

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Optimización de la red de distribución de madera verde
entre plantaciones y plantas de una empresa productora
de paneles de balsa

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Víctor José Acosta Morán

Edison Dario Molina Granados

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi hijo y mi familia, en especial a mi padre Víctor Acosta Moreira por todos los conocimientos brindados en el día a día y a mi madre Josefina Morán por todos los valores inculcados para ser un hombre de bien.

Víctor José Acosta Morán

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado a mi madre Luisa Maribel Granados que siempre me ha apoyado en todo el transcurso de la carrera y de mi vida, y adicional a mi novia Denisse Haro Mindiola que ha sido mi soporte en todo este camino.

Edison Dario Molina Granados

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos son para Dios por darme la sabiduría y lograr el éxito de culminar mi carrera.

Mis sinceros agradecimientos a mi papá, mamá y hermana que siempre están conmigo en los momentos difíciles durante mi vida.

A mi amigo y compañero de este proyecto Edison Molina por ser parte de esta gran experiencia y compartirme todos sus conocimientos.

A mis amigos Gary Urgilés, Jerry Romero, José Rendón, Gerardo Serrano por su motivación, ayuda y consejos durante el progreso de este proyecto.

A M.Sc. María Laura Retamales, por sus consejos, ayuda y conocimientos compartidos como tutora de este proyecto.

Víctor Acosta Morán

AGRADECIMIENTOS

Mis más cordiales agradecimientos a mi mamá Maribel Granados que siempre ha estado presente para darme su apoyo y trasmitirme sus consejos de vida que a la larga me han ido sirviendo.

A mi novia que desde inicio de carrera siempre me ha motivado a ser el mejor y superarme.

A mi compañero de tesis Víctor Acosta por todo el apoyo brindado en este proceso, que pudo algunas veces ser difícil, pero lo pudimos superar juntos.

A la M.Sc. María Laura Retamales, que con su amplio conocimiento y experiencia nos dio la mejor guía en el presente proyecto.

A todos mis profesores que se esforzaron en dar lo mejor de sí para que nosotros los estudiantes seamos unos profesionales de calidad.

Edison Molina Granados

DECLARACION EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Víctor José Acosta Moran y Edison Dario Molina Granados damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Víctor José Acosta Morán



Edison Dario Molina Granados

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**JORGE
FERNANDO ABAD
MORAN**



Firmado electrónicamente por:
**MARIA LAURA
RETAMALES
GARCIA**

Jorge Abad Morán, PhD

María Laura Retamales, M. Sc

PROFESOR DE LA MATERIA

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este proyecto se realizó en una empresa de la ciudad de Quevedo que produce paneles flexibles a base de madera de balsa, su actividad económica es netamente la exportación de los paneles a China y otros países europeos. El presente proyecto busca realizar un modelo de distribución de madera que genere una planificación semanal de los envíos diarios cumpliendo la necesidad de las plantas al mínimo costo total de transporte. Dado que la distribución de envíos actual no va alineada a la necesidad de las plantas, esto ocasiona que exista exceso o falta de madera en cada una de ellas, y esto repercute en daños de la madera o que las cámaras de secado se queden sin producto para secar generando paradas no programadas. Realizando entrevistas con los diferentes dueños de los procesos se recolectó las necesidades para el planteamiento de la oportunidad. Haciendo uso del lenguaje de programación de python y del modelo de localización de planta capacitada, se determinó la variable de decisión, parámetros y restricciones que mejor se ajusten a las necesidades del cliente. Finalmente realizado el modelo de distribución se obtuvo un resultado efectivo en los envíos de madera verde, lo cual resultó ahorros de aproximadamente \$ 1260 semanales para la empresa. En conclusión, se obtuvo reducción del costo total de transporte semanal y dada la restricción de igualdad entre oferta y demanda, las cámaras de secado estarían funcionando al 100 % de su capacidad teniendo un bajo costo por madera transportada.

Palabras clave: Paneles flexibles de balsa, modelo de distribución, cámaras de secado.

ABSTRACT

This project was carried out in a company in the city of Quevedo that produces flexible panels based on balsa wood, its economic activity is clearly the export of the panels to China and other European countries. This project seeks to make a model of distribution of wood that generates a weekly planning of daily shipments to meet the needs of the plants to the minimum total cost of transport, since the current distribution of shipments is not aligned to the needs of the plants, this causes that there is excess or lack of wood in each of them, and this affects the damage of wood or drying chambers are left without product to dry generating unscheduled stops. Making interviews with the different owners of the processes, it was possible to collect the needs for the approach of the opportunity, using the programming language of python and the model of location of qualified plant, it was determined the variables of decision, parameters and restrictions that better adjust to the needs of the client. Finally, the distribution model was completed and the result was an effective result in green wood shipments, which resulted in savings of approximately \$ 1260 per week for the company. In conclusion, a reduction in the total cost of weekly transportation was obtained and given the restriction of equality between supply and need, the drying chambers would be operating at 100% of their capacity with a low cost per wood transported.

Keywords: *Flexible balsa panels, distribution model, green wood, drying chambers.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICO.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Declaración del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Alcance	3
1.4 Restricciones.....	4
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo General	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5
1.6 Marco teórico	5
CAPÍTULO 2.....	10
2. Metodología	10
2.1 Definición	10
2.1.1 Entrevistas	10
2.1.2 Herramientas de Calidad	11
2.1.3 Sostenibilidad.....	12
2.2 Recolección de datos.....	13
2.2.1 Verificación y obtención de la data	14

2.3	Análisis.....	18
2.4	Diseño.....	24
2.5	Prototipado.....	32
CAPÍTULO 3.....		35
3.	Resultados y análisis	35
3.1	Resultados	35
3.1.1	Situación actual sin el modelo.....	35
3.1.2	Aplicando el modelo.....	37
3.1.3	Prueba piloto.....	38
3.1.4	Pilares de sostenibilidad	41
3.2	Análisis de viabilidad.....	44
CAPÍTULO 4.....		47
4.	Conclusiones y recomendaciones	47
4.1	Conclusiones.....	47
4.2	Recomendaciones	47

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

ABREVIATURAS

QFD	Despliegue de la función Calidad
DFS	Design from scratch
SIPOC	Proveedor, entrada, proceso, salida, cliente
TBL	Triple bottom line

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
\$	Dólares americanos
Bft	pie de tabla
Kwh	Kilowatts hora

ÍNDICE DE GRÁFICO

Ilustración 1. 1 SIPOC del proceso de abastecimiento.....	4
Ilustración 2. 1 Quality Function Deployment (QFD)	11
Ilustración 2. 2 Pilares de sostenibilidad.....	12
Ilustración 2. 3 Formato de recolección de tiempos de carga, descarga de camiones..	15
Ilustración 2. 4 Pilares de sostenibilidad.....	19
Ilustración 2. 5 Matriz Impacto – Esfuerzo de posibles soluciones.....	20
Ilustración 2. 6 Grafo de distribución de madera verde	28
Ilustración 2. 7 Plantilla de fechas de entradas y salidas de madera, y su volumen.	30
Ilustración 2. 8 Plantilla de Oferta a realizarse dentro de una semana.....	30
Ilustración 2. 9 Muestra de ejecutable	33
Ilustración 3. 1 Número de camiones enviados por día y semana	42
Ilustración 3. 2 Utilización de las secadoras	43
Ilustración 3. 3 Utilización de camiones.....	44
Ilustración 3. 4 Recuperación de capital.....	46
Ilustración 5. 1 Hoja de Excel resultando de la aplicación del modelo	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tiempo de carga y descarga para transportistas.....	2
Tabla 2. 1 Plan de recolección de datos.....	14
Tabla 2. 2 Tiempo de carga y descarga de camiones.....	15
Tabla 2. 3 Tabla de capacidad de secadoras por cada planta.....	16
Tabla 2. 4 Capacidad de camiones que distribuyen madera verde de balsa.....	17
Tabla 2. 5 Costos de fletes de cada plantación a cada planta.....	18
Tabla 2. 6 Costo de implementación por cada posible solución.....	19
Tabla 2. 7 Ingresos y Egresos.....	22
Tabla 2. 8 Análisis beneficio Costo (modelo de distribución).....	22
Tabla 2. 9 Ingresos y egresos (secadoras extras).....	23
Tabla 2. 10 Análisis beneficio costo (secadoras extra).....	23
Tabla 2. 11 Tabla de análisis de modelos de optimización.....	26
Tabla 2. 12 Plan de implementación.....	27
Tabla 2. 13 Análisis de Sensibilidad.....	32
Tabla 2. 14 Plan de capacitación.....	34
Tabla 3. 1 Necesidad, oferta y costos de transporte en semana 18 Planta 1.....	35
Tabla 3. 2 Necesidad, oferta y costos de transporte en semana 18 Planta 2.....	36
Tabla 3. 3 Necesidad, oferta y costos de transporte en semana 18 Planta 4.....	36
Tabla 3. 4 Necesidad, oferta y costos de transporte en semana 18 Planta 3.....	36
Tabla 3. 5 Resultados de la semana 18.....	37
Tabla 3. 6 Costo total de Transportación.....	38
Tabla 3. 7 Comparación con el modelo.....	38
Tabla 3. 8 Envíos 31 de agosto del 2020.....	39
Tabla 3. 9 Envíos 1 de septiembre del 2020.....	39
Tabla 3. 10 Envíos 2 de septiembre del 2020.....	39
Tabla 3. 11 Envíos 3 de septiembre del 2020.....	40
Tabla 3. 12 Envíos 4 de septiembre del 2020.....	40
Tabla 3. 13 Envíos 5 de septiembre del 2020.....	40
Tabla 3. 14 Costo total por día.....	40
Tabla 3. 15 Volumen total recibido (BFT) por plantas por día.....	41
Tabla 3. 16 Estado situación actual Vs con modelo.....	42
Tabla 3. 17 Costo de capacitaciones.....	45
Tabla 3. 18 Tabla de amortización.....	46

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La organización donde se realizó el presente proyecto se dedica a la producción de paneles flexibles de balsa, donde su proceso productivo comprende desde la tala de árboles en sus plantaciones, la distribución de la madera a las 4 plantas, donde se realiza el secado de la madera de balsa a través de cámaras de secado de madera, hasta que finalmente la madera secada pasa a través de diferentes procesos para ser transformada en paneles flexibles.

El buen manejo de la logística dentro de una organización permite tener un desarrollo económico sostenible del país que en promedio se ha determinado que los costos logísticos representan el 13.8% lo cual, da como resultado que se beneficie la sociedad de la misma (Harol Mauricio, Mejía Argueta, & León Espinosa, 2016). Con esto en mente se debe tener en consideración que, dentro de este ambiente de comercialización, los responsables de la determinación del precio del producto final dependerán de dos principales factores que son el costo de producción y el costo logístico, dado esto se plantea la idea de considerar el desempeño de la logística dentro de la organización que mediante una herramienta informática permitirá generar los menores costos y así, poder tener una ventaja competitiva sobre otras empresas (Cipoletta, Pérez, & J.Sanchez, 2010).

Con respecto al primer punto el diseño de la red logística constituye un conjunto de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo, donde cada nivel deber ir alineada a las cualidades ganadoras de la empresa. Estas decisiones están basadas en relación con el número de instalaciones disponibles, mercados objetivos, capacidad de vehículos y su costo asociado al transporte que permitan generar los menores costos de logística dada la asignación de las instalaciones.

En continuidad con el nivel estratégico que constituyen la rentabilidad de la empresa a largo plazo, los planificadores de distribución responsables de estas decisiones deben considerar el mejor punto de localización de los puntos iniciales y finales, la complejidad de esto radica en el conjunto de restricciones que junto con las variables de decisión comprenden un modelo matemático. Los modelos de optimización de localización o ubicación se clasifican de la siguiente manera: red de distribución capacitada o no capacitada, niveles de la cadena de suministro, número de SKU's

(Stock Keeping Unit), costos asociados a los arcos y patrones de demanda (Aikens, 1985).

Por otro lado, la balsa es una madera que crece únicamente en un clima de selva subtropical, en países como Ecuador y Colombia, con un peso muy liviano, considerada más liviana que el corcho. Esta madera por su densidad se la usa en diferentes campos industriales para la fabricación de partes de automóviles, partes de embarcaciones, partes de aviones, partes de trenes y en especial en partes de molinos de vientos que ayudan a alumbrar a gran parte de Europa.

1.1 Declaración del problema

En la actualidad, la empresa está teniendo la necesidad de diseñar un modelo de distribución que reduzca el costo total del transporte y satisfaga la demanda de cada planta, ayudando a aprovechar la capacidad de las cámaras de secado de cada planta y reducir los tiempos de espera de los camiones en ser descargados.

En la Tabla 1.1 se puede observar el tiempo que le toma a un transportista desde el momento en ser cargado hasta ser descargado, corroborando la necesidad por parte de la empresa y las insatisfacciones de los conductores de los diferentes camiones en donde se transporta la madera verde de balsa.

Tabla 1.1 Tiempo de carga y descarga para transportistas

[Victor Acosta - Edison Molina]

Origen (Proveedor)	Destino (Planta)	Volumen enviado (BFT)	Cantidad de personas cargando el camión	Tiempo de Carga Estimada (min)	Tiempo de descarga estimada (min)	Tiempo de espera a ser descargado (min)	Tiempo de espera a ser cargado (min)
PB-50	Planta 1	9302	5	4,33	6,33	16,58	0,33
PB-53	Planta 1	8674,2	5	6,00	4,25	20,75	0,17
PB-47	Planta 1	8477	5	3,65	4,33	12,18	0,62
PB-12	Planta 1	8916	4	3,33	8,00	14,48	0,17
PB-07	Planta 1	7827	6	4,78	3,95	16,08	2,17
PB-12	Planta 1	9105	4	3,65	2,50	22,18	0,98
PB-50	Planta 1	8098,5	5	3,57	3,50	20,40	1,98
PB-47	Planta 1	8564	5	6,13	4,50	19,17	1,95

Por otro lado, para los datos mostrados en la tabla 1.1 se realizó un formato de uso para los transportistas y controladores en donde cada uno de ellos ingresaron la información requerida, y así, realizar un análisis exhaustivo para considerar los inputs, restricciones y necesidades.

1.2 Justificación del problema

El presente proyecto se enfocó en el estudio de la distribución de madera verde de balsa desde las plantaciones hasta las diferentes plantas de la empresa, debido a que, la organización no cuenta con una herramienta técnica que evalúe las distintas decisiones de distribución de la madera y a su vez determine la más óptima que reduzca los costos de transportación y disminuya los tiempos de espera de los camiones para ser descargados.

Este proyecto permitió brindar un modelo óptimo de distribución buscando minimizar los costos de transportación y ayudando a reducir indirectamente los tiempos de espera de los camiones.

1.3 Alcance

Para considerar el alcance de este proyecto, se usó la herramienta SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) que con su descripción del proceso detallado permitirá establecer los límites específicos de este proyecto. En la Ilustración 1.1 se muestra el SIPOC del proceso desde la planificación de producción hasta la recepción de madera verde, donde empieza desde la salida de los camiones de las diferentes plantaciones, su proceso logístico en las diferentes plantaciones, hasta que los camiones arriben a las diferentes plantas de la compañía y esta madera sea llenada en las diferentes cámaras de secado de cada planta, este proceso se encuentra punteado en el gráfico a continuación.

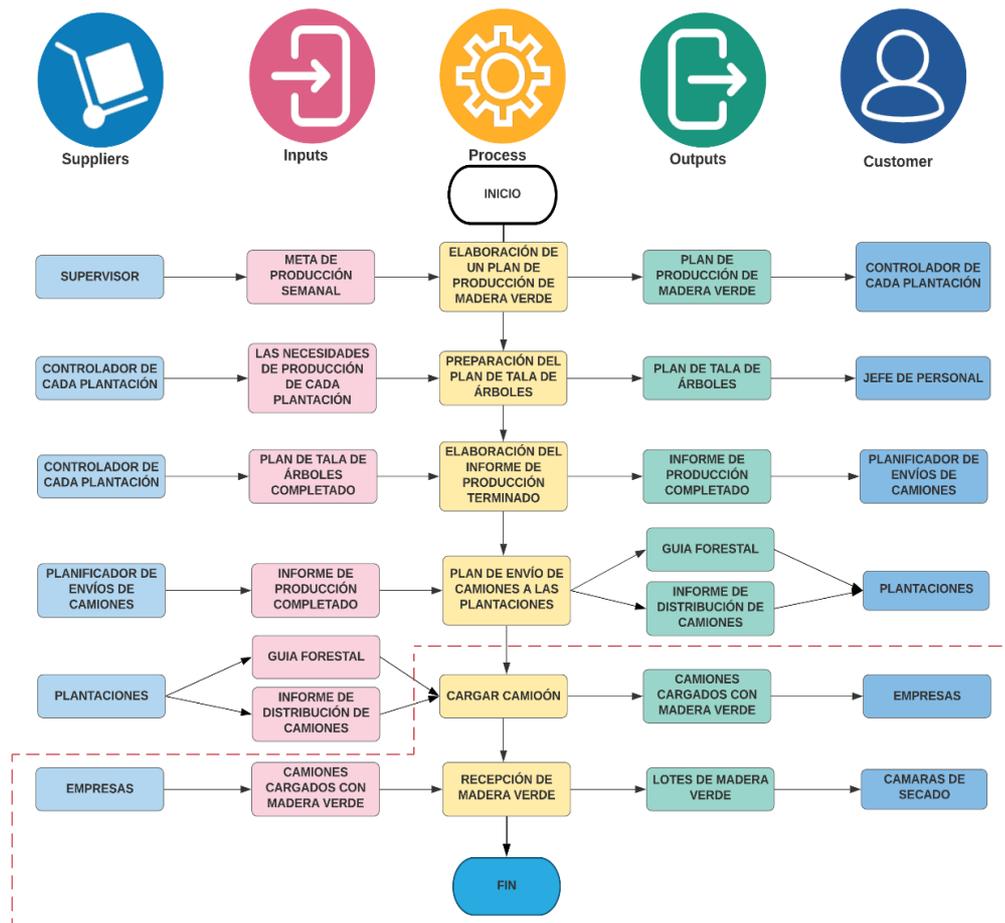


Ilustración 1. 1 SIPOC del proceso de abastecimiento

[Víctor Acosta – Edison Molina]

1.4 Restricciones

Las principales restricciones definidas del proyecto fueron:

- Capacidad de los camiones.
- Cantidad de secadoras por cada planta.
- Capacidad de las secadoras por cada planta
- Cantidad de camiones disponibles para el envío de madera verde de balsa.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Elaborar un modelo de distribución mediante el análisis de restricciones y parámetros del proceso de distribución de madera verde desde plantaciones hasta las plantas para reducir los costos de transportación de madera verde y lograr disminuir los tiempos de

espera de los camiones en ser descargados e indirectamente aumentar la utilización de las cámaras de secado en cada planta de la empresa.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Recolectar las necesidades a través de entrevistas y focus group con los interesados del proyecto.
- Recolectar los datos necesarios que permitan realizar corridas del modelo y así, evaluar la veracidad de los resultados y sean aterrizados a la realidad de la empresa.
- Analizar los datos recopilados mediante pruebas estadísticas paramétricas, y para los datos recolectados que son productos de la experiencia de los trabajadores, validarlos con datos históricos.
- Prototipar el modelo de optimización utilizando el lenguaje de programación en Python.
- Realizar la validación de los resultados obtenidos a través de varias corridas del modelo.

1.6 Marco teórico

Para el desarrollo del presente proyecto se aplicó la metodología DFS (Design from Scratch); la cual establece una serie de pasos para dar una propuesta de mejora con resultados beneficiosos (El-Haik, 2003).

La historia explica que los conceptos, la iniciativa o las ideas sólidas se transforman en éxito y se inculca a las normas en muchas compañías o empresas cuando se da por hecho el compromiso de las partes interesadas a involucrarse en todos los niveles. La metodología Design from Scratch (DFS) no es una excepción. El éxito del DFS está sujeta a la participación de personas en la mayoría de los niveles, divisiones y funciones, en especial al cliente (El-Haik, 2003).

Los black belt (cinturones negros) y los green belt (cinturones verdes) constituyen la fuerza bruta del despliegue bajo la dirección de los campeones. El éxito se mide por el aumento de los ingresos y la satisfacción de los clientes, y por la medida en que se genera flujo de efectivo a largo y corto plazo de cada proyecto. Estos beneficios no pueden ser cosechados sin una estrategia sólida con la visión a largo plazo de establecer la cultura Six Sigma. A corto plazo, el éxito del despliegue depende de la motivación, el compromiso de la

dirección, la selección y el alcance de los proyectos, un sistema institucionalizado de recompensas y reconocimientos y una asignación optimizada de los recursos (El-Haik, 2003).

Design from Scratch como metodología busca brindar toda la información necesaria sobre los requerimientos del cliente, lograr empatizar, y así, brindar las posibles soluciones de mejora, siendo estas óptimas y precisas, cabe mencionar, que esta metodología no solo se alimenta de requerimientos del cliente, sino, también de todos los procesos que conllevan el negocio de la empresa estudiada. Los pasos de esta metodología se la mostrarán a continuación:

Definición

Para la metodología Design from Scratch en la etapa de definición, se busca empatizar con el cliente para poder establecer las necesidades y así, mediante herramientas de la calidad poder establecer los parámetros técnicos a considerar en el proyecto. Las herramientas usadas en la primera etapa son:

- **Entrevistas:** Con las entrevistas se busca saber cuáles son los requerimientos de todas las partes interesadas en la solución del problema.
- **QFD:** El QFD (Quality Function Deployment) o casa de la calidad es el método en donde se transforma las necesidades de las partes interesadas en calidad diseño, se busca implementar soluciones necesarias que agreguen mayor calidad o implementar métodos que tengan el mismo objetivo.

En base a toda la información recolectada en las entrevistas y el QFD se logra poder empatizar con los requerimientos del cliente (El-Haik, 2003).

- **Triple Bottom line:** Para las empresas el poder satisfacer las necesidades del cliente es un requerimiento vital para su supervivencia, pero ésta debe ir ligada a su proceso de sostenibilidad y su compromiso responsable con la sociedad. Para ello la organización debe basar sus operaciones en dimensiones económicas, social y ambiental, esto es conocido como la triple línea base.

La idea principal para que se sustenten estas tres dimensiones, es buscar

la correlación entre estas para que realmente exista una sostenibilidad. El concepto de la triple línea base fomenta a que las decisiones de las empresas deben ir relacionadas con la sostenibilidad del rendimiento económico y creando valor para el cliente, a su vez la sostenibilidad social se da cuando la organización fomenta actividades de inclusión, educación, bienestar la justicia laboral y social. Finalmente, todo lo mencionado debe ser realizado manteniendo cuidado y conciencia del impacto ambiental de las actividades operacionales, unas de las actividades que practican las empresas actualmente son la creación de programas de reciclajes y de creación de productos amigables con el medio ambiente (Fabio Josende Paz, 2016).

Recolección de Datos

La recolección de datos es una etapa muy importante dentro de la metodología Design from Scratch, ya que es en donde se recolectan los datos e información con respecto a los diferentes procesos existentes, con el objetivo de realizar cambios de impacto beneficiosos para el proyecto. Dentro de esta etapa se fundamentan los procesos críticos, objetivos de reducción o disminución, entre otros ("Design of six sigma supply chains, 2004).

Enfocado en la mejora de la empresa y que se mantenga por lo menos en una tendencia lineal, los líderes del proyecto o champions ayudan a esta recolección de datos para que esta sea efectiva.

La recolección de datos debe de ser exhaustivo, con el fin de encontrar las causas potenciales que afecta al problema, iniciando con una estratificación, para así, conocer cuáles son las causas potenciales más significativas (El-Haik, 2003).

Para la recolección de datos se utilizan muchos métodos o herramientas como: GEMBA, toma de tiempos, data histórica, generar un plan, entre otros.

Análisis

La etapa de análisis implica la clave para la ejecución de las medidas de la solución del proyecto. Estos análisis por lo regular sirven para identificar los factores comunes y exitosos de la ejecución, en algunos casos es necesario volver a diseñar el producto y/o el proceso basados a los resultados obtenidos en los análisis (El-Haik, 2003).

Para el caso de este proyecto en esta etapa se busca definir las herramientas técnicas y financieras adecuadas que se ajusten al escenario actual de la empresa considerando las restricciones para encaminar al prototipado de la solución, las herramientas usadas comúnmente en esta etapa son:

- **Lluvia de soluciones:** Esta herramienta permite buscar las diferentes soluciones desde diferentes puntos de vistas de quienes conforman la empresa y se encuentran empapados de los procesos dentro de esta, es ideal conformarla de grupos de personas interesadas a una mesa redonda en donde se discute los beneficios y perjuicios de cada solución.
- **Matriz impacto – esfuerzo:** Esta matriz sirve para identificar las soluciones que tengan mucho impacto para la compañía y sea de muy poco esfuerzo, ya que, se busca que las soluciones sean fáciles de implementar a bajos costos, pero con resultados de fuerte impacto.
- **Análisis beneficio – costo:** Es un proceso que se enfoca en la evaluación de un determinado proyecto, solución o lo que se busca en específico, para tomar las decisiones sean estas de cualquier tipo, este análisis lo que pretende en especial es determinar la conveniencia o viabilidad económica del proyecto, fundamentados en los costos y los beneficios que se derivan de este proyecto.

Diseño

El objetivo en especial de DFS es lograr crear un diseño robusto y que cumpla con las necesidades del cliente usando al máximo su nivel de desempeño, por lo cual, se debe considerar o tener en cuenta las oportunidades de mejora, esto permitirá lograr que los elementos que no son robustos sean mejorados. Esta es la penúltima etapa de esta metodología, en donde para realizar el diseño de la solución del problema basado a las etapas anteriores, se debe realizar análisis de varias alternativas y seleccionar la mejor alternativa, se deben incluir herramientas, validaciones, análisis de sensibilidad y todo aquello que sirva de alimentación y decisión de esta selección para un diseño de solución robusto (El-Haik, 2003).

- **Análisis de sensibilidad:** Busca obtener información de cuáles serían los resultados o cambios del modelo en el caso que sea sometido a diferentes escenarios luego de ser implementado, para así, tener una visión a largo plazo de que podría suceder con la solución.
- **Plan de implementación:** Esta herramienta permite tener una información más amplia con fechas programadas de los pasos dentro de la etapa de diseño, en donde se busca tener un cronograma con todos los involucrados en este plan de implementación.

Prototipado

La etapa de prototipado es la última etapa de esta metodología en donde se comprueba la validación de la solución y las diferentes afinaciones, se busca que este prototipo genere la solución efectiva al problema encontrado y sea genérico para futuras modificaciones.

En muchas ocasiones en esta etapa se realiza un rediseño o un diseño nuevo, en donde, se debe llegar hasta la implementación del mismo, para así, poder analizar los beneficios generados desde la implementación en un ámbito de prueba piloto, es muy importante tener en cuenta que esta etapa también busca tener el control de la solución para modificaciones futuras, lo que implica, que dentro del marco de esta etapa debe haber un control o análisis periódico buscando la mejora continua de la solución y seguir realizando los diferentes análisis de sensibilidad que se puedan generar a medida que ha pasado el tiempo de haber implementado la solución.

- **Software:** Consiste en la elaboración de un ejecutable en donde este está integrado por todos los documentos genéricos para poder instalar todas las librerías y diseño del modelo, para así, poder instalar en cualquier computador de la empresa.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Definición

La etapa de definición se realizó en un período de 3 semanas. En ésta se entrevistó a las personas interesadas del proyecto, tratando de captar el mayor número de necesidades sobre el proceso de carga y descarga de madera verde, rutas, ubicaciones de plantaciones de balsa, ubicaciones de las diferentes plantas, capacidad de las secadoras de madera, capacidad de los camiones que transportan la madera verde de balsa, costos asociados, y así, identificar adecuadamente una oportunidad de mejora y los inputs posibles del modelo de optimización.

2.1.1 Entrevistas

Por medio de las entrevistas se recolecto las necesidades del cliente escuchando sus requerimientos y resultados esperados, que se adecuarán al modelo de optimización dependiendo del alcance del proyecto.

Posterior a las entrevistas se logró obtener todas las necesidades de los entrevistados, entre las más importantes se tiene:

- Disminuir el tiempo de espera de los camiones en los patios de las diferentes plantas.
- Lograr una coordinación entre el área de distribución y el área de recepción de las diferentes plantas.
- Coordinar los despachos de los camiones en base a su hoja de ruta.
- Mantener las cámaras de secado siempre llenas hasta su capacidad máxima.
- Disminuir los costos asociados a la distribución de madera verde y las secadoras.
- Despachar los camiones desde las plantaciones hasta las plantas al máximo de su capacidad.
- Distribuir los camiones despachos dependiendo de la necesidad de las cámaras de secado de cada planta.
- Mantener al personal de recepción en constante descarga de camiones.

2.1.2 Herramientas de Calidad

Dada toda la información se procedió a realizar un QFD con sus siglas en inglés (Quality Function Deployment), ya que, esta herramienta permitió traducir todas las necesidades, en métricas técnicas que serán ingresadas al modelo de optimización, que según la importancia de las necesidades definida por el cliente y las métricas con su respectiva ponderación se seleccionará la de mayor puntaje total, siendo tomada como función objetivo y esta a su vez, dependerá de las demás métricas establecidas que ayudará a dar solución al problema y dar paso a una estructura de diseño de prototipo adecuada. En la ilustración 2.1 se puede observar detalladamente estas necesidades, las métricas técnicas para medir las necesidades, la importancia de las necesidades y la ponderación de las métricas, que facilitaran la determinación de la variable de salida del modelo.

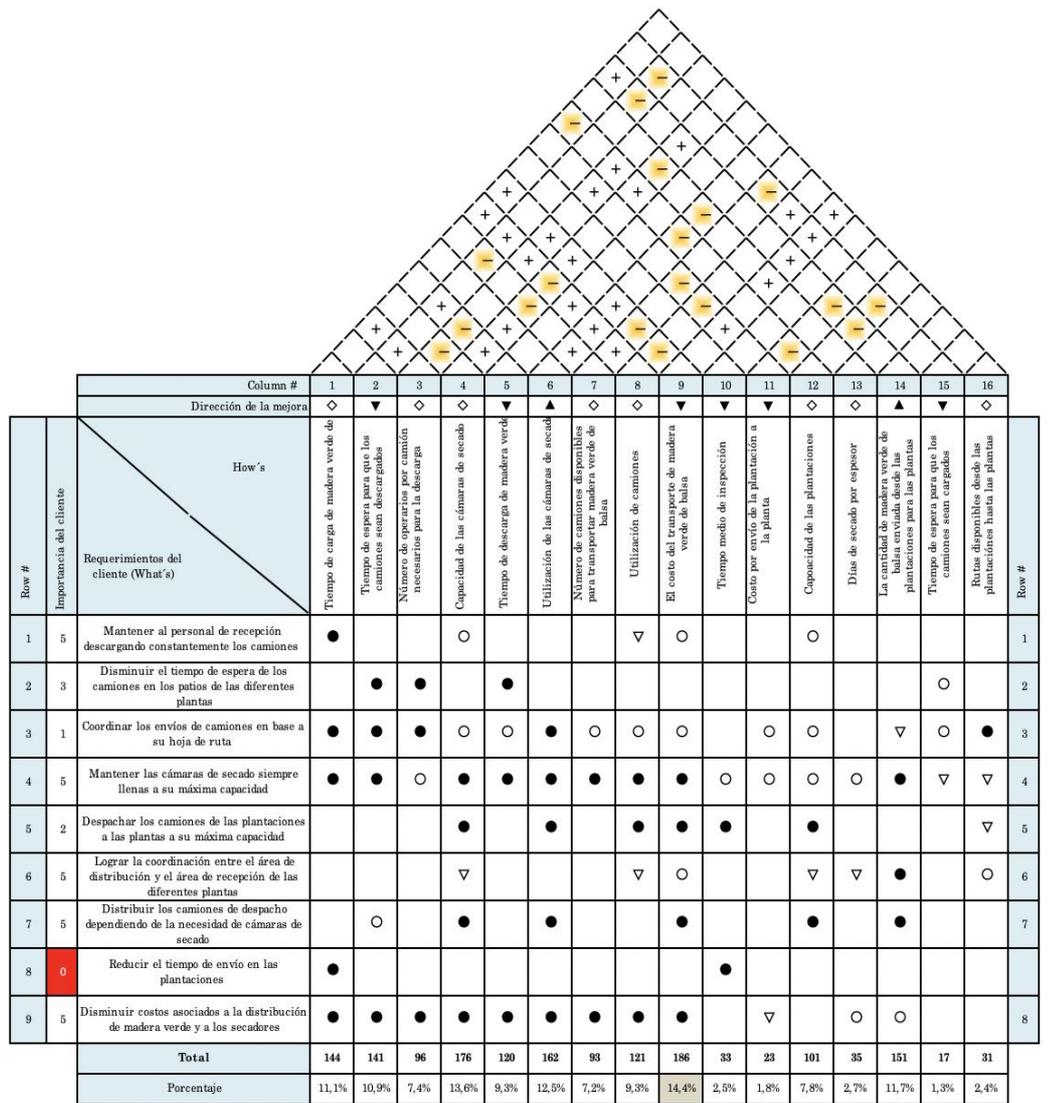


Ilustración 2. 1 Quality Function Deployment (QFD)

[Víctor Acosta – Edison Molina]

En efecto como resultado se obtuvo que la necesidad principal del cliente o variable de respuesta es la “Minimización de los costos de transportación de madera verde” con una ponderación o peso del 14,4%. El problema se puede justificar con la relación que existe con la capacidad y la utilización de las cámaras secadoras, adicional a la coordinación entre plantaciones y plantas.

2.1.3 Sostenibilidad

En la actualidad la sostenibilidad es un pilar fundamental en una empresa, el cual ayuda a medir el impacto ambiental, social y económico al momento de llevar a cabo un proyecto de mejora, mostrando a todas las partes interesadas indicadores en beneficio de la compañía.

Por lo tanto, en la ilustración 2.2 se observa el Triple Bottom Line generado en este proyecto mostrando los indicadores sociales, económicos y ambientales buscando un impacto en cada uno de ellos.

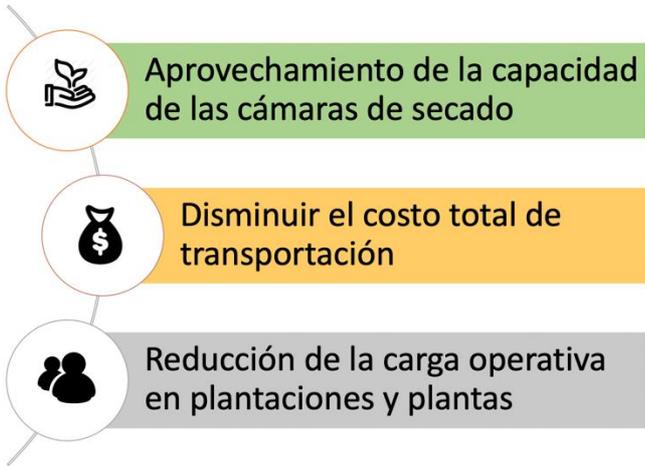


Ilustración 2. 2 Pilares de sostenibilidad

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Pilar Económico

Mediante la distribución de madera verde desde plantaciones hasta las plantas de acuerdo con su capacidad de secado, se tendrá la madera en el lugar que se necesite y la cantidad óptima que genere el menor costo de transportación, que maximice la utilización de las cámaras de secado y así, que la eficiencia de la planta aumente. Dado esto, los indicadores establecidos fueron:

Costo total de transportación semanal

$$= \frac{\text{Número de fletes realizados}}{\text{Semana}} * \text{Costo por flete}$$

(2. 1)

Utilización de las cámaras de secado

$$= \frac{\text{Cantidad de madera verde recibida en plantas}}{\text{Demanda de madera de las plantas}}$$

(2. 2)

Pilar Social

Mediante la distribución de madera verde desde las plantaciones hasta las plantas traducidas a número de camiones, se tendrán menos viajes realizados por conductor a la semana, garantizando el bienestar de los conductores a través de la disminución del estrés laboral que es provocado actualmente por largas jornadas laborales y tiempos de espera para ser descargados en plantas, siendo medido de la siguiente manera:

Numero de viajes realizados por conductor /semana

(2. 3)

Pilar Ambiental

Al mantener las cámaras de secado trabajando al máximo de su capacidad se tendrá un menor uso de KW por BFT secado al mes, esto ayudará a disminuir el uso de los recursos del planeta, la fórmula es la siguiente:

$$\text{Cantidad de energía usada} = \frac{\text{Kilowatts usados}}{\frac{\text{BFT enviados}}{\text{mes}}}$$

(2. 4)

2.2 Recolección de datos

Para esta etapa, se establecieron todos los parámetros necesarios a recolectar para formulación del modelo de optimización. En la tabla 2.1 se puede observar el plan de recolección de datos, la unidad y en que ayudará en el diseño del prototipado para dar solución al problema.

Tabla 2. 1 Plan de recolección de datos

¿Qué?			¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cómo?	¿Porque?	¿Quién?
Parametro de medición	UND.MED	Tipo de data	¿Dónde recolectar?	¿Cuándo recolectar?	Metodo de recolección	¿Porqué recolectar?	Persona a cargo
Tiempo de carga de los bosques	Hora	Cuantitativo Continuo	Plantación de Balsa	Fase de Medición	Base de datos (Tiempo de finalización de la carga de madera - Tiempo de inicio de la carga de madera)	Para determinar el tiempo total que toma el suministro de madera a la compañía...	Líderes del proyecto
Tiempo de espera para que los camiones sean descargados	Hora	Cuantitativo Continuo	Plantación de Balsa	Fase de Medición	Base de datos (Tiempo de llegada a la planta-Hora de inicio de la descarga)	Para determinar el tiempo total que toma el suministro de madera a la compañía...	Líderes del proyecto
Capacidad de cámaras de secado	BFT	Cuantitativo Continuo	Planta	Fase de Medición	Entrevistas con la supervisión del Almacén	Permite conocer las capacidades actuales de los secadores y cuánto enviar semanalmente	Líderes del proyecto
Tiempo de descarga de madera verde	Hora	Cuantitativo Continuo	Planta	Fase de Medición	Base de datos (Tiempo final de descarga de madera - Tiempo de inicio de descarga de madera)	Para determinar el tiempo total que toma el suministro de madera a la compañía...	Líderes del proyecto
Oferta de plantaciones	BFT	Cuantitativo Continuo	Plantación de Balsa	Fase de Medición	Los conductores introducirán los datos en el modelo	Para averiguar cuánta madera puede enviar la plantación en la semana	Líderes del proyecto
Número de camiones disponibles	Número de camiones	Cuantitativa Discreta	Planta	Fase de Medición	Entrevistas con project head y Project tecnic y Process analysts	Para saber el número de camiones disponibles	Líderes del proyecto
Capacidad de camaras de secado	BFT	Cuantitativo Continuo	En cada Planta	Fase de Medición	Llamada a los conductores	Permitirá conocer la capacidad de transporte	Líderes del proyecto
Costo de envío de madera desde la plantacion i hasta la planta j	Dolares por viaje	Cuantitativo Continuo	Plantación de Balsa	Fase de Medición	Data base	Para reducir al mínimo el costo de envío desde la plantación i a la compañía j	Jefe del proyecto
Tasa de producción de las cámaras de secado	Días	Cuantitativo Continuo	Planta	Fase de Medición	Base de datos (volumen medio de secado por unidad de tiempo)	Para saber cuál es el tiempo final del volumen del BFT	Supervisor de madera verde
Rutas disponibles desde la plantacion i hasta la planta j	-	Variable cualitativa	Planta	Fase de Medición	Base de datos (Historial de envíos desde la plantación i a la empresa j)	Determinará la capacidad de las plantaciones	Jefe del proyecto
Las rutas disponibles de cada camión	-	Variable cualitativa	Planta	Fase de Medición	Entrevistas con project head y Project tecnic y Process analysts	Para descartar la ruta de la plantación i a la compañía j y no se considera en la solución	Jefe del proyecto
Tiempo medio de transporte desde la plantación i hasta la empresa j	Horas	Cuantitativo Continuo	Planta	Fase de Medición	Base de datos (Tiempo de salida de la plantación i a la compañía j)	Para determinar el tiempo total que toma el suministro de madera a la compañía...	Jefe del proyecto

[Víctor Acosta – Edison Molina]

El plan de recolección de datos es una herramienta que brinda un orden formal para la realización de las diferentes actividades a ejecutar, buscando el logro de los objetivos.

2.2.1 Verificación y obtención de la data

En el contexto del método que se lleva a cabo en este proyecto, la verificación se realizó únicamente para los datos recolectados por los conductores que son los tiempos de carga y descarga, realizando filtración de los datos y eliminación de datos aberrantes, los documentos restantes fueron brindados por los champions del proyecto, lo cual realizaron una verificación exhaustiva de estos datos. Para los parámetros como

Tabla 2. 3 Tabla de capacidad de secadoras por cada planta

	CAPACIDAD DE CAMARAS DE SECADO (BFT)			
CAMARAS DE SECADO	PLANTA 1	PLANTA 2	PLANTA 3	PLANTA 4
1	12500	34000	21000	50000
2	12500	34000	21000	14000
3	12500	34000	21000	14000
4	12500	34000	21000	14000
5	14000	34000		25000
6	14000	34000		25000
7	14000	34000		25000
8	14000	34000		21000
9	14000	34000		21000
10	14000	34000		
11	14000	34000		
12	14000	34000		
13	14000	34000		
14	16000			
15	40000			
16	80000			
TOTAL	312000	442000	84000	209000

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Los camiones disponibles y la capacidad de cada uno de ellos, se la estimó por medio de llamada telefónicas a cada uno de los choferes que se encuentran en la nómina de la empresa. En la tabla 2.4 se muestran los datos obtenidos, en donde el promedio de capacidad de los camiones varía entre 8500 BFT y 9000 BFT para cada camión dependiendo el espesor de los listones de madera verde de balsa. Dicho lo anterior en consenso con los interesados del proyecto se estimó una capacidad nominal de 9000 BFT para los 35 camiones.

Tabla 2. 4 Capacidad de camiones que distribuyen madera verde de balsa

Capacidad de camiones que distribuyen Madera Verde			
#	TRANSPORTISTA	PLACA	Capacidad (bft)
1	TRANSPORTISTA 1	PLACA 1	8500
2	TRANSPORTISTA 2	PLACA 2	8500
3	TRANSPORTISTA 3	PLACA 3	9000
4	TRANSPORTISTA 4	PLACA 4	8450
5	TRANSPORTISTA 5	PLACA 5	8650
6	TRANSPORTISTA 6	PLACA 6	7550
7	TRANSPORTISTA 7	PLACA 7	9000
8	TRANSPORTISTA 8	PLACA 8	7550
9	TRANSPORTISTA 9	PLACA 9	9000
10	TRANSPORTISTA 10	PLACA 10	8550
11	TRANSPORTISTA 11	PLACA 11	9000
12	TRANSPORTISTA 12	PLACA 12	8600
13	TRANSPORTISTA 13	PLACA 13	9000
14	TRANSPORTISTA 14	PLACA 14	8750
15	TRANSPORTISTA 15	PLACA 15	8900
16	TRANSPORTISTA 16	PLACA 16	8750
17	TRANSPORTISTA 17	PLACA 17	8550
18	TRANSPORTISTA 18	PLACA 18	8750
19	TRANSPORTISTA 19	PLACA 19	8750
20	TRANSPORTISTA 20	PLACA 20	9000
21	TRANSPORTISTA 21	PLACA 21	8750
22	TRANSPORTISTA 22	PLACA 22	8750
23	TRANSPORTISTA 23	PLACA 23	8750
24	TRANSPORTISTA 24	PLACA 24	8750
25	TRANSPORTISTA 25	PLACA 25	8750
26	TRANSPORTISTA 26	PLACA 26	8750
27	TRANSPORTISTA 27	PLACA 27	8750
28	TRANSPORTISTA 28	PLACA 28	8750
29	TRANSPORTISTA 29	PLACA 29	8750
30	TRANSPORTISTA 30	PLACA 30	8750
31	TRANSPORTISTA 31	PLACA 31	8750
32	TRANSPORTISTA 32	PLACA 32	8750
33	TRANSPORTISTA 33	PLACA 33	8750
34	TRANSPORTISTA 34	PLACA 34	8600
35	TRANSPORTISTA 35	PLACA 35	9000
PROMEDIO			8690
ESTIMADO			9000

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Los costos asociados a los envíos desde cada plantación a cada planta son considerados en una modalidad de flete, es decir ya tienen un precio fijo. En la tabla 2.5 se detallan los valores de los fletes, mostrando un porcentaje pequeño del número total de plantaciones, buscando conservar el derecho de información de la empresa. Estos datos que se usarán constituyen la estructura de la función objetivo del modelo, el cual minimizará la función dependiendo del costo total de los envíos.

Tabla 2. 5 Costos de fletes de cada plantación a cada planta

PLANTACIÓN	Valor de Flete (\$) Planta 1	Valor de Flete (\$) Planta 2	Planta 3	Planta 4
CEB02	\$ 110	\$ 110	\$ 110	\$ 140
CEB04	\$ 100	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FC01	\$ 100	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FC01a	\$ 100	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FC02	\$ 110	\$ 150	\$ 150	\$ 180
FC03	\$ 100	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FC04	\$ 100	\$ 140	\$ 140	\$ 170
FC06	\$ 100	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FC07	\$ 100	\$ 140	\$ 140	\$ 170
FC09	\$ 100	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FC10	\$ 110	\$ 110	\$ 110	\$ 140
FC11	\$ 100	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FM05	\$ 130	\$ 150	\$ 150	\$ 180
FM06	\$ 100	\$ 140	\$ 140	\$ 170
FM07	\$ 110	\$ 110	\$ 110	\$ 140
FM08	\$ 110	\$ 80	\$ 80	\$ 110
FM09	\$ 130	\$ 150	\$ 150	\$ 180
FM10	\$ 100	\$ 140	\$ 140	\$ 170
FM11	\$ 100	\$ 140	\$ 140	\$ 170
FM15	\$ 100	\$ 140	\$ 140	\$ 170
FM15a	\$ 100	\$ 140	\$ 140	\$ 170
FM16	\$ 100	\$ 140	\$ 140	\$ 170
FM17	\$ 110	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FM18	\$ 110	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FM19	\$ 110	\$ 100	\$ 100	\$ 130
FM20	\$ 110	\$ 110	\$ 110	\$ 140

[Víctor Acosta – Edison Molina]

2.3 Análisis

Dentro de la etapa de análisis, junto con los champions del proyecto se realizó una lluvia de soluciones, mostrada en la ilustración 2.4, en donde de muchas alternativas para el problema se buscó la más viable mediante herramientas técnicas y financieras.

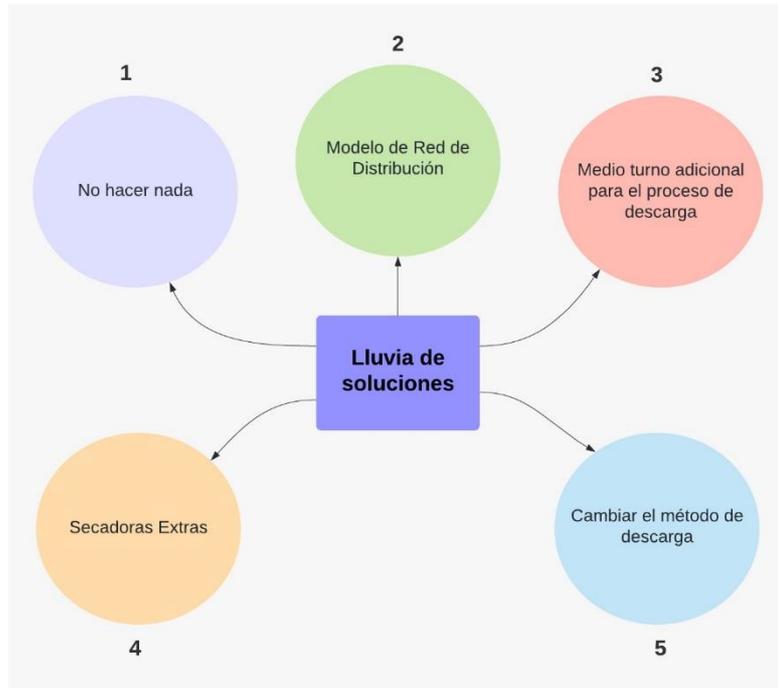


Ilustración 2. 4 Pilares de sostenibilidad

[Víctor Acosta – Edison Molina]

En donde se obtuvieron 5 posibles soluciones:

1. No realizar ninguna propuesta.
2. Realizar un modelo de distribución
3. Adicionar medio turno para el proceso de descarga de madera verde
4. Adquisición de secadoras extras
5. Cambiar el método de descarga de madera verde

Luego de tener estas 5 posibles soluciones se realizó un análisis de costos de implementación por cada posible solución mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 2. 6 Costo de implementación por cada posible solución

No	Soluciones	Costo total de implementación
1	No realizar ninguna propuesta	\$0,00
2	Realizar un modelo de distribución	\$93.200,00
3	Adicionar medio turno para el proceso de descarga	\$22.400,00 / mes
4	Adquisición de Secadoras extras	\$220.000,00
5	Cambiar el método de descarga de madera verde	\$0,00

[Víctor Acosta – Edison Molina]

En donde, para la solución 1, 2 y 4, es el costo total de implementación, mientras que para la solución tres y cinco el costo es considerado mensual. Luego de realizar el análisis de costos de implementación se debía conocer que tan beneficioso era para la empresa cada solución y el esfuerzo que involucraba, por lo cual, se procedió a usar la herramienta de análisis matriz impacto-esfuerzo mostrado en la ilustración 2.5.

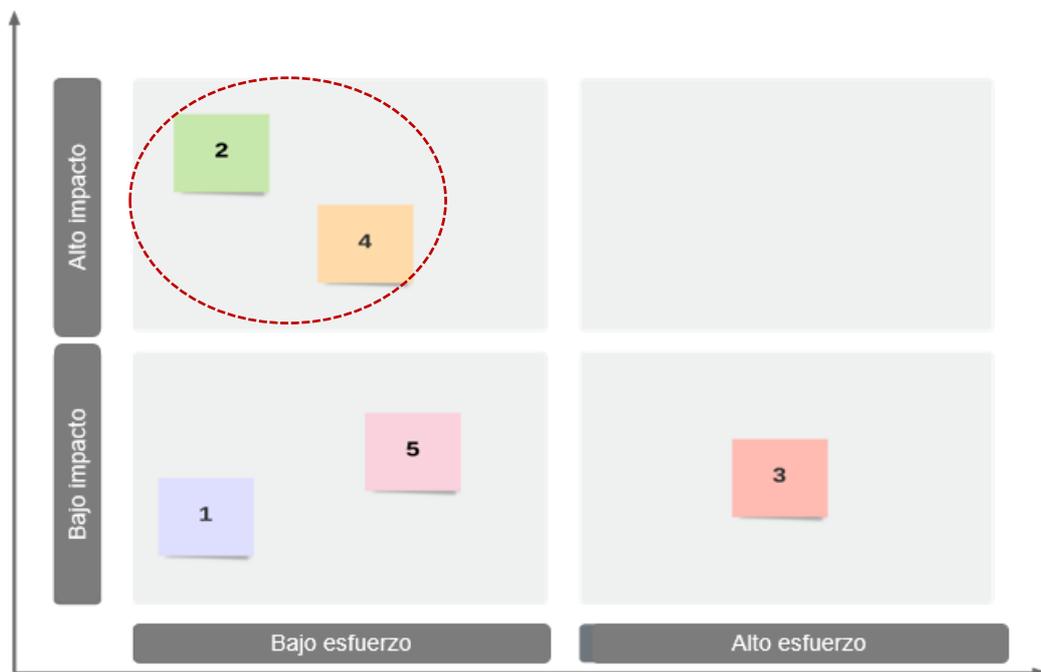


Ilustración 2. 5 Matriz Impacto – Esfuerzo de posibles soluciones

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Dando como resultado la propuesta dos y cuatro como soluciones de mayor impacto y menos esfuerzo para la compañía, cabe mencionar que la matriz impacto esfuerzo se la llevó a cabo junto a las partes interesadas de la vialidad de este proyecto.

Evaluación de soluciones

Como se mencionó anteriormente las soluciones de la elaboración de un modelo de optimización y la adquisición de secadoras extras son consideradas como soluciones con gran impacto y poco esfuerzo por lo cual se va a evaluar económicamente cada una de estas soluciones.

- **No realizar ninguna propuesta**

La primera solución describe que, la situación actual de la organización que enrola los parámetros como: número de plantaciones, plantas, vehículos y capacidades de los mismos, y la necesidad de producción de madera no justifica la creación de alguna propuesta de mejora que constituya una inversión de dinero o recursos. Esta decisión ejemplifica el problema actual de la organización en mención, que con una poca coordinación entre áreas desemboca en los excesos de tiempo de espera de los camiones a ser descargados dado que, al tener una oferta de plantaciones no encaminada con la necesidad de las plantas, da como resultado exceso y falta de camiones con madera verde en las plantas. Se debe agregar que al tener una oferta no alineada a la capacidad se incurre en costos adicionales de transporte, porque los camiones realizarán viajes adicionales para poder distribuir la madera en las plantas que realmente lo necesiten.

- **Modelo de distribución**

Esta solución se basa en la creación de un modelo de distribución de madera verde buscando minimizar los costos de envíos, la información que el modelo proporcionará son el día y la cantidad de madera verde a enviar a cada empresa, esta solución se desarrollará en Python y creará un ejecutable amigable para los usuarios.

Buscando la viabilidad de la solución se realizó un análisis de beneficio costo en donde se consideró los costos mostrados a continuación:

Tabla 2. 7 Ingresos y Egresos

Ingresos	
Costo actual de madera seca (\$/Kbft)	\$ 254
Costo futuro de madera seca (\$/Kbft)	\$ 240
Diferencia	\$ 14
Producción mensual (Bft)	2600000
Beneficio del proyecto (mes)	\$ 10.390
Egresos	
Costo de mantenimiento (Mes)	\$ 0

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Así mismo, basados a estos valores se realizó el análisis beneficio costo mostrado a continuación:

Tabla 2. 8 Análisis beneficio Costo (modelo de distribución)

AÑOS	INVERSIÓN	INGRESOS	INTERÉS	AMORTIZACIÓN	SALDO
AÑO 1	\$ 23.300	\$ -			
AÑO 2		\$ 10.390	\$ 3.495	\$ 6.895	\$ 16.405
AÑO 3		\$ 10.390	\$ 2.461	\$ 7.929	\$ 8.476
AÑO 4		\$ 10.390	\$ 1.271	\$ 9.119	-\$ 643
AÑO 5		\$ 10.390	-\$ 96	\$ 10.486	-\$ 11.129
AÑO 6		\$ 10.390	-\$ 1.669	\$ 12.059	-\$ 23.189

Inversión	\$23.300,00
TD	15%
Suma ingresos	\$34.828,89
Suma egresos	\$ -
Costos inversión	\$ 23.300,00
B/C	1,49

[Víctor Acosta – Edison Molina]

La relación beneficio costo es de 1,49 lo que implica que se obtendrá un 49% de retorno, haciendo que esta solución sea viable económicamente.

- **Adquisición de secadoras extras**

Esta solución, se basa en la compra de cámaras de secado de madera, con el objetivo de aumentar el volumen de secado para que los conductores no tengan que esperar mucho tiempo para ser descargados, pero se considera que esta solución sólo beneficia a una parte de las partes interesadas.

Para el caso de esta solución se muestra los costos asociados a continuación:

Tabla 2. 9 Ingresos y egresos (secadoras extras)

Ingresos	
Capacidad Secadora	200000
Rotación promedio por mes	2,5
Aumento de Producción (Bft)	500000
Precio de Venta Producto (\$/Kbft)	\$ 315
Margen Promedio	15%

Beneficio del Proyecto (mes)	\$ 23.625
------------------------------	------------------

Egresos	
Costo de Mantenimiento (Mes)	\$23.625

Costo de secadora	\$ 55.000
Numero de secadoras	\$ 4
Inversión	\$ 220.000
TD	\$ 0,15

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Por lo tanto, para el análisis de beneficio costo se obtuvo lo siguiente:

Tabla 2. 10 Análisis beneficio costo (secadoras extra)

AÑOS	INVERSION	INGRESOS	EGRESOS	FCA
0	\$ 220.000	\$ -	\$ -	-\$ 220.000
1		\$ 47.250	\$ 26.400	\$ 20.850
2		\$ 47.250	\$ 26.400	\$ 20.850
3		\$ 47.250	\$ 26.400	\$ 20.850
4		\$ 47.250	\$ 26.400	\$ 20.850
5		\$ 47.250	\$ 26.400	\$ 20.850

Suma ingresos	\$	137.730
Suma egresos	\$	76.954
Costos inversión	\$	296.954
B/C	\$	0,46

[Víctor Acosta – Edison Molina]

La relación beneficio costo es de 0,46 lo que implica que no se obtendrá un retorno beneficioso, haciendo que esta solución no sea viable económicamente.

Por lo tanto, se elige la opción de realizar un modelo de optimización de como solución para el problema.

2.4 Diseño

En la etapa de diseño se establecieron los modelos que serán analizados y de acuerdo con su alcance, metodología y característica los cuales se calificarán en base a el cumplimiento de las necesidades del cliente, a continuación, se presentan los modelos considerados en esta investigación.

Modelo del agente viajero o TSP (Travel Salesman Problem).

El modelo del agente viajero en su inicio tuvo aplicación por Balas, que tenía como objetivo principal encontrar una ruta para una persona que necesitaba visitar varios lugares pero que sean visitados solamente una vez por viaje y que logre minimizar la distancia total recorrida (Chan, Jiang, & Shaofeng H.-C, 2020).

Este modelo corresponde a un problema de optimización discreta más simple en temas de enrutamiento, en donde los que se desea es dirigirse a un destino, generando una ruta o secuencia de cada punto de visita. El TSP busca obtener la menor distancia o longitud total del conjunto de puntos a visitar dados exactamente una vez. (Hoffman, Padberg, & Rinaldi, 2016)

Los requerimientos que se necesitan son las distancias entre todos los puntos, del cual al formar la matriz se generan dos variantes, simétricas y asimétricas.

Ubicación óptima simultánea de plantas y centros de distribución - ubicación de las plantas: Modelo de Ubicación de Planta Capacitada

Los modelos de optimización de redes buscan brindar ayuda a la cadena de

suministro que permita maximizar las utilidades de la organización sobre los impuestos incurridos. Para desarrollo y práctica del modelo el libro (Chopra & Meindl, 2013) consideró el supuesto de que el cumplimiento de la demanda se llevaba a cabo en su totalidad sin tener ya sea venta perdida o exceso de inventario, finalmente el modelo omite la inclusión de impuestos sobre la utilidad para por simplicidad de la resolución.

Diseño de una red logística mediante un modelo de optimización considerando las existencias agotadas

El modelo de diseño de red logística inicia su modelamiento considerando varios supuestos que son: conocimiento de la demanda, conjunto limitado de recursos (vehículos y localización), productos homogéneos, costos del proceso logístico son determinísticos. El modelo no considera el hecho de incurrir en venta perdida (agotados), debido a que el costo asociado de perder un cliente conlleva en una gran pérdida económica (Harol Mauricio, Mejía Argueta, & León Espinosa, 2019).

Modelos del centro de gravedad para la ubicación

El modelo de centro de gravedad para ubicación (Simin, Rajan, & Rakesh, 2005) por su parte considera la ubicación aleatoria de localización de CD (Centros de Distribución) donde, el producto se envía desde las plantas a través de los centros distribución hasta llegar a los minoristas. El objetivo del modelo es poder minimizar el costo de transporte de entrada y salida y construcción de los centros de distribución, dicho costo está asociada a un costo fijo de construcción del CD y el costo de dimensionamiento del CD. El problema en específico de la investigación propone la localización de los CD conocidos sobre una ubicación desconocido, siempre y cuando el avión pueda acceder a los diferentes puntos.

El modelo es formulado inicialmente considerando una programación no lineal, posterior se propone una reformulación que da un enfoque al modelo como un problema de cobertura, para el modelo descrito los autores desarrollan un heurístico de goteo codicioso y heurístico de generación de columnas (Simin, Rajan, & Rakesh, 2005).

- **Selección del modelo**

En primera instancia en esta etapa se realizó un análisis de cual modelo de distribución se ajustaba a las necesidades del cliente, en donde se logró obtener lo mostrado en la tabla 2.11.

Tabla 2. 11 Tabla de análisis de modelos de optimización

Requisitos del cliente	Modelo de distribución	¿Cumple con los requisitos del cliente?		Comentario
		SI	NO	
El cliente requiere la elaboración de un modelo de distribución que minimice los costos de envío, los camiones no tienen un alto tiempo de espera y las cámaras de secado aumentan su utilización para lograr una buena coordinación entre las áreas involucradas. El modelo debe tener como insumo la oferta semanal disponible de cada plantación, la necesidad o demanda de cada empresa y el costo de transporte asociado a ella (\$/envío), adicionalmente el modelo debe mostrar cuándo (día de la semana), cuánto (cantidad de bft) y dónde (nombre de la empresa) enviar la madera verde.	Traveling salesman problem model (TSP)		100%	El modelo de agente de viajes no satisface los requisitos del cliente, ya que el agente de viajes hace paradas en diferentes puntos y, en el caso de la empresa, un solo camión irá directamente de una planta a una empresa con un costo de flete fijo.
	Ubicación de las plantas: modelo de ubicación de planta capacitada	90%		El modelo de localización contempla los requisitos de cumplimiento de la demanda, capacidad de las plantas, número de plantaciones y número de empresas, pero la variable binaria no se contemplará en el modelo de pitón, ya que la solución no se centra en la apertura o no de una plantación.
	Modelo de ubicación de una planta capaz con una sola fuente	70%		Al igual que el modelo de localización simultánea, el modelo de fuente única permite un enfoque que permite que las empresas se abastezcan del menor número de plantaciones específicas y no de la gran mayoría, pero esto puede entrar en conflicto con la restricción de la oferta disponible e indirectamente dará lugar a que haya camiones esperando a ser descargados porque la oferta supera la demanda de una planta
	Diseño de una red logística mediante un modelo de optimización considerando las existencias agotadas	60%		El modelo considera las necesidades de cumplimiento de la demanda, las restricciones de capacidad de las plantas y los vehículos, los costos de transporte, pero no se considerarán las restricciones de inventario y agotamiento.
	Modelos del centro de gravedad para la ubicación	80%		El modelo ayuda a establecer qué plantación debe abastecer a una empresa específica para minimizar el costo del transporte, pero este modelo se optimiza dependiendo de las coordenadas de ubicación de las plantaciones y el modelo actual no funciona con ubicaciones y distancias.

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Se puede concluir que el modelo de distribución que más se ajusta a las necesidades del cliente en un 90% es el modelo de ubicación óptima simultánea de plantas y centros de distribución, basándose en contemplar los requisitos de cumplimiento de la demanda, capacidad de las plantas, número de plantaciones y número de empresas, pero la variable binaria no se contemplará en el modelo de Python mencionado anteriormente, ya que la solución no se centra en la apertura o no de una plantación.

Luego de esto conociendo el tipo de modelo a realizar se elaboró un plan de implementación, en donde se determinó las fechas iniciales y de culminación de cada etapa de esta implementación, así mismo, las personas encargadas de estas implementaciones, a continuación, se muestra la tabla 2.12 en donde se detalla las etapas de implementación.

Tabla 2. 12 Plan de implementación

Significado operacional	Método/ Herramienta/ Especificación	Persona a cargo	Tiempo de duración	Fecha de finalización	Fecha de validación
Diseño del modelo de distribución	Programación entera mixta	Victor A. & Edison M.	3 días	5/8/2020	6/8/2020
Creación de los formatos de input del modelo	Microsoft Excel(Camera release format)/ Macros(offer income)	Victor A. & Edison M.	2 días	6/8/2020	7/8/2020
Programar el modelo en Phytion	Phython/Pulp library	Victor A. & Edison M.	10 días	15/8/2020	16/8/2020
Comprobar y afinar el modelo programado	Phyton/ Corrida de validaciones	Victor A. & Edison M.	2 días	16/8/2020	17/8/2020
Programar un ejecutable del modelo	Phyton	Victor A. & Edison M.	2 días	18/8/2020	19/8/2020
Creación de instructivo del uso de los formatos	Validación de datos y bloqueo de celdas específicas y Manual de Instrucciones/Microsoft Excel	Victor A. & Edison M.	3 días	21/8/2020	23/8/2020
Capacitación a los trabajadores encargados del uso del modelo	Acompañamiento del campeón en la entrada y carrera de la maqueta	Champions	2 días	23/8/2020	-
Prueba piloto	Ejecutar con los datos introducidos en las plantillas	Champions	3 semanas	7/9/2020	8/9/2020
Últimas afinaciones del modelo	Correr con los datos históricos y compara el resultado del modelo con el coste histórico del transporte	Victor A. & Edison M.	4 días	9/9/2020	10/9/2020
Control	Vigilancia del indicador de los costos de transporte y evaluación de los envíos según las necesidades de las plantas	Champions	5 días	21/9/2020	-

[Víctor Acosta – Edison Molina]

- **Formulación de un modelo de distribución**

Como se mencionó anteriormente el modelo a formular es un modelo de ubicación óptima simultánea de plantas y centros de distribución (plantaciones) en donde se establecieron índices, parámetros, variables de decisión, función objetivo y restricciones. Adicional se presenta un grafo (Ilustración 2.6) que muestra la actividad de distribución entre nodos fuentes (plantaciones) y nodos terminales (plantas).

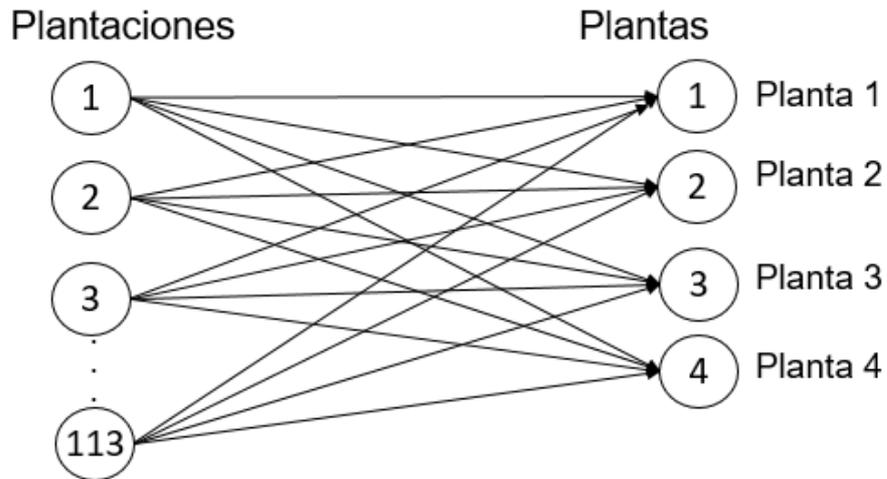


Ilustración 2. 6 Grafo de distribución de madera verde

[Víctor Acosta – Edison Molina]

El modelo se lo detalla a continuación:

Indices

c = Plantas c (Planta 1, Planta 2, Planta 3, Planta 4)

j = Plantaciones j (1,2,3,4 ...113)

Parametros

D_c = Demanda de madera verde de la planta c $\left(\frac{BFT}{semana}\right)$

$Cf_{j,c}$ = Costo de flete desde la plantación j hasta la planta c $\left(\frac{\$}{flete}\right)$

C_truck = Capacidad de los camiones $\left(\frac{9000BFT}{camion}\right)$

$Oferta_j$ = Cantidad (Volumen: BFT) de madera verde ofertada por la plantación j semanal.

Variables

$Y_{j,c}$ = Cantidad de Madera verde (Volumen: BFT) enviados desde la plantación c hasta la planta j en la semana

Función objetivo

$$\text{Min } z = \sum_{j=1}^{113} \sum_{c=1}^4 \frac{Y_{j,c}}{C_truck} * Cf_{j,c}$$

Restricciones

$$\sum_{j=1}^{113} Y_{j,c} \geq D_c \quad ; \quad \forall c \quad \text{Restricción de la cumplimiento de demanda mínima de la planta } c$$

$$\sum_{c=1}^4 Y_{j,c} \leq \text{Oferta}_j \quad ; \quad \forall j \quad \text{Restricción de oferta máxima semanal de cada plantación } j$$

$$j = 1, \dots, 113; c = 1, \dots, 4; Y_{j,c} \geq 0$$

- **Creación de formatos para input del ejecutable**

Los formatos son parte esencial del modelo de distribución, los cuales servirán de inputs para que el modelo reciba esa información y proporcione la solución óptima de distribución, a continuación, en la ilustración 2.7 y 2.8 se especifica la información que debe ser completada por parte de la persona encargada.

- **Programar el modelo el Phyton**

Para el desarrollo del modelo en el presente proyecto, en primera instancia se usó la librería Pulp que permite el desarrollo y resolución de problemas de optimización, la función objetivo se la fundamentó en la semana a planificar según las cámaras de secado de cada compañía que se liberen en la misma, en base el modelo determina la cantidad a enviarse y la divide para 9000 BFT, que es la capacidad de los camiones y finalmente multiplica dicha relación por el costo de flete de la plantación específica hasta la planta destino. Luego se utilizó la librería de Pandas que permite la lectura y manejo de información que para este caso se usó para la extensión xlsx (formato excel) que permitió leer los datos ingresados en los formatos inputs antes presentados.

Así mismo, se hizo que el programable lea archivos csv y con macros para la obtención de diferentes datos necesarios, el manejo de costos en forma de matrices se los hace con la librería numpy que permite usar arreglos n-dimensionales. Para el desarrollo de la interfaz gráfica se usa la librería Tkinter que es para el diseño de interfaces. Finalmente, para la creación del ejecutable se utilizó pyinstaller que ayuda a hacer la aplicación en sí, sin depender de otros ide de programación, ya en una carpeta con sus librerías e interprete incluidos que es Python.

- **Análisis de sensibilidad**

En el análisis de sensibilidad se comparó los posibles escenarios en donde podría cambiar las consideraciones del modelo propuesto y ver su comportamiento, descritos en la tabla 2.13.

Tabla 2. 13 Análisis de Sensibilidad

SENSITIVE ANALYSIS			
Cambios en el modelo	Descripción del impacto	Persona a cargo	Ahorros/Costo
Cambio de capacidad de camiones	Al aumentar la capacidad de bft que pueda transportar los camiones, impactará beneficiosamente disminuyendo el número de viajes de una plantacion a la planta asignada siendo y adicional el costo asociado a los fletes.	Planificador de la compañía	Ahorro
Cambio de programación de semanal a otro periodo de tiempo	El cambiar la programación de periodo de tiempo del modelo incurriera en una nueva actualización o modificación del modelo/ software lo que implica horas de trabajo (8 horas aprox)	Ingeniero industrial/Champions	Costo
Cambio en la demanda (aumento de cámaras de secado)	Aumento de capacidad o necesidad de las plantas, donde posiblemente exista una demanda insatisfecha y las camaras de secado bajen su utilización.	Ingeniero industrial/Champions	Costo
Aumento de numero de plantaciones u oferta	Aumentará la oferta lo cual puede incurrir en falta de capacidad en plantas, donde se tendra perdidas de madera en plantaciones debido a que estas no seran enviadas a plantas porque la capacidad de plantas no lo permite.	Planificador de la compañía	-

[Víctor Acosta – Edison Molina]

2.5 Prototipado

Como última etapa está el prototipado en donde, se realizó la elaboración de un ejecutable (software) del modelo de distribución mostrado a continuación en la ilustración 2.9.

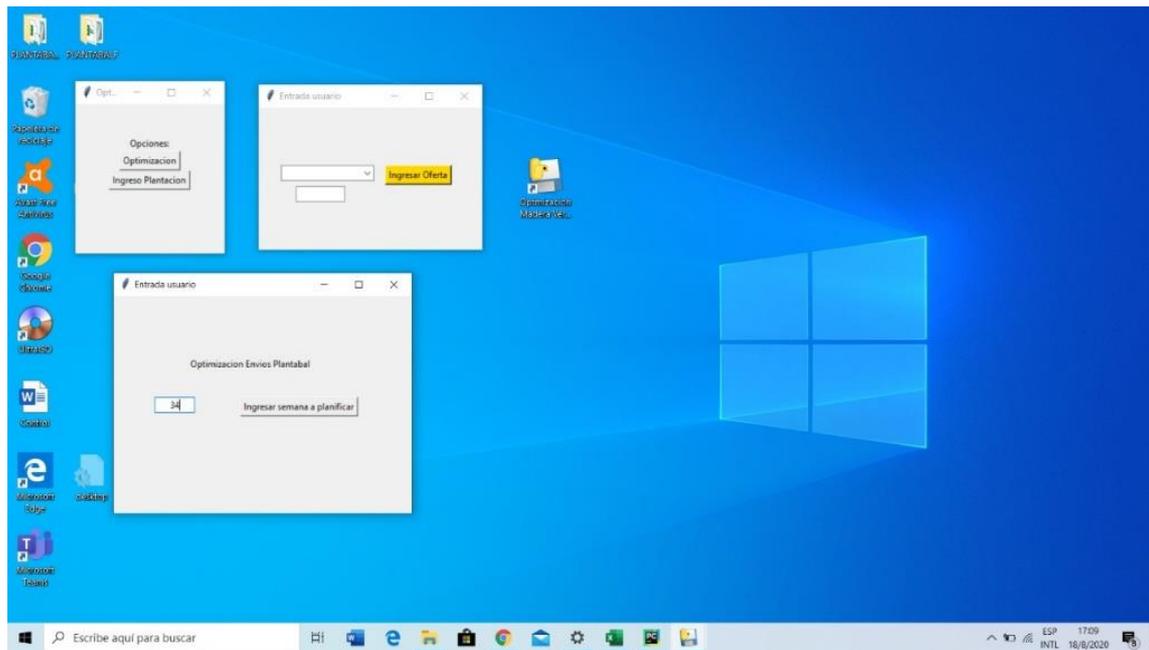


Ilustración 2. 9 Muestra de ejecutable

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Una vez creado el ejecutable y verificado en conjunto de la empresa se procedió a efectuar un manual de usuario, indicando como utilizarlo y que datos ingresar, este manual se encuentra en la sección de anexos de este documento.

Llegado a este punto, se llevó a cabo una prueba piloto con recolección de información por un periodo de 4 semanas, buscando la existencia de afinaciones y verificación de todo el programa, en donde en conjunto de todas las partes interesadas, se dió la verificación del modelo considerando que este sea óptimo para su uso, sus resultados se mostrarán en la sección de análisis de resultados.

Dicho lo anterior, se procedió a realizar un plan de capacitaciones mostrados en la tabla 2.14 el cual ayudará a obtener resultados efectivos y costos semanales.

Tabla 2. 14 Plan de capacitación

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD			
Cambios en el modelo	Descripción del impacto	Persona a cargo	Ahorros/Costo
Cambio de capacidad de camiones	Al aumentar la capacidad de bft que pueda transportar los camiones, impactará beneficiosamente disminuyendo el número de viajes de una plantación a la planta asignada siendo y adicional el costo asociado a los fletes.	Planificador de la compañía	Ahorro
Cambio de programación de semanal a otro período de tiempo	El cambiar la programación de periodo de tiempo del modelo incurrirá en una nueva actualización o modificación del modelo/ software lo que implicará horas de trabajo (8 horas aprox)	Ingeniero industrial/Champions	Costo
Cambio en la demanda (aumento de cámaras de secado)	Aumento de capacidad o necesidad de las plantas, donde posiblemente exista una demanda insatisfecha y las cámaras de secado bajen su utilización.	Ingeniero industrial/Champions	Costo
Aumento de numero de plantaciones u oferta	Aumentará la oferta lo cual puede incurrir en falta de capacidad en plantas, donde se tendrá pérdidas de madera en plantaciones debido a que estas no seran enviadas a plantas porque la capacidad de plantas no lo permite.	Planificador de la compañía	-

[Víctor Acosta – Edison Molina]

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados

Luego de realizar la prueba piloto se logró verificar que se cumplieron las necesidades del cliente mostrados en el QFD de la etapa inicial de este documento, estas necesidades fueron:

- Reducción del costo total de transporte.
- Disminuir el tiempo de espera de los camiones con madera en ser descargados.
- Usar la máxima capacidad de los camiones.
- Aumentar la utilización de las secadoras en cada planta.

3.1.1 Situación actual sin el modelo

El análisis de la situación actual fue realizado consolidando las ofertas de las plantaciones (envíos reales realizados), y la necesidad total en una semana específica (cámaras liberadas en la semana 18). Posterior a esto mediante la matriz de costos de flete de plantación a planta, fue determinado el costo del total de madera enviada, los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 3. 1 Necesidad, oferta y costos de transporte en semana 18 Planta 1

PLANTA 1			
Plantaciones	Oferta	Costo de transporte	Necesidad
FM-17	65628	\$ 880	340000
MS-0	82532	\$ 1.100	
PB-09	18646	\$ 330	
PB-28	23202	\$ 330	
PB-30	46865	\$ 660	
PB-31	16153	\$ 200	
PB-47	15855	\$ 220	
PB-50	70607	\$ 1.000	

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 2 Necesidad, oferta y costos de transporte en semana 18 Planta 2

PLANTA 2			
Plantaciones	Oferta	Costo de transporte	Necesidad
PB-57	72191	\$ 2.340	270000
PB-56	74279	\$ 230	
PB-08	20511	\$ 810	
PB-42A	20882	\$ 300	

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 3 Necesidad, oferta y costos de transporte en semana 18 Planta 4

PLANTA 4			
Plantaciones	Oferta	Costo de transporte	Necesidad
MS13	13933	\$ 200	131000
PB28	19768	\$ 300	
PB30	28303	\$ 400	
PB31	22424	\$ 300	

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 4 Necesidad, oferta y costos de transporte en semana 18 Planta 3

PLANTA 3		
Plantaciones	Oferta	Necesidad
Planta 3	21501	21000
D.G	11509	
J.C	4991	
V.G	5200	

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 5 Resultados de la semana 18

	Volumen (BFT)
Necesidad total semanal	762000
Necesidad total de plantaciones	597037
Oferta total semanal de plantaciones	611778
Oferta total semanal de terceros	164963
Oferta total semanal	776741
Costo total de transportación	\$11,710

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Los resultados de la tabla 3.5 permiten identificar que la oferta total realizada por las plantaciones junto con terceros superó a la necesidad semanal de todas las plantas, siendo la oferta superior en un 2% lo cual para el presente análisis conlleva a que los 14,741 BFT adicionales, estarán aproximadamente 8 días esperando en piso hasta que algunas de las secadoras liberen madera.

3.1.2 Aplicando el modelo

Inicialmente se corrió el modelo usando los mismos datos de la semana 18 siendo estos la demanda y oferta de plantaciones, permitiendo determinar la efectividad del modelo y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3. 6 Costo total de Transportación

	Volumen (BFT)
Necesidad total semanal	762000
Necesidad total de plantaciones	597037
Oferta total semanal de plantaciones	597037
Cantidad (BFT) de madera verde enviada desde plantaciones	762000
Costo total de transportación	\$10,450

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Dado esto se tiene un ahorro inicial de \$1260 por semana que representa 12% de disminución en los costos.

Tabla 3. 7 Comparación con el modelo

Estado	Volumen enviado (BFT/Semana)	Costo de transporte semanal
Situación actual (semana 18)	776741	\$ 11,710
Con el modelo (semana 18)	762000	\$ 10,450

[Víctor Acosta – Edison Molina]

3.1.3 Prueba piloto

Finalizada la recolección de datos necesarias para realizar la prueba piloto se tomó la semana 36 como foco de análisis y como resultados se obtuvo lo siguiente:

Envíos por día de plantación a planta

Tabla 3. 8 Envíos 31 de agosto del 2020

	PLANTA 4	PLANTA 1	PLANTA 2	Total
FM-17	20000	6188	34000	60188
PB-08	0	20511	0	20511
PB-09	0	18646	0	18646
PB-47	0	2925	0	2925

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 9 Envíos 1 de septiembre del 2020

	PLANTA 4	PLANTA 1	PLANTA 2	Total
MS-09	22000	31317	29215	82532
PB-28	0	42970	0	42970
PB-31	0	0	38577	38577
PB-42A	0	0	208	208

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 10 Envíos 2 de septiembre del 2020

	PLANTA 1	PLANTA 2	Total
CSM-MS-13	1563	0	1563
FM-17	5440	0	5440
PB-56	40279	34000	74279

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 11 Envíos 3 de septiembre del 2020

	PLANTA 1	PLANTA 4	Total
PB-30	43111	0	43111
PB-42A	0	20674	20674
PB-50	52231	1326	53557

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 12 Envíos 4 de septiembre del 2020

	PLANTA 4	PLANTA 1	PLANTA 2	Total
CSM-MS-13	12370	0	0	12370
PB-57	8058	30133	34000	72191

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 13 Envíos 5 de septiembre del 2020

	PLANTA 1	Total
PB-47	12930	12930
PB-50	17050	17050

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 14 Costo total por día

Fecha de envío	Costo de transporte
08-17-2020	\$ 400
08-19-2020	\$ 1900
08-18-2020	\$ 400
08-20-2020	\$ 890
08-21-2020	\$ 390
08-23-2020	\$ 390
TOTAL	\$ 4370

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Tabla 3. 15 Volumen total recibido (BFT) por plantas por día

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total
PLANTA 1	29778	106587	31962	0	0	0	168327
PLANTA 2	0	0	0	34000	0	0	68000
PLANTA 3	0	0	0	21000	21000	21000	63000
PLANTA 4	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	29778	140587	31962	55000	21000	21000	299327

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Finalmente se tuvo que el costo total por satisfacer la demanda de 299327 BFT siendo de \$ 4370 por semana. Dicho esto, se procedió a ingresar estos resultados en las métricas de los pilares de la sostenibilidad para determinar su cumplimiento.

3.1.4 Pilares de sostenibilidad

Pilar Económico

Como primera instancia el pilar económico como se mencionó en la sección inicial, el grupo está constituido por cuatro diferentes plantas, en donde basados a los requerimientos de cada planta, fecha de ingreso y fecha de liberación de la madera verde, se realizó la distribución y el respectivo análisis de costos.

Para determinar la disminución de costos se estableció el indicador de \$/BFT enviados, esto permite definir la disminución porcentual del costo por un BFT enviado.

Tabla 3. 16 Estado situación actual Vs con modelo

Estado	Volumen enviado (BFT/Semana)	Costo de transporte semanal	\$/BFT (Costo de Transporte/Volumen enviado)
Situación actual (semana 18)	611778	\$ 11,710	\$0.019/BFT
Con el modelo (semana 36)	299327	\$ 4,370	\$0.0146/BFT
Disminución			23 %

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Dada la ejecución del modelo se tiene que existe una disminución en el costo por bft enviado del 23%.

Pilar Social

Con respecto al pilar social, por medio de los formatos descritos en la sección 2 se pudo medir el tiempo de espera de los camiones, lo cual dio como resultado la disminución del 250% en el tiempo de espera de los camiones para ser descargados.

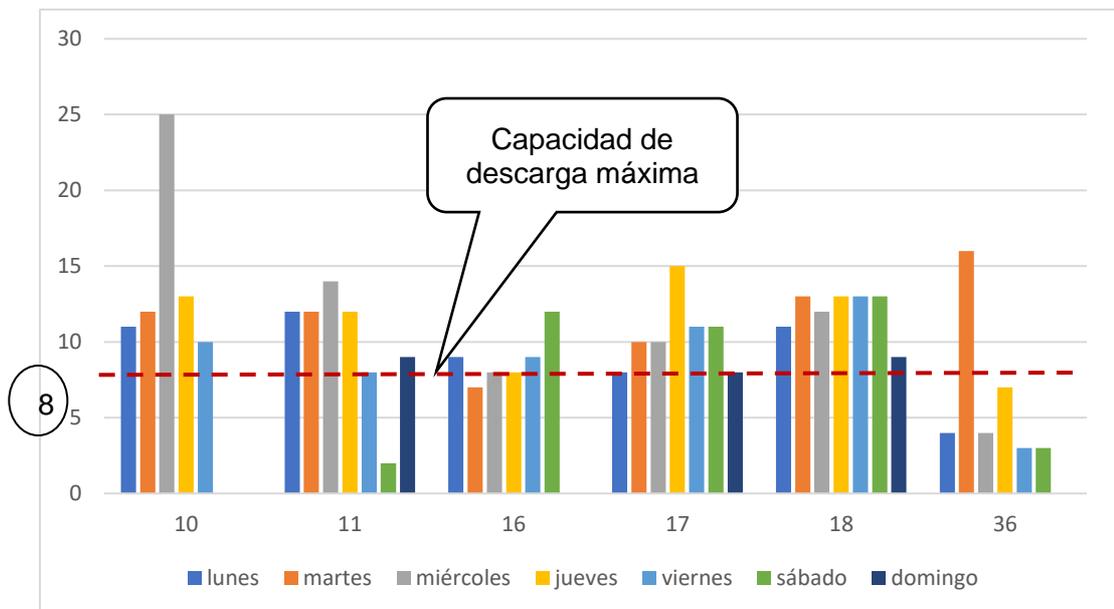


Ilustración 3. 1 Número de camiones enviados por día y semana.

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Como se observa en la ilustración 3.1, el número de días que superan la capacidad de 8 camiones máximo a descargar es de 1, mientras que a partir de la semana 18 para atrás se tiene que la gran mayoría de los días se supera la capacidad de descarga de camiones, esto da como resultados altos tiempos de espera de los camiones para ser descargados.

Pilar ambiental

Finalmente, en el pilar ambiental se observó una utilización del 100% en el uso de la secadora, lo cual implica un uso óptimo de los kW/cámaras por cada planta. Adicional se estima que el porcentaje de disminución de la madera que se pierde por tenerla en piso al ambiente es de 9%, dado que para la semana 18 y 17 en la ilustración 3.2 se observa que la utilización del 109%, que teóricamente no puede ser posible para esto el 9% adicional se interpreta como madera que no pudo ser ingresada en cámara.

En la ilustración 3.2 se muestra la utilización de las secadoras durante una semana de implementación del modelo, estos datos fueron estimados con respecto a la capacidad del cada secadora y la cantidad de madera que se ingresó.

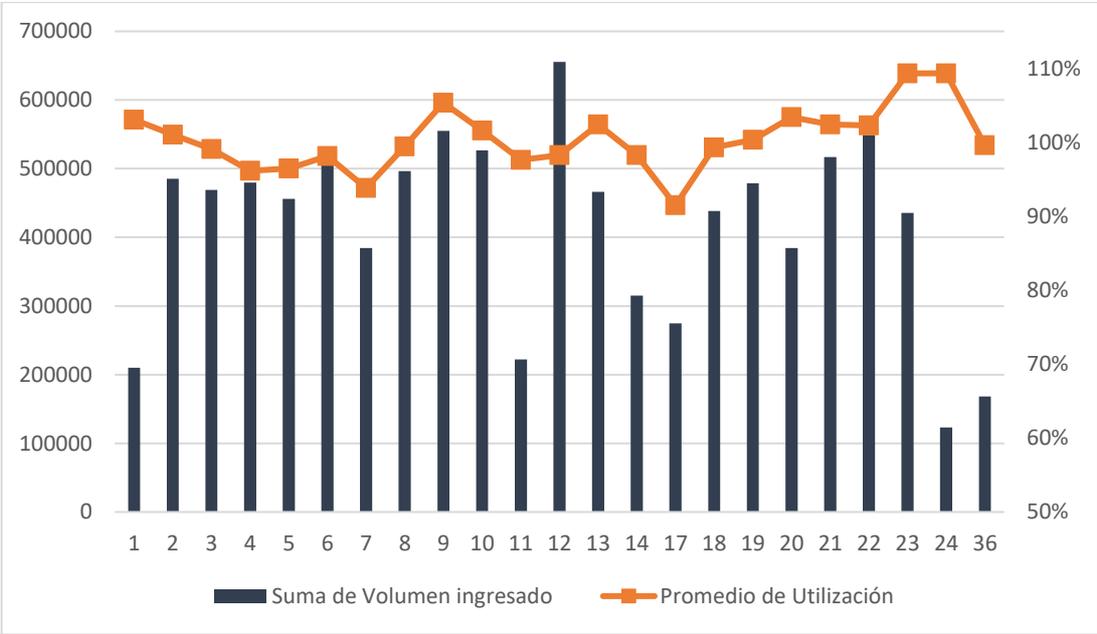


Ilustración 3. 2 Utilización de las secadoras

[Víctor Acosta – Edison Molina]

Se debe agregar que se consideró un segundo pilar ambiental para el análisis el cual describe la utilización del camión con el saldo de madera enviada esto quiere decir que, el análisis de la semana 36 fue realizado tomando en cuenta los camiones que transportaron a baja capacidad la madera, esto es por causa de la restricción de cumplimiento de la demanda y que el modelo optimiza el costo total de los envíos y no directamente la utilización de los camiones.

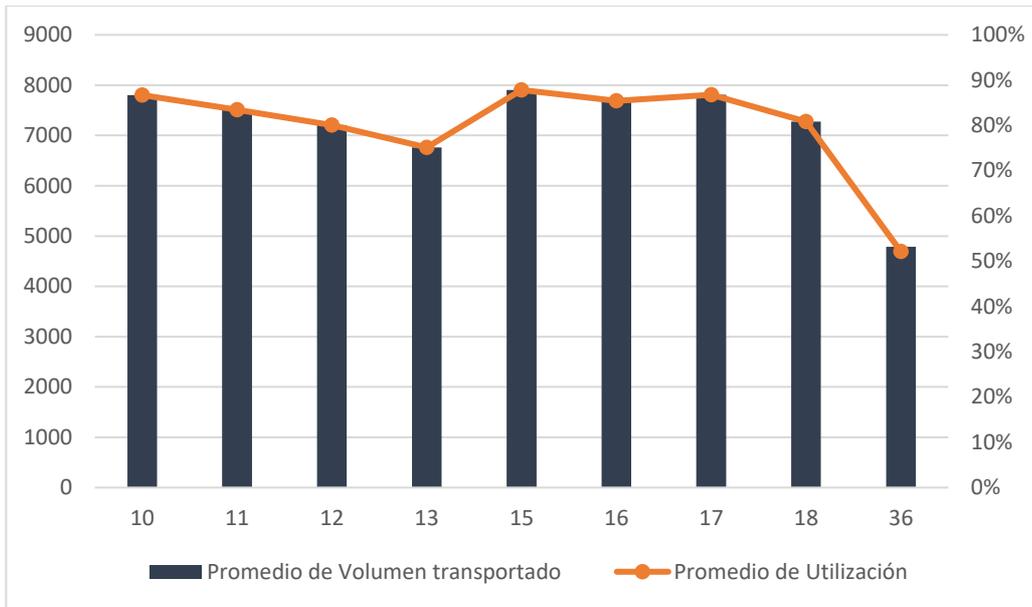


Ilustración 3. 3 Utilización de camiones

[Víctor Acosta – Edison Molina]

3.2 Análisis de viabilidad

El costo de implementación del modelo es de \$23,448, este costo abarca la capacitación dada a los coordinadores de plantaciones y a su personal a cargo, que fue calculada mediante las horas que las personas a capacitar y capacitador dejan de realizar su trabajo diario dentro de la empresa, lo cual se considera que este es un costo indirecto para la empresa.

Se estimó un promedio de 32 horas de capacitación y de 112 horas de control, en la tabla 3.17 se observa los costos de implementación y su desglose.

Tabla 3. 17 Costo de capacitaciones

Personal	Salario	Horas laborales al mes	Costo (\$) / hora
Coordinadores	\$ 2,000	160	\$ 12.5
Personal subordinado	\$1,500	160	\$ 9.38
Personal	Número de personas	Horas de capacitación	Costo por hora
Coordinadores	16	32	\$ 4,800
Personal subordinado	12	112	\$ 16,800
Inversión			\$ 23,300

[Víctor Acosta – Edison Molina]

En la sección anterior se mostró los beneficios de ahorro de implementar este modelo que fue del 23% de reducción del costo total por BFT transportado (\$/BFT transportado), dicha relación fue determinada para hallar los beneficios independientes de la cantidad variable que se envié. Adicional se estima que la recuperación de esta inversión será a partir del cuarto año, y hacia adelante se tendrá ingresos de aproximadamente \$20,000.

Tabla 3. 18 Tabla de amortización

AÑOS	INVERSIÓN	INGRESOS	INTERÉS	AMORTIZACIÓN	SALDO
AÑO 1	\$ 23.300	\$ -			
AÑO 2		\$ 10.390	\$ 3.495	\$ 6.895	\$ 16.405
AÑO 3		\$ 10.390	\$ 2.461	\$ 7.929	\$ 8.476
AÑO 4		\$ 10.390	\$ 1.271	\$ 9.119	-\$ 643
AÑO 5		\$ 10.390	-\$ 96	\$ 10.486	-\$ 11.129
AÑO 6		\$ 10.390	-\$ 1.669	\$ 12.059	-\$ 23.189

[Víctor Acosta – Edison Molina]

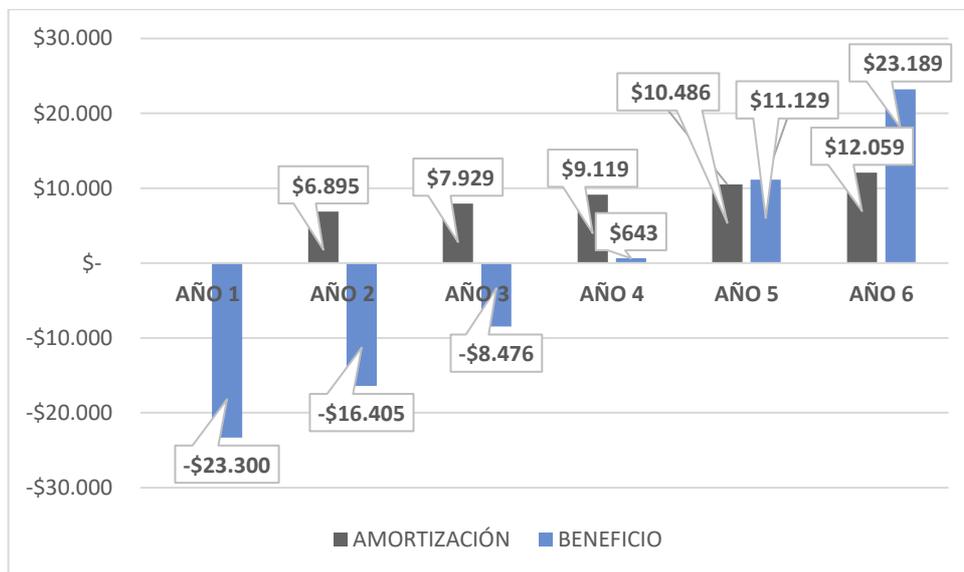


Ilustración 3. 4 Recuperación de capital

[Víctor Acosta – Edison Molina]

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se realizó un modelo de optimización de envíos de madera desde plantaciones hasta las diferentes plantas de la compañía, logrando definir la cantidad de madera y días a realizarse los envíos considerando los costos de cada ruta, la capacidad de los camiones, demanda de las plantas y oferta disponible.
- Mediante el uso de la programación en Python se realizó un ejecutable que permitió a la empresa poder ingresar la oferta semanal disponible y la demanda semanal y así, obtener la programación de envíos de la semana que garantiza obtener el precio más bajo posible.
- Como resultado se tuvo una reducción del 24% de los costos por BFT transportado, aun así, se proyecta que a medida que se familiarice con el uso de la modelo esta reducción podría aumentar.
- Se considera que el uso de las secadoras aumento al 100% sin generar excesos o faltas, adicional el tiempo de espera de los camiones se redujo en 250%.

4.2 Recomendaciones

- Debido a que no todas las plantaciones generan madera verde todo el año, la empresa debe realizar una verificación del ingreso de las plantaciones cada semana para que así el modelo no incurra en errores de cálculo de costos.
- La compañía debe levantar un nivel de inventario necesario para que el recurso más crítico (cámaras de secado) no incurra en paras no programadas por falta de materiales.
- El personal de envíos y recepción de madera debe estar en constante capacitación y darles a conocer todo los cambios o actualizaciones que se realicen en el modelo, para así, buscar la mejora continua de este proyecto.
- En el ingreso de los inputs tanto de la oferta como la demanda el usuario debe tener previo conocimiento del manual instructivo que permita a este poder llevar a cabo la ejecución del modelo de una manera correcta.

BIBLIOGRAFÍA

- "Design of six sigma supply chains, ". (2004, Julio). *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1309666/references#references>
- Aikens, C. H. (1985, December). Facility Location Models for Distribution Planning. 22(3), 263. Retrieved September 5, 2020, from <https://search.proquest.com/docview/204162260?accountid=171402>
- Chan, T.-H. H., Jiang, H., & Shaofeng H.-C, J. (2020, March). A Unified PTAS for Prize Collecting TSP and Steiner Tree Problem ind doubling Metrics. *ACM Transactions on Algorithms*, 16(2), 23. doi:<https://doi.org/10.1145/3378571>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro* (Quinta edición ed.). (E. Porras, & M. A. Benítez, Eds.) Mexico: PEARSON. Retrieved from https://www.academia.edu/32054312/Administracion_de_la_cadena_de_suministro_5ed_Sunil_Chopra_y_Peter_Meindl
- Cipoletta, G., Pérez, G., & J.Sanchez, R. (2010, Mayo). *CEPAL*. Retrieved from https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6350/S1000312_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- El-Haik, K. Y. (2003). *Desing for Six Sigma*. McGralw-Hill.
- Fabio Josende Paz, F. Z. (2016, Julio 4). Indicadores para la Sustentabilidad. (D. M. Coraiola, Ed.) *INDICADORES PARA SUSTENTABILIDA DE ORGANIZACIONAL EM EMPRESAS DA REGIÃO DO PAMPA GAÚCHO*, 97. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1859532251/2571D56CAE44A5FPQ/4?accountid=171402>
- Harol Mauricio, G., Mejía Argueta, C., & León Espinosa, R. (2016, November 21). *Ingeniare : Revista Chilena de Ingeniería; Arica*, 25(4), 619-632. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/2001043700/fulltextPDF/15BBBC5855AA40DCPQ/1?accountid=171402>
- Harol Mauricio, G., Mejía Argueta, C., & León Espinosa, R. (2019, January 8). *Revista Chilena de Ingeniería*, 25(4), 619-632. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/2001043700?accountid=171402>
- Hoffman, K., Padberg, M., & Rinaldi, G. (2016, Enero 23). *Springer Link*. Retrieved from <https://www.springerlink.com>
Traveling Salesman Problem:

https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-1-4419-1153-7_1068
Rardin, R. (1998). *Optimization in Operation Research* (Segunda Edición ed.). Arkansas: Pearson.

Simin, H., Rajan, B., & Rakesh, N. (2005, September). Simultaneous Siting and Sizing of Distribution Centers on a Plane. *Department of Industrial Engineering*. doi:https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1007%2Fs10479-008-0376-4?_sg%5B0%5D=qHlz07QmPPU7DT5tJGNv2dRbszNYB06p5kuxEy4AupVKIKt70fUxp_HcijswlFQtb9uFLt8aRqCFAaOnfBmybPTotQ.W5c0yf7rgMPx2mEp0dJdXull5l2-9o3CuJ2W6FoWLjpLIUbOPT-rklV0Q1qAnlzQ

ANEXO

Anexo A

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		Costo Transporte													
2	09-04-2020	1100													
3	09-02-2020	1100													
4	08-31-2020	1500													
5	09-05-2020	420													
6	09-01-2020	2290													
7	09-03-2020	2160													
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															

Ilustración 5. 1 Hoja de Excel resultando de la aplicación del modelo

[Víctor Acosta – Edison Molina]

INTRODUCCIÓN

La organización donde se realizó el presente proyecto se dedica a la producción de paneles flexibles de balsa, donde su proceso productivo comprende desde la tala de árboles en sus plantaciones, la distribución de la madera a las 4 plantas, donde se realiza el secado de la madera de balsa a través de cámaras de secado de madera, hasta que finalmente la madera secada pasa a través de diferentes procesos para ser transformada en paneles flexibles.

El buen manejo de la logística dentro de una organización permite tener un desarrollo económico sostenible del país que en promedio se ha determinado que los costos logísticos representan el 13.8% lo cual, da como resultado que se beneficie la sociedad de la misma (Harol Mauricio, Mejía Argueta, & León Espinosa, 2016). Con esto en mente se debe tener en consideración que, dentro de este ambiente de comercialización, los responsables de la determinación del precio del producto final dependerán de dos principales factores que son el costo de producción y el costo logístico, dado esto se plantea la idea de considerar el desempeño de la logística dentro de la organización que mediante una herramienta informática permitirá generar los menores costos y así, poder tener una ventaja competitiva sobre otras empresas (Cipoletta, Pérez, & J.Sanchez, 2010).

Con respecto al primer punto el diseño de la red logística constituye un conjunto de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo, donde cada nivel deber ir alineada a las cualidades ganadoras de la empresa. Estas decisiones están basadas en relación con el número de instalaciones disponibles, mercados objetivos, capacidad de vehículos y su costo asociado al transporte que permitan generar los menores costos de logística dada la asignación de las instalaciones.

En continuidad con el nivel estratégico que constituyen la rentabilidad de la empresa a largo plazo, los planificadores de distribución responsables de estas decisiones deben considerar el mejor punto de localización de los puntos iniciales y finales, la complejidad de esto radica en el conjunto de restricciones que junto con las variables de decisión comprenden un modelo matemático. Los modelos de optimización de localización o ubicación se clasifican de la siguiente manera: red de distribución

capacitada o no capacitada, niveles de la cadena de suministro, número de SKU's (Stock Keeping Unit), costos asociados a los arcos y patrones de demanda (Aikens, 1985).

La misión de la empresa es estar comprometida con sus trabajadores, formándolos en diferentes partes del mundo y generando empleos en los diferentes países donde existen sus sucursales. Además, en la actualidad Ecuador es uno de los países pioneros en la exportación de esta madera y con mejor calidad en comparación de otros países.

Este manual proporcionará las indicaciones de instalación y uso del modelo de distribución de madera verde. Este modelo fue diseñado en un software de programación (PYTHON), permitiendo lograr optimizar la distribución de la madera verde basado en la capacidad de oferta de cada una de las plantaciones y la demanda de cada planta.

Este manual proporciona los detalles y requerimientos para el uso correcto del ejecutable del modelo, con la finalidad de brindar al usuario una herramienta que asegure la correcta distribución de madera verde para beneficio de la empresa.

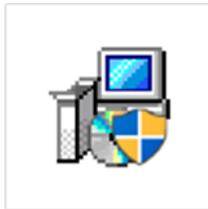
REQUERIMIENTOS

Los requerimientos mínimos para que el instalador del ejecutable del modelo funcione correctamente, son los siguientes:

- 1) Sistema operativo Windows (7 o superior).
- 2) Procesador Intel Inside o superior.
- 3) Memoria RAM de 1 GB.

INSTALACIÓN

1. Descargar el archivo OptimizacionMader.exe

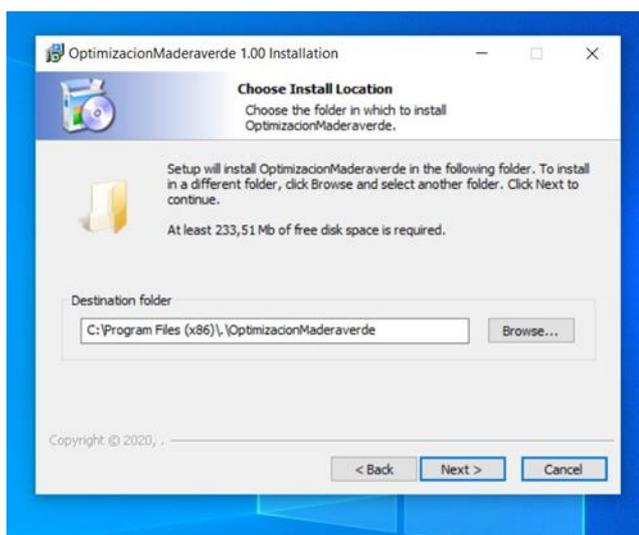


Optimizacion
Mader

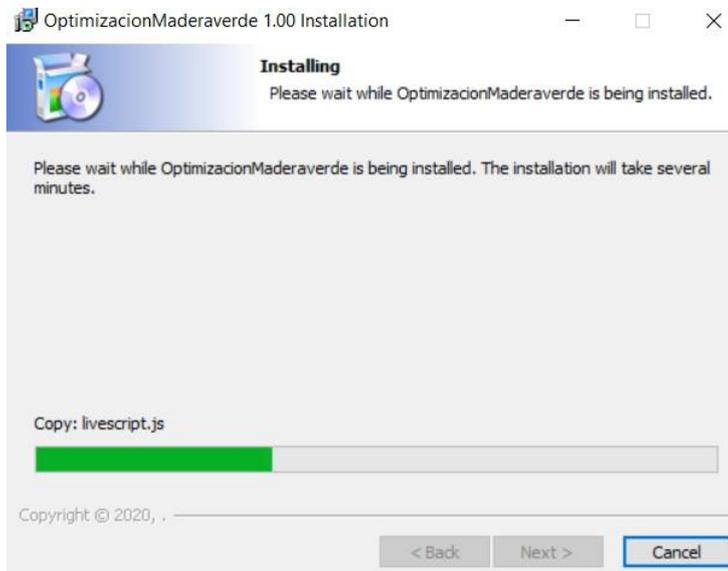
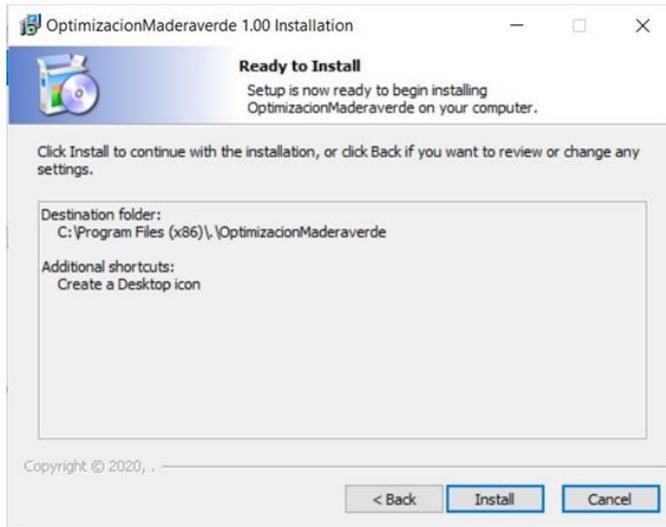
2. Ejecutar el archivo



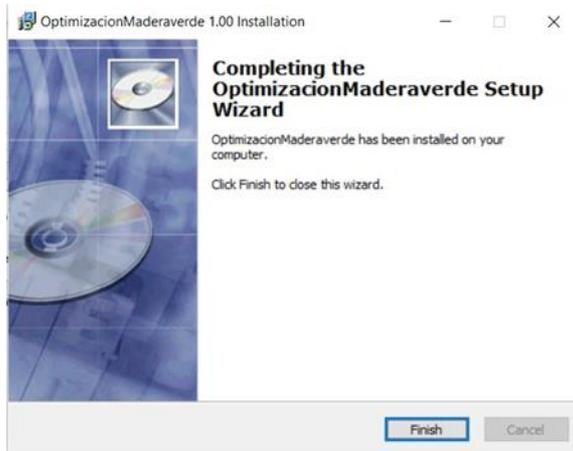
3. Establecer el directorio de instalación, de preferencia un lugar accesible para la modificación de archivos bases.



4. Seguir con los pasos (next) y continuar con la instalación



5. Finalizar la instalación

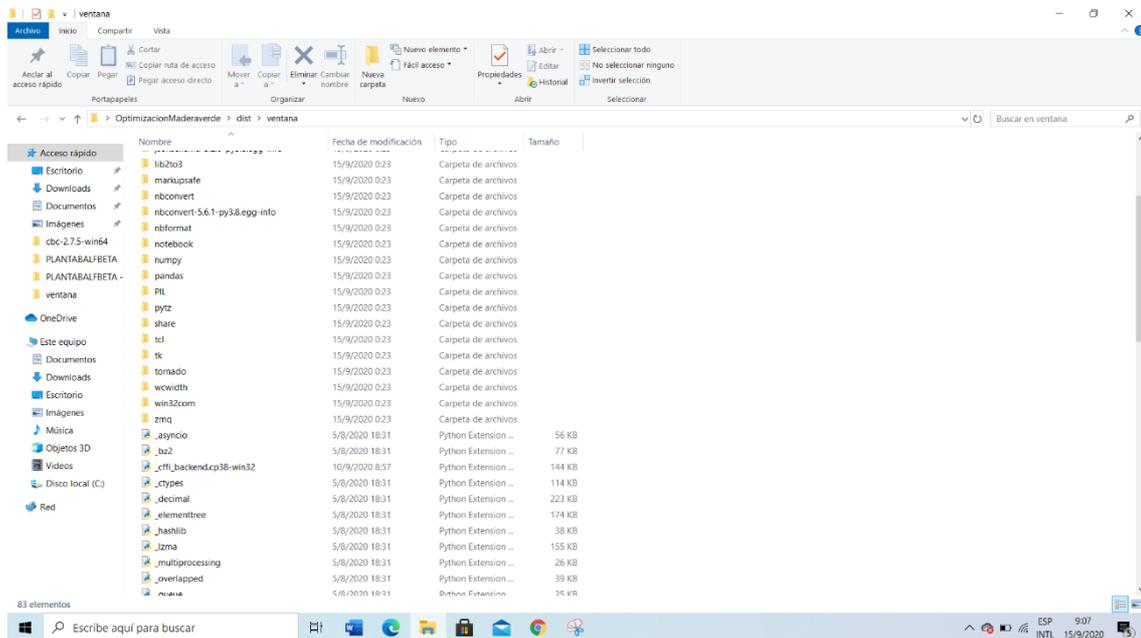


Instalación Solver

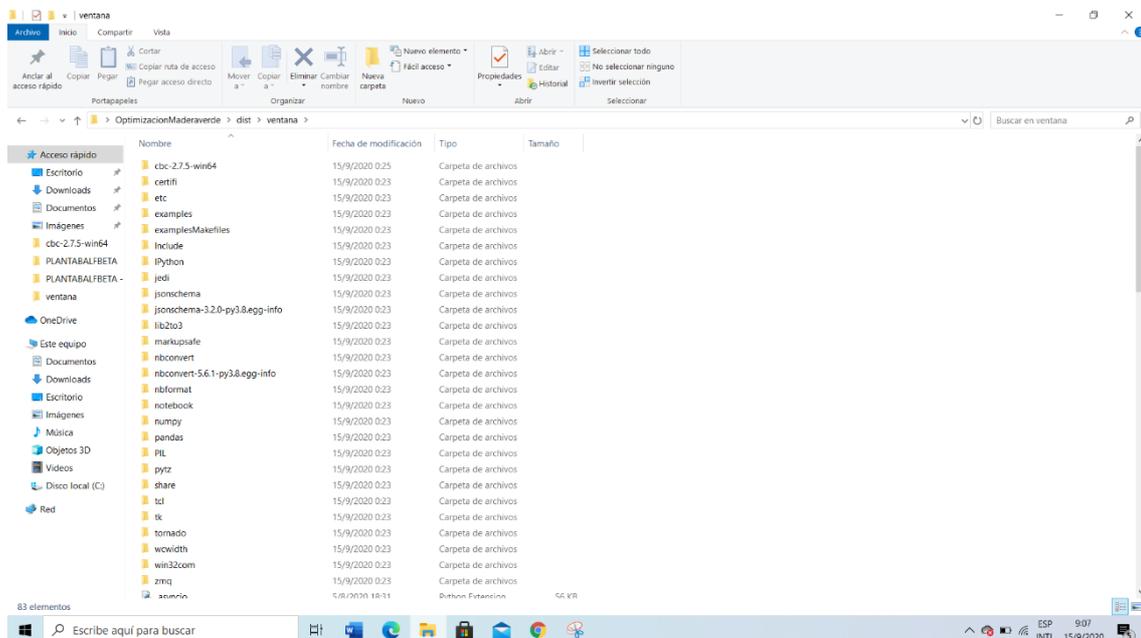
1.- Descargar el comprimido del cbc



2.- Ir al directorio de Instalación y seguir la ruta /dist/ventana

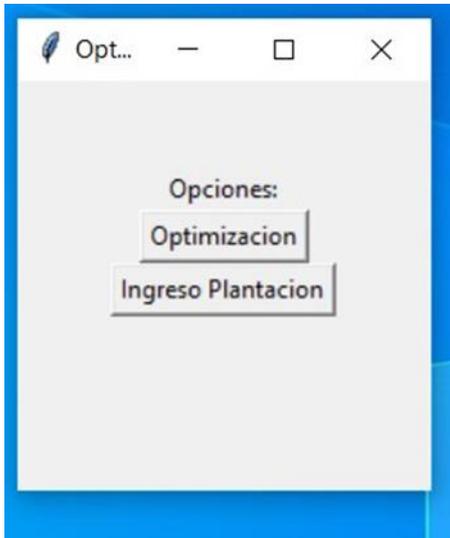


3.- En esta carpeta extraer el solver.



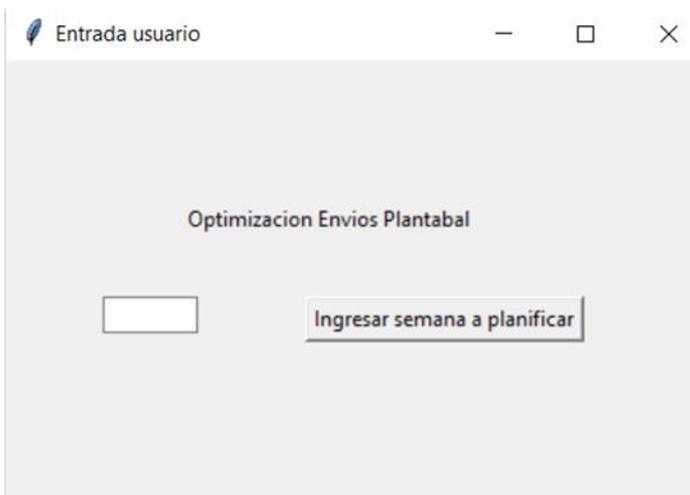
USO DEL EJECUTABLE DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN

En la ventana principal del programa elegir la opción a considerar:



OPTIMIZACIÓN

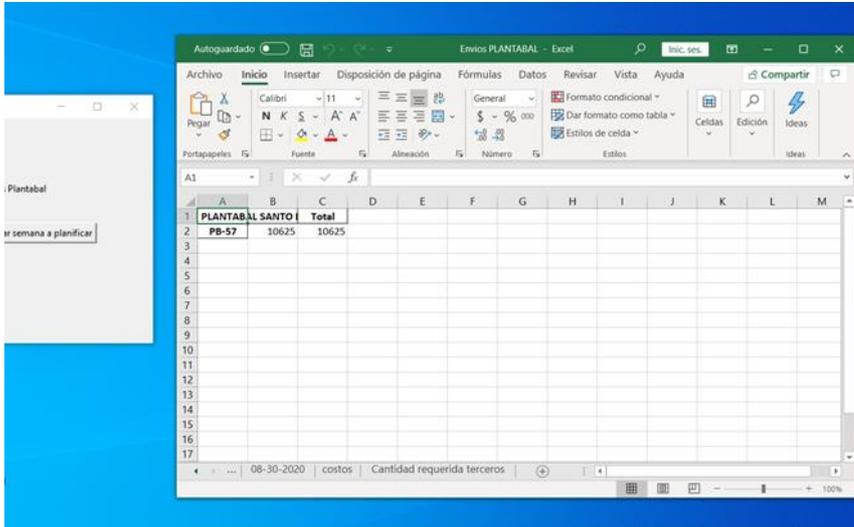
Si se desea saber la semana a planificar, elegir la opción optimización en donde se debe ingresar la semana que se desea planificar (ej. 34).



Luego de ingresar el número de semana a planificar, se debe esperar unos minutos para que el programa genere al archivo Excel de planificación.

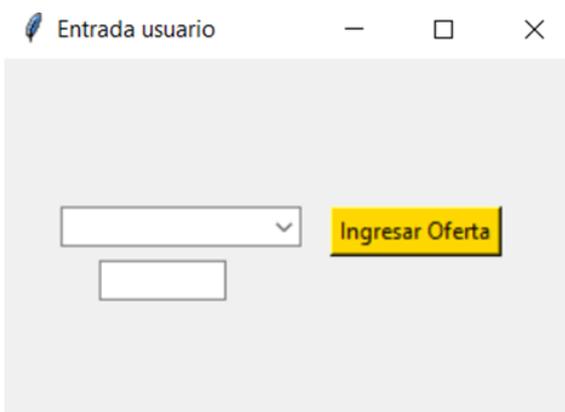
Cada hoja representa la cantidad de envío que se debe hacer desde una plantación

a una planta de secado, en donde, la pestaña de costos indica el costo de los envíos según cada fecha y finalmente la de cantidad requerida terceros muestra el volumen necesitado de parte de los proveedores considerados como terceros.

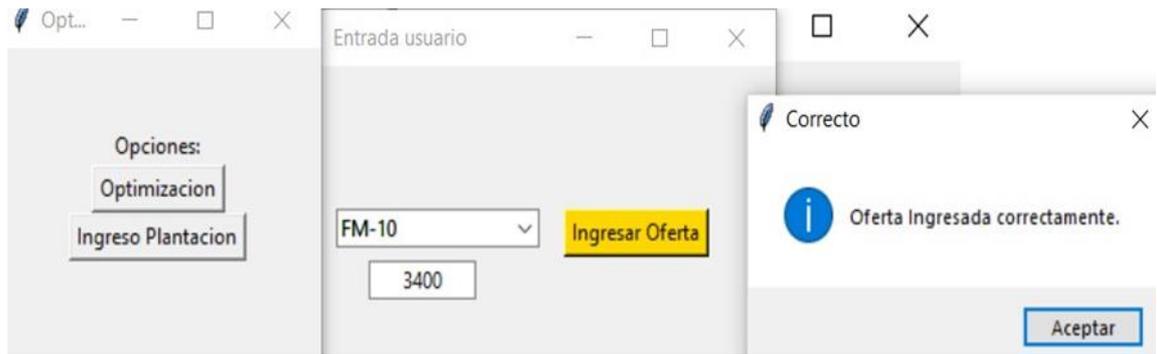


OFERTA

Si se desea ingresar la oferta de las plantaciones, elegir la opción oferta en donde se debe ingresar el código de la plantación y la cantidad planificada a ofertar en esa semana. (ej. FM- 10, 3400).



Para el ingreso del código de la plantación se selecciona la plantación, de la cual vamos a modificar su oferta semanal, luego se ingresa la cantidad a ofertar.



CONSIDERACIONES FINALES.

El éxito de un software o programa es la interacción amigable con los usuarios, sin embargo, se debe tener cuidado al ingresar los datos de planificación o de oferta de cada plantación, la información antes de ser ingresada debe de ser válida y consistente, si existe una mala digitación el programa mostrará un error.

Este modelo lo que busca es dar una mejor sincronía en las diferentes áreas de la empresa lo cual ha sido elaborado con un gran porcentaje de estandarización, lo cual, lo convierte en un modelo modificable a largo o corto plazo.