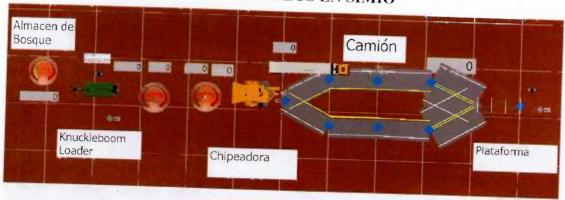


Figura.A 4. Interfaz de la ventana Facility para el Modelo de Chipeado dentro del bosque

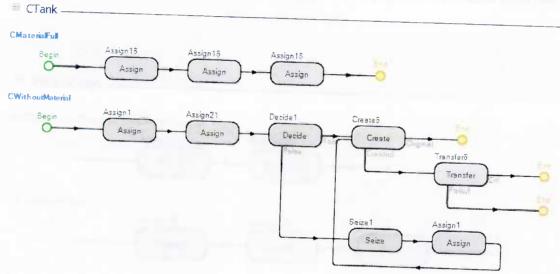


Figura.A 5. Lógica de la ventana Processes del Modelo de Chipeado dentro del bosque.

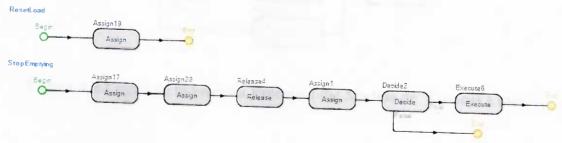


Figura.A 6 Lógica de la ventana Processes del Modelo de Chipeado dentro del bosque.



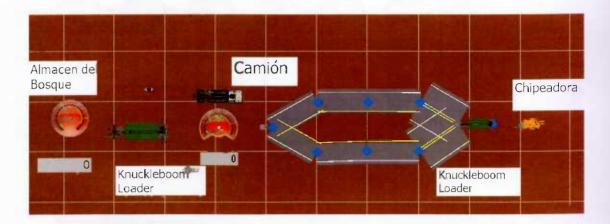


Figura. A 7 Interfaz de la ventana Facility para el Modelo de Troncos Enteros.

Elaboración propia.

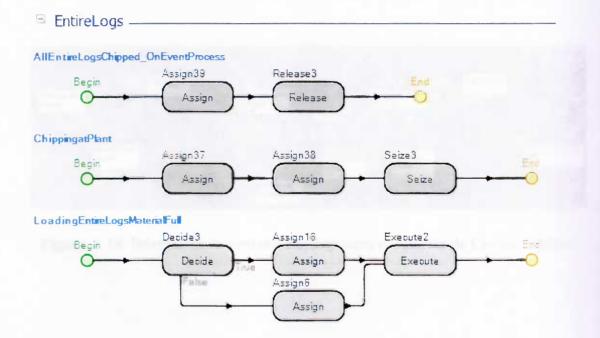


Figura. A 8 Lógica de la ventana Processes del Modelo de Troncos Enteros.



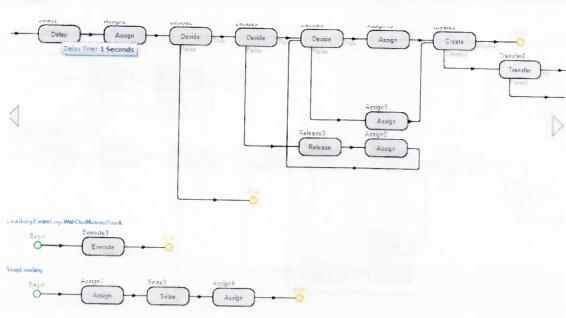


Figura. A 9 Lógica de la ventana Processes del Modelo de Troncos Enteros.

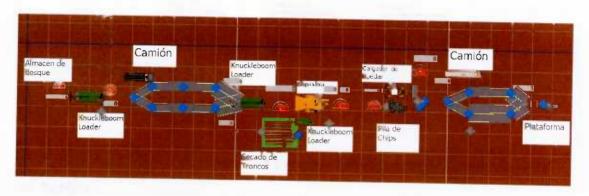


Figura.A 10. Interfaz de la ventana Facility para el Modelo de Centro Satélite.



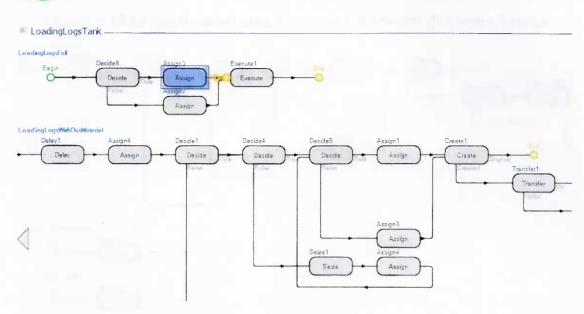


Figura. A 11 Lógica de la ventana Processes del Modelo de Centro Satélite.

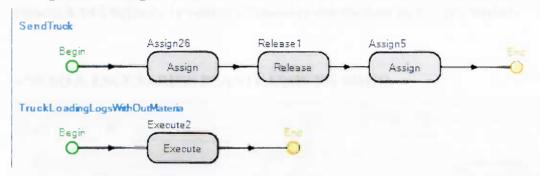


Figura. A 12 Lógica de la ventana Processes del Modelo de Centro Satélite

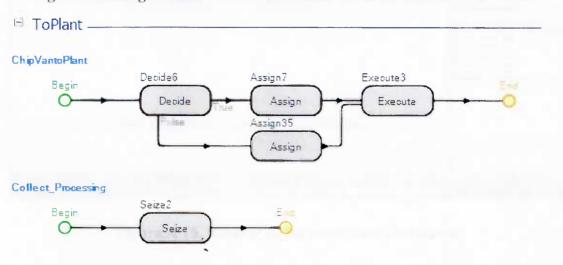




Figura. A 13 Lógica de la ventana Processes del Modelo de Centro Satélite

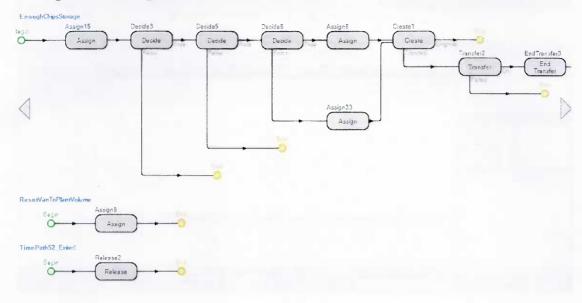


Figura. A 14 Lógica de la ventana Processes del Modelo de Centro Satélite

### ANEXO 5. ESCENARIOS PLANTEADOS EN SIMIO.

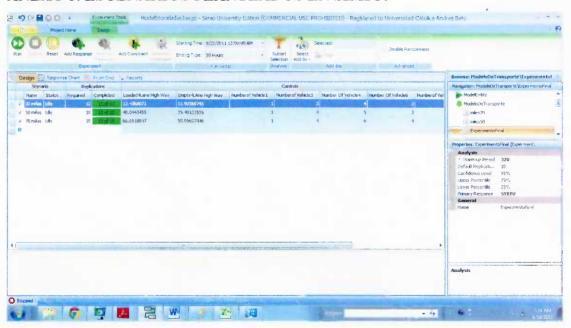


Figura. A 15. Interfaz de los escenarios planteados

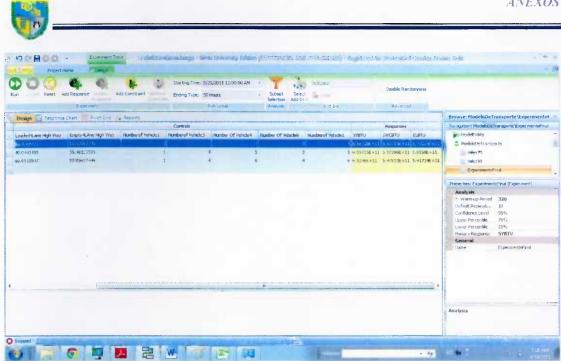


Figura.A 16. Interfaz de los escenarios planteados