

## [193020] Propuesta de implementación de un sistema logístico de abastecimiento para una planta de biomasa en el Vichada.

<sup>ac</sup>Tomás Eduardo Ordoñez Hernández y <sup>ac</sup>Felipe Natanael Morales Castro.

<sup>bc</sup>Iván Poveda González

<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

<sup>c</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

---

### Abstract

Agroindustria Horizonte Verde SAS (HVSAS) is a Forestry Company based in Puerto Carreño, Vichada. Their main objective is to provide all the biomass for an energy plant that is going to start formally operation in 2021. This project proposes a complete logistic system in order to accomplish the supply of biomass with all the challenges that the logistics have in Vichada, mostly in transportation, harvest and manage of biomass. Vichada right now is the second department with most wood in Colombia, but also the department with most wood without a specific use because the high expenses of logistic. In order to find a viable solution this document apply an economic model in order to see the cost of the methodology too see if these is a profit model. This economic model includes all the different parameters of the project to find a really approximately value.

Since HVSAS does not have in the actuality the layout of the plant, we analyze all the data available and we design a layout that we consider well be a nice solution for the space in terms logistics, with and specific methodology. To see how the movement of the model could be, we apply a Montecarlo to show the different cost and finally to measure the behavior of the biomass. Finally, we gave a tool to the company to measure all the results and a key performance indicator calculator to show how any decision make will affect the business model.

### 1. Justificación y planteamiento del problema

El Calentamiento global es un fenómeno que hay que combatir de manera inmediata. Según la organización Greenpeace (2016) el aumento en la temperatura del planeta fue de 1.1 grados debido a la alta emisión de gases invernaderos y el alto uso de combustibles fósiles. Según datos del banco mundial (2017) el 80 % de la energía que se generaba en el mundo era **obtenida** a través de combustibles tradicionales. Adicionalmente la misma fuente revela que el petróleo representó el 1.1 % del PIB mundial mientras que el carbón representa el 0.22 % en el 2017. Sin embargo, más allá de los aportes económicos que generan dichos combustibles a la economía mundial, los problemas ambientales y de salud pública que generan son un factor determinante para la búsqueda de energías alternativas. Según el World Health Organization (OMS, 2016), en su publicación “Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease” la quema de combustibles tradicionales, es el causante directo de 1 de cada 9 muertes en el mundo. Las técnicas de extracción modernas como el fracking, malgastan recursos esenciales como el agua con el fin de obtener petróleo, los campos donde se realizan explotación pierden su vegetación nativa y los daños en el ecosistema son irreversibles. (Charry-Perez ,2017).

La problemática ambiental ha obligado a los países a firmar diversos acuerdos tales como el protocolo de Kioto (1997) o el acuerdo de Paris (2016), con el fin de que los países industrializados logren nivelar la emisión de gases generados por la quema de combustibles fósiles. En pro de conseguir estos resultados algunas potencias económicas mundiales y países emergentes como Colombia, Argentina, Chile entre otras han decidido apostarles a las energías renovables. Según la agencia internacional de energías renovables (2017) en el mundo el 19.3 % de la energía generada en el mundo fue a partir de energías renovables donde el 9.1 % fue a través de biomasa.

### **1.1. Panorama nacional**

Según el program of Forest (PROFOR, 2017), en el país no existe un mercado significativo de consumo de energías alternas por parte de las industrias o del sector energético. Sin embargo, en el marco de los esfuerzos del Gobierno en la mitigación de emisiones por combustibles fósiles, se vislumbran importantes posibilidades para las plantaciones forestales comerciales en el futuro. El estudio ha identificado un potencial de 7,3 millones de toneladas de biomasa en la industria pesada, en la demanda potencial de termoeléctricas.

Procolombia añade que se ofrecen [exenciones y disminuciones en el impuesto de renta](#) en varios sectores. [El incentivo permite el no pago de este impuesto hasta el año 2035](#) para la venta de energía eléctrica generada con base en energía eólica, biomasa o residuos agrícolas, solar, geotérmica o de los mares siempre y cuando se tramiten, obtengan y vendan los certificados de emisión de bióxido de carbono de acuerdo con los términos del protocolo de Kioto. Adicionalmente, el 50 % de los recursos obtenidos por la venta de dichos certificados [deben ser](#) invertidos en obras de beneficio social en la región donde ópera el generador. (Procolombia, 2019).

### **1.2 Problemática actual de generación de energía en Puerto Carreño Vichada.**

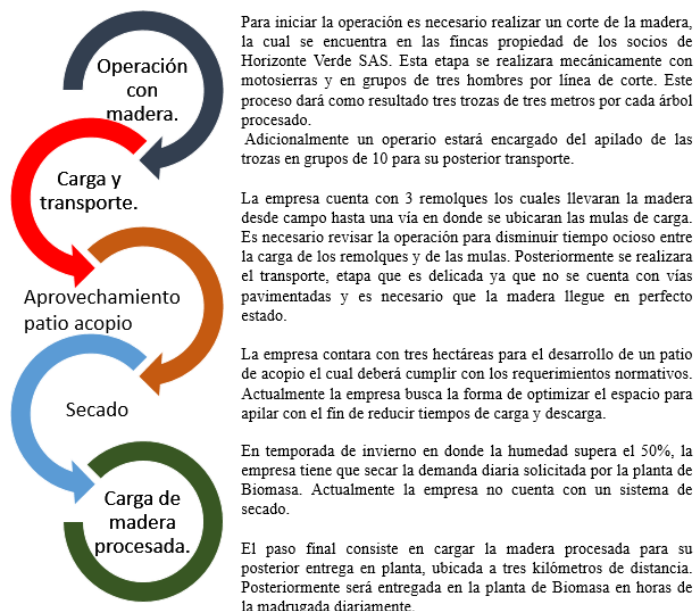
La empresa Electrovichada (EV) es la encargada de suministrar la energía en la zona urbana y rural de Puerto Carreño. Toda la energía que distribuye esta empresa es generada en Venezuela. Para situaciones de emergencia, la empresa respalda el suministro con 6 plantas diésel con la capacidad de proveer energía las 24 horas continuas. No obstante, [el costo monetario y ambiental](#) de dichas plantas es muy elevado (UNAL, 2018).

En los últimos años la relación entre Venezuela y el municipio se ha visto fuertemente afectada por la situación del vecino país. [En búsqueda de una solución a la inestabilidad presentada y en pro a la independencia energética de la región](#), se contrató la primera planta para servicio público a través de biomasa por medio de una alianza privada. Dicha planta empezará a producir energía en el año 2021. [La biomasa se define como la fracción biodegradable de los desechos generados de las actividades agrícolas, forestales e industrias anexas \(Herguedas -Taranco, 2012\)](#). Gracias a su poder calorífico, la biomasa forestal es una de las principales fuentes de energía que se utilizan para abastecer las plantas de biomasa. La biomasa forestal se da a partir de las labores de mantenimiento o extracción de cultivos maderables. Para este proyecto específico, la biomasa que se utilizara es 100 % forestal, a partir de los cultivos maderables de los socios de la empresa Horizonte Verde SAS. Para aprovechar la eficiencia energética de la planta, la madera con la que se alimentara la caldera tendrá que tener un contenido de humedad entre el 30 % y 40 %.

En los últimos 13 años el departamento se ha convertido en un foco para grupos de reforestadores nacionales e internacionales. En junio de 2019 el departamento contaba con 95.000 hectáreas de madera cultivada (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). Sin embargo, debido a las dificultades de accesibilidad, los altos costos de transporte y extracción de madera, tan solo 5000 toneladas han podido movilizarse en el último año, esto quiere decir, menos de 200 hectáreas. AHVSAS es la empresa encargada de proveer la madera durante los 20 años iniciales de operación de esta planta. Esta empresa tendrá que garantizar un total de 3500 toneladas mensuales **máximo**. Por esta razón, es indispensable plantear un modelo logístico que permita abastecer a la planta sin interrupciones y en las condiciones necesarias.

### 1.3. Procedimiento actual del funcionamiento de la cadena de suministro de Horizonte Verde SAS.

Horizonte verde SAS ha planteado inicialmente un modelo de cadena de suministro que responde al problema. Sin embargo, este modelo debe ser analizado y modificado, al no considerar los desperdicios en los diferentes eslabones, tales como la pérdida de tiempo, utilización del espacio y control de los procesos.



Grafica 1: Cadena de operación Horizonte verde – fuente: los autores

## 2. Antecedentes

Diferentes autores han abordado el tema del tratamiento de madera en forma de cultivos energéticos, con el fin de generar energías renovables, así como el uso de herramientas de ingeniería para mejorar procesos.

La necesidad de la creación de energía renovable en Colombia trae consigo importantes desafíos para los que innovan en el país, según H. Sixto (2007) la producción de biomasa para usos energéticos se encuentra condicionado por la materia prima, además de la interferencia de los mercados madereros del mundo. Adicionalmente, el crecimiento del sector está ligado al crecimiento del suministro y de la materia prima. A pesar de esto, los cultivos energéticos son los pilares de las nuevas energías renovables a corto y

largo plazo en varios países alrededor del mundo. Es un fenómeno que está llegando a América Latina y que como se describió previamente cuenta con apoyo gubernamental.

La **operación de extracción, cosecha y comercialización de la madera con fines energéticos** consta de cinco fases, de las cuales la más retardadora es el secado, Fagernäs et al. (2010) expresan que hay problemas importantes en el secado tales como la eficiencia energética, las emisiones, la integración del calor y el rendimiento del secado. En la producción de gas de síntesis, las materias primas deben secarse por debajo del 30 % en contenido de humedad, preferiblemente hasta aproximadamente el 15% y en pirolisis por debajo del 10 % en peso. El secado a bajos contenidos de humedad es problemático y no se ha optimizado para los procesos de conversión de biomasa.

V. A. Sychevskii (2018) añade que la eficiencia del trabajo con madera depende de la capacidad de las plantas de secado. Sin embargo, la capacidad de una planta de secado y la calidad de los productos obtenidos en cierto sentido son factores mutuamente excluyentes. En los regímenes de secado suave de madera que permiten una larga duración del proceso, se garantiza una alta calidad del producto obtenido, mientras que, durante un proceso de secado severo de madera, se dobla y agrieta. Por esta razón, es importante analizar la mejor alternativa para la planta mediante las herramientas de ingeniería necesarias.

Moyaux (2003) añade que es importante tener en cuenta el efecto látigo en una cadena de suministro de la transformación de la madera, en donde el primer afectado será la planta transformadora. Moyaux plantea como solución un sistema multiagentes en donde existe variabilidad en la demanda y un sistema en donde se comparte información. Esta solución se alcanzó mediante el juego de la cerveza el cual es un ejercicio que simula los flujos de material e información en un sistema de distribución de producción.

Es necesario analizar una parte trascendental de la cadena de suministro, el transporte, **ya que pesar que hay solo una ruta transitable para transportar la madera para este proyecto**, es necesario analizar los costos logísticos y complicaciones que se pueden presentar. Según Diego R, et al. (2016), es importante gestionar la producción de astillas de madera con un suministro rentable para aumentar la productividad y reducir los costos. La producción de astillas de madera puede basarse en la ubicación de la operación, existen dos opciones, en el área forestal o en la planta de energía. En general, las plantas de energía compran madera energética en forma de madera en rollo y rara vez en forma de tala, del tipo de madera que requiera la planta se procede a hacer el análisis de costos de transporte, uno de los enfoques más comunes utilizados para el análisis del suministro es evaluar la oferta anual en relación con la distancia de suministro, el costo del transporte depende en gran medida del tiempo de viaje, que es una función de la distancia y las propiedades de la carretera.

Por otro lado es necesario tener en cuenta, que para la planeación adecuada dentro de una planta, es primordial tener una metodología que garantice la planeación de una producción alineada con la demanda del mercado, que garantice el abastecimiento de materia prima y la gestión de inventarios; según Suarez Cervera (2012), la administración eficaz del inventario genera aumento en los ingresos y en los activos, así se trate de materias primas o producto terminado, la correcta administración de inventario genera una reducción al mínimo posible los niveles de existencias no necesarias y asegura las existencias para suministro cuando es necesario. Hoy en día es posible encontrar problemas que contienen muchas tareas complejas de resolver y es clave conocer herramientas como Excel Solver la cual ayuda a encontrar soluciones óptimas para dichos problemas reduciendo el costo en la administración de la cadena de suministro Kenneth R. Baker (2011).

Asimismo para evaluar la aplicación de una metodología de planeación, es necesario tener claro si la propuesta que se está realizando y si las decisiones a tomar son correctas, esto se puede realizar mediante una simulación. Isaías Simón (2012), afirma que la mejor forma de entender la realidad de forma experimental, en casos similares, es mediante el diseño de modelos de simulación por computadora. Frederick J. Mitchell (2017), argumenta que un sistema Monte Carlo es una forma de simular un evento aleatoriamente con muchos componentes mediante distribuciones de probabilidad, es usualmente utilizada durante un intervalo de tiempo (días, meses o años), esta simulación ayuda a entender cómo se va a comportar un evento visto desde diferentes escenarios y es clave utilizar la distribución de probabilidad adecuada para asegurar el correcto comportamiento de la simulación.

Mediante un sistema Lean Manufacturing en una planta se puede eliminar desperdicios y mejorar las operaciones. Un ejemplo de implementación exitoso, es la planta de Toyota. Este sistema de control de producción se estableció con base en muchos años de mejoras continuas del sistema de producción de Toyota (TPS) basándose en dos conceptos: "jidoka" (que puede traducirse como "automatización con un toque humano"), ya que cuando ocurre un problema, el equipo se detiene inmediatamente evitando que se produzcan productos defectuosos; y el concepto "Just-in-Time", en el que cada proceso produce solo lo que se necesita para el siguiente proceso en un flujo continuo. Es importante la reducción de desperdicios para poder alcanzar los tiempos establecidos. El desperdicio puede manifestarse como exceso de inventario, pasos de procesamiento extraños y productos defectuosos, entre otros casos. Todos estos elementos de "desperdicio" se entrelazan entre sí para crear más desperdicio, lo que eventualmente afecta la gestión de la propia corporación. (Toyota, 2019).

Una forma adecuada para administrar y controlar la cadena de suministro es la Cantidad de orden económica (EOQ), el cual es un modelo fijo que se puede utilizar para determinar la cantidad mínima de pedido a realizar por una empresa y refleja el equilibrio entre el costo de mantenimiento y el costo de ordenar. Este modelo también refleja el costo de la operación estudiada en términos de pedidos de orden. Zhilan Song et al (2011). Aquellas compañías que hacen esfuerzos en optimizar sus procesos mediante el uso de KPIs en su cadena de suministro, pueden mejorar su productividad y mejorar su posición en el mercado Matthias Schmidt, et al. (2019).

Adicionalmente es necesario tener en cuenta las consecuencias que puede tener una planta de tratamiento de madera, en este caso específico en el cual se secará madera, es necesario tener en cuenta los residuos que esto puede generar. L. Fagernas et al. (2010) argumentan que las emisiones orgánicas se pueden clasificar en compuestos orgánicos volátiles y compuestos condensables. Además, hay emisiones de partículas. Estas emisiones generadas son motivos de preocupación ambiental, ya que, si no son tratados correctamente, son perjudiciales para los humanos, ya que causan irritación en el tracto respiratorio y en las partes sensibles de los pulmones. Por esta razón es de vital importancia tratar de forma correcta las emisiones con el fin de proteger la salud de los futuros operarios de la planta.

### **3. Objetivos**

*Diseñar una metodología para Agroindustria horizonte Verde SAS, que garantice el abastecimiento constante de biomasa en las condiciones de humedad exigidas por la planta, teniendo un modelo de almacenamiento y gestión de inventarios, que asegure mayor capacidad operativa en la planta, a través de herramientas de ingeniería e indicadores de gestión.*

- a. Desarrollar un modelo de abastecimiento de materia prima acorde al plan de producción de la empresa Horizonte verde SAS.
- b. Establecer la capacidad logística de la empresa con el fin de identificar cual es estándar mínimo requerido para el funcionamiento de la planta Agroindustria verde SAS.
- c. Establecer el sistema de almacenaje y el modelo de gestión de inventarios para el patio de acopio de Horizonte verde mediante modelos de inventarios, simulación de Montecarlo y gráficas con el fin de entender la capacidad del patio con las necesidades de producción.
- d. Estimar el impacto del modelo logístico propuesto mediante indicadores de gestión con el fin de conocer la viabilidad de la propuesta frente a la necesidad de la empresa.

### **3.1 Declaración del diseño.**

Diseño del sistema logístico para la cadena de abastecimiento para una planta de biomasa en el Vichada.

### **3.2 Requerimientos esperados del diseño.**

La propuesta de diseño busca hacer eficientes los procesos dentro del patio de acopio que esta construyendo Agro horizonte verde SAS en el Vichada. Se espera entregar un modelo de abastecimiento periódico de campo – patio de acopio – planta, realizar un estudio de tiempos y movimientos de las actividades en la planta, además de un análisis estadístico de los estándares mínimos de la operación. Por ultimo, se espera entregar un modelo de gestión de inventarios e indicadores de gestión para controlar los procesos.

### **3.3 Restricciones de diseño:**

Según la información brindada por Horizonte Verde SAS, para este proyecto existen las siguientes restricciones:

- Alteración de la toma de datos debido a factores climáticos.
- Variabilidad en la demanda debido a factores externos tales como el clima o condiciones de la planta productora de Biomasa.
- La demanda oscilará entre 2940 toneladas a 3500 toneladas según el análisis del sector realizado por Refoenergy Bita SAS, empresa operadora de la planta. En caso de necesitar más madera esta será suministrada por una empresa distinta.
- No se puede transportar ni cortar madera entre los meses de junio a octubre debido a las altas precipitaciones que se presentan en la zona.
- Las condiciones de humedad de la madera deben ser del 30% al 40% para que sea recibida a satisfacción.
- Las trozas de madera a entregar en la planta deben ser de máximo 2.5 metros. Con un porcentaje máximo del 14% de composición de ramas y hojas. Estas trozas no pueden llevar tierra ni estar golpeadas o rayadas.

## **4.1 Desarrollar un modelo de abastecimiento de materia prima acorde al plan de producción de la empresa Horizonte verde SAS**

### **4.1.1 Metodología propuesta**

La metodología planteada permite a la empresa Horizonte Verde SAS (HVSAS) utilizar su madera de baja productividad de tal manera que les genere un ingreso considerable. [La metodología desarrollada se encuentra descrita en el anexo 1 \(desarrollo del modelo logístico\)](#) y se basa en modificar principalmente la etapa de cosecha, teniendo en cuenta que se busca utilizar la madera para biomasa. Así mismo, se busca aprovechar al máximo las condiciones específicas de suelos, cultivos y temporadas climatológicas en las etapas de transporte, manejo de patio de acopio y entrega, con el fin de optimizar los recursos y procesos en pro de generar rentabilidad

Teniendo definido el modelo a aplicar en la operación de cosecha, se realizó el anexo 3 el cual corresponde a un modelo generado a través de Excel que tiene en cuenta [cuánta biomasa se puede transportar](#), con el fin de garantizar que el patio maneje los niveles suficientes de inventario para todos los meses, incluido la provisión del invierno, ya que como se mencionó previamente en este documento, debido a las condiciones climatológicas, no es posible transportar madera durante 4 meses, los cuales corresponden a los picos de invierno, por lo tanto, el patio tiene que tener dicha biomasa almacenada.

El modelo arroja como resultado el número mínimo de camiones que se tienen que movilizar para satisfacer la demanda y cumplir las condiciones mínimas necesarias por la empresa, así como el nivel de inventario mes a mes.

Teniendo en cuenta los datos del anexo 3 y los parámetros y características especiales mencionadas en las restricciones de diseño del presente documento, se realizó el diseño del patio de acopio teniendo en cuenta el área del terreno que fue entregado por parte de la planta a la empresa. El desarrollo de cada una de las características se encuentra en el anexo 4 (Diseño del patio logístico) y el layout final del patio se encuentran en el anexo 5.

Por último, el anexo número 2 establece una calculadora de costos y rentabilidad del proyecto basándose en todos los factores descritos previamente [calculando el valor de cada tonelada de biomasa según cada actividad](#), siguiendo las metodologías planteada en este documento en cada proceso. Para encontrar el valor por tonelada, se contemplan los salarios, costos asociados a la utilización de las máquinas y prestaciones sociales de los empleados entre otros rubros. Todos los valores con los que se realizó el modelo económico fueron dados por la empresa, ya que son los valores manejan en la actualidad, gracias a los conocimientos que tienen y a los acuerdos con trabajadores y proveedores. Los costos que se tuvieron en cuenta para cada rubro están reflejados en la grafica 2.

Costos de cosecha	Costos de transporte	Otros costos
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Salarios según tabla de salarios de la empresa</li> <li>•Seguridades social (factor prestacional del 52%)</li> <li>•Desgaste de las maquinas según rendimiento. (ficha técnica)</li> <li>•Consumo de la maquina (ficha técnica)</li> <li>•Repuestos contemplados por la empresa.</li> <li>•Depreciación del equipo definida por la empresa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Costo por tonelada según contrato actual de la empresa con terceros.</li> <li>•Costo por tonelada para mantenimiento de las vías forestales (definido por la empresa).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Nomina administrativa, previamente definida por la empresa.</li> <li>•Costo de manejo del patio de acopio por tonelada establecido por la empresa según el informe de consultoría de la empresa Attinco sas(2019).</li> </ul>

Grafica 2: Costos utilizados –fuente: los autores

## 4.1.2 Resultados

### 4.1.2.1 Resultado económicos y de rendimiento etapa de cosecha

Para poder calcular la rentabilidad del negocio es necesario realizar los análisis de precios unitarios (APU) de cada etapa según los insumos para cada etapa, así como el cálculo del rendimiento por hora de cada cuadrilla con la fórmula mencionada en el anexo 1:

$$R \text{ (m}^3\text{/h)} = 3600s \quad R = 3600 \frac{0,0428\text{m}^3}{1\text{h} * 115,2\text{s}} = 1,337 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ por cuadrilla.}$$

Teniendo en cuenta que la jornada laboral es de 8 horas y el tiempo productivo de un 96% tal como se indica en el anexo 1, una cuadrilla bajo esta metodología lograría cosechar 10.268 m<sup>3</sup> por día.

Para reflejar este tiempo en los costos la empresa se realizó el análisis de precios unitario (APU) de la etapa de cosecha, teniendo en cuenta los 3 subprocesos principales: Cortado, trozado-apilado y extracción.

Para el APU de la etapa de cortado, se utilizaron como parámetros la productividad hallada anteriormente (10,268 m<sup>3</sup>/día), el salario base que tiene establecido la empresa para el cargo de aserrador y las herramientas o máquinas necesarias para realizar las labores incluido las piezas de mantenimiento, consumo de gasolina y aceites depreciación de la máquina. Estos datos fueron suministrados por la empresa teniendo en cuenta las indicaciones del fabricante.



Proceso Corta Arboles	
Dias trabajados	25
Corta de arboles diaria (8 hrs)	240
Volumen por árbol(m3)	0,0428
Volumen total(m3)	10,268
Volumen por mes	256,70
Aserradores	1
Salario aserrador	\$ 1.500.000
Seguridad social (factor prestacional 52%)	\$ 780.000
Epp mes	\$ 44.333
Costo operación motosierra mensuales segun fabricante	
Cadenas (2) valor mensual	\$ 150.000
Combustible (1.25 gl/día) valor mensual	\$ 312.500
Aceite 2T (1/4 por cada 5 galones de gasolina)	\$ 100.000
Motosierra (depreciación mensual)	\$ 128.571
Aceite Quemado (0.5 gl/día)	\$ 27.273
1 sable al año(valor mensual )	\$ 16.875
Limas (1 por semana) valor mensual	\$ 22.000
Filtro gasolina (1/mes)	\$ 14.000
Otros	\$ 38.561
total Costos mensuales	\$ 3.134.113
Costo por M3 cosecha	\$ 12.209

Tabla 1: apu cortado – fuente: los autores

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores, el costo final de cortar bajo la metodología planteada es de 12.209 cop/m<sup>3</sup>.

El siguiente subproceso en la cosecha es el proceso de trozado y apilado, una vez cortado el árbol es necesario realizar la dimensión de las trozas al tamaño necesario, que será entre 2.5 y 3 metros aproximadamente. La labor de la dimensión de los fustes será realizada por 2 auxiliares, en dado caso que el diámetro del tronco sea mayor a 20 cm, el aserrador utilizará la motosierra para realizar los cortes. Después de dimensionado los fustes, los auxiliares realizarán el arrastre a borde de línea para facilitar la extracción por parte del trineumatico. Para el APU se consideró el volumen diario mencionado previamente en este documento, así como el salario para un auxiliar contemplado por la empresa.

Proceso de trozado-apilado	
Dias trabajados	25
Arboles trozados día	240
Volumen por árbol	0,0428
Volumen total	10,268
Volumen por mes	256,70
Salario Auxiliar	\$ 1.000.000
Cantidad de auxiliares	2
Salarios 2 auxiliares	\$ 2.000.000
Seguridad social	\$ 1.040.000
Costo Totales mensuales	\$ 3.040.000
Costo trozado metro cubico	11.843

Tabla 2 apu trozado y apilado – fuente: los autores

Bajo esta metodología el costo del proceso de trozado y apilado sería de 11.843 cop/m<sup>3</sup> puesto a borde de línea. Es importante recalcar que teniendo en cuenta los datos del subproceso anterior la cuadrilla estaría compuesta por 3 personas, 2 auxiliares y un aserrador.

Por último, para el subproceso de extracción y carga se contempla el uso del trineumático dispuesto por la empresa con el fin de reducir los tiempos de carga.

Proceso extracción	
Dias trabajados	25
Arboles extraídos día	6242
Volumen por árbol	0,0428
Volumen total/día	267
Volumen por mes	6.678
<b>Trineumatico</b>	<b>118.200</b>
Salario operador	\$ 1.750.000
Seguridad social	\$ 910.000
Epp mes	\$ 11.000
Salario día operador	\$ 106.840
Costo total/ mensual	\$ 5.626.000
Imprevistos/ día	\$ 11.252
Costo m3 extracción	920,499

Tabla 3: APU proceso de extracción – fuente: los autores

Estos costos unitarios de la etapa de cosecha se ven sintetizados en el siguiente cuadro:

COSTO APROVECHAMIENTO HASTA CARGAR CAMION VERDE	
Costo cosecha m3	\$ 12.209
Costo extracción m3	920
Costo trozado m3	11.843
Total m3	\$ 24.972
Total ton USO	\$ 28.579
Costo total diario base 200 días	\$ 5.298.635
Costo Total mensual 8 meses	132.465.887
Costo total 8 meses	1.059.727.099,54
Costo diario base 360 días	2.943.686,39
Costo total 12 meses	88.310.591,63

Tabla 4: resumen costos unitarios subproceso cosecha – fuente: los autores.

Con la metodología sugerida el costo por m<sup>3</sup> es de 24.972 pesos. Para poder realizar la conversión adecuada a toneladas, utilizamos el factor encontrado por la empresa según el plan de reposición 2020(HVSAS, 2020) el cual indica que, para estas plantaciones, dicho factor es de 0.9 toneladas por cada m<sup>3</sup>, adicionalmente, es necesario agregar el % de perdida estimado de peso desde el proceso de corte hasta la bascula de peso el cual esta establecido en el modelo en un 3% por árbol. Por lo tanto, la formula de conversión quedaría de la siguiente manera:

$$\frac{24.972 \text{ cop}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{0,9 \text{ ton}} * (1 + 0,03) = 28.579 \text{ cop/ton}$$

A pesar de que en la actualidad esta [metodología no ha sido aplicada](#), el valor de dicha operación es según nuestro diseño es de 28.579 lo cual es significativamente bajo pues es el 14% del valor final de la venta de la biomasa que va a recibir la empresa en el año 2020. Adicionalmente, es importante recalcar que según la Timber Tropical organization, el precio de un m<sup>3</sup> de madera dura procesada es de 947.090 (octubre de 2019) lo que significa que si dicha materia prima se destinara para este uso específico, el aprovechamiento forestal solo seria el 3% del valor de venta.

#### 4.1.2.2 Resultado logísticos y de transporte

Dado que la metodología planteada para reducir los costos en la etapa de cosecha contempla el ingreso de los vehículos de carga a los cuadros de siembra, la empresa decidió utilizar como método de transporte camiones tipo doble troque forestales con capacidad máxima de 22 toneladas (bajo modificaciones) para realizar la operación de transporte. En la actualidad la empresa cuenta con una capacidad instalada de 10 camiones para realizar el transporte del material vegetal.

El primer análisis que realizó la empresa para sacar el costo de transporte fue un análisis superficial de la situación, que contemplaba los siguientes parámetros: 200 días de trabajo anuales (teniendo en cuenta que la metodología no se puede aplicar en picos de invierno) y la cantidad de material a transportar diario en promedio, de acuerdo a un consumo anual estimado de 37.080 toneladas verdes, es decir, 36.000 toneladas aptas para uso, contemplando el mismo porcentaje de pérdida de la etapa de cosecha que es un 3% del total. Es importante dejar claro que este análisis, se realiza considerando una operación estable. El año 0 y 1 se consideran unos años atípicos, por lo tanto, se debe considerar que va a haber una variación considerable en cuanto al nivel de inventarios, así se corra el modelo con los mismos parámetros que se hace en todos los años, pues estos requieren otro tratamiento teniendo en cuenta que la empresa tiene contemplado ingresar 10.800 toneladas como base antes de iniciar formalmente el abastecimiento de la planta.

El análisis arrojó como resultado 1686 viajes por año con un valor de 1.816.920.000 de costo, teniendo en cuenta que, dado las distancias, el 60% de la madera tenía un costo de transporte promedio de 50.000 pesos tonelada, y que el 40% restante tenía un costo promedio de 40.000 pesos. Además, como se menciona en el anexo 1, las vías forestales son de vital importancia para la realización de operaciones forestales, por eso se contempló un valor de 3000 pesos por tonelada destinado a este fin. Dichos costos se ven plasmados en la tabla N.º 5.

COSTO TRANSPORTE PLANTACIÓN - 8 meses, 25 días por mes	
días de trabajo	200
ton/diaria	185,4
Troque - ton	22
total doble troques diarios	8,43
Costo x tonelada transporte USO	50.000
Costo x tonelada transporte finca externa	40.000
Costo x ton mantenimiento vias uso	3.000
Costo x doble troque a finca de socio	1.100.000
Costo x vias	66.000
Costo x doble troque a finca externa	880.000
Costo diario transporte + vias 8 meses	9.084.600
Costo mensual ( 8 meses) transporte + vias	227.115.000
Costo 8 meses transporte + vias	1.816.920.000
Costo diario base 360 días	5.047.000
Costo mensual base 12 meses	151.410.000

Tabla 5: detallado de los costos de la empresa para el transporte de la materia, fuente: los autores

Sin embargo, el resultado de los costos iniciales carecía de análisis de distintos factores tales como: restricciones de nivel mínimo de inventario **requerido en patio para los meses 5 y 10**, análisis de capacidad instalada y valor específico de camiones necesarios mes a mes. Con el fin de **encontrar una solución óptima** generamos un modelo reflejado en el anexo 3 del presente documento, el cual es un modelo aplicativo en Excel que busca utilizar todos los parámetros conocidos del transporte mencionados en el anexo 1 así como un stock inicial el cual fue definido por la empresa y va a ser sacado directamente de unas plantaciones

externas a las adjuntas al proyecto. El objetivo de este modelo es minimizar la cantidad de viajes y reducir los costos de operación. Para poder tener un **análisis objetivo** se utilizarán los datos promedio del año 2 y 3 pues como se menciona previamente el año 0 y 1 van a tener un comportamiento atípico. Sin embargo, para inicializar el modelo, dichos datos si fueron ingresados, con el fin de tener un comportamiento muy similar a los esperados años a año.

El modelo al ser robusto tuvo un tiempo de corrido de 2 horas, los resultados de dicho modelo fueron los siguientes:

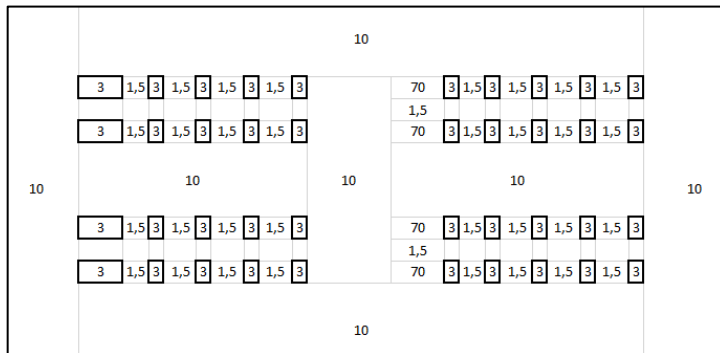
Resultados estimados modelo	
Cantidad camiones año promedio (año 2 y 3)	1569
Costo de envío promedio de los 2 años	1.691.382.000
Porcentaje de capacidad instalada utilizada promedio	78,45%

Tabla 6: resultados del modelo anexo 3.- fuente: los autores

A nivel económico, los resultados después de la implementación del modelo son favorables pues la empresa con el stock inicial planteado va a tener un costo real de operación en estabilidad de 1.691.382.000 lo que significa una disminución del 6.91% y un ahorro de 125.538.000. Los resultados del modelo se dan gracias a que dicho modelo busca generar siempre una programación mes a mes que cumpla con las características mínimas del suministro y de los niveles de inventario, además, utiliza el inventario restante del año anterior, lo que permite tener un **cálculo más** preciso de los viajes necesarios reales al año una vez haya estabilidad.

#### 4.1.2.3 Resultados del diseño de patio a nivel logístico y económico

Inicialmente la empresa planteaba el siguiente **diseño (plano 1)** teniendo en cuenta solo los tamaños de las pilas, su ubicación y las vías de circulación de 10 metros. Bajo esos parámetros la superficie que se necesitaba era de 22.536 m<sup>2</sup> (Horizonte Verde SAS, 2020).



Plano 1: diseño inicial patio de acopio – fuente: plan de reposición HVSAS 2019

Adicionalmente las pilas de madera tenían las siguientes dimensiones debido a la capacidad instalada de la empresa en cuanto a maquinaria y personal operativo:

Detalle de apilado x pila	
altura	4,20 metros
ancho	70 metros
largo	3 metros
Factor promedio espaciamento	0,53
TOTAL, VOLUMEN	467,46
TONELADAS	420,714

Tabla 7: detalle apilado – fuente: plan de reposición 2020 HVSAS

Este diseño permitía a la empresa obtener un almacenaje promedio de 16.828 toneladas en 40 pilas lo que les permitía obtener un volumen promedio de 18.698 m<sup>3</sup>.

Volumen almacenamiento	18.698
Toneladas almacenadas	16.828
No. Pilas	40
camino secundarios	1,5 metros
camino principales	10 metros

Tabla 8: volumen almacenamiento – fuente: plan de reposición 2020 HVSAS

Sin embargo, dicho diseño **no contemplaba** ningún sistema de inventario conocido, así como el área real de lote, zona administrativa y otros espacios necesarios para la operación de la empresa. Adicionalmente, en cuanto a requerimientos técnicos específicos no se contemplaban aspectos relevantes como la naturaleza del producto, cantidad de movimiento y método específico de almacenaje de la biomasa entre otros.

Para poder realizar un diseño integral de la logística de la empresa, y siendo el patio eje fundamental de la operación, debido a que en la báscula de ingreso al patio se va a realizar la liquidación de los pagos a los proveedores, consideramos indispensable que el diseño realizado contara con el análisis de distintos factores, este análisis se reflejó en el anexo número 4 del presente documento, que tiene como resultado el layout del patio, plasmado en el anexo número 5, con dicho diseño encontramos dos factores

determinantes para la empresa, el primero, la capacidad total del patio y el segundo, el nivel de inventarios que se va a manejar mes a mes.

Si bien, la empresa tenía proyectado 18.698 m<sup>3</sup> distribuidos en 40 pilas de 4,2 metros, al realizar el nuevo diseño, con las coordenadas reales del lote, se calculó que el área estimada es de 23010 m<sup>2</sup>, y que el número de pilas se redujo a 20 pilas de mayor largo que las iniciales y a 4 pilas de aproximadamente el 60% de la de la capacidad de las pilas de 70 metros, lo que daría el siguiente detalle por pila:

Detalle de apilado x pila de 76.6	
altura	4,20 metros
ancho	76.6 metros
largo	3 metros
Factor promedio espaciamento	0,53
TOTAL, VOLUMEN	511,53
TONELADAS	460,37

Detalle de apilado x pila de 42.8	
altura	4,20 metros
ancho	42.8 metros
largo	3 metros
Factor promedio espaciamento	0,53
TOTAL, VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	285,81
TONELADAS (ton)	257,24

Tabla 9 (izq.) y tabla 10 (der): detalles técnicos de las pilas según el diseño contemplado en el plano – fuente: Plan de reposición 2020 HVSAS

Para un volumen total bajo este esquema de diseño de 11.423 m<sup>3</sup> (10.280 toneladas), lo que significa una reducción del 38,90% de la capacidad inicial calculada por la empresa.

Volumen almacenamiento (m <sup>3</sup> )	11.423,240
Toneladas almacenadas (ton)	10.280,916
No. Pilas de 76.6	20
No. pilas de 42.8	4
caminos principales( doble vía)	12 metros

Tabla 11: volumen de almacenamiento con el diseño contemplado en el plano – fuente: plan de reposición 2020 HVSAS

La reducción se da, principalmente, porque la figura del lote no es cuadrada como se tenía contemplado inicialmente, además, al realizar un diseño de vías según los parámetros mínimos del manual de vías del invias (2008); con el fin de permitir la fácil circulación de los vehículos de carga, tractores y remolques que se van a utilizar, el espacio disponible para almacenaje disminuye. Por último, el tercer factor que incide en la reducción del espacio fue la implementación de corta fuegos como mecanismo de prevención alrededor del patio, ya que, al ser material vegetal inflamable, la empresa debe protegerlo de cualquier incendio eventual que pueda ocurrir en la zona.

A nivel económico es necesario fijar un valor para el manejo del patio, ya que al haber constante movimiento de madera es necesario realizar labores de mantenimiento de las vías forestales internas, de mantenimiento de maquinaria y así como la compra de insumos necesarios. El patio además debe contar con seguridad privada, cámaras de seguridad, operarios de tractor todos los días incluido dominicales, e ingenieros y técnicos forestales que velen por el control y manejo del material vegetal desde su ingreso

hasta su entrega al patio de acopio. El valor fijado por la empresa para este rubro es de 11.500 pesos por tonelada en el patio para un total estimado del 426.420.000.

COSTO CARGA-DESCARGA PATIO Y MANEJO POR TON	
Costo manejo de patio x tonelada	11.500
Costo diario x tonelada base 360 días	1.184.500
Costo anual 360 días	426.420.000
Costo mensual	35.535.000

Tabla 12: precio por manejo por tonelada patio de acopio – fuente: Los autores

#### 4.1.2.4 Resultados consolidados y rentabilidad de la metodología.

Después de realizar el discriminado de todos los costos, realizamos el análisis del conglomerado de estos para poder analizar la rentabilidad de la metodología. Para poder contemplar todos los costos añadimos el precio de compra promedio que es de 51.500 pesos por tonelada en pie (sin cortar), contemplando la compra del 60 % de madera a los socios de la empresa al precio máximo permitido que es 55.000 pesos, el 30% de la madera al precio máximo permitido de compra a terceros no socios de 45.000 pesos y el 10% restante a un precio mínimo de 35.000 pesos. Estos precios fueron fijados en la política de gastos de la empresa los cuales fueron compartidos por la gerencia para la realización del presente modelo económico. Adicionalmente, es necesario contemplar el gasto administrativo fijo de 15.203 por tonelada. El detalle del gasto administrativo puede ser consultado el anexo 2. La tabla 13 muestra el resumen de los ingresos anuales contra los gastos anuales realizando el cambio de valor de transporte mencionado en el numeral 4.1.2.2:

Costos de la madera	
anual	
cantidad de madera de socios	60%
cantidad de madera de terceros maximo	30%
cantidad de madera de terceros minimo	10%
Cantidad de madera de terceros bascula	0%
ingreso por venta de madura Horizonte verde	7.354.268.220
Costo de transporte	1.691.382.000
Costo de aprovechamiento	1.059.727.100
Costo de manejo de patio	426.420.000
Gasto Administrativo	563.740.800
Costo de compra de la madera	1.854.000.000
total costos gastos uso	5.595.269.900
utilidad bruta	1.758.998.320
IVA 5%	367.713.411
Utilidad Horizonte verde sas	1.391.284.909

Tabla 13: Resumen ingreso – costos fuente: anexo 3

Después de descontar todos los costos y gastos de esta metodología, en condiciones de estabilidad, la utilidad neta del negocio es del **18.92 %**. El negocio es viable económicamente pues con estas cifras el valor presente neto (vpn) del negocio en un primer escenario con una tasa de descuento del 16.6 %, calculado con una beta apalancado estimado para negocios forestales del 1.62 (nyu, 2019) y con la inversión planteada de 3.400.000.000 millones de pesos es de 5.008.000.000 millones de pesos.

En un segundo escenario si no se desea utilizar este valor de beta apalancado, la tasa de descuento sería 9.43 % por lo que el VPN sería el doble del escenario anterior. El retorno de esta inversión bajo este

esquema es del 7.43 al año 20, año finalización del contrato, y el flujo de caja proyecto muestra una recuperación al tercer año.

## **4.2 Establecer la capacidad logística de la empresa con el fin de identificar el es estándar mínimo requerido para el funcionamiento de la planta Agroindustria verde SAS.**

### **4.2.1 Metodología**

El estudio de tiempos y movimientos es una técnica creada en a principios del siglo XX por Taylor, Frank y Lilian Gilberth la cual fue creada con el fin de mejorar el tiempo de realización y determinar el tiempo estándar de una tarea definida a través de la medición del tiempo invertido en las labores necesarias para el cumplimiento de dicha tarea específica. (García R, 2005). Dicho estudio se realiza para definir el tiempo estándar de las tareas que son realizadas por los operarios con el fin de generar mayores rendimientos. La cadena forestal mencionada en el presente documento a lo largo de todo su desarrollo presenta distintas etapas donde el trabajo depende de las labores mecánicas de los operarios. El estudio en este documento se basará en el análisis de la etapa de corte pues debido a la emergencia sanitaria que se presenta en el país, solo fue posible hacer una visita a campo para tomar mediciones concretas de los procesos. Además, dicha visita fue en el mes de febrero del presente año por lo que la empresa en el momento no estaba realizando ningún tipo de operación.

Para el desarrollo de la metodología lo primero que se realizó fue definir los elementos del estudio de tiempos, con el fin que el resultado final sea lo más acertado posible. Los elementos seleccionados para el presente estudio son:

- Registro de información significativa según las herramientas a utilizar tales como maquinaria, herramientas manuales, dispositivos tecnológicos, elementos de trabajo entre otros.
- Capacidad de trabajo personal, ya que para poder establecer un tiempo más objetivo es necesario utilizar trabajadores de rendimientos promedios. Dicho trabajador debe además tener disposición a la hora de hacer los trabajos pues los factores emocionales afectan directamente los rendimientos
- Lugar y posición del observador sin obstruir el desempeño normal de las actividades del trabajador, pero con suficiente panorama visual para registrar todos los movimientos de las manos.

Teniendo claro los elementos del estudio planteado definimos la metodología de medición de tiempo (Meyers, 2000):

1. Selección del trabajo a estudiar: Como se mencionó previamente, el único trabajo que se pudo analizar para este estudio fue el proceso de corte de los árboles.
2. Definir claramente las etapas del trabajo asignado.
3. Realizar la medición del tiempo de duración del trabajo asignado durante varias ocasiones y consignar los datos en un formato.
4. Realizar el promedio de duración del trabajo y el análisis de este.
5. [Encontrar el factor de nivelación según el método escogido \(para este estudio utilizaremos el método Westinghouse\).](#)

Con la metodología del estudio de tiempos clara, procedemos a realizar la definición de los movimientos que son necesarios para el estudio, estos son llamados therblig y corresponden a 17



movimientos según lo planteado en la teoría de Gilbreth (Tejada et al, 2017). Cada movimiento tiene un respectivo nombre y símbolo los cuales pueden ser consultados en el anexo 7 del presente documento. Los movimientos pueden ser de naturaleza física, objetiva, mental o de dilataciones. Los 17 movimientos están clasificados en el anexo 7. Todos estos movimientos deben ser indicados en el diagrama de procesos, una herramienta que nos permite ver a que tipo de proceso corresponde, estos pueden ser de manejo, inspección, operación, almacenaje o retraso. Los diagramas de procesos tienen su propia simbología para cada tipo de proceso, la tabla explicativa se encuentra en el anexo 7. Teniendo en cuenta todo lo anterior, se realizó el formulario de recolección de datos, el cual puede ser consultado en el anexo 7, y que va a permitir plasmar los resultados en campo. Después de tener el tiempo observado, se determinó el factor de nivelación del operario el cual consiste en una evaluación objetiva por parte del observador con el fin de ajustar el tiempo de un operario con rendimiento bueno y de un operario con rendimiento inferior al esperado. Para el cálculo de este factor se utilizó el método Westinghouse, este se encuentra descrito en el anexo 7.

#### 4.2.2 Resultados

Para la toma de resultados fue necesario realizar una visita de campo a las operaciones forestales de la empresa. La empresa no estaba operando con fines de extracción de material para biomasa durante la visita, sin embargo, con el fin de lograr tener unos resultados similares se realizó el estudio sobre el proceso de corte que venía realizando la empresa con fines de obtener madera necesaria para un estudio de curva de secado. Los equipos utilizados por el operario fueron los mismos dispuestos para el aprovechamiento forestal con el fin de minimizar cualquier margen de diferencia.

Una vez aplicado el formato del anexo 7, logramos discriminar todos los movimientos necesarios para realizar el corte, dichos movimientos fueron clasificados según el diagrama de proceso y adicionalmente fueron medidos por cronómetro con el fin de encontrar el tiempo de corte. Los árboles seleccionados tenían 11 años con un volumen en pie promedio de 0,042 m<sup>3</sup> según el lote seleccionado. La selección de este lote fue realizada por la empresa, se realizaron 2 mediciones debido al N (número de mediciones) hallado en el anexo 7.





Tipo de proceso	símbolo	numero de operaciones	Tiempo en segundos	Tiempo en segundos medicion 2
Operación		14	45	41
Transporte		2	30	35
Inspeccion		3	19	21
Retraso		1	10	10
		<b>total trabajo</b>	<b>104</b>	<b>107</b>

Tabla 14 – resumen de los procesos operación de corte – fuente: Los autores

El tiempo del proceso de corte por árbol fue de 104 segundos en la primera medición y de 107 segundos en la segunda medición para un tiempo promedio de 105.5 segundos según el estudio en campo, divididos en 20 procesos distintos. El fin de esta medición es determinar el tiempo estándar del proceso, para determinarlo es necesario tener en cuenta el factor de nivelación y los factores de tolerancia, retrasos personales y retrasos inevitable. El resultado del factor de nivelación según el método elegido fue de -0.02. Para determinar el factor de tolerancia, retrasos personales y retrasos inevitables utilizamos tabla de márgenes y tolerancia de Niebel (1993). Los factores para utilizar fueron los siguientes:

Margen de tolerancia personal	5%
Margen de tolerancia por fatiga	4%
Margen de tolerancia por estar de pie	2%
Empleo de fuerza( levantar motosierra de 20 libras)	3%
Condiciones de humedad ( relativa del 50%)	5%
Nivel de ruido agudo alto	5%
Monotonía medio	1%
Trabajo delicado o exacto	2%
TOTAL	27%

Tabla 15 – márgenes de tolerancia utilizados – Fuente: Niebel, 1993

Con el factor determinado del 27% se procede a realizar el cálculo del tiempo estándar:

$$\text{Tiempo estandar} = \text{tiempos observados promedio} * 0.98 * (1 + \text{márgenes de tolerancia}\%)$$

Por lo tanto, el resultado final es un tiempo estándar del proceso de corte de 131,30 segundos. En la actualidad, la empresa tiene un tiempo estimado teórico de 115,02 segundos, sin embargo, si comparamos el tiempo estándar encontrado por el estudio de tiempos y movimientos encontramos que el rendimiento será menor en un 12.39 %. Esto generaría que la empresa para cumplir con sus metas y no tener problemas en el suministro, debería añadir una cuadrilla adicional o mejoras tecnológicas con el fin de tener el rendimiento esperado.

### 4.3 Establecer el sistema de almacenaje y el modelo de gestión de inventarios para el patio de acopio de Horizonte verde mediante modelos de inventarios, simulación & gráficas con el fin de entender la capacidad del patio con las necesidades de producción.

#### 4.3.1 Metodología

La empresa Horizonte Verde planea empezar operaciones en 2021, con los estudios realizados por ellos anteriormente, se tiene conocimiento de los siguientes parámetros para tener en cuenta:

- Consumo mínimo mensual por la planta de Biomasa: 2917 Toneladas
- Consumo mensual definido por la planta de Biomasa: 3000 Toneladas (**Es una demanda conocida y constante**)
- Capacidad máxima de la planta de Biomasa: 3500 toneladas. A pesar de que se tiene una demanda conocida, la planta de Biomasa está en capacidad de procesar 3500 toneladas mensuales.
- Capacidad (Toneladas) de los camiones escogidos por Horizonte Verde: 22 toneladas
- Días de trabajo anual: 200 días
- Máximos viajes permitidos mensualmente: 250
- Capacidad operativa máxima esperada: 16800 toneladas

Adicionalmente la empresa provee las siguientes restricciones:

- Al final del mes de mayo es necesario tener en inventario mínimo 15000 toneladas: La razón de este requerimiento por parte de la planta es porque debido a las condiciones climáticas de la zona, durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre no se pueden realizar viajes en el área por ende no se puede suplir al patio de acopio de inventario.

- Al final de octubre el inventario tiene que ser de mínimo 6000 toneladas

Teniendo en cuenta estos parámetros y restricciones se procedió a realizar un modelamiento en Excel mediante la herramienta Solver, de esta forma se puede determinar la capacidad operativa del patio de acopio según los requerimientos que tiene la empresa. El modelamiento en Solver se realizó para medir tres años de capacidad operativa teniendo en cuenta como Función Objetivo la minimización de los viajes posibles a realizar desde el abastecimiento de materia prima (Cultivos controlados de madera) al patio de acopio, y para iniciar fue necesario contar con el inventario inicial con el que contaba el patio de acopio, este dato lo provee la empresa pues durante los meses de noviembre y diciembre inicia la operación piloto en la planta. Este estudio le dice a la empresa Horizonte Verde la cantidad de viajes necesarios mensualmente durante los 3 primeros años para poder suplir sus necesidades y también ayuda a determinar el inventario al final de cada mes.

Mediante el uso de la herramienta presentado en el *Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (Modelo)*. Se obtiene el inventario al final de cada mes durante los tres años satisfaciendo todas las restricciones del patio de acopio. Adicionalmente, utilizando herramientas graficadoras en la herramienta Excel se expone el comportamiento del inventario durante los tres primeros años.

Gracias a los resultados obtenidos de la herramienta, se procede a realizar una simulación de Montecarlo. Para esta simulación se espera obtener una visión más clara del comportamiento del inventario en un escenario aleatorio y con una demanda no constante y desconocida. Para realizar la simulación se utilizó una distribución de probabilidad uniforme con parámetros a y b suministrados por la empresa debido a que ellos cuentan con una capacidad de producción (mínima = a y máxima = b) y esta distribución permite tomar valores aleatorios entre este intervalo. A continuación se muestran los límites compartidos por la empresa:

- a: 2917 toneladas → Capacidad operativa mínima soportada por la planta
- b: 3500 toneladas → Capacidad operativa máxima soportada por la planta

Por otro lado, se obtienen costos tales como el costo de BackOffice, costo de almacenar y el costo de pérdida después de los 3 años de la operación estudiada. *Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (Montecarlo)*. Los costos por tonelada fueron calculados de la siguiente forma:

- Costo de BackOffice: Es la sumatoria del costo de comprar, cortar y transportar la madera, también el costo administrativo detrás de la operación: *Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (Montecarlo)*

Costo BackOffice (COP/TON)	
Costo de cortar	\$ 28.579,00
Costo de transportar	\$ 49.000,00
Costo de madera	\$ 51.500,00
Costo administrativo	\$ 15.203,00
<b>TOTAL (Sumatoria)</b>	<b>\$ 144.282,00</b>

Tabla 18: costo de BackOffice – fuente: los autores

- Costo de pérdida: Pérdida de realizar una venta menos el costo de almacenar dicha madera. *Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (Montecarlo)*

Costo de perdida (Ton)	
Costo de venta	\$ 204.285,00
Costo de almacenar	\$ 11.500,00
<b>Total</b>	<b>\$ 192.785,00</b>

Tabla 19: Costo de perdida – fuente: los autores

- Costo de almacenar: La empresa Horizonte verde realizó un estudio interno, el costo de almacenar que se obtuvo y que se solicitó usar para este estudio fue de \$11.500 COP/TON

Para conocer los costos asociados al almacenaje y distribución como un todo, se procedió a realizar un EOQ (Economic order quantity), este estudio se puede realizar pues se cuenta con una demanda conocida y estándar mensualmente durante toda la operación. *Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (EOQ)*.

#### 4.3.2 Resultados

Según la metodología explicada anteriormente, el resultado de la simulación realizada con la herramienta Solver y teniendo en cuenta las restricciones mencionadas se obtuvieron los siguientes resultados. *Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (Modelo)*:

Año 1												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
TON TRANSP MES	5.500	-	-	5.500	5.500	-	-	-	-	5.500	-	2.706
Demanda x mes	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Viajes x mes	250	-	-	250	250	-	-	-	-	250	-	123
Inv fin mes	16.794	13.794	10.794	13.294	15.794	12.794	9.794	6.794	3.794	6.294	3.294	3.000

Año 2												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
TON TRANSP MES	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	-	-	-	-	5.500	5.478	-
Demanda x mes	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Viajes x mes	250	250	250	250	250	-	-	-	-	250	249	-
Inv fin mes	5.500	8.000	10.500	13.000	15.500	12.500	9.500	6.500	3.500	6.000	8.478	5.478

Año 3												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
TON TRANSP MES	4.312	5.500	5.500	5.500	5.500	-	-	-	-	4.224	-	-
Demanda x mes	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Viajes x mes	196	250	250	250	250	-	-	-	-	192	-	-
Inv fin mes	6.790	9.290	11.790	14.290	16.790	13.790	10.790	7.790	4.790	6.014	3.014	14

Tabla 16: Comportamiento de viajes mes a mes simulación 3 años – fuente: los autores

Como se puede evidenciar, usualmente es necesario cubrir casi el máximo de viajes permitidos (250) mensualmente. Para la empresa Horizonte Verde es importante tener en cuenta que ante cualquier inconveniente que se pueda presentar (problemas climáticos, fallas mecánicas, ausencia de operadores) **no se podría cumplir con los requerimientos solicitados por la planta en periodos futuros, es necesario mencionar que dichos viajes se pueden cubrir en los meses que tienen 0 en la cantidad de viajes recomendados por el modelo, y así poder cubrir con los requerimientos de la planta.** Es clave mencionar que para realizar el modelo se tuvo en cuenta un tope máximo en el inventario posible mensualmente, este valor fue definido por la planta y es de 16800 toneladas. Es por esto que, a la hora de correr el modelo, no se ven altos volúmenes de inventario, a no ser que la planta así lo requiera.

Es necesario aclarar que, para obtener estos resultados en el Solver, se utiliza el volumen que la empresa usa en los dos meses previos al inicio de la operación en una prueba piloto, pues se realizó también la solución del modelo sin el inventario inicial y el programa no encuentra una solución factible.

Mes	Año 0 (2020) HISTORICO PROYECTADO REAL EMPRESA	
	Noviembre comienzo mes	Diciembre
Toneladas iniciales	10.800,00	12.547,00
Toneladas transportadas e ingresadas	4.664,00	4.664,00
Toneladas procesadas en la planta	2.917,00	2.917,00
Inventario fin de mes	12.547,00	14.294,00

Tabla 17: Supuestos iniciales de inventario según la empresa – fuente: plan de reposición HVSAS 2020

Posteriormente se procedió a realizar la simulación de Montecarlo utilizando los valores obtenidos en *Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (Montecarlo)* únicamente para la cantidad de viajes. Mediante esta simulación se pudo obtener un detalle de los costos de la operación asociados al costo de ordenar, almacenar y el costo de pérdida y se pudo evidenciar el comportamiento del inventario para una demanda aleatoria según los viajes que recomienda el modelo en Solver.

Al comparar los resultados arrojados por el modelo de Solver versus el Montecarlo, se puede observar en *Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (Montecarlo)*, que en algunos meses la demanda arrojada por la distribución de probabilidad Uniforme es muy elevada en comparación con las 3000 toneladas usadas para modelar el Solver, esto genera valores en inventario más bajos manejando niveles de demanda altos. Para la empresa es clave tener en cuenta que, en un escenario de demanda aleatoria, a pesar de tener la capacidad operativa para realizar más viajes y suministrar más materia prima, los costos podrían elevarse significativamente. Después de realizar la simulación de Montecarlo, se realizaron 100 muestras con los diferentes valores aleatorios arrojados para calcular un costo promedio para la operación, se obtuvieron los siguientes resultados:

Costo BackOffice	Costo almacenar	Costo perdida
\$ 13.522.109.040,00	\$ 2.079.730.150,00	\$ 4.218.155.078,50

Tabla 20: costos asociados – fuente: anexo 3

Se puede evidenciar que existe un costo de pérdida muy alto en el Montecarlo, esto se presenta por que el Modelo al no estar restringido por un año siguiente en el año tres, busca reducir los viajes al máximo. Al tener menos viajes, y mantener niveles de demanda cercanos a las 3500 toneladas, no se podría cumplir con los requerimientos exigidos por la planta.

Posteriormente se procedió a realizar un análisis de EOQ del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

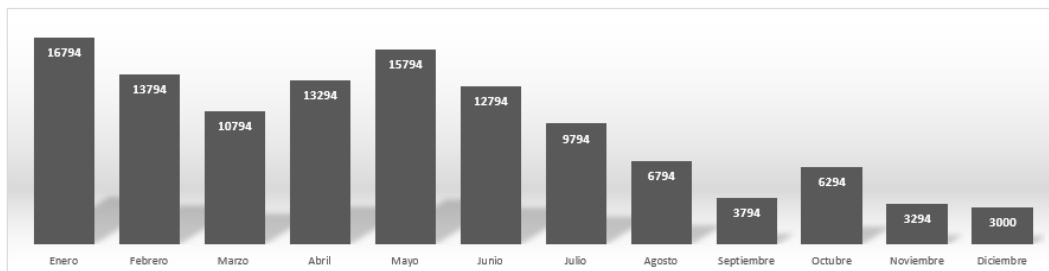
El tamaño óptimo de pedido ( $Q^*$ ) que minimiza los costos totales es de 950,437. Este dato realmente no es relevante para el estudio pues al tener un máximo de viajes diarios y un modelo de abastecimiento dado por la simulación, no es posible realizar un solo pedido por 950 unidades. El costo anual obtenido es de \$5.820.617.013. La empresa horizonte verde realizo una auditoria externa con la que obtuvo un valor de \$6.150.080.000, esto dice que toda la simulación realizada y los costos calculados están

correctos y mejorarían los escenarios actuales de la empresa. Finalmente es importante tener un acercamiento al comportamiento del inventario de manera gráfica, por esta razón, se procedió a mostrar el comportamiento del inventario en el patio durante los tres años según arrojaron los estudios previamente mencionados:

**Año 1**

**Inventario a final de mes**

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
16794	13794	10794	13294	15794	12794	9794	6794	3794	6294	3294	3000

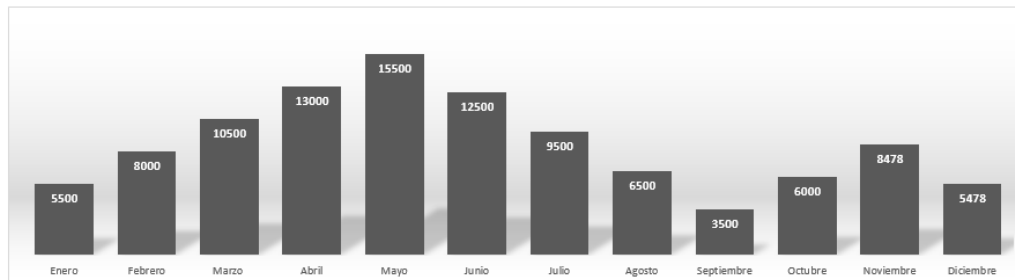


Grafica 3: comportamiento del inventario año 1 - fuente: anexo 3

**Año 2**

**Inventario a final de mes**

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
5500	8000	10500	13000	15500	12500	9500	6500	3500	6000	8478	5478

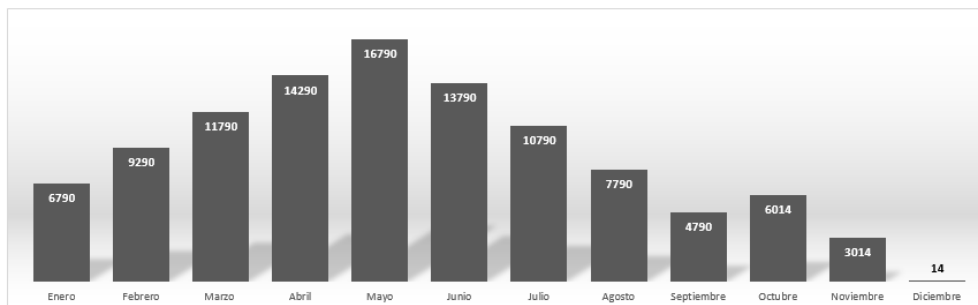


Grafica 4: comportamiento del inventario año 2 – fuente: anexo 3

**Año 3**

**Inventario a final de mes**

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
6790	9290	11790	14290	16790	13790	10790	7790	4790	6014	3014	14



Grafica 5: comportamiento del inventario año 3 – fuente: anexo 3

Se puede evidenciar que, a pesar de tener volúmenes más elevados en el año inicial, esto debido a que se inicia la operación ya con inventario en patio, el comportamiento del inventario es similar durante los tres años. Esto se presenta debido a que las restricciones de capacidad son las mismas durante los tres años, al minimizar la función objetivo el modelo busca cumplir todas las restricciones de capacidad con el volumen más bajo y como la demanda es la misma durante todos los meses, se evidencia como se va consumiendo con el mismo comportamiento durante los tres años. Adicionalmente, se puede evidenciar que al cierre de la operación en el año tres, el inventario es 14 toneladas, esto es porque debido a que el modelo ya no está restringido, busca minimizar los viajes y por ende el inventario disminuye

#### **4.4 Estimar el impacto del modelo logístico propuesto mediante indicadores de gestión con el fin de conocer la viabilidad del modelo frente a la necesidad de la empresa.**

##### **5.4.1 Metodología**

Después de realizar todo el estudio, fue importante encontrar puntos medibles en la cadena de suministro, estos puntos medibles darán información clave sobre oportunidades de mejora, los costos aproximados en los cuales la empresa puede incurrir y para que, en un futuro, se pueda comparar la realidad de la operación con lo planeado en este estudio.

Los puntos medibles en la cadena de suministro identificados fueron los siguientes:

- Costos de lo vendido:
  - Inventario Inicial (COP) + Costo de BackOffice (COP) durante todo el año - Inventario final (COP)  
*Ecuación · 1 – Costo de lo vendido*
- Inventario promedio:
  - $$\frac{\sum \text{Inventarios iniciales (TON)} + \text{Inventario Final (TON)}}{13 \text{ (Periodos)}}$$
  
*Ecuación · 2 – Inventario promedio*

##### 1) Rotación de los inventarios

- i) Costo de lo vendido (COP)/Inventario promedio (COP)  
*Ecuación · 3 – Rotación de inventario en días*
- ii) 365 (Días) / Rotación de inventario  
*Ecuación · 4 – Días promedio en reponer inventario*

Estos puntos medibles fueron estudiados para los tres años de operación con los resultados obtenidos en los ítems anteriores esto con el fin de evidenciar cómo se comportan los indicadores a través del transcurso de los años. Posteriormente se procedió a desarrollar la herramienta que busca comparar la eficiencia de todo el estudio versus la realidad, cabe aclarar que para medir el estudio en su totalidad, es necesario esperar los primeros tres años de operación del Patio de Acopio.

La herramienta del Anexo 6 Excel comparacion Plan vs Real consiste en un Excel de comparacion entre el estudio y la realidad en donde la empresa a cada cierre de mes tiene que proveer los siguientes datos:

- Despacho de Materia Prima

- Inventario inicial
- Inventario final

Automáticamente cada vez que se completa la información, la herramienta calcula los costos de ordenar en dicho mes con los datos en la tabla 21 pues estos son necesarios para el cálculo de los indicadores y le da información a la empresa sobre los costos incurridos por ordenar, después de transcurrir el primer año, la herramienta calcula todos los indicadores explicados previamente y los compara con los resultantes del presente estudio mediante una división, siempre utilizando los datos del presente estudio como divisor y el dato real como dividendo. Finalmente la herramienta arroja un valor en porcentaje que evidencia la desviación entre los dos valores.

A continuación, se presenta un ejemplo de los datos que arroja la herramienta, cabe aclarar que los datos suministrados para dicho ejemplo con solo para verificar el correcto funcionamiento de la herramienta.

#### Año 1

##### Rotación de inventarios

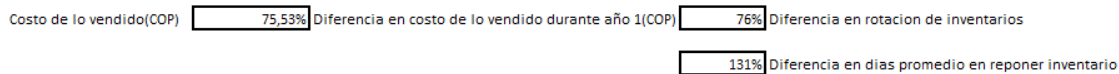


Figura 5: comprobación KPIs – fuente: los autores

Para la correcta medición de dicha comparación se utiliza la siguiente métrica la cual será compartida con la empresa:

Métrica		
0%	60%	Red
61%	85%	Yellow
86%	115%	Green
116%	130%	Yellow
130%	>	Red

Figura 6: métrica de comparación – fuente: los autores

Mediante el uso de esta herramienta se espera dar a la empresa Horizonte Verde una manera útil de medir la realidad versus los resultados arrojados por el presente estudio. Adicionalmente el anexo 8 corresponde a un manual de funcionamiento y uso de dicha herramienta.

#### 4.4.2 Resultados:

Basados en la metodología planteada anteriormente, en el *Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (KPIS Logísticos)* se realizó el estudio de los KPIs y se obtuvo el siguiente resultado:

Costo de lo vendido:



	Año 1	Año 2	Año 3
Inventario Inicial(COP)	\$ 3.084.430.790	\$ 647.355.000	\$ 1.182.070.230
Costo de BackOffice(COP)	\$ 3.564.631.092	\$ 5.551.682.796	\$ 4.405.795.152
Inventario final(COP)	\$ 647.355.000	\$ 1.182.070.230	\$ 3.020.990
Total	\$ 6.001.706.882	\$ 5.016.967.566	\$ 5.584.844.392

Figura 2: KPIs logísticos – fuente: los autores

Se obtuvo un resultado de \$5.534.506.280 promedio para los tres años de operación para costo de lo vendido, este es un valor considerado alto, pues la operación detrás demanda un costo muy alto, es necesario tener en cuenta que, a la hora de solicitar un pedido se tienen en cuenta el costo de pagar a los operadores, cortar, transportar, almacenar y los costos administrativos, ya que la empresa no contrata ninguna de estas operaciones el costo es elevado. Para el año 1 el valor aumenta debido a que ya se cuenta con inventario previo de la prueba piloto, es importante aclarar con Horizonte Verde que, si no se tiene en cuenta este inventario inicial, el costo de lo vendido en promedio tiende a disminuir.

### Inventario Promedio

	Año 1	Año 2	Año 3
Inventario promedio anual (TON)	10.040,615	8.265,846	8.510,000
Inventario promedio (COP)	\$ 2.166.614.191	\$ 1.783.645.612	\$ 1.836.330.350

Figura 3: KPIs inventario promedio – fuente: los autores

Al igual que en el costo de lo vendido, en el año inicial se tiene mas inventario promedio de los años siguientes debido al inventario inicial. Para el año 2 y 3 se tiene un promedio de \$1.809.987.981 en inventario.

### Rotación de los inventarios:

	Año 1	Año 2	Año 3
Rotacion de los inventarios	2,770	2,813	3,041
Dias promedio en reponer inventario	131,765	129,766	120,014

Figura 4: KPIs rotación de inventarios – fuentes: los autores

A medida que transcurren los años, se puede evidenciar una mejor rotacion en los inventarios, en el año inicial al manejar un volumen mas alto, se tiene una rotacion mas baja lo que traduce 132 dias en rotacion de inventario, debido a que el modelo busca minimizar viajes y por ende inventario, a medida que pasa el tiempo busca reducir al minimo estos niveles, así en el año 3 se llega a un promedio de 120 dias en reponer el inventario.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

- Para el desarrollo de todo el documento y sus modelos fueron utilizados supuestos de inventario para el mes de mayo de 15.000 toneladas de madera, ya que en la actualidad esas son las condiciones contractuales

de la empresa. Sin embargo, al realizar el diseño específico del patio con todas las condiciones, dicha cantidad de madera no logra ser almacenada pues la capacidad máxima bajo ese esquema de diseño es de 10.800 toneladas. La empresa por lo tanto una vez vaya a presentar el layout del patio a la planta de energía, tiene que solicitar un replanteamiento de la política de niveles de inventario para el mes de mayo. En dado caso que dicha solicitud no proceda, es necesario que la empresa realice la inversión en maquinaria con más capacidad de carga y más longitud de extensión de pluma con el fin de armar estructuras de pilas más altas.

El modelo económico desarrollado demuestra que la metodología planteada es rentable para los socios de la empresa, pues después del año 4 la TIR del negocio es del 20.4 % y a los 20 años llega a un tope de 39.86 % con una tasa de descuento exigida del 10 %. Este escenario puede ser incluso más ácido y aun así, con una tasa de descuento del 30 %, el valor presente neto de la empresa seguiría siendo mayor a 0, lo que demuestra viabilidad del negocio. Estos escenarios se pueden realizar en el anexo 2 hoja flujo de caja del proyecto. El mismo negocio es sostenible en el tiempo. Por último, la implementación de la herramienta del anexo 3 en el modelo económico, muestra que dada la reducción de costo de transporte, la TIR del negocio a los 20 años tendría un aumento del 3% en comparación al escenario inicial de la empresa.

- El estudio de tiempos y movimientos dio como resultado un tiempo mayor al esperado al de la empresa, debido al factor de tolerancia y holgura por las condiciones del lugar del trabajo y las habilidades de trabajo del trabajador. Si bien el trabajador que realizó la labor de corte para la realización de este estudio no es un operario de corte, su desempeño en dicha tarea es del 98% según lo calculado a partir del método Westinghouse. Para poder tener un valor más real es necesario de la aplicación de la misma metodología de cálculo en las labores reales de corte una vez entre en operación la empresa. Además, es necesario aplicar el estudio en toda la cadena de cosecha con el fin de encontrar un tiempo estándar más preciso. Este cálculo permitirá hacer una planificación de los trabajos más rigurosa y real.

- Horizonte Verde debe tener en cuenta que los costos de abasteciendo son muy altos, al no contratar ningún proceso dentro de la cadena de suministro genera valores muy altos dentro de la misma, esto se traduce en un costo anual de \$ 5.820.617.013 para el EOQ, dentro de este costo se encuentran los valores administrativos, valores en la operación como transporte, corte y almacenaje. Como se puede evidenciar en el modelo de Solver, Anexo 3 Modelo transporte e inventarios – KPIS Logísticos (Modelo), la herramienta siempre lleva al máximo los viajes posibles mensuales (250). Se recomienda a la empresa Horizonte Verde, que en los meses en donde no se puedan cumplir el máximo de viajes por cualquier inconveniente previamente enunciado (Condiciones climáticas, fallas mecánicas o falta de operadores) estos se puedan realizar en los meses en donde el modelo propone no hacer viajes, de esta forma, se podrían cumplir los requerimientos de la planta.

- Gracias al estudio de los KPIS y Solver, se puede evidenciar que en el año inicial se obtienen costos más altos en término de inventario promedio (\$ 2.166.614.191) esto se traduce en 10.040 unidades, una rotación de inventarios más baja (2,770 días) lo que significa un tiempo aproximado de 132 días para reponer el inventario y un valor en el costo de lo vendido de \$ 6.001.706.882, todos estos costos e indicadores atípicos presentados el año inicial en comparación con los otros dos años de la operación, se deben a la prueba piloto que realizara la empresa en el año 2020 (Meses de noviembre y diciembre) pues ya empezaría la operación con un inventario almacenado de 12.294 toneladas. Gracias a la implementación de la herramienta de los KPIS, Anexo 6 Excel comparación Plan vs. Real, la empresa Horizonte Verde podrá, al final de cada uno de los primeros tres años de operación evidenciar que tan eficiente está siendo su operación en comparación con el estudio acá planteado, es clave identificar los puntos de mejora en el año inicial con ayuda de la métrica planteada para ayudar con una mejora en los siguientes años de operación.

## 6. Bibliografía

1. Análisis Trabajo Cosecha Forestal\_Uruguay\_2009. (en.).
2. Baker, K.R. (2011) 'Solving sequencing problems in spreadsheets', *Int. J. Planning and Scheduling*, Vol. 1, Nos. 1/2, pp.3–18
3. Carder. (s. f.). Protocolo de movilización de madera. Recuperado 25 de mayo de 2020, de [https://www.capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/PROTOCOLO\\_2\\_MOVILIZACION\\_VF.pdf](https://www.capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/PROTOCOLO_2_MOVILIZACION_VF.pdf)
4. Conif. Estudio de Costos de las Especies Forestales beneficiarias del CIF, de acuerdo con la Resolución 080 de 2013 Contrato 051 de 2013 - FINAGRO. (2013, octubre 15). Retrieved noviembre 24, 2019, from [https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/5\\_Estadísticas\\_Sector\\_Forestal/ESTUDIO\\_DE\\_COSTOS\\_ESPECIE\\_REGION.pdf](https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/5_Estadísticas_Sector_Forestal/ESTUDIO_DE_COSTOS_ESPECIE_REGION.pdf)
5. Donoso, Pablo & Navarro, Cristina & Soto, Daniel & Gerding, Víctor & Thiers, Oscar & Pinares, J & Escobar, B & Sanhueza, MJ. (2015). Fertilización de plantaciones forestales de especies nativas.
6. García, R(2005). Estudio del Trabajo. 2ª. Segunda Edición. México: McGraw0-Hill.
7. Herguedas, A. I., & Taranco, C. D. (2012). Biomasa, biocombustible y sostenibilidad. Retrieved August 9, 2020, from <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf>
8. Horizonte Verde SAS (2019). Plan de reposición forestal. Bogotá.
9. Horizonte Verde SAS (2020). Plan de reposición forestal. Bogotá
10. HUSCH, B.; MILLER, C.; BEERS, T. 2003. Forrest mensuration. 4th Ed. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA. 443 p.
11. Juan, Treviño-Garza, Eduardo, Jiménez-Pérez, & Enrique. (n.d.). Tiempos y rendimientos del aprovechamiento forestal en el salto, Durango, México. Retrieved November 24, 2019, from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-40182011000100006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000100006).
12. Meyers, F. (2000). Estudio de Tiempos y Movimientos 2ª Edición México Pearson Educación.
13. Mitchell, F. J. (2017). Simulación de Monte Carlo: métodos, evaluación y aplicaciones. Nova Science Publishers, Inc.
14. Minagricultura.gov.co. (2019). Min agricultura actualiza información estadística sobre plantaciones forestales en el país. [online] Available at: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Minagricultura-actualiza-información-estadística-sobre-plantaciones-forestales-en-el-país.aspx> [Accessed 15 Sep. 2019].
15. Nájera, Treviño-Garza, Eduardo, Jiménez-Pérez, & Enrique. (n.d.). Tiempos y rendimientos del aprovechamiento forestal en el salto, Durango, México. Retrieved November 24, 2019, from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-40182011000100006](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000100006).
16. Niebel, W(1993). Ingeniería industrial, metodos, estándares y diseños del trabajo, MWhill pag 44b
17. Llyoyd, C. (2014). Unasylya - No. 66 - Suplemento - El transporte de madera apeada en los trópicos. Recuperado 25 de mayo de 2020, de <http://www.fao.org/3/c3200s/c3200s0b.htm>
18. Orsi, G. j. (2012). diseño logístico de un centro de distribución. Retrieved May 13, 2020, from [http://www.consultoralogistica.com/fs\\_files/user\\_img/Publicaciones/Publicacion - Diseño logístico de un CD.pdf](http://www.consultoralogistica.com/fs_files/user_img/Publicaciones/Publicacion - Diseño logístico de un CD.pdf)
19. Pacheco, M., Peñuela, L., Solano, C., Galán, S (Eds.) 2014. "Manejo Forestal Sostenible en plantaciones en la cuenca del rio Bitá, Vichada, Colombia" Proyecto: "Fortalecimiento institucional y de política para incrementar la conservación de la biodiversidad en predios privados en Colombia". Grupo Colombiano Interinstitucional de Herramientas de Conservación Privada (G5): Asociación Red Colombiana de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RESNATUR), Fundación Natura (FN), World Wildlife Fund (WWF), The Nature Conservancy (TNC), y Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN). Serie: Conservación de la biodiversidad en predios productivos. No. 4., 214 paginas.
20. Pedreño, Eladio Pascual (2010). "Contabilidad: Iniciación Práctica". Editorial Lex Nova S.A.
21. Silvano Ltda. (2008). Inventario forestal en plantaciones de Acacia Mangium wild. Medellín.
22. Silvano SAS (2019). Inventario forestal y estimación de biomasa aérea en plantaciones forestales ubicadas en el municipio de Puerto Carreño Vichada. Bogotá.



23. Schmidt, M., Maier, J. T., & Härtel, L. (2019). Data based root cause analysis for improving logistic key performance indicators of a company's internal supply chain
24. Suárez, C. M. L. (2012). Gestión de inventarios una nueva fórmula de calcular la competitividad. Bogotá (Colombia: Ediciones de la U, Ad-Qualite Editorial.)
25. Tejada Díaz, N.L., Gisbert Soler, V. y Pérez Molina, A.I. (2017). Metodología de estudio de tiempo y movimiento; introducción al GSD. 3C Empresa, investigación y pensamiento crítico, Edición Especial, 39-49. DOI: <<http://dx.doi.org/10.17993/3comp.2017.especial.39-49/>>.
26. Zhilan Song, Yueyi Liu, Yu Deng (2011). [Study of EOQ-based inventory and transportation](#)