



Universidad
Finis Terrae

UNIVERSIDAD FINIS TERRAE

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

**MODELAMIENTO DE OPTIMIZACIÓN LINEAL EN LA CADENA
DE SUMINISTROS DE MALTA DE MALTEXCO S.A.**

JOAQUÍN IGNACIO REYES CASTILLO

Trabajo de titulación presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Finis
Terrae, para optar al título de Ingeniero Civil Industrial.

Profesor Guía: Alfredo Candia Vejar

Santiago, Chile

2025

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el apoyo y cariño que me dan día a día, el cual es fundamental para poder completar este ciclo de la forma que yo quería. También quiero agradecer la guía que me brindó el profesor Alfredo Candia para poder formular el modelo desarrollado.

RESUMEN

El presente trabajo aborda la solución de un problema de optimización lineal en la empresa nacional Maltexco S.A, empresa agroindustrial cuyo principal giro es la producción de cebada malteada, además de líneas de negocios de ingredientes para la industria alimentaria. Esta empresa procesa volúmenes de hasta 140.000 toneladas anuales de cebada. La empresa posee una capacidad de almacenamiento inferior a sus requerimientos, por lo que recurre al arrendamiento de almacenamientos externos para guardar su materia prima. La empresa cuenta con 3 plantas productivas, dos puntos de acopio o de almacenamiento propio y al menos 4 externos.

Las decisiones relacionadas con el proceso logístico se toman en función de las necesidades de producción de cada planta y de la experiencia del personal encargado de planificar el movimiento de la cebada durante el año. Este enfoque intuitivo genera una falta de gestión en la operación lo que genera costos elevados. Por ello, el objetivo principal del trabajo consiste en diseñar un modelo de optimización lineal que permita minimizar los costos del almacenamiento y transporte de cebada en Maltexco.

Este modelo busca facilitar la planificación anual del almacenamiento, así como apoyar la toma de decisiones estratégicas relacionadas con inversiones futuras. Se espera que, mediante su aplicación, la empresa logre una planificación más eficiente y reduzca los costos de su cadena de suministros.

La motivación principal para desarrollar este trabajo radica en la oportunidad de abordar y resolver un problema real y vigente de una empresa nacional. Además, la optimización de procesos constituye una de las áreas de mayor interés en el ámbito de la ingeniería civil industrial. En consecuencia, los resultados esperados incluyen la generación de datos precisos mediante el modelo diseñado, permitiendo su vinculación con los costos actuales de la empresa.

La metodología utilizada es un modelo de optimización lineal fundamentado en el método cuantitativo y el modelo de cascada, dado que los datos empleados son cuantificables y corresponden a cifras reales proporcionadas por la empresa. Este enfoque asegura un orden lógico en la ejecución de los procesos y permite el diseño efectivo del modelo de optimización.

Palabras clave: optimización lineal, cadena de suministro, programación matemática, logística, simulación, análisis de sensibilidad, modelo de decisión

ABSTRACT

This paper addresses the solution to a linear optimization problem at the Chilean company Maltexco S.A., an agro-industrial enterprise whose main business is the production of malted barley, as well as other business lines focused on ingredients for the food industry. The company processes up to 140,000 tons of barley annually. However, its storage capacity is insufficient to meet its needs, leading it to lease external storage facilities to hold its raw materials. Maltexco operates three production plants, two owned storage facilities, and at least four external storage sites.

Logistical decisions are made based on the production requirements of each plant and the experience of the personnel responsible for managing the movement of barley throughout the year. This intuitive approach results in a lack of cost optimization. Therefore, the main objective of this study is to design a linear optimization model that minimizes the storage and transportation costs of barley for Maltexco.

The model aims to facilitate annual storage planning and support strategic decision-making regarding future investments. Its application is expected to enable more efficient planning and reduce supply chain costs.

The primary motivation behind this project lies in the opportunity to address and solve a real and current problem faced by a national company. Additionally, process optimization is one of the most relevant fields within industrial engineering. As a result, the expected outcomes include the generation of accurate data through the proposed model, allowing it to be aligned with the company's current cost structure.

The methodology employed is a linear optimization model based on the quantitative method and the waterfall model, given that the data used are measurable and reflect real figures provided by the company. This approach ensures a logical sequence in the execution of processes and supports the effective design of the optimization model.

Keywords: linear optimization, supply chain, mathematical programming, logistics, simulation, sensitivity analysis, decision model.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
ÍNDICE DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	7
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Descripción de la situación actual	8
1.2 Planteamiento del problema	12
1.3 Solución propuesta	14
1.3.1 Modelo de optimización con una única función objetivo	14
1.3.2 Modelo de optimización con una única función objetivo complementada con simulación	14
1.3.3 Modelo de optimización multiobjetivo	14
1.3.4 Modelo Seleccionado	15
1.3.5 Detalles del Modelo	15
1.4 Objetivos	15
1.4.1 Objetivo General	15
1.4.2 Objetivos Específicos	16
1.5 Alcances y limitaciones	16
1.5.1 Alcances	16
1.5.2 Limitaciones	16
2. ESTADO DEL ARTE	18
3. MARCO TEÓRICO	20
3.1 Optimización en Cadenas de Suministro	20
3.2 Modelos Matemáticos Aplicados a la Logística	20
3.3 Gestión de Almacenamiento y Transporte en la Agroindustria	20
3.4 Tecnología en la Optimización de la Logística	21
3.5 Análisis de Sensibilidad en Modelos Logísticos	21
3.6 Variables de Decisión Auxiliares en Modelos de Optimización	22
3.7 Herramientas Computacionales	22
3.7.1 Excel	22
3.7.2 Python	22
3.7.3 Anaconda Python	22
3.7.4 Jupyter Notebook	23
3.7.5 Gurobi	23
3.8 Términos Importantes	23
4. METODOLOGÍA	25
5. FORMULACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN LINEAL	27

5.1 Componentes claves	27
5.1.1 Índices	27
5.1.2 Parámetros	27
5.2 variables de decisión del modelo	30
5.2.1 V.D Principales	30
5.2.2 V.A Secundarias o auxiliares	31
5.3 Función objetivo: Minimizar costos del proceso = Z	34
5.4 Restricciones	34
5.4.1 Restricciones primer ciclo	34
5.4.2 Restricciones Segundo ciclo y no negativos	38
5.5 Tabla de datos de índices y parámetros del modelo	43
5.6 Resultados del modelo	44
5.7 Balances de masas	45
5.8 Análisis de datos	46
5.8.1 Recepción agrícola o primer ciclo del modelo	46
5.8.2 Abastecimiento de puntos a plantas o segundo ciclo del modelo	47
5.8.3 Costos de la operación	48
5.8.3.1 Bonos a Agricultores	48
5.8.3.2 Costo de Abastecimiento Segundo Ciclo	49
5.8.3.3 Costo por Almacenamientos de Puntos de Acopio Externos	49
5.8.4 Comparación con datos reales	49
6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	56
7. IMPLEMENTACIÓN EN LA EMPRESA	60
8. DISCUSIÓN	61
9. CONCLUSIÓN	64
10. BIBLIOGRAFÍA	66
11. ANEXO	70
11.1 Anexo de tablas	70
11.1.1 Tablas de Variables de decisión principales	70
11.1.1.1 Tabla N°34 Envíos de agricultores a puntos de acopio externos	70
11.1.1.2 Tabla N°2 envíos De agricultores a puntos de acopio propios	75
11.1.1.3 Tabla N°3 envíos de agricultores a plantas de producción	78
11.1.1.4 Tabla N°4 envíos de puntos de acopio externos a plantas de producción	80
11.1.1.5 Tabla N°5 envíos de puntos de acopio propios a plantas de producción	82
11.1.2 Tablas agrupadas de variables de decisión	83
11.1.2.1 Tabla n°6, envíos agrupados durante el primer ciclo	83
11.1.2.2 Tabla n°7, envíos agrupados durante segundo ciclo	83
11.1.3 Tablas de almacenamiento	84
11.1.3.1 Tabla n°8 de almacenamiento de punto de acopio externo	84

11.1.3.2 Tabla n°9 de almacenamiento de punto de acopio propio	86
11.1.3.3 Tabla n°10 de almacenamiento de plantas de producción	87
11.1.4 Tablas de almacenamiento inicial y consumo plantas de producción y puntos ap	88
11.1.4.1 Tabla n°11 almacenamiento inicial plantas de producción	88
11.1.4.2 Tabla n°12 Consumo de cebada plantas de producción	89
11.1.4.3 Tabla n°35 Cantidad inicial puntos de acopio propios	95
11.1.5 Tablas de costo y porcentaje	95
11.1.5.1 Tabla n° 13 Costo y porcentaje bono agricultor	95
11.1.5.2 Tabla n°14 Costo y porcentaje de transporte	96
11.1.5.3 Tabla n°15 Costo de almacenamiento externo	97
11.1.5.4 Tabla n°16 Costo de entrada y salida de cebada en puntos externos	99
11.1.5.5 Tabla n°17 Costo y porcentaje general	99
11.1.6 Tablas de datos de operación 2024 Maltexco SA.	100
11.1.6.1 Tabla n°18 recepción agrícola 2024 agrupado por zona y puntos de acopio más costos	100
11.1.6.2 Tabla n°19 Abastecimiento plantas 2024 agrupado por puntos acopio y plantas más costos	101
11.1.6.3 Tabla n°20 Distribución datos reales vs optimización	102
11.1.6.4 Tabla n°21 Almacenamiento 2024	103
11.1.6.5 Tabla n°22 Costos de almacenamiento y porcentaje	104
11.1.6.6 Tabla n°33 Costo general real vs optimización	105
11.1.7 Tablas análisis de sensibilidad	105
11.1.7.1 Tabla n°23 ahorro análisis de sensibilidad	105
11.1.7.2 Tabla n°24 Abastecimiento de plantas, análisis Temuco	106
11.1.7.3 Tabla n°25 Agrupado de primer ciclo, análisis Temuco	106
11.1.7.4 Tabla n°26 Costos de la operación, análisis Temuco	107
11.1.7.5 Tabla n°27 Abastecimiento a plantas, análisis Coronel	107
11.1.7.6 Tabla n°28 Agrupado de primer ciclo, análisis Coronel	108
11.1.7.7 Tabla n°29 Costos de la operación, análisis Coronel	108
11.1.7.8 Tabla n°30 Abastecimiento a plantas, análisis Cajon	109
11.1.7.9 Tabla n°31 Agrupado de primer ciclo, análisis Cajon	109
11.1.7.10 Tabla n°32 Costos de la operación, análisis Cajon	110

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Distribución del proceso.	9
Figura 2. Diagrama de proceso.	11
Figura 3. Gráfico de distribución de optimización.	53
Figura 4. Gráfico de distribución real.	53
Tabla 1. Valor de índices y parámetros del modelo.	43

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la situación actual

Maltexco es una empresa productora de derivados de la cebada con ventas tanto a nivel nacional como internacional, que enfrenta una elevada demanda de los productos que elabora. Esto exige la gestión de volúmenes crecientes de materia prima para su producción anual.(Maltexco S.A. (2024))

En Chile, la cosecha de cebada se realiza una vez al año, distribuyendo posteriormente entre los diversos puntos de almacenaje que posee la empresa. Maltexco cuenta con tres plantas de producción ubicadas en Talagante (RM), Coronel (VII) y Temuco(IX), las cuales disponen de silos para almacenamiento. Además, posee dos puntos de almacenamientos propios en las localidades de Cajón (IX) y Paillaco (X). Cada uno de los centros de acopio poseen silos y/o bodegas planas que permiten la correcta distribución de la materia prima.(Maltexco S.A. (2024))

Sin embargo, estas instalaciones no son suficientes para almacenar el volumen necesario que garantice la producción anual. Por esta razón, la empresa arrienda cuatro puntos de acopio externos localizados en las regiones VIII, IX y X, los cuales varían en capacidad de almacenamiento, tarifas y condiciones contractuales. Estos contratos incluyen cláusulas específicas, como la obligatoriedad de desocupar volúmenes de almacenamiento en períodos determinados. El vaciado de estos volúmenes ocurre a medida que las plantas requieren reabastecimiento, lo cual genera un constante movimiento de camiones durante el año. Dichos camiones transportan la materia prima desde los puntos de acopio hacia las plantas de producción, cobrando tarifas variables según el destino. Asimismo, las plantas tienen una capacidad limitada para cargar camiones diariamente.(Maltexco S.A. (2024))

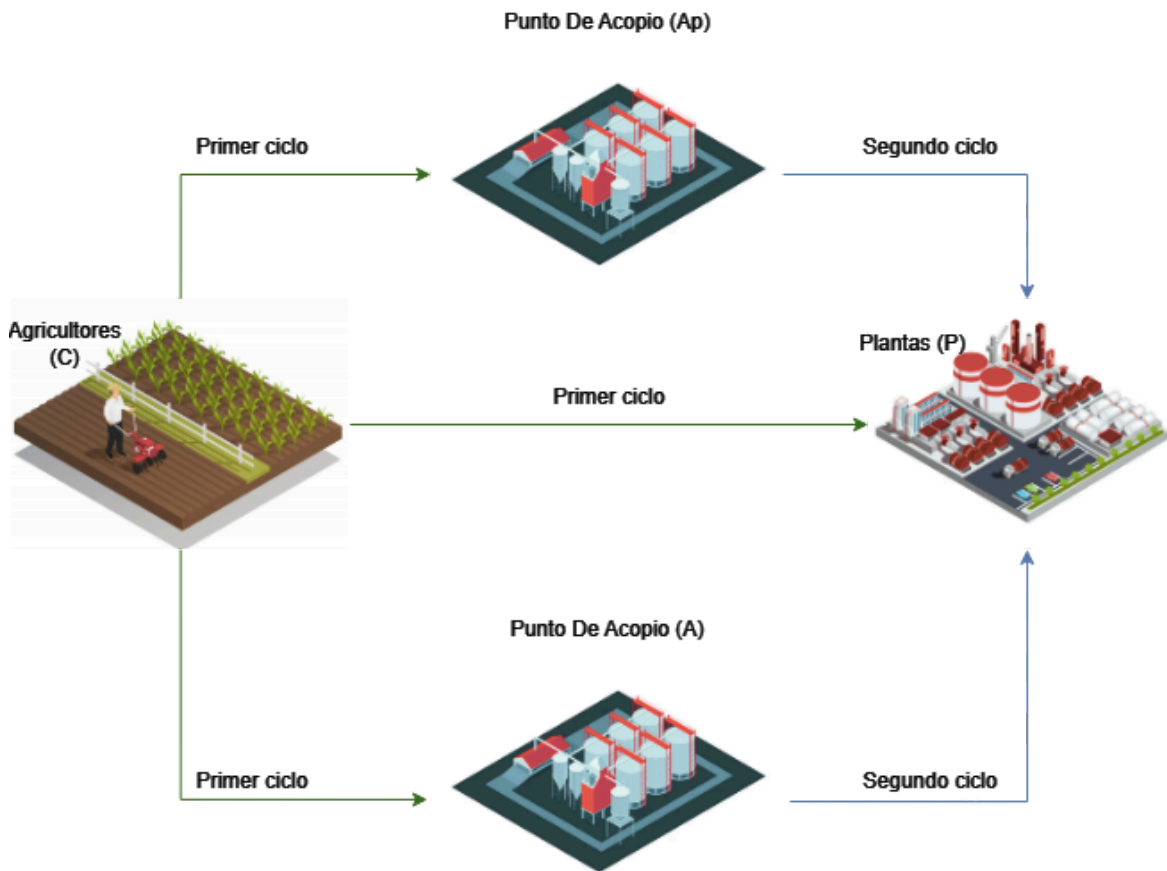
La empresa trabaja con entre cuatro y siete variedades diferentes de cebada cada año, que en su mayoría pueden procesarse en las tres plantas de producción. Además de las variedades destinadas a productos de mayor calidad, se manejan otras de menor calidad o con propiedades específicas, como diferentes contenidos de proteínas, que también se utilizan en otros productos elaborados por la empresa.(Maltexco S.A. (2024))

Las decisiones sobre qué variedad procesar y en qué planta hacerlo se toman con un año de antelación, al igual que la distribución de la cosecha en los puntos de acopio. Del mismo modo, la planificación de siembra se define previamente según los acuerdos establecidos con los agricultores, cuya cosecha se concentra entre las regiones VIII y X.(Maltexco S.A. (2024))

La distribución de las variedades de cebada en los diferentes puntos de acopio depende de la proximidad a las áreas de cosecha y de las decisiones estratégicas sobre dónde almacenarlas. La cadena de suministros de Maltexco, se mide en un período de 18 meses, pero el modelo abarca 12 que inicia en enero y finaliza en diciembre, puede describirse en 2 etapas principales, como se ilustra en la siguiente Figura.

Figura 1

Distribución del proceso



Grafo acortado del proceso

Los puntos (C) corresponden a agricultores que tienen contratos con la empresa, los cuales especifican las variedades a sembrar. Cada agricultor puede operar en múltiples campos

(I), algunos de los cuales están distribuidos en distintas regiones. Actualmente, Maltexco trabaja con un total de 198 agricultores.(Maltexco S.A. (2024))

Una vez al año, la cosecha de cebada es transportada por camiones contratados por agricultores. En casos donde el campo se encuentra alejado del punto de entrega, la empresa otorga un bono, que varía según las zonas (I) definidas como Norte, Temuco y Sur. Los puntos de destino pueden ser acopios propios de la empresa (AP), acopios externos (A) o las plantas de producción (P). Los envíos se programan en función de las características de cada punto.

La cebada recién cosechada no puede ser utilizada de inmediato, ya que requiere un período de maduración de dos meses antes de ser apta para germinar, el primer paso en la producción de malta. Durante este tiempo, las plantas utilizan el stock del año anterior para suplir la demanda inicial.

En la mayoría de los casos, pasado el período de maduración, la cebada almacenada en los puntos A y AP se transporta hacia las plantas de producción mediante camiones contratados por la empresa. El costo del transporte se calcula según las tarifas y los kilogramos movidos, los cuales dependen de los requerimientos de producción. Las plantas procesan diferentes variedades (V)de cebada, que se combinan en proporciones específicas para obtener el producto final.

Los puntos de acopio (A) operan bajo contratos con condiciones variadas, que determinan el tiempo máximo de almacenamiento y los incrementos tarifarios asociados a plazos prolongados. Algunos contratos establecen tarifas fijas durante todo el año y exigen liberar espacio en meses específicos.

Las decisiones relacionadas con la distribución de la cebada incluyen:

En etapa de cosecha o primer ciclo:

Kilogramos de cebada (Kg) del periodo (Pe) del agricultor (C) de la variedad v (V) de la zona (I) Al Punto de acopio (A), KgPeCvI, A

Kilogramos de cebada (Kg) del periodo (Pe) del agricultor (C) de la variedad v (V) de la zona (I) Al Punto de acopio (AP), KgPeCvI, AP

Kilogramos de cebada (Kg) del periodo (Pe) del agricultor (C) de la variedad v (V) de la zona (I) A la planta (P), KgPeCvI, P

Posterior a la cosecha o segundo ciclo

Kilogramos de cebada (Kg) del punto de acopio (A) de la variedad v (V) , en el periodo (Pe) a la planta de producción (P), KgAV, PeP

Kilogramos de cebada (Kg) del punto de acopio (Ap) de la variedad v (V) en el periodo (Pe) a la planta de producción (P) KgApV, PeP

También podemos verlo con un diagrama de proceso de la Figura 2.

Figura 2

Diagrama del proceso

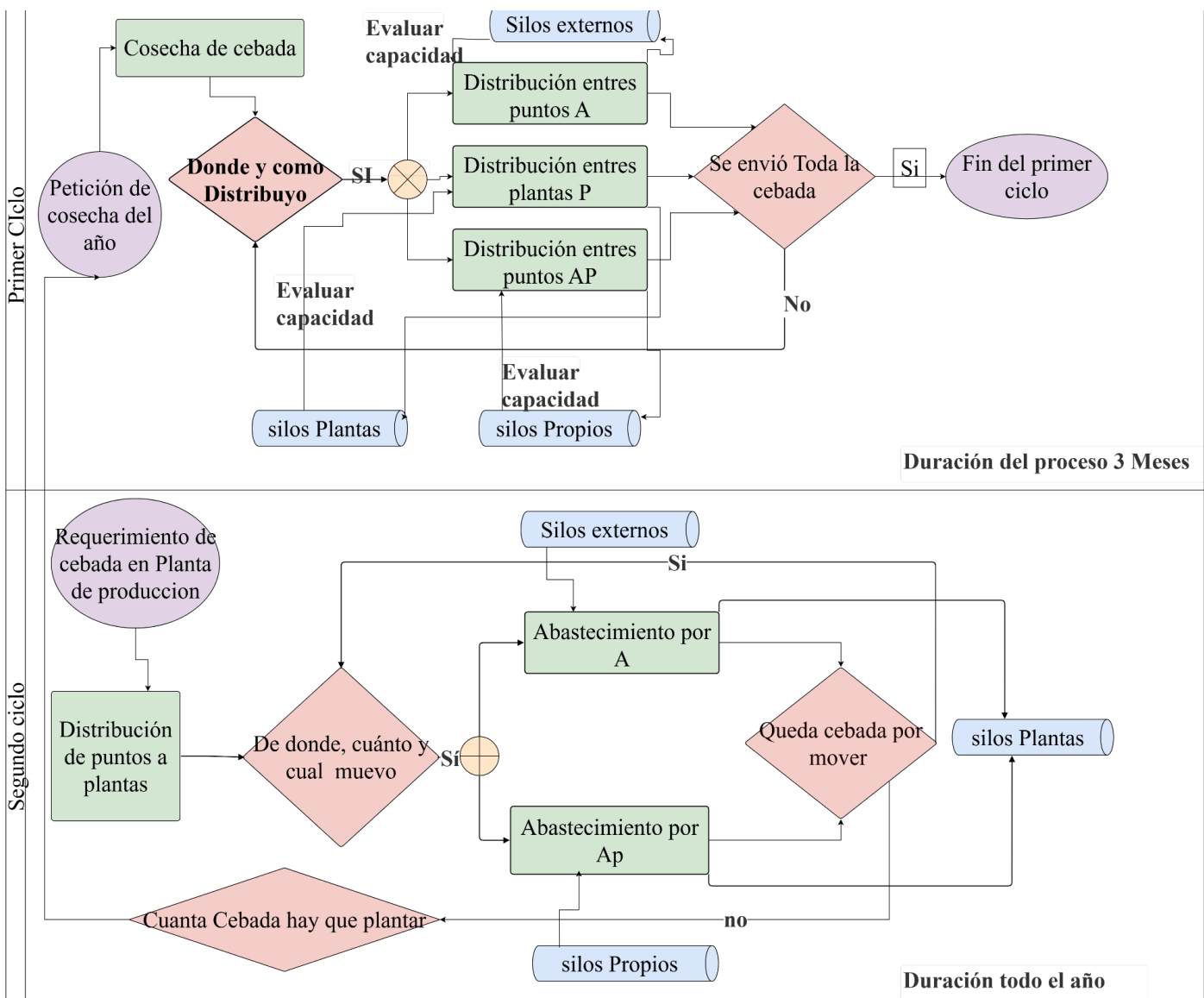


Diagrama de flujo del proceso en estudio

Con lo mencionado anteriormente, el proceso puede simplificarse en la Figura 2, el cual resume la operación en estudio. Este diagrama no evalúa de manera individual todos los puntos de acopio y plantas de producción, sino que los agrupa dentro de conjuntos generales. Al observar, se destaca que el sistema constituye un proceso cerrado, en el cual cada ciclo depende de el anterior, pues no puede haber distribución del segundo ciclo sin la cosecha, y no se puede iniciar la cosecha, si no se sabe cómo se va cerrar el año durante el segundo ciclo y no puede haber distribución de se.

La forma en que se distribuyen las cantidades iniciales entre los puntos de almacenamiento define directamente el abastecimiento posterior hacia las plantas. Una vez que se completa la distribución o meses antes que se acabe la cebada del año, la empresa solicita a los agricultores la cosecha correspondiente a la demanda prevista para el siguiente ciclo.

A medida que avanza la cosecha en los distintos campos, la cebada se distribuye hacia los diferentes puntos de almacenamiento disponibles, hasta alcanzar el 100 % del volumen cultivado. En esta etapa, los envíos desde los puntos de acopio dependen de las variedades de cebada almacenadas, y la empresa entrega un abono a los agricultores, el cual puede ser nulo si la distribución se realiza dentro de la misma zona.

Finalizado el primer ciclo, se inician los movimientos desde los puntos de acopio hacia las plantas de producción, determinados por los consumos específicos de cada planta y por las variedades que en ellas se procesan. Esta etapa se extiende hasta el cierre del año, momento en el cual la cebada remanente se utiliza para abastecer los primeros meses del siguiente período. Así, el ciclo de cosecha, almacenamiento y distribución se repite anualmente.

Hasta la fecha, las decisiones sobre cuánto cebada mover, de qué punto a qué planta, y en qué momento realizarlo, se toman de manera intuitiva, basándose en las necesidades inmediatas de las plantas y en datos históricos de la empresa, además considerando el rol estratégico de Maltexco como una de las únicas productoras de malta en Chile y además el impacto que tiene en la agroindustria chilena, resulta inadmisibles que una operación con este nivel de complejidad y de impacto dependen de decisiones intuitivas.

1.2 Planteamiento del problema

La ausencia de un modelo que facilite la toma de decisiones en la operación de Maltexco provoca que estas se realicen de manera intuitiva, basándose en las necesidades inmediatas de las plantas y su producción. Este enfoque no optimiza los costos operativos ni garantiza una

planificación eficiente, limita la regulación y evaluación completa de los costos asociados a la operación de logística, la cual se extiende durante todo el año. En particular, no se consideran de manera sistemática las tarifas de los diferentes puntos de acopio ni los costos de ingreso y salida de la materia prima en acopios externos. Además, los períodos en los que se efectúan movimientos impactan directamente en los costos definidos por los contratos con las empresas de guardado, los cuales pueden incrementarse si los silos no se vacían en los plazos establecidos o si son desocupados antes de tiempo (Maltexco S.A. (2024)).

Las tarifas asociadas a los contratos son heterogéneas y exigen cumplir con condiciones específicas, como el vaciado de algunos silos (bodegas de almacenamiento vertical) en períodos determinados. Esto genera costos adicionales si estas condiciones no se cumplen adecuadamente. Asimismo, los costos asociados al transporte tampoco son optimizados, ya que las tarifas de los camiones dependen tanto del destino como de los kilogramos transportados. Al realizar las planificaciones con escasa antelación (meses o incluso semanas antes), se recurre a la contratación urgente de camiones disponibles, lo cual ocasiona problemas como:

- Insuficiencia de camiones para mover las cantidades requeridas(Maltexco S.A. (2024)).
- Incumplimiento de las capacidades máximas de carga diaria de las plantas(Maltexco S.A. (2024)).
- Ineficiencias afectan los costos finales de la operación, lo que reduce los ingresos netos de la empresa debido a la falta de optimización en el proceso(Maltexco S.A. (2024)).

En este contexto, el principal problema identificado es el alto costo asociado a la operación de la cadena de suministros, derivado de la falta de regulación y optimización en la toma de decisiones. Estas decisiones dependen actualmente de la intuición, experiencia y necesidades inmediatas, lo cual resulta inviable dado el volumen de operaciones y la cantidad de variables involucradas. Los enfoques más comunes para abordar este tipo de problemas incluyen el uso de técnicas de optimización y simulaciones, las cuales mejoran significativamente la gestión operativa (Caballero, J., & Grossmann, I. (2007)).

En resumen, el proceso de almacenamiento y distribución de cebada presenta múltiples alternativas de solución que exceden la capacidad humana para identificar la mejor posible, donde la falta de optimización no solo limita la eficiencia del proceso, sino que también representa costos adicionales que pueden evitarse mediante un modelo matemático robusto. Por ello, la utilización de un modelo de optimización resulta esencial para facilitar y mejorar la toma de decisiones en este ámbito (López, J. (2013)).

1.3 Solución propuesta

Para abordar el problema de costos en la operación de movimiento y almacenamiento de cebada de Maltexco, se propone desarrollar un modelo de optimización que permita minimizar los costos totales de la operación. Este modelo deberá incluir todos los parámetros y restricciones necesarios para entregar resultados concretos y coherentes con la realidad de la empresa.

Un aspecto fundamental es definir el tipo de modelo de optimización a implementar, ya que estos pueden variar en función de las necesidades específicas de la empresa (López, J. (2013)). A continuación, se describen las posibles alternativas, sus características, ventajas y desventajas, considerando los requerimientos de Maltexco.

1.3.1 Modelo de optimización con una única función objetivo

Este modelo se basa en una sola función objetivo: la minimización de los costos totales. Mediante la incorporación de parámetros y restricciones, se optimiza el movimiento de la cebada. Aunque esta opción podría no resolver completamente las necesidades de la empresa, es capaz de proporcionar resultados consistentes y alineados con la realidad operativa.

1.3.2 Modelo de optimización con una única función objetivo complementada con simulación

En esta alternativa, se parte del modelo mencionado anteriormente, pero se complementa con simulaciones basadas en datos históricos. Estas simulaciones generan información adicional sobre el almacenamiento y los movimientos de cebada, lo que mejora la precisión de los resultados. Este enfoque permite no solo minimizar los costos de la operación, sino también prever escenarios realistas que cumplan con las expectativas de la empresa.

1.3.3 Modelo de optimización multiobjetivo

Este modelo incluye múltiples objetivos, como la minimización de los costos totales de la operación y la maximización de la producción según las variedades de cebada. Aunque esta opción puede proporcionar resultados óptimos y detallados, su formulación y resolución son más complejas. Dependiendo de la implementación, este modelo podría ofrecer una solución integral que contemple tanto los costos como la producción.

1.3.4 Modelo Seleccionado

Se optará por desarrollar un modelo de optimización lineal con una única función objetivo como base sólida. Este modelo permitirá entregar resultados coherentes con la realidad de la empresa y servirá como punto de partida para, eventualmente, complementar con un modelo multiobjetivo si la empresa lo requiere o con simulaciones acompañadas con la optimización. Donde las opciones 2 y 3 son igualmente válidas; sin embargo, la implementación

inicial se centrará en la opción más manejable, adaptable, considerando plazos y alcances de este trabajo de tesis

En cuanto a la evaluación de variables y parámetros, el modelo considerará únicamente las cantidades máximas de cada punto de acopio junto con las toneladas correspondientes a cada tipo de cebada. No se moldearán individualmente los silos y bodegas de cada centro de acopio, ya que esto aumentaría la complejidad del modelo sin un beneficio proporcional para las decisiones empresariales.

1.3.5 Detalles del Modelo

El modelo lineal propuesto tendrá como objetivo principal la minimización de los costos totales de la operación. Este se construirá considerando:

- Las diferentes variedades de cebada que maneja la empresa.
- Las capacidades de almacenamiento en cada planta de producción y acopio.
- Las restricciones relacionadas con los contratos, el período de maduración de la cebada, las cargas máximas por día en cada planta y otras variables relevantes.
- Un período de operación de 12 meses.
- Consumos de cada planta
- Tarifas y costos asociados al transporte y almacenaje de cebada

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de optimización lineal que minimice los costos asociados al proceso de la cadena de suministros de Maltexco.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Recolectar y filtrar los datos relevantes proporcionados por la empresa.
2. Plantear el modelo de optimización lineal basado en los datos recopilados.
3. Realizar pruebas y generar resultados del modelo.
4. Analizar los resultados obtenidos y elaborar propuestas para la empresa

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

El alcance importante del proyecto es la solución al problema de costos, ya que la empresa solicitó un modelo enfocado en la optimización de costos, específicamente en la minimización de los mismos dentro del proceso de almacenamiento y distribución. Por tanto, el modelo se centrará en la reducción de costos operacionales como principal objetivo, alineándose con las necesidades planteadas por Maltexco.

El modelo cuenta con un alcance temporal y de capacidad, se evalúa un periodo de 12 meses de operación y se toma en consideración sólo las capacidades totales de los puntos de almacenamiento de la empresa, en conjunto a las variedades que no se procesan o almacenan.

El modelo se construye a partir de datos cuantificables reales entregados por Maltexco, como volúmenes de cosecha, capacidades de almacenamiento, consumos por planta y tarifas de transporte. Por lo que opera bajo un entorno determinista, sin considerar incertidumbre o variabilidad en la demanda, cosecha, tarifas o condiciones contractuales.

Aunque el modelo se basa inicialmente en una única función objetivo, se diseña de forma estructurada para que pueda ser ampliado o complementado posteriormente con simulaciones o enfoques multiobjetivo, si la empresa lo requiere.

1.5.2 Limitaciones

En cuanto a las limitaciones de este proyecto, se desarrollará un modelo que solo tomará en cuenta las cantidades máximas de almacenamiento por punto de acopio y los volúmenes de cada variedad de cebada, sin considerar los diferentes silos disponibles en cada punto de acopio. Al no incluir estos silos en el modelo, la planificación dependerá de la decisión de qué silos cambiar en sus volúmenes según los resultados proporcionados por el modelo. Esto constituye una limitante, ya que el modelo no entregará información exacta sobre el proceso completo, sino que se basará únicamente en las cantidades de cebada y las capacidades de almacenamiento generales.

El modelo al evaluar 1 año del proceso, esto para mantener un modelo lineal con una única función objetivo, excluye la toma de decisión con respecto a cuánto y cómo se va a repartir los agricultores para la cosecha siguiente.

Otra limitante es que se asume un entorno determinista con datos fijos y completamente conocidos (costos, consumos, capacidades). No se incorpora incertidumbre en cosechas,

demanda, tarifas o condiciones contractuales, lo cual puede afectar la robustez del modelo ante escenarios reales variables.

La exactitud y validez del modelo dependen directamente de la calidad de los datos entregados por la empresa. Errores, omisiones o falta de actualización en la información pueden comprometer los resultados del modelo.

Como última limitación, aunque se mencionan variedades específicas de cebada y sus usos en las plantas, el modelo no profundiza en las restricciones de mezcla o requerimientos específicos de calidad para cada planta o producto final, lo cual puede limitar su aplicación en contextos más especializados como también su flexibilidad al fijar las variedades por planta.

2. ESTADO DEL ARTE

Los modelos de optimización en las prácticas de la ingeniería y su aplicación en las empresas han experimentado un constante desarrollo desde la década de 1970, cuando surgieron los primeros algoritmos capaces de resolver problemas complejos. Estas técnicas han evolucionado significativamente, perfeccionando modelos, algoritmos y programas diseñados para abordar diversas áreas en los procesos empresariales.

Estas incluyen la minimización de costos en actividades específicas, como producción, logística y cadenas de suministro, así como la maximización de beneficios, producción o aprovechamiento de recursos. Este campo se ha desarrollado con el objetivo de incrementar la competitividad en el mercado, ya que la reducción de costos y el aumento de beneficios permiten a las empresas mejorar su margen de capital, facilitando nuevas inversiones y garantizando su sostenibilidad en el mercado(Caballero, J., & Grossmann, I. (2007)).

Entre los problemas modernos más relevantes que se resuelven mediante modelos de optimización destacan los relacionados con la gestión de cadenas de suministro, cuyo propósito principal es la minimización de costos operativos. Un ejemplo notable es el trabajo "Modelling and optimization of material flows in the wood pellet supply chain", publicado en Applied Energy(Vitale, I.,et al (2022)). Este estudio aborda un problema de múltiples variables de decisión que incluye almacenamiento, transporte y procesamiento de pellets de madera. Dichos procesos requieren decisiones estratégicas, ya que una planificación inadecuada puede generar importantes pérdidas económicas. El modelo propuesto en este documento optimiza cada etapa del proceso con el objetivo de minimizar los costos de producción y hacer que el producto sea competitivo en el mercado. Finalmente, se presentan distintos enfoques de optimización que cumplen con los objetivos planteados, demostrando su aplicabilidad en cadenas de suministro complejas.

En el ámbito de la producción de malta, también se han desarrollado estudios enfocados en la optimización de cadenas de suministro. Por ejemplo, el trabajo "Analysis of logistic cost in contract agriculture: the case of barley supply chain in Hidalgo, México" analiza los costos logísticos asociados a los contratos agrícolas en México(Granillo Marcias, J., et al (2018)). Este estudio se centra en la minimización de costos de fletes desde los puntos de cosecha hasta las plantas de producción o acopios.

Un aspecto clave del estudio es el análisis de los contratos agrarios, donde las malterías

asumen los costos de transporte. Mediante un modelo de optimización, se demuestra que la distribución eficiente de la malta alcanza su menor costo cuando los flujos de materiales entre las plantas y los puntos de acopio se equilibran, logrando así reducir significativamente los costos de transporte.

Otro estudio destacado es "Efes Beverage Group Makes Location and Distribution Decisions for Its Malt Plant", que analiza las decisiones de ubicación y distribución de la empresa Efes Beverage en Europa (Köksalan, M., & Süral, H. (1999)). Este trabajo utiliza un modelo de optimización para identificar los mejores puntos de localización de malterías en base a las cosechas disponibles y la logística existente. Los resultados del modelo determinaron que las localidades de Sakarya, Izmir y Ankara eran las más adecuadas para construir nuevas malterías, logrando así minimizar los costos totales de operación relacionados con el almacenamiento y transporte.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Optimización en Cadenas de Suministro

La optimización en las cadenas de suministro constituye un pilar fundamental en la gestión logística moderna. Las crecientes demandas de los mercados requieren que las empresas busquen estrategias eficientes para minimizar costos, maximizar beneficios y garantizar la sostenibilidad de sus operaciones. Los modelos de optimización permiten abordar problemas complejos, como la distribución de recursos, la planificación del transporte y el almacenamiento de bienes, utilizando un enfoque cuantitativo que ofrece soluciones óptimas bajo restricciones específicas.

Según Chopra y Meindl (2020), una cadena de suministro eficaz no solo considera los costos de producción y distribución, sino también factores como la capacidad de respuesta a la demanda y la sostenibilidad de las operaciones. En el contexto de este proyecto, el uso de herramientas de optimización permite resolver problemas logísticos específicos asociados con la agroindustria, garantizando un balance óptimo entre costo, tiempo y capacidad(Chopra, S., & Meindl, P. (2020)).

3.2 Modelos Matemáticos Aplicados a la Logística

Los modelos matemáticos son esenciales para resolver problemas logísticos y de gestión en cadenas de suministro. Entre los enfoques más utilizados destacan los modelos de programación lineal (LP) y programación lineal entera mixta (MILP), que son particularmente útiles para problemas que involucran decisiones discretas y continuas.

Bertsimas y Tsitsiklis (1997) explican que estos modelos permiten formalizar problemas logísticos mediante funciones objetivo y restricciones matemáticas, representando de manera precisa las relaciones entre costos, recursos y tiempos. En este proyecto, el modelo matemático incluye restricciones de almacenamiento, transporte y capacidad, con el objetivo de optimizar los recursos logísticos en un entorno de alta complejidad(Bertsimas, D., & Tsitsiklis, J. N. (1997)).

3.3 Gestión de Almacenamiento y Transporte en la Agroindustria

La agroindustria enfrenta desafíos específicos en la gestión de almacenamiento y transporte debido a la estacionalidad de la producción y la variabilidad en la demanda. La planificación eficiente de estos recursos es crucial para minimizar desperdicios y costos.

Tsiakis y Papageorgiou (2008) proponen modelos que integran decisiones de almacenamiento y distribución para optimizar redes logísticas en sectores industriales. En la agroindustria, estos modelos son útiles para gestionar el almacenamiento de productos perecederos y coordinar el transporte hacia mercados finales, asegurando la disponibilidad de productos sin exceder la capacidad de almacenamiento(Tsiakis, P., & Papageorgiou, L. G. (2008)).

3.4 Tecnología en la Optimización de la Logística

La tecnología desempeña un papel central en la implementación de modelos de optimización. Dado que existen modelos matemáticos, surge la necesidad de contar con algoritmos que los resuelvan mediante aplicaciones o software. Hoy en día, existen numerosos software que resuelven problemas de optimización mediante distintos métodos o algoritmos. En este trabajo, se utilizará el software de optimización Gurobi.

Según Gurobi Optimization, LLC (2023), la integración de estos software en los procesos logísticos ofrece soluciones precisas y escalables, permitiendo a las empresas adaptarse a los cambios en las condiciones del mercado. Este proyecto aprovecha estas herramientas tecnológicas para modelar y resolver problemas logísticos en un entorno agroindustrial, asegurando resultados confiables y replicables(Gurobi Optimization, LLC. (2023) – Gurobi manual).

3.5 Análisis de Sensibilidad en Modelos Logísticos

El análisis de sensibilidad es una herramienta crucial para evaluar la robustez de los modelos logísticos frente a cambios en los parámetros. Permite identificar qué variables tienen un impacto significativo en los resultados y cómo las decisiones logísticas pueden ajustarse ante escenarios adversos.

Saltelli et al. (2008) destacan la importancia de realizar un análisis global de sensibilidad para garantizar que las soluciones propuestas sean útiles en una amplia variedad de condiciones. En este proyecto, el análisis de sensibilidad se aplicará a variables clave como los costos de transporte, la capacidad de almacenamiento y la demanda proyectada(Saltelli, A. Ratto, M. . (2008)).

3.6 Variables de Decisión Auxiliares en Modelos de Optimización

Gruson, Poulston y Tseng (2021) destacan que las variables de decisión auxiliares juegan un papel fundamental en la formulación y resolución de modelos matemáticos complejos en logística. Estas variables, aunque no representan directamente las decisiones principales del modelo, son necesarias para capturar restricciones específicas, simplificar la estructura del problema o facilitar la interpretación de los resultados. La incorporación de estas variables es una estrategia común en problemas de gran escala y alta complejidad, como los que caracterizan los sistemas logísticos modernos (Gruson, M., Poulston, T., & Tseng, A. . (2021)).

Las variables de decisión auxiliares se utilizan para representar relaciones intermedias o dependientes entre las variables principales. Por ejemplo, en este modelo, las variables principales son los kilogramos de cebada que deben trasladarse, mientras que las auxiliares representarán los cambios en los almacenamientos debido a esos movimientos, lo que permite que el modelo funcione dentro del periodo establecido.

3.7 Herramientas Computacionales

3.7.1 Excel

Excel es un software de hoja de cálculo utilizado para manipular datos numéricos y de texto en tablas organizadas por filas y columnas (Excel Para Todos. (s.f.)). En este proyecto, Excel se emplea para trabajar con los datos proporcionados por la empresa y resultados.

3.7.2 Python

Python es un lenguaje de programación ampliamente utilizado en desarrollo de software, ciencia de datos, machine learning, entre otras áreas. Su popularidad radica en su eficiencia y facilidad de aprendizaje, lo que lo convierte en una excelente opción para resolver modelos matemáticos y optimización (Amazon Web Services. (s.f.) – Python). En este trabajo, Python se usará para describir y resolver el modelo..

3.7.3 Anaconda Python

Anaconda es una distribución de software libre de python que facilita la gestión e implementación de paquetes de programación, con un enfoque en la computación científica. Anaconda incluye el paquete "data science", que es útil para manejar grandes volúmenes de datos y realizar análisis avanzados (EIPOS Grados. (s.f.) – Anaconda). Este proyecto utilizará Anaconda para utilizar Gurobi y otros paquetes de manera eficiente.

3.7.4 Jupyter Notebook

Jupyter Notebook es una herramienta de código abierto que permite trabajar con múltiples lenguajes de programación, como Python, Julia y R, de manera remota y colaborativa (EIPoS Grados. (s.f.) – Anaconda). En este proyecto, se usará para correr el modelo de optimización con Gurobi y obtener resultados.

3.7.5 Gurobi

Gurobi es un software de optimización avanzado basado en el lenguaje Python. A diferencia de otros software, Gurobi actúa como un "solucionador", ya que no cuenta con una interfaz gráfica para modelar directamente. En su lugar, se interactúa con programas como Python, AIMMS y R, lo que implica la necesidad de habilidades en codificación y modelado matemático. Gurobi es conocido por su alta velocidad de solución y su capacidad para generar resultados óptimos en tiempos reducidos (Gurobi Optimization, LLC. (s.f.) - Web principal).

3.8 Términos Importantes

- **Cadena de Suministro:** Se define como el conjunto de instalaciones, entidades, actividades y medios de transporte o distribución necesarios para completar un producto (Economipedia. (s.f.) - Cadena de suministro).
- **Análisis de Sensibilidad:** Se refiere al impacto de cambios en los parámetros de un modelo en la solución del problema (Economipedia. (s.f.) - Análisis de sensibilidad).
- **Balances de Masa en Modelos de Optimización:** Estos balances aseguran que los flujos de recursos dentro de un sistema estén en equilibrio, garantizando la conservación de materiales (Williams, H. P. (2013)).
- **Optimización:** Es el proceso de resolver un problema de la forma más eficiente posible. En investigación operativa, se utiliza para mejorar operaciones y decisiones empresariales (Economipedia. (s.f.) – Optimización), (Vitoriano, B., & Ramos, A. (2010)).
- **Modelos de Optimización:** Son representaciones matemáticas de un problema real con el fin de obtener resultados óptimos mediante la asignación de variables y restricciones (Perez Peña, R. (2019)).
- **Optimización Lineal:** Es un tipo de optimización utilizada cuando se busca minimizar o maximizar una función lineal sujeta a restricciones lineales (Mora Escobar, H. M. (1995)).

- **Cota de Error en Modelos de Optimización:** Es una medida que permite evaluar la precisión de las soluciones obtenidas frente al valor óptimo esperado (Bertsimas, D., & Tsitsiklis, J. (1997)).
- **Relajaciones en Optimización:** Son técnicas que simplifican un modelo complejo eliminando ciertas restricciones, facilitando así su resolución (Nemhauser, G. L., & Wolsey, L. A. (1988)).

4. METODOLOGÍA

Para la metodología de investigación y desarrollo, se emplea un enfoque cuantitativo, ya que los datos a trabajar son cuantificables y contables. Estos provienen de números reales proporcionados por Maltexco. El objetivo es minimizar dichos valores, lo cual justifica el uso de un método cuantitativo.

En cuanto a la metodología de desarrollo, se optó por el modelo de cascada. Este modelo es adecuado ya que la ejecución de las actividades sigue un orden lineal e interdependiente, en el cual la finalización de una tarea permite el inicio de la siguiente. El trabajo se realiza de manera escalonada, como se describe a continuación.

El proceso comienza con la recopilación de toda la información necesaria para abordar el problema, como las capacidades máximas de cada planta de producción y los puntos de acopio, las variedades de cebada que suelen almacenarse, las plantas asignadas a cada variedad durante el año, las demandas pasadas de producción mensuales (según planta y variedad), y los acuerdos contractuales con los puntos de acopio. Una vez obtenidos los datos, se filtran y ordenan para facilitar su uso durante la formulación y desarrollo del modelo.

Luego se evalúa cada aspecto del problema utilizando la información filtrada. Se definen los parámetros necesarios para abordar el problema y se determina las variables de decisión, tanto principales como auxiliares. Además, se establece la función objetivo, que corresponde a la fórmula de costos de la empresa para esta operación, y las restricciones que ajustarán el modelo, garantizando que funcione de manera correcta y coherente.

Una vez formulado el modelo, se resuelve mediante el resolver de Gurobi, lo cual requiere programar las formulaciones matemáticas correspondientes. Tras obtener los primeros resultados, se procede a realizar pruebas con las restricciones para ajustar los resultados a la realidad, evaluando también las limitaciones del modelo y sus parámetros para acercarse al valor deseado. Con los resultados validados, se lleva a cabo una evaluación del balance de masa, calculando la entrada de cebada, el almacenamiento, el movimiento durante el proceso y finalmente la salida. Este análisis asegura que los datos no solo sean coherentes, sino también verídicos y sin errores.

Una vez validados los datos, se procede con un análisis de tendencias de los movimientos y los costos de la operación. Los resultados se presentan en porcentajes para mayor claridad y se comparan con los datos reales, con el fin de identificar las principales diferencias entre las tendencias y los costos.

El siguiente paso es realizar el análisis de sensibilidad, ajustando valores relacionados con el almacenamiento y los costos de almacenamiento en algunos puntos. Después de este análisis, se llevará a cabo una implementación preliminar del modelo en la empresa, y finalmente se concluirá con la discusión y la conclusión del proyecto. La metodología de cascada resulta ser útil en este contexto, ya que cada tarea depende de la correcta finalización de la anterior. Por ejemplo, no es posible realizar comparaciones ni análisis complejos si los balances de masa no se han validado correctamente, ya que los datos incorrectos comprometen el análisis posterior. Es esencial que cada paso se complete correctamente antes de avanzar al siguiente.

5. FORMULACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN LINEAL

Modelo de optimización lineal

Según la figura N°1 y la descripción del problema ya descrita, se puede definir el modelo matemático de la siguiente forma:

5.1 Componentes claves

5.1.1 Índices

A continuación se describen los conjuntos que se usan en la formulación del modelo de optimización.

1. **V**: Conjunto de variedades de cebada (v), $v = 1, \dots, |V|$.
2. **C**: Conjunto de agricultores C con zona (I), $c = 1, \dots, |C|$
3. **PE**: Conjunto de periodos, $pe = 1, \dots, |PE|$
4. **A**: Conjunto de puntos de acopio externos (ae), $ae = 1, \dots, |A|$
5. **AP**: Conjunto de puntos de acopio propios (ap), $ap = 1, \dots, |AP|$.
6. **P**: Conjunto de plantas de producción (p), $p = 1, \dots, |P|$.

5.1.2 Parámetros

Los parámetros que componen el modelo son los encargados de determinar el entorno que compone el problema. A continuación se describen todos los parámetros que se utilizaron para la creación del modelo.

El parámetro **Agri** es utilizado para englobar toda la información que se tiene que utilizar de la cosecha de los agricultores, reuniendo datos como número de agricultores, cantidad cosechada, variedad y zona de cosecha. Con el fin de ordenar la información de los agricultores en el modelo, y se define como:

Agri: Conjunto de agricultores (c) de la variedad (v) con la cantidad (kg) de la zona (i), $c = 1, \dots, |C|$, $v = 1, \dots, |V|$, kg =cantidad de cebada [Kg], $i = \text{norte, temuco, sur}$, $|I|$.

Los parámetros de capacidad son tres y tienen el fin de regular o definir un límite para todos los puntos de guardado.

1. CAP_p : Capacidad de las plantas (P). $p = 1, \dots, |P|$
2. APC_{Ap} : Capacidad de los puntos de acopio propios (AP). $ap = 1, \dots, |Ap|$
3. AC_A : Capacidad de los puntos de acopio externos (A). $a = 1, \dots, |A|$

El Parámetro $consum$ establece los consumos que tiene cada planta en determinado periodo para todas la variedades. Tiene el fin de ser el encargado de dar una salida o descuento de datos en el modelo y se define como:

$Consum_{pepV}$: Consumo de la variedad v de la planta p en el periodo pe ; $v = 1, \dots, |V|$, $p = 1, \dots, |P|$, $pe = 1, \dots, |PE|$.

Dado que el modelo trabaja con datos reales, es necesario saber cuanta cebada tenian las plantas y puntos de acopio propios al iniciar el modelo y es lo que hace Cantini y Cantiniap, pues establece la cantidad de cebada inicial según variedad, para toda planta y puntos en el primer periodo, se define como:

$Cantini_{pepV}$: Cantidad de cebada en el primer periodo (Pe) en las plantas (P) de la variedad (V), $pe = 1, \dots, |PE|$, $p = 1, \dots, |P|$, $v = 1, \dots, |V|$.

$Cantiniap_{peApV}$: Cantidad de cebada en el primer periodo (Pe) en los puntos propios (Ap) de la variedad (V), $pe = 1, \dots, |PE|$, $ap = 1, \dots, |AP|$, $v = 1, \dots, |V|$.

Las plantas de producción tienen un total de camiones diarios que se pueden recibir, esto puede o no variar en el tiempo, el parámetro $recibomax$, toma en Kg de todos los camiones que pueden entrar a la planta en todo periodo, esto para regular el tope que puede tener cada planta todos los meses en el modelo.

$recibomax_p$: Recibo máximo de Kg de cebada en las plantas (P) en todo periodo (Pe). $p = 1, \dots, |P|$

Para saber cuánto cuestan los envíos, es necesario utilizar tarifas según KG de cebada transportado de un punto a otro y es lo que adjunto los parámetros TA , TAp , las cuales se definen como:

1. TA_{AVPeP} : Tarifa Kg de cebada mensual a transportar, del punto de acopio (A) de la variedad (V), en el periodo (PE), a la planta de producción TAp_{AVPeP} :Kg de cebada mensual a transportar en el, $pe = 1, \dots, |PE|$, $p = 1, \dots, |P|$, $v = 1, \dots, |V|$, $a = 1, \dots, |A|$

2. TAp_{ApVPeP} : Tarifa Kg de cebada mensual a transportar, del punto Acopio propio (AP) de la variedad (V), en el periodo (PE), a la planta de producción (P), $pe = 1, \dots, |PE|$, $p = 1, \dots, |P|$, $v = 1, \dots, |V|$, $ap = 1, \dots, |Ap|$

Los Bonos a agricultores se dan cuando un agricultor tiene que transportar cebada a una zona más distante, por lo que los parámetros a continuación, toman un valor por zona y punto de guardado, eso se definen:

1. $Ba_{PeAgriA}$: Bono de cebada a agricultor por zona en el periodo (Pe) de agri (Agri), a los puntos de acopio (A). $pe = 1, \dots, |PE|$, $agri = 1, \dots, |Agri|$, $a = 1, \dots, |A|$
2. $Bap_{PeAgriAp}$: Bono de cebada a agricultor por zona en el periodo (Pe) de agri (Agri), a los puntos de acopio propios (Ap). $pe = 1, \dots, |PE|$, $agri = 1, \dots, |Agri|$, $ap = 1, \dots, |Ap|$
3. $Bp_{PeAgriP}$: Bono de cebada a agricultor por zona en el periodo (Pe) de agri (Agri), a las plantas (P). $pe = 1, \dots, |PE|$, $agri = 1, \dots, |Agri|$, $p = 1, \dots, |P|$

Por contratos es necesario agregar costos de almacenamiento, entrada y salida de cebada para los puntos de acopio externos, Los siguientes 2 parámetros fijan los costos de almacenamiento y costo de inout (entrada y salida) para cada punto de Acopio externos, se definen:

$CinoutA_{PeA}$: Costo de entrada/salida de cebada del punto de acopio (A), en el periodo (P). $pe = 1, \dots, |PE|$, $a = 1, \dots, |A|$

CoA_{PeA} : Costo por almacenaje mensual de cebada en el punto de acopio (A), en el periodo (P). $pe = 1, \dots, |PE|$, $a = 1, \dots, |A|$

Así como hay consumos de cada planta, la empresa fija ciertas variedades para cada punto de acopio externo, el modelo respeta esto y para acercarse más a la realidad, se fija las variedades que no se trabajan para cada punto de acopio y planta, dejando así los siguientes parámetros, que vendrían siendo un conjunto de números fijos :

1. **NoEnvVariedades1:** Conjunto de variedades (v) que no se envían al punto de acopio A1, donde, $v = 1, \dots, |V|$
2. **NoEnvVariedades2:** Conjunto de variedades (v) que no se envían al punto de acopio A2, donde, $v = 1, \dots, |V|$
3. **NoEnvVariedades3:** Conjunto de variedades (v) que no se envían al punto de acopio A3, donde, $v = 1, \dots, |V|$
4. **NoEnvVariedades4:** Conjunto de variedades (v) que no se envían al punto de acopio A4, donde, $v = 1, \dots, |V|$
5. **NoEnvVariedadesP1:** Conjunto de variedades (v) que no se envían a la planta P1, donde, $v = 1, \dots, |V|$
6. **NoEnvVariedadesP2:** Conjunto de variedades (v) que no se envían a la planta P2, donde, $v = 1, \dots, |V|$
7. **NoEnvVariedadesP3:** Conjunto de variedades (v) que no se envían a la planta P3, donde, $v = 1, \dots, |V|$
8. **NoEnvVariedadesap1:** Conjunto de variedades (v) que no se envían al punto de acopio Ap1, donde, $v = 1, \dots, |V|$
9. **NoEnvVariedadesap2:** Conjunto de variedades (v) que no se envían al punto de acopio Ap2, donde, $v = 1, \dots, |V|$

5.2 variables de decisión del modelo

5.2.1 V.D Principales

Las v.d o variables de decisión principales del modelo son 5, separando 2 etapas como se ha mencionado de momento, donde las 3 primeras corresponden al proceso de cosecha, guardado el detallado de todos los movimientos que pueden haber en kilogramos de los agricultores a los distintos puntos de guardado en el periodo estudiado, dejando así las siguientes v.a:

1. $Xa_{PeAgriA}$, kilogramos de cebada a transportar en el periodo (Pe) de agri (Agri), a los puntos de acopio (A).
2. $Xap_{PeAgriAp}$, kilogramos de cebada a transportar en el periodo (Pe) de agri (Agri), a los puntos de acopio propios (Ap).
3. $Xp_{PeAgriP}$, kilogramos de cebada a transportar en el periodo (Pe) de agri (Agri), a las plantas (P).

Las últimas 2 corresponden al detallado de todos los movimientos que pueden existir entre puntos de guardado y plantas de producción en el periodo estudiado, definiendo así:

4. $Xa1_{AVPeP}$ Kg de cebada mensual a transportar, del punto de acopio (A) de la variedad (V), en el periodo (PE), a la planta de producción (P).
5. $Xap1_{ApVPeP}$ Kg de cebada mensual a transportar, del punto de acopio propio (Ap) de la variedad (V), en el periodo (PE), a la planta de producción (P).

5.2.2 V.A Secundarias o auxiliares

Las V.d auxiliares son de suma importancia para el funcionamiento del modelo, ya que son las encargadas de guardar la información que cambia a medida que el modelo se resuelve y no interfieren con la v.d principal, en el caso actual cuenta con un total de 25 v.d auxiliares. Donde las 5 primeras corresponden a los recibos que tiene en modelo de primer y segundo ciclo, los cuales se definen de igual manera que las v.d principales, pero sirven para guardar la información de recibos, quedando de la siguiente forma:

1. $Xaa_{PeAgriA}$, kilogramos de cebada a recibir en el periodo (Pe) de agri (Agri), en los puntos de acopio (A).
2. $Xaap_{PeAgriAp}$, kilogramos de cebada a recibir en el periodo (Pe) de agri (Agri), en los puntos de acopio propios (AP).
3. $Xpp_{PeAgriP}$, kilogramos de cebada a recibir en el periodo (Pe) de agri (Agri), en las plantas (P).
4. $Xa11_{AVPeP}$ Kg de cebada mensual a recibir, del punto de acopio (A) de la variedad (V), en el periodo (PE), en las plantas de producción (P).
5. $Xap11_{ApVPeP}$ Kg de cebada mensual a recibir, del punto de acopio propios (Ap) de la variedad (V), en el periodo (PE), en las plantas de producción (P).

Las siguientes 3 corresponden a los envíos generales que hay en el primer ciclo de agricultores a los distintos puntos de guardado para el periodo estudiado.

6. $Xaen_{PeAgri}$, kg de cebada enviados en el periodo (Pe) de agri (Agri). puntos A.
7. $Xapen_{PeAgri}$, kg de cebada enviados en el periodo (Pe) de agri (Agri). puntos Ap.
8. $Xpen_{PeAgri}$, kg de cebada enviados en el periodo (Pe) de agri (Agri). plantas P.

Los recibos que hay en el primer ciclo, detallado por periodo, planta y variedad, sirven para guardar la información específica de los recibos por variedad en el periodo estudiado y se definen como.

9. $RecP1_{PePV}$, kg de cebada recibidos en el periodo (Pe) en la planta (P) de la variedad (V).
10. $RecA1_{PeAV}$, kg de cebada recibidos en el periodo (Pe) en el punto de acopio (A) de la variedad (V).
11. $RecAP1_{PeApV}$, kg de cebada recibidos en el periodo (Pe) en el punto de acopio (Ap) de la variedad (V).

Así mismo para el segundo ciclo, se fijan otras 2 v.d.a que corresponden a los recibos específicos por variedad y periodo estudiado, para las plantas de los distintos puntos de acopio o guardado y otra que ayuda a guardar la información total de lo que recibe la plantas todos los meses, separado por variedad, definiendo así las siguientes v.d:

12. $ReciboPlantasGeneral_{PePV}$, kg de cebada recibidos en el periodo (Pe) en la planta (P) de la variedad (V).
13. $ReciboPlantasAP_{PeApV}$, kg de cebada recibidos en el periodo (Pe) en la planta (P) de la variedad (V). de los puntos Ap
14. $ReciboPlantasA_{PeAV}$, kg de cebada recibidos en el periodo (Pe) en la planta (P) de la variedad (V). de los puntos A

Las v.d.a 15 y 16 guardan los envíos específicos por variedad que tienen los puntos de acopio externos y propios a las plantas de producción, en el periodo estudiado

15. $EnviosA_{PeAV}$, kg de cebada enviados en el periodo (Pe) del punto de acopio (A) de la variedad (V).
16. $EnviosAp_{PeApV}$, kg de cebada enviados en el periodo (Pe) del punto de acopio (Ap) de la variedad (V).

Los almacenamientos también se establecieron como v.d auxiliar, donde se separan en 2 grupos, los generales y específicos por variedad, donde los específicos por variedad son los encargados de hacer de entrada y salida de datos, y los generales para ver la capacidades totales de cada punto, cabe recalcar que los puntos acopio externos, no tienen entrada y salida de datos a la vez, por esa razón solo tiene una V.d auxiliar y no dos, como lo son el caso de las plantas y puntos de acopio propios, las cuales si entran y salen datos el mismo periodo, dejando así las siguientes v.d.

- 17.** $Almp_{PePV}$, kg de cebada almacenados en el periodo (Pe) en la planta (P) de la variedad (V).
- 18.** $AlmA_{PeAV}$, kg de cebada almacenados en el periodo (Pe) en el punto de acopio (A) de la variedad (V).
- 19.** $AlmAp_{PeApV}$, kg de cebada almacenados en el periodo (Pe) en el punto de acopio (Ap) de la variedad (V).
- 20.** $AlmpF_{PePV}$, kg de cebada almacenados en el periodo (Pe) en la planta (P) de la variedad (V).
- 21.** $AlmApF_{PeApV}$, kg de cebada almacenados en el periodo (Pe) en el punto de acopio (Ap) de la variedad (V).

Almacenamiento generales

- 22.** $AlmGp_{PeP}$, kg de cebada almacenados en el periodo (Pe) en la planta (P).
- 23.** $AlmGA_{PeA}$, kg de cebada almacenados en el periodo (Pe) en el punto de acopio (A).
- 24.** $AlmGAp_{PeAp}$, kg de cebada almacenados en el periodo (Pe) en el punto de acopio (AP).

Para respetar los contratos de los puntos de acopio externos, se fija una v.d encargada para ver estos puntos en específico que vendría siendo la siguiente:

- 25.** $AlmgenaContratos_{PeA}$, kg de cebada almacenados en el periodo (Pe) en el punto de acopio (A) por contratos.

5.3 Función objetivo: Minimizar costos del proceso = Z

$$\sum_{pe \in Pe} \sum_{p \in P} \sum_{a \in A} \sum_{v \in V} TA_{AVPeP} * Xa1_{AVPeP} + \sum_{pe \in Pe} \sum_{p \in P} \sum_{ap \in AP} \sum_{v \in V} TA_{ApVPeP} * Xa1_{ApVPeP} +$$

$$\sum_{pe \in Pe} \sum_{agri \in AGRI} \sum_{a \in A} CinoutA_{PeAgriA} * Xa_{PeAgriA} + \sum_{pe \in Pe} \sum_{agri \in AGRI} \sum_{ap \in AP} Bap_{PeAgriAP} * Xap_{PeAgriAP} +$$

$$\sum_{pe \in Pe} \sum_{agri \in AGRI} \sum_{a \in A} Ba_{PeAgriA} * Xa_{PeAgriA} + \sum_{pe \in Pe} \sum_{agri \in AGRI} \sum_{p \in P} Bp_{PeAgriA} * Xp_{PeAgriA} +$$

$$\sum_{pe \in Pe} \sum_{a \in A} CoA_{PeA} * AlmgenaContratos_{PeA}$$

La función objetivo corresponde a la fórmula de costo del proceso en estudio, donde la primera parte son los costos de transporte para el segundo ciclo, luego se encuentran los costos de entrada y salida para los puntos de acopio externos. Las 3 sumatorias siguientes fijan el costo de los bonos que se le asigna a los agricultores por enviar la cebada a los distintos puntos de guardado y el último punto corresponde al costo asociado al almacenamiento por contrato que tienen los puntos de acopio externos.

5.4 Restricciones

A continuación se presentan y describen las restricciones que está sujeto el modelo.

5.4.1 Restricciones primer ciclo

En las restricciones **(1)**, **(2)**, **(3)** establecen que los recibos van a ser igual a los envíos en el primer ciclo, para plantas, puntos de acopio propios y externos.

$$Xaa_{PeAgriA} = Xa_{PeAgriA} \quad \forall pe \in Pe, \forall agri \in Agri, \forall a \in A \quad (1)$$

$$Xaap_{PeAgriA} = Xap_{AgriA} \quad \forall pe \in Pe, \forall agri \in Agri, \forall ap \in AP \quad (2)$$

$$Xpp_{PeAgriA} = Xp_{PeAgriA} \quad \forall pe \in Pe, \forall agri \in Agri, \forall p \in P \quad (3)$$

Las restricciones **(4)**, **(5)** fijan el mes límite para envíos en el primer ciclo de puntos de acopio externos y propios.

$$Xa_{PeAgriA} = 0 \quad \forall pe \geq 2, \forall agri \in Agri, \forall a \in A \quad (4)$$

$$Xap_{PeAgriAp} = 0 \quad \forall pe \geq 3, \forall agri \in Agri, \forall ap \in AP \quad (5)$$

Las n° **(6)**,**(7)**,**(8)** son las restricciones de Mes límite para envíos en el primer ciclo de Talagante, Temuco y Coronel.

$$Xp_{PeAgriP} = 0 \quad \forall pe \geq 2, \forall agri \in Agri, \forall p = 1 \quad (6)$$

$$Xp_{PeAgriP} = 0 \quad \forall pe \geq 4, \forall agri \in Agri, \forall p = 2 \quad (7)$$

$$Xp_{PeAgriP} = 0 \quad \forall pe \geq 2, \forall agri \in Agri, \forall p = 3 \quad (8)$$

Las n° **(9)**,**(10)**,**(11)**,**(12)** corresponden a las restricciones de que variedad no puede ser almacenada en los puntos de acopio externos.

$$Xa_{PeAgriA} = 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri[1] \in NoEnvVariedades1, \forall a = 1 \quad (9)$$

$$Xa_{PeAgriA} = 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri[1] \in NoEnvVariedades2, \forall a = 2 \quad (10)$$

$$Xa_{PeAgriA} = 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri[1] \in NoEnvVariedades3, \forall a = 3 \quad (11)$$

$$Xa_{PeAgriA} = 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri[1] \in NoEnvVariedades4, \forall a = 4 \quad (12)$$

Las n°**(13)**,**(14)**,**(15)** corresponden a las restricciones que define la V.d auxiliar de envios del primer ciclo, para puntos de acopio externos, propios y plantas, la cual guarda la sumatoria que puede haber entre los distintos puntos de guardado, para todos los periodos y agricultores.

$$Xaen_{PeAgri} = \sum_{a \in A} Xa_{PeAgriA} \quad \forall pe \in Pe, \forall agri \in Agri \quad (13)$$

$$Xapen_{PeAgri} = \sum_{ap \in Ap} Xap_{PeAgriAp} \quad \forall pe \in Pe, \forall agri \in Agri \quad (14)$$

$$Xpen_{PeAgri} = \sum_{p \in P} Xp_{PeAgriP} \quad \forall pe \in Pe, \forall agri \in Agri \quad (15)$$

La restricción **(16)** define que los envíos que hagan los agricultores hacia cada punto de guardado, en todos los meses o periodos, tiene que ser igual al total de cebada de la cosecha, o sea que envían el 100% de lo que cosechan , para todo agricultor.

$$\sum_{p \in Pe} X_{aen}_{PeAgri} + X_{apen}_{PeAgri} + X_{pen}_{PeAgri} = Agri[2] \quad \forall agri \in Agri \quad (16)$$

Las n°**(17)(18)(19)** corresponden a las restricciones que definen la V.d.a de recibos para puntos de acopio externo, propios y plantas, la cual guarda la sumatoria por variedad que puede recibir cada punto de guardado, para todo período, puntos de guardado y variedad.

$$RecA1_{PeAV} = \sum_{agri \in Agri, agri[1] = v} X_{aa}_{PeAgriA} \quad \forall pe \in Pe, \forall a \in A, \forall v \in V \quad (17)$$

$$RecAP1_{PeApV} = \sum_{agri \in Agri, agri[1] = v} X_{aap}_{PeAgriAp} \quad \forall pe \in Pe, \forall ap \in AP, \forall v \in V \quad (18)$$

$$RecP1_{PePV} = \sum_{agri \in Agri, agri[1] = v} X_{pp}_{PeAgriP} \quad \forall pe \in Pe, \forall p \in P, \forall v \in V \quad (19)$$

La restricción **(20)** define V.d.a de almacenamiento específico por variedad en el primer periodo de las plantas va ser igual a lo que se recibe de agricultore más lo que que tenia almacenado ya del año anterior, menos el consumo que tienen las plantas en el primer mes, para todos los puntos y variedades.

$$Almp_{PePV} = Cantini_{PePV} - consumv_{PePV} + RecP1_{PePV} \quad \forall pe = 1, \forall p \in P, \forall v \in V \quad (20)$$

Las n°**(21)(24)** corresponden a las restricciones que definen V.d.a de almacenamientosF específico por variedad para plantas y puntos de acopio propios, hacen de interacción para que haya movimientos de llenado y vaciado en el modelo, por lo que en el primer periodo van a ser igual a los almacenamientos, para todo punto y variedad.

$$Almpf_{PePV} = Almp_{PePV} \quad \forall pe = 1, \forall p \in P, \forall v \in V \quad (21)$$

$$AlmApf_{PeApV} = AlmAp_{PeApV} \quad \forall pe = 1, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (24)$$

La restricción **(22)** define V.d.a de almacenamiento específico por variedad en el primer periodo de los puntos de acopio externos, va ser igual a lo que se recibe de agricultores, para todos los puntos y variedades.

$$AlmA_{peAV} = RecA1_{peAV} \quad \forall pe = 1, \forall a \in A, \forall v \in V \quad (22)$$

La restricción **(23)** define V.d.a de almacenamiento específico por variedad en el primer periodo de los puntos de acopio Propios, va ser igual a lo que se recibe de agricultores más sus cantidades iniciales, para todos los puntos y variedades.

$$AlmAp_{peApV} = RecAp1_{peApV} + Cantiniap_{peApV} \quad \forall pe = 1, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (23)$$

Las n°**(25)(26)(27)** corresponden a las restricciones que definen V.d.a de almacenamiento general de plantas, puntos de acopio externos y propios, va ser igual a la sumatoria de los almacenamientos específico de cada punto según variedades, para todos los períodos y puntos

$$AlmGp_{peP} = \sum_{v \in V} AlmP_{pePV} \quad \forall pe \in Pe, \forall p \in P \quad (25)$$

$$AlmGap_{pea} = \sum_{v \in V} AlmP_{peApV} \quad \forall pe \in Pe, \forall ap \in Aa \quad (26)$$

$$AlmGA_{peA} = \sum_{v \in V} AlmA_{peAV} \quad \forall pe \in Pe, \forall a \in A \quad (27)$$

Las n°**(28)(30)(31)** corresponden a las restricción que define capacidad máxima de almacenamientos general de plantas, puntos de acopio externos y propios, para todos los periodos.

$$AlmGp_{peP} \leq Cap \quad \forall pe \in Pe \quad (28)$$

$$AlmGA_{peA} \leq CapA \quad \forall pe \in Pe \quad (30)$$

$$AlmGap_{peP} \leq Capap \quad \forall pe \in Pe \quad (31)$$

La restricción (29) limita que la capacidad de las plantas de producción tiene que estar siempre a su 98% de capacidad en todos los periodos.

$$AlmGp_{peP} \geq 0,98 * Cap \quad \forall pe \in Pe \quad (29)$$

5.4.2 Restricciones Segundo ciclo y no negativos

Las n°(32)(33) corresponden a las restricciones que definen las V.d.a de envíos de los puntos de acopio externos y propios son igual a la sumatoria de los envíos de Xa1 o Xap1 a las plantas, en todos los meses y variedades.

$$EnviosA_{peAV} = \sum_{p \in P} Xa1_{AVPeP} \quad \forall pe \in Pe, \forall a \in A, \forall v \in V \quad (32)$$

$$EnviosAp_{peApV} = \sum_{p \in P} Xap1_{ApVPeP} \quad \forall pe \in Pe, \forall ap \in AP \forall v \in V \quad (33)$$

Las n°(34)(35) corresponden a las restricción que define que los recibos van a ser igual a los envíos, en todos los periodos, plantas, puntos de guardado y variedades.

$$Xa11_{AVPeP} = Xa1_{AVPeP} \quad \forall a \in A, \forall v \in V, \forall pe \in Pe, \forall p \in P \quad (34)$$

$$Xap11_{AVPeP} = Xap1_{ApVPeP} \quad \forall ap \in Ap, \forall v \in V, \forall pe \in Pe, \forall p \in P \quad (35)$$

Las n°(36)(37) corresponden a las restricción que fija que los primer mes no hay envíos por parte de los puntos de acopio externos y propios, parada todo periodo menor o igual a 1, plantas, puntos de guardado y variedades.

$$Xa1_{AVPeP} = 0 \quad \forall pe \leq 1, \forall p \in P, \forall a \in A, \forall v \in V \quad (36)$$

$$Xap1_{AVPeP} = 0 \quad \forall pe \leq 1 \forall p \in P, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (37)$$

La restricción **(38)** define el cómo se llena y vacía los puntos acopio externos en el segundo ciclo, se fija que el almacenamiento del mes va ser igual a la cebada que le llegue de agricultores más la capacidad del mes anterior, menos lo que envía ese mes hacia las plantas, para todos los períodos distintos a 1 y variedades.

$$AlmA_{PeAV} = (AlmA_{Pe-1AV} - EnviosA_{PeAV}) + RecA1_{PeAV}$$

$$\forall pe \in Pe, \forall v \in V, si pe \neq 1 \quad (38)$$

La restricción **(39)** define el cómo se llenan los puntos de acopio propios en el segundo ciclo, se fija que el almacenamiento ap del mes va ser igual al almacenamiento ap del mes anterior más lo que se recibe de los agricultores, para todo periodo distinto a 1 y variedad.

$$AlmAp_{PeAV} = AlmApf_{Pe-1ApV} + RecAp1_{PeApV}$$

$$\forall pe \in Pe, \forall v \in V, si pe \neq 1 \quad (39)$$

La restricción **(40)** define el cómo se vacía los puntos de acopio propios, fijando que el almacenamiento ap del mes va ser igual al almacenamiento ap del mes menos lo que se envíe hacia las plantas en ese periodo, para toda variedad y periodo distinto a uno.

$$AlmApF_{PeApV} = AlmAp_{PeApV} - EnviosAp_{PeApV}$$

$$\forall pe \in Pe, \forall v \in V, si pe \neq 1 \quad (40)$$

Las n° **(41)(42)** corresponde a las restricciones que definen las V.d.a de recibos de plantas por parte de los puntos de guardado externos y propios, se fijan que van a ser igual a la sumatoria de los recibos xa11 y xap11 de los puntos de guardado, para todo periodo y variedad.

$$ReciboPlantasAP_{PeApV} = \sum_{ap \in AP} Xap11_{ApVPeP} \quad \forall pe \in Pe, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (41)$$

$$ReciboPlantasA_{PeAV} = \sum_{a \in A} Xa11_{AVPeP} \quad \forall pe \in Pe, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (42)$$

La restricción (43) define la V.d.a de recibo general hacia las plantas, se fija que el recibo general debe ser igual al la suma de los recibos de A y AP, para todo periodo y variedad.

$$ReciboPlantas_{pePV} = ReciboPlantasAP_{peApV} + ReciboPlantasA_{peAV}$$

$$\forall pe \in Pe, \forall p \in P, \forall v \in V \quad (43)$$

La restricción (44) limita la cantidad máxima de cebada que puede recibir las plantas, se fija que las cantidades que recibe por parte de agricultores, punto de acopio propios y externos tienen que ser menor al recibo máximo, para todo periodo y planta.

$$\sum_{v \in V} ReciboPlantas_{pePV} + \sum_{v \in V} RecP1_{pePV} \geq recibomax \quad \forall pe \in Pe, \forall p \in P \quad (44)$$

La restricción (45) define el cómo se llenan las plantas, se fija que almacenamiento de p del mes es igual al almacenamiento de p del mes anterior más los recibos por parte de puntos de acopio y agricultores, para todo periodo distinto a 1, planta y variedad.

$$AlmpF_{pePV} = Almp_{pe-1PV} + ReciboPlantas_{pePV} + RecP1_{pePV}$$

$$\forall pe \in Pe, \forall p \in P, \forall v \in V, si pe \neq 1 \quad (45)$$

La restricción (46) define el cómo se vacían las plantas, se fija que almacenamiento de p del mes es igual al almacenamiento de p del mes menos los consumos, para todo periodo distinto a 1, planta y variedad.

$$Almp_{pePV} = Almpf_{pePV} - ConsumoPlantas_{pePV}$$

$$\forall pe \in Pe, \forall p \in P, \forall v \in V, si pe \neq 1 \quad (46)$$

La restricción (47) define la V.d.a de almacenamientos de contratos, se fija que el almacenamiento de contratos es igual al almacenamiento general de los puntos de acopio externos, para todo periodo y punto de acopio externo.

$$AlmgenaContratos_{peA} = AlmGA_{peA} \quad \forall pe \in Pe, \forall a \in A \quad (47)$$

La restricción **(48)** fija que el almacenamiento de contratos, punto de acopio 3 va ser igual a su capacidad máxima por los primeros 2 meses. (49) define los mismo, pero para el punto a de acopio 4 y el tiempo son los primeros 5 meses.

$$AlmgenaContratos_{peA} = capA \quad \forall pe \leq 2, \forall a = 3 \quad (48)$$

$$AlmgenaContratos_{peA} = capA \quad \forall pe \leq 5, \forall a = 4 \quad (49)$$

Las n° **(50)(51)(52)** corresponden a las restricciones del punto de acopio 1, que definen envios minimos que tienen que ocurrir en los periodos 3,4 y 5, estos se realizan segun contrato y se fija que la sumatoria de los EnviosA por variedad, va ser mayor a 950000,2500000 y 95000.

$$\sum_{v \in V} EnviosA_{peAV} \geq 950000 \quad \forall pe = 3, \forall a = 1 \quad (50)$$

$$\sum_{v \in V} EnviosA_{peAV} \geq 2500000 \quad \forall pe = 4, \forall a = 1 \quad (51)$$

$$\sum_{v \in V} EnviosA_{peAV} \geq 950000 \quad \forall pe = 5, \forall a = 1 \quad (52)$$

Las número (53) hasta el (67) pertenecen a las restricciones no negatividad para las variables, almacenamientos, envíos específicos, recepciones agrícolas y de segundo ciclo, para todos los periodos, planta, agris, puntos de acopio A como AP y variedades.

$$Xa_{peAgriA} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri \in Agri, \forall a \in A \quad (53)$$

$$Xap_{peApgrIA} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri \in Agri, \forall ap \in Ap \quad (54)$$

$$Xp_{peAgriP} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri \in Agri, \forall p \in P \quad (55)$$

$$Xa1_{AVPeP} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall p \in P, \forall a \in A, \forall v \in V \quad (56)$$

$$Xap1_{ApVPeP} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall p \in P, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (57)$$

$$Almp_{pePV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall p \in P, \forall v \in V \quad (58)$$

$$AlmA_{peAV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall a \in A, \forall v \in V \quad (59)$$

$$Almap_{peApV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (60)$$

$$EnviosA_{peAV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall a \in A, \forall v \in V \quad (61)$$

$$EnviosAp_{peApV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (62)$$

$$RecP1_{pePV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall p \in P, \forall v \in V \quad (63)$$

$$RecA1_{peAV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall a \in A, \forall v \in V \quad (64)$$

$$RecAP1_{peApV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (65)$$

$$ReciboPlantasA_{peAV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall a \in A, \forall v \in V \quad (66)$$

$$ReciboPlantasAP_{peApV} \geq 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall ap \in Ap, \forall v \in V \quad (67)$$

Las n° (68),(69),(70),(71),(72) corresponden a las restricciones de que variedad no puede ser almacenada en las plantas y puntos de acopio propios.

$$Xp_{peAgriP} = 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri[1] \in NoEnvVariedadesP1, \forall p = 1 \quad (68)$$

$$Xp_{peAgriP} = 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri[1] \in NoEnvVariedadesP2, \forall p = 2 \quad (69)$$

$$Xp_{peAgriP} = 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri[1] \in NoEnvVariedadesP3, \forall p = 3 \quad (70)$$

$$Xap_{peAgriAp} = 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri[1] \in NoEnvVariedadesAp1, \forall ap = 1 \quad (71)$$

$$Xap_{peAgriAp} = 0 \quad \forall pe \in Pe, \forall agri[1] \in NoEnvVariedadesAp2, \forall ap = 2 \quad (72)$$

5.5 Tabla de datos de índices y parámetros del modelo

Para la optimización realizada, se utilizaron los siguientes valores para los parámetros planteados.

Tabla 1

Valor de índices y parámetros del modelo

Parámetros	Valor	Parámetros	Valor
Variedades	5	Bp1	5/10/20
		N/Temuco/Sur	
Periodos	12	Bp2	10/0/0
		N/Temuco/Sur	
Agricultores	198	Bp3	0,0/5/15
		N/Temuco/Sur	
Cant Cebada en kg	137.165.400	Ba1 N/Temuco/Sur	10/0/0
Cap Victoria A1	30.000.000	Ba2 N/Temuco/Sur	20/20/0
Cap Rapaco A2	5.000.000	Ba3 N/Temuco/Sur	0,0/5/15
Cap Cotrisa A3	9.000.000	Ba4 N/Temuco/Sur	0,0/5/15
Cap Copeval A4	31.000.000	Bap1	10/0/0
		N/Temuco/Sur	
Cap cajon Ap1	33.000.000	Bap2	20/20/0
		N/Temuco/Sur	
Cap Paillaco Ap1	11.000.000	Cinouta 1	4,67
Cap Talagante P1	16.000.000	Cinouta 2	4,67
Cap Temuco P2	25.000.000	Cinouta 3	6,08
Cap Coronel P3	10.000.000	Cinouta 4	1,87
Recibo max talg	15.000.000	CoA 1	1,93
Recibo max Tem	25.000.000	CoA 2	1,93
Recibo max Coronel	36.000.000	CoA 3	2,75
Consumos x variedad	Tabla n°12	CoA 4	2,93
Tarifa A1 a P1,2,3	25/7/15	V que no van a A1	2,3,4,5
Tarifa A2 a P1,2,3	30/13/26	V que no van a A2	2,3,4,5
Tarifa A3 a P1,2,3	23/15/14	V que no van a A3	1,3,4,5
Tarifa A4 a P1,2,3	22/16/14	V que no van a A4	2,4,5
Tarifa Ap1 a P1,2,3	26/ 3,3/20	V que no van a Ap1	1
Tarifa Ap2 a P1,2,3	30/13/26	V que no van a Ap2	2,3,4,5
		V que no van a P1	5
		V que no van a P2	2,3,5
		V que no van a P3	4

5.6 Resultados del modelo

Considerando las variables y restricciones previamente descritas el modelo de optimización presenta un resultado de \$2.730.543.288 CLP, con un total de 856 iteraciones del método simplex. El proceso toma 0,14 segundos para encontrar la solución óptima utilizando los 12 hilos de procesamiento disponibles en el ordenador utilizado. Para obtener este resultado, es necesario explorar 1 nodo en el árbol de búsqueda. Este comportamiento indica que la solución óptima se alcanza rápidamente, donde el incumbente o mejor resultado es igual al mejor límite inferior, lo que significa que la optimización es óptima con un gap del 0% según Gurobi. Este valor expresa que se ha alcanzado la solución óptima en el modelo. El gap representa la cota de error en el modelo, y se obtiene mediante una relajación lineal para determinar este límite. Esto se confirma por el término Root relaxation utilizado por el solver, que indica el uso de relajación lineal (Gurobi Optimization, LLC. (2023) – Manual).

Para este resultado, el modelo inicialmente contaba con 131.613 restricciones, 61.836 variables y 220.624 valores distintos a cero. Gurobi realiza un proceso de presolve para eliminar redundancias en el modelo. Tras este recorte, el modelo quedó con 1.102 restricciones, 2.575 variables, todas ellas enteras, y 5.674 coeficientes no nulos. Este recorte de redundancias se debe a que, en el primer ciclo, las variables de decisión principales y auxiliares relacionadas con los agricultores, a nivel de programación, utilizaron el mismo parámetro de período para todas las variables. Esto genera una gran cantidad de datos no utilizados, ya que solo se requieren de 1 a 3 períodos, dependiendo del punto. Aunque este recorte no afectó directamente el tiempo ni la optimización, ya que el valor es óptimo con un tiempo de proceso de 0,14 segundos, de los cuales 0,04 segundos fueron empleados por el presolver.

Los movimientos de abastecimiento realizados durante la operación, en detalle, se encuentran en las tablas n°34, n°2, n°3, n°4, n°5. Los números 1, 2, 3 corresponden a los envíos de los agricultores a los distintos puntos, mientras que los números 4 y 5 corresponden a los movimientos de los puntos de acopio hacia las plantas durante los meses en que duró el proceso. Estas tablas reflejan los valores de las variables de decisión principales del modelo.

Antes de proceder con el análisis de tendencias y la comparación de datos, se validará el modelo matemático con los resultados obtenidos, según los balances, restricciones y otros cálculos definidos en la metodología, para verificar que el modelo cumple con los requisitos establecidos.

5.7 Balances de masas

La suma de todos los valores de las tablas n°34, n°2, n°3, correspondiente a lo enviado por los agricultores, es de 137.165.400 kg de cebada, lo que coincide con la cantidad planteada en los parámetros. Esto demuestra que los agricultores envían toda la cebada que cosechan. Asimismo, se confirma en la tabla n°6, que agrupa los movimientos.

La suma del primer período de los almacenamientos de A tabla n°8, más la resta entre los almacenamientos de AP y sus cantidades iniciales, tabla n°9 y n°35, más lo enviado de los agricultores a las plantas tabla n°3, es igual a 137.165.400 kg, lo que indica que se almacenó correctamente toda la cebada enviada por los agricultores.

La suma total de los valores de las tablas n°4 y n°5, correspondientes a los kilogramos de cebada enviados desde los puntos de acopio a las plantas, más el almacenamiento del último período de los puntos de acopio propios tabla n°9, más lo enviado por los agricultores a las plantas tabla n°3, menos el almacenamiento inicial de AP tabla n°35 y lo enviado por AP en el último período tabla n°5, es 137.165.400 kg, lo que demuestra que todo lo enviado desde los agricultores a los puntos de acopio es correctamente enviado y almacenado en las plantas en el segundo ciclo. Esto valida que el modelo presenta un correcto flujo de entrada y movimiento de los datos en la optimización.

La suma de las tablas n°3, n°4, n°5 y n°11, que corresponde a lo enviado a las plantas, más la cantidad inicial de cebada en estas, menos el consumo total de todas las plantas tabla n°12, es 39.670.000 kg, lo que es igual a la suma de los almacenamientos de las plantas en el último período de la tabla n°10. Esto confirma que los consumos de las plantas se realizan de manera correcta en todos los períodos y que las variedades son almacenadas y enviadas de acuerdo con las plantas que las procesan, ya que solo se envían y almacenan las variedades que se trabajan en cada planta. De lo contrario, este valor no podría coincidir.

Con los datos proporcionados, se puede comprobar que el modelo mantiene un balance de entrada y salida adecuado. Además, al observar las tablas n°2 hasta n°10 y la n°34 se puede verificar el cumplimiento de todas las restricciones que contribuyen a la coherencia del modelo, como:

- No hay envíos en el primer mes por parte de los puntos A y AP (tabla n°7).
- Los tiempos límite para los envíos de los agricultores a los puntos de acopio y las plantas tablas n°34, n°2, n°3 o tabla n°6.

- Las variedades no almacenadas en A, AP y P (tablas n°8, n°9 y n°10).
- Los contratos (tablas n°34, n°4, n°8), con más detalles sobre la tendencia utilizada por el modelo para optimizar los contratos.
- La maximización de la producción, con las plantas siempre operando por encima del 90% de su capacidad (tabla n°10).

Una vez verificados estos resultados, se procederá al análisis de tendencias de los movimientos del modelo.

5.8 Análisis de datos

5.8.1 Recepción agrícola o primer ciclo del modelo

Partiendo de los envíos al detalle de cada agricultor, se observa en las tablas n°34, n°2, y n°3 que los resultados "cantidad total" en las tablas, son iguales a la cantidad de cebada que ofrece cada agricultor, valor que se encuentra en la misma tabla en la columna de "cantidad". Esto indica que, para llegar a un valor óptimo, los agricultores no dividen sus envíos entre distintos puntos, sino que envían toda la cebada de una variedad a un único punto. Aunque el modelo permite realizar envíos a todos los puntos disponibles en los períodos determinados, hay una excepción con los agricultores 1, 3, 28, 43, 89, 122 y 191, que hacen envíos entre plantas y puntos de acopio para una misma variedad, pero únicamente a dos puntos. Un caso único es el del agricultor 156, que realiza envíos a Copeval, Coronel y Talagante para la única variedad cultivada. El resto de los casos corresponden a envíos de un agricultor con una sola variedad a un solo punto, y de agricultores con más de una variedad que envían cada variedad a distintos puntos, pero siempre enviando el total de cada variedad a un único punto. Por ejemplo, el agricultor 96, que cultiva Fandanga e Irina, distribuye la cebada a Cajón y Victoria respectivamente, enviando únicamente Fandanga a Cajón e Irina a Victoria.

Al observar la tabla n°7, se puede apreciar un resumen de los envíos por zona, punto y variedad durante los meses en que se realiza el proceso. Se observa cómo, dependiendo del costo de abono de los agricultores, algunas zonas no hacen envíos a ciertos puntos. Cabe mencionar que, en el modelo, los agricultores tienen libertad para enviar a todos los puntos disponibles dentro de los plazos determinados.

En la zona norte, de los 46.494.500 kg de cebada enviados, se recibieron en Copeval, Coronel, Cotrisa y Talagante, lo cual es esperado, ya que, si se observa la tabla n°1 que contiene

los valores de los parámetros, los envíos del norte a Cotrisa, Copeval y Coronel tienen valor cero, lo que indica que hay un costo asociado a los bonos para Talagante y Temuco.

En la zona sur, de los 42.034.700 kg de cebada enviados, se recibieron en Cajón, Paillaco, Temuco y Victoria. Esta zona realiza la menor cantidad de envíos a puntos, donde todos los bonos a los agricultores tienen valor cero según la tabla n°34, lo que indica que no se incurre en costos adicionales en esta operación.

En la zona de Temuco, de los 48.636.200 kg de cebada enviados, se recibieron entre Cajón, Copeval, Coronel, Cotrisa, Talagante, Temuco y Victoria. Esto señala que, además de ser la zona con mayor producción, es la que más distribuye a los distintos puntos. Esto se debe a la variabilidad de los costos asociados a los bonos, que se pueden observar en la tabla n°1, donde los valores son cero solo para Temuco, Cajón y Victoria, lo que sugiere que esta zona es donde más se reparten los bonos a los agricultores. En Copeval, Cotrisa, Coronel y Talagante se observan costos adicionales por la cebada transportada.

5.8.2 Abastecimiento de puntos a plantas o segundo ciclo del modelo

Con los valores de la tabla n°4, n°5, que detallan los envíos de cada punto de acopio a las plantas, o de la tabla n°7, que proporciona un resumen por variedad y tiempo, se observa el comportamiento de los envíos según los contratos de cada punto de acopio externo. Victoria, al no tener limitaciones de costo por su almacenamiento total, comienza con su vaciado en marzo. En la tabla n°4, se puede ver cómo los valores cumplen con las restricciones de envíos mínimos para los primeros meses para Victoria.

Cotrisa y Copeval, al tener limitaciones en los costos de almacenamiento total en los primeros meses, se consideran con el máximo de capacidad, independientemente del almacenamiento real. Cotrisa empieza a realizar envíos en marzo, ya que su tiempo de costo máximo es de 2 meses, y hace su último envío en mayo. En el caso de Copeval, con un tiempo máximo de costo de 5 meses, se inician los movimientos en junio y terminan en octubre. Tanto Cotrisa como Copeval se vacían lo más rápido posible, limitando los envíos a no más de 3 a 5 meses después de que empiezan los movimientos, lo contrario de Victoria, que, al tener un costo de almacenamiento bajo, vacía su almacenamiento y realiza su movimiento final en noviembre, como se puede ver en la tabla n°2.

Cabe destacar que, en la optimización, no se utiliza el punto externo de Rapaco, a pesar de que este tiene permitido hacerlo.

Con respecto a los almacenamientos externos se comportan según los contratos, ya que los movimientos como se menciona en el párrafo anterior, van sucediendo a medida que los costos de almacenamiento cambian. Al observar la tabla n°8 y n°2, se puede ver cómo Victoria comienza a vaciarse a partir de marzo y tiene almacenamiento hasta octubre. Cotrisa envía cebada desde abril y se vacía en mayo, mientras que Copeval espera los primeros 5 meses sin movimientos, comenzando a operar en junio y finalizando en octubre.

Dentro de los movimientos de distintos puntos a las plantas, hubo abastecimiento de todos los puntos a todas las plantas, excepto Copeval y Cotrisa, que no realizan envíos a Temuco durante el proceso. Esto es inusual, ya que Temuco tiene el menor costo tanto para Copeval como para Cotrisa, mientras que Talagante, que tiene un costo más alto, es el destino final de sus envíos. Estos valores se pueden observar en la tabla n°7.

Los almacenamientos de las plantas presentan un patrón interesante, pero esperado según las restricciones de capacidad y producción del modelo. Al establecer que los almacenamientos deben mantenerse siempre por encima del 98% de su capacidad, el modelo asegura que los almacenamientos se llenen todos los meses, de modo que el vaciado se realice según los consumos. Por lo tanto, los valores de almacenamiento son similares en todos los períodos, lo que produce que los envíos a las plantas durante los 12 meses sean relativamente constantes, con una variación de no más de 1 millón de kg entre los períodos para los envíos a la misma planta. Por ejemplo, Coronel tiene un envío de 1,8 millones de kg en abril, pero el resto de los meses varía entre 3,3 millones y 3,9 millones de kg. En Talagante, la variación va de 2,7 millones a 3,5 millones de kg, mientras que en Temuco la variación es de 2,9 millones a 3,7 millones de kg, con una excepción de 2,3 millones en junio. Estos valores se pueden encontrar en la tabla n°10.

Con respecto a las variedades, el modelo se comporta según lo establecido en las restricciones, tanto para envíos, abastecimiento como para los consumos de cada planta. Esto se puede verificar a través de los balances de masas, los almacenamientos y los envíos con las restricciones definidas, tal como se observa en las tablas n°34, n°2, n°3, n°4 y n°5.

5.8.3 Costos de la operación

5.8.3.1 Bonos a Agricultores

Como se mencionó anteriormente, el costo total de la operación es de \$2.730.543.287, de los cuales \$83.627.500 corresponden a los bonos entregados a los agricultores, lo que representa aproximadamente el 3% del costo total. Talagante es el punto que más pagó en bonos, con un total de \$43.812.500, lo que representa el 53% del costo total de los bonos. Le sigue Coronel con

\$21.693.600, que equivale al 26%, y en tercer lugar se encuentra Copeval, con \$15.542.400, representando el 19%. Finalmente, Cotrisa tiene el porcentaje más bajo, con \$2.509.400, es decir, aproximadamente el 3%. Los demás puntos de acopio, como Cajón, Paillaco, Victoria y Temuco, no pagan bonos, como se ha mencionado anteriormente. Esta información se puede observar en la tabla n°13.

5.8.3.2 Costo de Abastecimiento Segundo Ciclo

Según la tabla n°14 el costo total pagado a los camioneros para realizar los fletes es de \$1.452.339.584, lo que corresponde al 53% del costo total de la operación. De este total, el 54% corresponde a los fletes hacia Talagante, con un monto de \$786.210.260, siendo la planta que más paga a los camioneros para su abastecimiento. En segundo lugar está Coronel, con \$517.444.850, lo que representa el 36%, y en último lugar está Temuco, con \$148.684.474, representando solo el 10%, siendo la planta que menos paga por fletes.

5.8.3.3 Costo por Almacenamientos de Puntos de Acopio Externos

El costo total por almacenamiento en los puntos externos es de \$952.222.560, lo que representa el 35% del costo total de la operación. De este monto, el 64% corresponde al almacenamiento de Copeval, con un total de \$614.046.099. Le sigue Victoria con \$274.730.415, representando el 29%, y finalmente Cotrisa, con \$63.446.044, lo que equivale aproximadamente al 7% del costo total de almacenamiento esto se puede ver en la tabla n°15.

5.8.4 Comparación con datos reales

Si se observan las tablas n°6, n°7 y n°18, n°19, que corresponden a los agrupamientos de los envíos, donde 6 -7 proviene de la optimización y 18-19 de los datos reales, se puede notar que, en términos generales, la tendencia es muy similar, aunque existen pequeños cambios que afectan al valor total.

La distribución agrícola de la empresa utiliza el punto de Rapaco, lo cual no es considerado en la optimización. Como resultado, los totales de las zonas cambian, pero esto se debe a la entrada de datos. Esta discrepancia se detalla en la discusión. Sin embargo, no es un factor que afecte directamente la distribución de los agricultores a las plantas. Por otro lado, el precio de los bonos sí presenta diferencias significativas, lo que se analizará en los análisis de sensibilidad. Al observar cada envío de las zonas hacia los puntos de acopio, se puede destacar lo siguiente:

- Cajón no recibe del norte en la optimización, pero sí en los datos reales, aunque con un valor muy bajo. Lo más destacable es la diferencia en los envíos que recibe de Temuco y

Sur, ya que en la optimización estos valores son similares, separados por aproximadamente 4 millones de kg, mientras que la empresa destina la mayor parte de los envíos de Temuco, seguido de Sur y Norte, con una diferencia de 20 millones de kg entre Temuco y Sur.

- Copeval no recibe del Sur en ninguno de los dos casos. En la optimización, se utiliza tanto el Norte como Temuco para llenar este punto, mientras que Maltexco solo distribuye del Norte hacia Copeval.
- Coronel es uno de los puntos con mayor diferencia, ya que en la optimización recibe 3.564.978 kg más que en los valores reales, siendo la mayoría de estos envíos de Temuco y Norte. En cambio, en los datos reales, Coronel recibe casi todo del Norte y una pequeña cantidad del Sur.
- Cotrisa muestra casi ninguna diferencia, excepto en el total, con una diferencia de 160.000 kg, lo cual es mínimo. La distribución por zona hacia este punto es la misma en la optimización y en los valores reales.
- Paillaco presenta una distribución y un total muy similares entre la optimización y los datos reales, con una diferencia aproximada de 600.000 kg de cebada.
- Talagante es otro de los puntos con mayor diferencia, con un delta de 5 millones de kg en el total de cebada enviada. Sin embargo, la distribución entre los puntos es igual en ambos casos, ya que solo recibe de Norte y Temuco.
- Temuco presenta una diferencia mínima de menos de 1 millón de kg de cebada, siendo el modelo el que entrega un poco más, aunque la distribución de zonas es la misma.
- Victoria tiene una diferencia de 2 millones en el total, siendo el modelo quien entrega menos, aunque ambos modelos pueden entregar la misma cantidad. La distribución de zonas es igual en ambos casos.

A pesar de que no haya grandes diferencias a simple vista, estas se reflejan en los costos. En la optimización, el costo de los bonos a agricultores es de \$83.627.500 CLP, como se mencionó anteriormente, mientras que los costos reales de la empresa son de \$56.138.745 CLP, lo que representa un 49% de aumento en el costo de los bonos a agricultores en la optimización.

Distribución de Puntos de Acopio a Plantas - Segundo Ciclo del Modelo

En cuanto a la distribución de los puntos de acopio a las plantas, que se puede ver en las tablas n°7, n°19 y n°20, el primer punto a destacar es que en la optimización Paillaco no se utiliza para abastecer a las plantas, siendo el único punto que se llena en la recepción agrícola pero que no distribuye a las plantas. Tampoco se registran envíos desde Rapaco, ya que este punto no se abastece en la recepción. En cuanto a los demás puntos, se puede observar lo siguiente:

- Cajón presenta valores similares entre la optimización y los datos reales. En ambos casos, este punto distribuye a todas las plantas, pero el total muestra una gran diferencia, ya que, en la optimización, se mueven 10 millones más de kg de cebada desde este punto a las plantas. La distribución de envíos entre cada planta en la optimización es del 35%, 56% y 9% para Coronel, Talagante y Temuco, respectivamente, mientras que en los datos reales, la proporción es del 18%, 33% y 56%.
- Copeval presenta valores similares entre los resultados, con pequeñas diferencias en el total de cebada almacenada. Sin embargo, la proporción de distribución a las plantas es diferente. En la optimización, se envía un 53% a Coronel y un 47% a Talagante, mostrando una distribución equitativa. En cambio, los datos reales asignan un 76% a Coronel y un 24% a Talagante, lo que genera una distribución mucho más desbalanceada.
- Cotrisa es el punto con menos diferencia entre la optimización y los valores reales, ya que tanto la distribución como la proporción y el total son muy similares o iguales. Esto se debe a que, en ambos casos, distribuye únicamente a Coronel y Talagante, con proporciones del 52%-54% y 48%-46%, respectivamente.
- Victoria presenta cantidades muy similares en lo que se envía, como es de esperarse de los puntos externos, pero la distribución y sus proporciones son diferentes. En la optimización, se distribuyen a todas las plantas, con porcentajes del 20%, 18% y 53% para Coronel, Talagante y Temuco, respectivamente. Sin embargo, en los datos reales, Coronel no es utilizado, y la proporción entre Talagante y Temuco es 7% y 93%, lo que genera una diferencia considerable en cómo se utiliza este punto.

Con esta distribución realizada por la empresa, el costo total asciende a \$1.726.524.131 CLP, lo que representa aproximadamente un 119% más que lo pagado en la optimización, cuyo costo es de \$1.452.339.584 CLP. Esto resulta en un ahorro de \$274.184.547 CLP, lo que corresponde a un 18% de la operación. Estos valores se pueden observar en la tabla n°33, que corresponden a las tablas de costo. Al observar los totales de esta planta, se puede ver que la

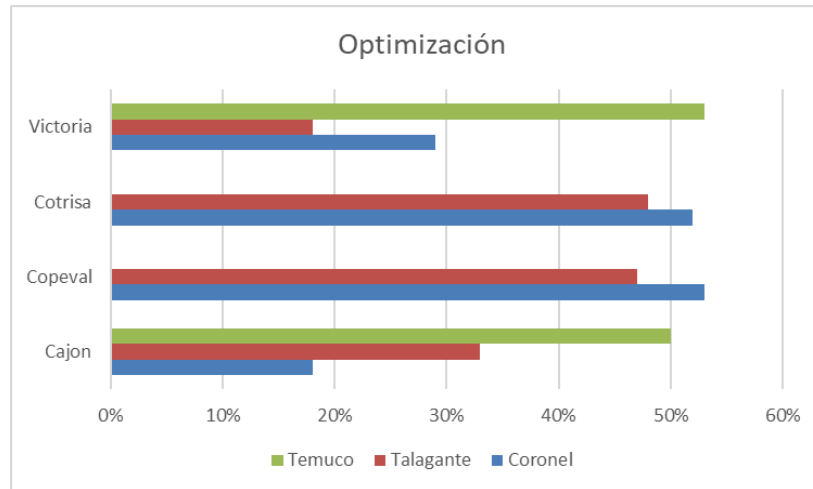
distribución de proporción cambia directamente el costo total. A pesar de que casi las mismas cantidades se mueven en el tiempo establecido, se observa una disminución significativa en el costo, donde Talagante y Temuco presentan más ahorro en la optimización, con aproximadamente 23% y 18% de ahorro, respectivamente. Si observamos los puntos y la suma de sus costos totales, no hay tanta variación entre los costos, pero hay diferencias considerables al comparar los costos de Rapaco y Paillaco en los datos reales. El uso de estos puntos aumenta el costo de la operación en \$480.400.920 CLP, lo que representa el 28% del costo de los fletes. En el resto de los puntos, se observan las siguientes diferencias:

- Cajón: Aunque tiene costos similares, hay una gran diferencia, ya que en la optimización se mueven 10 millones más de kg de cebada, lo que debe generar un costo mayor. Sin embargo, no es así, ya que se paga un 2% menos, moviendo un 151% más. Esto es realmente destacable y podría explicar por qué Paillaco no se utiliza durante el año, ya que Cajón se define como el punto para guardar la cebada para el siguiente año.
- Copeval: Este punto presenta un aumento en los costos comparado con los datos reales, ya que paga un 124% más, lo que corresponde a \$105.743.060 CLP adicionales. Esto se debe a que en la optimización, Copeval mueve aproximadamente 4 millones más de kg de cebada.
- Cotrisa: Como es de esperarse, debido a la comparación de tendencias, sus costos son muy similares.
- Victoria: A pesar de tener cantidades muy similares en los envíos, la distribución es diferente. En la optimización, al ser más equilibrada para abastecer las necesidades de las plantas, se paga un 157% más, lo que corresponde a \$128.039.284 CLP de diferencia, casi el mismo valor que paga la empresa para mover cebada de Victoria a Coronel, operación que no realiza la empresa en su distribución.

También se puede visualizar las diferencias de distribución en los siguientes 2 gráficos

Figura 3

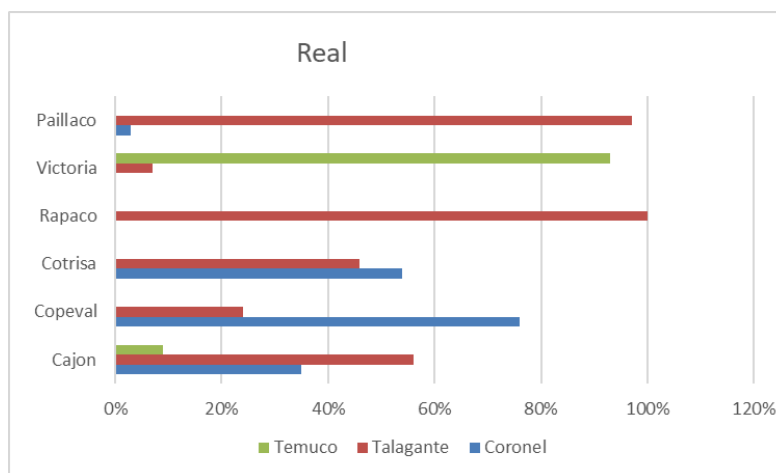
Gráfico de distribución de optimización



Porcentaje de distribución del segundo ciclo del modelo

Figura 4

Gráfico de distribución real



Porcentaje de distribución del segundo ciclo de la operación real

Donde el gráfico 1 representa la distribución por la optimización y el gráfico 2 los datos reales, a simple vista se ve como el modelo distribuye de manera más equilibrada, pues los porcentajes no superan el 55 %, no así en el caso real, donde se reparte de manera más dispereja la cebada.

Inventarios Externos y Movimientos

En cuanto a los inventarios externos y los movimientos durante el año, que tienen estos puntos de acopio hacia las plantas para vaciar sus capacidades, se puede observar en las tablas n°6 y n°19 de envíos de optimización/datos reales y en las tablas n°8 y n°21 de inventarios de optimización/datos reales y la tabla n°22 de los costos de almacenamientos reales. De manera general, el hecho de no utilizar Paillaco y Rapaco en la distribución del segundo ciclo permite un vaciado más rápido de los puntos de acopio externos, lo que también implica un menor costo. Si analizamos los movimientos por separado:

- Cotrisa: Es el punto más similar, ya que el tiempo de operación es el mismo (3 meses), con la diferencia de que la empresa hace movimientos desde febrero hasta abril, no respetando el costo máximo de ese punto. El modelo, como se mencionó anteriormente, inicia en marzo y realiza su último movimiento en mayo, respetando el costo máximo.
- Copeval: Presenta algunas diferencias. En los datos reales, realiza su primer movimiento en abril y, al final del proceso, el punto sigue con cebada. Sin embargo, en la optimización, se respeta el tiempo de capacidad máxima, con movimientos desde junio hasta octubre.
- Victoria: En ambos casos, los movimientos comienzan en marzo, pero la empresa no cumple con el contrato, ya que la cantidad movida en ese período es menor al establecido por contrato. Este valor es el mismo que tiene Victoria en la optimización. Además, se puede observar que Victoria es utilizada por la empresa durante todo el resto del año, dejando un poco de almacenamiento y realizando un movimiento en el último mes. En cambio, en la optimización, el último movimiento ocurre en noviembre, generando un ahorro en el costo.

El costo total de los almacenamientos externos, según lo hecho por la empresa, es de \$1.225.765.633 CLP, lo que representa un aumento del 128% respecto al valor entregado por la optimización. Esto genera un ahorro de \$273.543.073 CLP, lo que equivale a un 3% de aumento

en el costo de almacenamiento directo de la operación. También se debe recalcar que los costos de almacenamiento de las plantas no están completos, ya que cuando se realiza la comparación, los datos llegan hasta octubre y no se utilizan los almacenamientos máximos para Cotrisa y Copeval, lo que también podría generar un pequeño aumento. Además, el uso de Rapaco suma un costo del 3% al total del costo de almacenamiento, evaluando solo el costo directo de la operación.

Finalmente, los costos de entradas son casi idénticos, con la única diferencia de que se le agrega el valor por abastecer Rapaco. El costo total de la operación es de \$3.276.344.254 CLP, con un aumento aproximado del 120% en comparación con el costo de la optimización, lo que genera un ahorro de \$545.800.966 CLP, es decir, aproximadamente un 17% del costo de la operación realizada por la empresa.

6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para el análisis de sensibilidad, se plantean 7 escenarios distintos, de los cuales se analizarán los mejores 2. Los primeros 4 escenarios corresponden al aumento de almacenamiento general de las plantas y puntos propios en 10,000 T, excluyendo Temuco. Los otros 3 casos corresponden al modelo sin costo de almacenamiento y de movimientos de cebada para los puntos externos. De esta forma, se evaluará cuánto se puede ahorrar al aumentar los almacenamientos propios o al optar por adquirir puntos externos.

Los costos totales de los casos a evaluar se pueden observar en la tabla n°23 , donde se observa que los costos totales y ahorros son similares en los resultados. Los puntos externos presentan un mayor ahorro en la optimización: 28% para Copeval, 24% para Victoria y 12% para Cotrisa. Por esta razón, se seleccionó Copeval para su evaluación, a pesar de que la diferencia con Victoria es de 100 millones de CLP. En cuanto a los puntos de almacenamiento propios, los ahorros son menores. Temuco presenta un ahorro del 9%, Coronel del 10%, Cajón del 12% y Paillaco del 9%. Por lo tanto, se decidió evaluar los resultados de Cajón, Temuco y Coronel debido a la similitud en los ahorros. Aunque Temuco y Paillaco tienen porcentajes iguales, hay una diferencia de 3 millones entre sus costos. Por lo tanto, Paillaco se excluye de la evaluación, además de un punto importante y es que de acuerdo con los resultados del modelo, Paillaco no se utiliza debido a sus altos costos de transporte, lo que justifica su exclusión del análisis.

En términos de viabilidad para la empresa, no se evaluará ningún punto externo, ya que, aunque ofrecen ahorros más elevados, la inversión para adquirir un punto externo completo podría superar los 30 mil millones de pesos, lo cual resulta poco viable. En cambio, ampliar en 10,000 T la capacidad de las plantas tendría un costo aproximado de 2.5 mil millones de pesos chilenos, lo que lo convierte en un escenario más realista tanto para la empresa como para el modelo. Una inversión superior a los 30 mil millones podría tardar años en amortizarse, incluso con la optimización del modelo. En contraste, ampliar la capacidad de almacenamiento en las plantas es una opción más viable a corto plazo.

Escenario 1: Ampliación de Capacidad de Temuco en 10,000 T

Al aumentar la capacidad máxima de Temuco en 10,000 T, se obtiene un ahorro de \$253,923,288 CLP. Sin embargo, al observar los costos generales de la operación en la tabla n°26, se observa que los costos de fletes aumentan un 106%, a pesar de que se mueven 200,000 kg de Cebada menos durante el período. Esto se debe a la inclusión de Paillaco, un hecho que no ocurría previamente. Al revisar la tabla n°24, que refleja los porcentajes de distribución, se nota

que los valores son similares, pero con algunas diferencias. Cajón, por ejemplo, redistribuye un porcentaje de Temuco hacia Talagante y Coronel para suplir la diferencia. Como resultado, el modelo asigna un mayor porcentaje de envíos a Talagante desde Copeval y Cotrisa. Victoria, por su parte, muestra el mayor cambio: en la primera optimización, hace una distribución pareja entre los puntos, pero al aumentar la capacidad de Temuco, deja de distribuir hacia Talagante, moviendo más cebada a Temuco y Coronel. Paillaco se utiliza al 100% en Temuco.

Los costos de bonos a agricultores disminuyen en \$31 millones, lo cual es un ahorro considerable. Aunque las cantidades enviadas no cambian, ya que el modelo exige que los agricultores envíen todo lo que cosechan, la distribución de las cantidades varían, aunque las zonas se mantienen similares entre la optimización. Cotrisa y Temuco son los puntos más afectados, pues Temuco recibe 10,000 T adicionales de cebada, mientras que Cotrisa recibe 6,000 T menos. Victoria y Copeval también reciben menos cebada de los agricultores. Si se suman las diferencias en estos puntos, se obtiene un total de 10,000 T, que corresponde a lo que se envía a Temuco. Cabe destacar que los kg de cebada extra que recibe Temuco provienen únicamente de Temuco, ya que no hay costo de abono por agricultor. Por consiguiente, la menor entrada de datos a los puntos de acopio externos también reduce los costos de entrada y almacenamiento general, alcanzando reducciones del 73% y 78% en comparación con la optimización inicial, esto se puede ver en la tabla n°26.

Escenario 2: Ampliación de Capacidad de Coronel en 10,000 T

Al ampliar la capacidad de Coronel en 10,000 T, se obtiene un ahorro de \$285,689,588 CLP. Al revisar los valores de la tabla n°27, los porcentajes son casi los mismos que en el escenario de Temuco. Se observa una disminución en los costos de fletes del primer ciclo, aunque aún sigue siendo mayor que en la optimización inicial, representando un 105% de los costos originales. Los costos de bonos y de entrada de datos aumentan en 10 millones para los bonos y en 1 millón para los datos de entrada. Sin embargo, los costos de almacenamiento se ven reducidos en 4 millones, comparados con el análisis previo.

Al observar el agrupado de los envíos, se ve que se abastecen 200,000 kg de cebada menos. A pesar de esto, los costos de fletes aumentan. En la tabla n°27, se observa que los valores para Copeval son iguales tanto para Temuco como para Coronel. Cotrisa es el punto que más cambia, ya que solo distribuye a Talagante. Para Coronel y Paillaco, la distribución se ajusta

para suplir la demanda de Talagante y Temuco, mientras que Victoria, como en el análisis anterior, no distribuye a Talagante, pero dirige más cebada a Coronel y menos a Temuco.

Al revisar la tabla n°28, que corresponde al agrupado del primer ciclo, se ve que Coronel recibe las 10,000 T de cebada provenientes del Norte, lo cual no tiene costo agregado, pero los envíos desde Temuco sí lo tienen. Para compensar esta diferencia, los puntos de Copeval y Cotrisa se llenan menos, con Cotrisa casi sin ser utilizada, ya que solo se le asignan 400,000 kg de cebada. Además, Victoria se utiliza al 100% de su capacidad, lo que no ocurría hasta el momento. Esto explicaría por qué sus costos de entrada y bonos son más altos, pero no así sus costos de almacenamiento, ya que Victoria tiene el costo de entrada más alto entre todos los puntos, mientras que Coronel es el punto con menor costo de almacenamiento, esta información se puede ver en la tabla n°29.

Escenario 3: Ampliación de Capacidad de Cajón en 10,000 T

Finalmente, Cajón es el punto que más ahorra al aumentar su capacidad máxima en 10,000 T, alcanzando un ahorro de \$319,379,144 CLP. De este ahorro según la tabla n°32, el 58% corresponde a los bonos, siendo el punto que menos pagaría a los agricultores. También presenta un 75% de ahorro en costos de almacenamiento, siendo el que más paga en almacenamiento entre los tres puntos evaluados, y tiene un costo de entrada de datos similar al de las otras optimizaciones. El costo de flete es mayor, pero se envían las mismas cantidades, con una diferencia de sólo 1% en comparación con la optimización principal.

En cuanto a la distribución agrícola, se observa que se envían los 10,000 T a Cajón, pero hay una menor asignación hacia Copeval, Cotrisa y Victoria, como se ve en la tabla n°31. Hay un equilibrio, al igual que en los otros dos casos, respecto a lo que se debe llenar, cumpliendo con lo que los agricultores envían. Al revisar la tabla n°30 de los envíos de esta optimización, se observa que Cajón es el punto más utilizado, con una diferencia de 8 millones de kg respecto a Copeval, lo que indica que las distribuciones son muy similares a la optimización principal, con pequeños ajustes en los porcentajes. Cajón realiza una mayor distribución hacia Talagante, mientras que Copeval y Cotrisa incrementan sus envíos hacia Talagante. Victoria, al igual que en los otros dos escenarios, no realiza envíos a Talagante, y distribuye de manera más equilibrada entre Coronel y Temuco, con una proporción de 53% y 47%, respectivamente.

Conclusiones de análisis de sensibilidad

Los resultados del análisis de sensibilidad muestran que la ampliación de almacenamiento tiene un impacto directo en la distribución de los agricultores y en cómo se

llenar los puntos de acopio, lo que a su vez influye en cómo se distribuye la cebada a las plantas para satisfacer la demanda. Cajón resulta ser la opción más viable, ya que es el punto con mayor ahorro y el que menos tiempo tomaría en pagar la inversión, utilizando al máximo su capacidad durante el año. Esto contrasta con Paillaco, que no utiliza su almacenamiento por completo, lo que implica que, en el siguiente año, se tendrían que mover cantidades adicionales a las plantas, generando costos adicionales.

En cuanto a las plantas, la ampliación de almacenamiento permite que los agricultores envíen más cantidades al principio, lo que genera un ahorro en los costos de flete. Este ahorro no se refleja completamente en la optimización, pero al observar los resultados a largo plazo, se ve que la expansión de almacenamiento es viable a corto plazo. La decisión final depende más de los intereses y estrategias de la empresa, ya que los ahorros entre los análisis no superan el 4% de diferencia. Por lo tanto, la inversión en la expansión de almacenamiento debe ser evaluada en función de la rentabilidad a corto plazo y de las necesidades de distribución de la cebada.

7. IMPLEMENTACIÓN EN LA EMPRESA

Para la implementación del programa en la empresa, existen varias opciones a considerar. Como base, se podría contratar Gurobi para resolver el solver, aunque también existe la posibilidad de cambiar el solver una vez que el modelo esté firme. No obstante, este cambio tendría implicaciones en términos de tiempo, ya que se requeriría reprogramar el modelo en un lenguaje nuevo para adaptarlo al nuevo solver.

Si la empresa opta por seguir utilizando Guroby como solver, el programa actual funciona con entradas y salidas de Excel, lo que permite hacer variaciones respecto a la recepción agrícola, consumos, cantidades iniciales, almacenamientos, recibos máximos, y variedades, entre otros parámetros. El modelo entrega resultados en Excel para que puedan ser trabajados como se hizo en la memoria. Sin embargo, el programa tiene algunas limitaciones, como la imposibilidad de cambiar plantas y puntos de acopio de manera directa, a diferencia de otros parámetros. Esto se debe a la forma en que está programado.

Aunque es posible modificar y hacer ajustes en la clase y objetos del software, esta opción, si se lleva a cabo, convertiría el programa en una herramienta más profesional. También está la posibilidad de crear una interfaz para realizar los cambios directamente en esta, en lugar de depender de Excel, lo cual sería mucho más cómodo para el usuario. Esta opción no solo facilita la modificación de los datos, sino también permite detectar errores en los balances de masas al ingresar datos incorrectos, lo que podría generar conflictos con las restricciones. No obstante, como en el caso anterior, esta opción requeriría más programación, lo cual implicaría un costo adicional para una implementación completa y profesional del software, permitiendo que funcione de manera indefinida en la empresa.

Por lo tanto, la empresa tiene dos opciones: invertir solo en el solver y utilizar el programa tal como está, aprovechando su funcionalidad actual de entrada y salida de datos, o pagar por una implementación más profesional que permita a cualquier usuario realizar modificaciones sin necesidad de tener conocimientos técnicos del modelo. En este último caso, sólo se trabajaría con una interfaz para realizar cambios, obtener resultados y asegurar que el programa sea funcional a largo plazo en la empresa.

8. DISCUSIÓN

La implementación de un modelo de optimización lineal para abordar de manera más eficiente las decisiones relativas al almacenamiento y abastecimiento de cebada de la empresa Maltexco es acertada. Como se mencionó desde el inicio, la empresa enfrenta una gran cantidad de variables y decisiones a lo largo de periodos de tiempo extensos, lo que genera que no siempre se seleccionan los mejores resultados para el proceso. Esta falta de optimización ha causado un aumento de los costos, lo cual ha sido demostrado en este trabajo. La aplicación del modelo resulta en un ahorro significativo de aproximadamente \$600 millones de CLP, lo que representa un 18% del costo total de la operación. Este ahorro se refleja directamente en cómo se utilizan los puntos de distribución disponibles para las plantas, optimizando la manera en que se distribuye la cebada durante los dos ciclos (primero y segundo) del proceso.

Aunque el modelo presenta algunas limitaciones en relación con los almacenamientos —específicamente porque utiliza las cantidades totales de los silos en lugar de los silos individuales, como ocurre en la realidad—, esta aproximación ha funcionado para generar resultados que son coherentes con la operación de la empresa. Las restricciones, aunque programadas de forma estricta para acercar los resultados a la realidad, pueden ajustarse para aumentar la flexibilidad del modelo. Por ejemplo, al fijar qué variedad de cebada es trabajada en cada planta, se limita la flexibilidad en los movimientos. Sin embargo, si se flexibiliza este enfoque, permitiendo que el modelo decida qué plantas distribuirán cada cosecha de cebada, en función de los consumos y otros factores, se puede obtener una optimización mejor. A pesar de estas limitaciones, el modelo ha demostrado ser eficiente para alcanzar resultados equivalentes a los de la operación real de la empresa, mostrando diferencias claras en la distribución y manejo de la cebada.

El uso de almacenamientos generales y no específicos por silos, no ha tenido un impacto directo en los resultados, ya que, a pesar de esta limitación, se lograron resultados coherentes a la realidad sin necesidad de tener que detallar el movimiento que hay entre ellos. Esto significa que la empresa debe tomar decisiones sobre qué silos trabajar, un aspecto que podría ser gestionado completamente por el modelo. Sin embargo, no existen problemas fundamentales para seguir modificando el código en el futuro, lo que permite ajustar el modelo según sea necesario.

A pesar de las limitaciones, el modelo tiene una base sólida que permite complejizar aún más el problema, agregando variantes como la producción, las ventas y el control de stocks en tiempo real de los almacenamientos de la empresa. Esto podría ir acompañado de más funciones

objetivo, lo que proporciona soluciones más robustas y detalladas. Los resultados obtenidos han sido consistentes con la realidad de la empresa y presentan una mejora considerable, a pesar de los pequeños cambios en la forma en que la empresa opera.

Tendencias de Movimientos en Optimización vs. Realidad

La distribución de la cebada entre la optimización y los datos reales son similares en algunos aspectos, aunque sus diferencias son importantes. Una de las mayores diferencias es que en el modelo de optimización no se contrata Rapaco como punto externo, y Cajón se utiliza para realizar movimientos durante el año en lugar de Paillaco. Esta decisión es clave, ya que Rapaco, aunque es un punto estratégico para la agroindustria de la zona, genera un costo agregado significativo tanto en almacenamiento como en fletes. El uso de Rapaco implica no solo un costo directo para el almacenamiento y los fletes, sino que también limita la capacidad de mover cebada de otros puntos externos con mayor impacto en los costos, como se observa en este análisis. El modelo, al no utilizar Rapaco, optimiza el vaciado de los puntos externos durante todo el año, mientras que la operación de la empresa, al hacer más movimientos desde Paillaco y Rapaco, deja cantidades en puntos externos como Copeval y Victoria al final del periodo.

La importancia de no utilizar Rapaco directamente tiene un impacto no solo en los costos de almacenamiento y fletes de un solo centro, sino también en cómo se vacían los puntos de acopio externos a lo largo del año. Dado que los consumos son similares entre los meses, las cantidades a mover son limitadas, y tomar las decisiones correctas sobre qué mover, desde dónde y en qué momento, tiene una implicación directa en el costo general. Por ejemplo, al no usar Rapaco, se logra un ahorro de 200 millones de CLP, lo que implica que, si se comparan con los datos finales de la empresa, el ahorro podría ser incluso mayor. Esto se debe a cómo y cuándo se mueven las cantidades de cebada, lo que demuestra que la opción de no utilizar Rapaco es completamente recomendable, a pesar de los posibles conflictos con los contratos de los puntos de acopio.

Repartición Agrícola y su Influencia en la Distribución de Cebada

Un aspecto clave a destacar es cómo se comporta la repartición agrícola y cómo esta tiene una influencia directa en qué puntos utilizar y cómo se distribuye la cebada. Esto se observa a lo largo del trabajo, particularmente en la comparación heurística y en el análisis de sensibilidad. Si analizamos los resultados de la comparación, se puede ver que el modelo utiliza muchos más agricultores para realizar los envíos a las plantas, la empresa no lo hace de la misma forma. En los primeros meses, los almacenamientos de la empresa no se llenan completamente. El caso más

importante es Talagante, la planta más cara de abastecer, tanto por los agricultores como por los puntos de acopio. El modelo prefiere llenar los puntos con cosechas frescas y realizar una distribución equilibrada entre los puntos de menor costo.

En cambio, la empresa no evalúa correctamente este punto y realiza envíos desde Paillaco y Rapaco hacia Talagante, lo que representa un aumento en las tarifas. El modelo, al no utilizar estos puntos, logra una distribución más equilibrada y eficiente. Si se observa el análisis de sensibilidad, se puede ver que cambiar los almacenamientos totales afecta directamente cómo se distribuyen los agricultores durante la cosecha, qué puntos externos se utilizan y cómo queda la distribución del segundo ciclo para abastecer las plantas. Por ejemplo, Cotrisa es el punto que presenta menos variaciones en su distribución, pero es también el punto que el modelo prefiere no utilizar cuando se aumentan las capacidades de almacenamiento, dado que tiene una mayor variabilidad en el abastecimiento.

Este análisis destaca la importancia de contar con un programa de optimización para problemas con múltiples decisiones, ya que pequeños cambios pueden alterar por completo el proceso de distribución de cebada desde el inicio hasta el final, y por ende, afectar el costo total de la operación. Esto pone en evidencia los riesgos asociados a las decisiones tomadas de manera intuitiva, basadas en experiencia, lógica y comodidad, como es el caso de la empresa.

A pesar de las diferencias entre el modelo de optimización y la operación real de la empresa, se ha demostrado que el uso de un modelo de optimización es crucial para mejorar la eficiencia en el manejo de la cebada, especialmente en lo que respecta a la toma de decisiones sobre qué, cuándo y cómo mover la cebada en función de los costos y la demanda. Los ahorros generados por el modelo no solo mejoran la rentabilidad de la empresa, sino que también ofrecen una base sólida para futuras optimizaciones. Sin embargo, es fundamental que la empresa considere la viabilidad de las decisiones propuestas en el modelo, particularmente la no utilización de ciertos puntos de acopio, y la flexibilidad del modelo para adaptarse a situaciones de negocio cambiantes.

9. CONCLUSIÓN

La presente investigación abordó un problema real y estratégico en la cadena de suministro de Maltexco, una de las únicas malterías en Chile, cuya posición única en el mercado nacional motivó el desarrollo de una solución profesional que optimiza sus operaciones. Mediante un modelo de optimización lineal, se logra minimizar los costos operativos asociados al almacenamiento, transporte y distribución de cebada, considerando restricciones contractuales, capacidades de almacenamiento y demandas de producción. Este modelo no solo cumplió con los objetivos planteados, sino que también genera una herramienta programada que puede ser utilizada para la toma de decisiones estratégicas en tiempo real, así como en proyectos futuros, tales como la ampliación de almacenamiento o la renegociación de contratos con proveedores.

El impacto del modelo no se limita a Maltexco. También destaca su relevancia para la agroindustria chilena, al demostrar cómo una gestión eficiente puede traducirse en beneficios económicos tanto para la empresa como para los agricultores. Por ejemplo, al comparar los resultados del modelo con las operaciones actuales de la empresa, se identificó un aumento del 149 % en los costos reales frente a los optimizados. Este ahorro potencial evidencia la importancia de adoptar soluciones basadas en modelos matemáticos para maximizar el valor económico de las operaciones.

Desde una perspectiva técnica, este trabajo valida el uso de Gurobi como un solver altamente eficiente para resolver problemas logísticos complejos. A pesar de los desafíos iniciales asociados a su implementación, como la precisión requerida en la formulación matemática, su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y restricciones en tiempos computacionales mínimos lo convierte en una herramienta clave para futuras investigaciones y aplicaciones en la agroindustria.

Entre los principales desafíos enfrentados, se destaca la adaptación del modelo matemático a la programación, así como la obtención de datos concretos por parte de la empresa. Este proceso evidenció la importancia de establecer desde el inicio reuniones constantes y definir claramente los requisitos de información para abordar problemas de alta complejidad. Estas lecciones son clave para futuros desarrollos en este ámbito.

Finalmente, este trabajo sienta las bases para nuevos modelos multiobjetivo que, además de optimizar costos, consideren métricas de sostenibilidad, tiempos de entrega y producción. La implementación práctica del modelo desarrollado tiene el potencial de transformar significativamente las operaciones de Maltexco, mejorando su posición competitiva tanto a nivel

nacional como internacional. Asimismo, abre la puerta para aplicaciones similares en otras áreas de la agroindustria chilena, como la producción de trigo, donde múltiples actores y puntos de producción presentan desafíos logísticos comparables.

10. BIBLIOGRAFÍA

La información recopilada de la empresa, es adquirida mediante reuniones con gente de la empresa, concretamente con el jefe en logística Arturo Azocar de Maltexco S.A.

Amazon Web Services. (s.f.). ¿Qué es Python? <https://aws.amazon.com/es/what-is/python/>

Arimetrics. (s.f.). ¿Qué es Google Maps?

<https://www.arimetrics.com/glosario-digital/google-maps>

Bertsimas, D., & Tsitsiklis, J. (1997). Introduction to Linear Optimization. Athena Scientific.

Brea, E. (s.f.). ¿Optimización por Simulación u Optimización para la Simulación? Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela.

https://www.researchgate.net/profile/Ebert-Brea/publication/265165060_Optimizacion_por_Simulacion_u_Optimizacion_para_la_Simulacion/links/540229cd0cf2bba34c1b7d69/Optimizacion-por-Simulacion-u-Optimizacion-para-la-Simulacion.pdf

Caballero, J., & Grossmann, I. (2007). Una revisión del estado del arte en Optimización.

https://www.researchgate.net/publication/28152844_Una_revision_del_estado_del_Arte_en_Optimizacion

Chopra, S., & Meindl, P. (2020). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation (7th ed.). Pearson Education.

Economipedia.(s.f.).Análisis de sensibilidad.

<https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-sensibilidad.html>

Economipedia.(s.f.).Cadena de suministro.

<https://economipedia.com/definiciones/cadena-de-suministro.html>

Economipedia. (s.f.). Optimización.

<https://economipedia.com/definiciones/optimizacion.html>

EIPOS Grados. (s.f.). ¿Qué es Anaconda?

<https://eiposgrados.com/blog-python/que-es-anaconda/>

Excel Para Todos. (s.f.). ¿Qué es Excel?

<https://excelparatodos.com/que-es-excel/>

Granillo Marcias, J., Olivares, E., Martínez, J., & Caballero, O. (2018). Analysis of logistic cost in contract agriculture: the case of barley supply chain in Hidalgo, México.

https://www.researchgate.net/publication/324757130_Analysis_of_logistic_cost_in_contract_agriculture_the_case_of_barley_supply_chain_in_Hidalgo_Mexico

Gruson, M., Poulston, T., & Tseng, A. (2021). Auxiliary variables in the optimization of complex systems: Applications in logistics and supply chains. *Journal of Applied Optimization and Systems Science*, 33(4), 549–572. Disponible en Oxford Academic.

Gurobi Optimization, LLC. (2023). Gurobi Optimizer Reference Manual.

<https://www.gurobi.com>

Gurobi Optimization, LLC. (s.f.). Página principal. <https://www.gurobi.com>

IONOS. (s.f.). ¿Qué es Jupyter Notebook?

<https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/jupyter-notebook/>

- Köksalan, M., & Süral, H. (1999). Efes Beverage Group Makes Location and Distribution Decisions for Its Malt Plants. *Interfaces*, 29(2), 89–103.
<https://doi.org/10.1287/inte.29.2.89>
- López, J. (2013). Optimización multi-objetivo: aplicaciones a problemas del mundo real.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27920>
- Maltexco S.A. (2024). Informe interno sobre la cadena de suministros.
- Mora Escobar, H. M. (1995). ¿Qué es el Método de Karmarkar? Universidad Nacional de Colombia. http://hectormora.info/kar_m_c.pdf
- Nemhauser, G. L., & Wolsey, L. A. (1988). *Integer and Combinatorial Optimization*. Wiley-Interscience.
- Perez Peña, R. (2019). Introducción a los modelos de optimización. Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6637>
- S.a. (s.f.). Programación lineal entera. <https://www.uv.es/~sala/Clase14.pdf>
- Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., & Tarantola, S. (2008). *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. Wiley.
- Snyder, L. V., & Shen, Z. M. (2019). *Fundamentals of Supply Chain Theory* (2nd ed.). Wiley.
- Tsiakis, P., & Papageorgiou, L. G. (2008). Optimal production allocation and distribution supply chain networks. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 468-483.

Vitale, I., Dondo, R. G., González, M., & Cóccola, M. E. (2022). Modelling and optimization of material flows in the wood pellet supply chain. *Applied Energy*, 313(118776), 118776. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118776>

Vitoriano, B., & Ramos, A. (2010). *Modelos matemáticos de optimización*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid. https://www.academia.edu/18645172/Modelos_matem%C3%A1ticos_de_optimizaci%C3%B3n?auto=citations&from=cover_page

Williams, H. P. (2013). *Model Building in Mathematical Programming* (5th ed.). Wiley.

11. ANEXO

11.1 Anexo de tablas

Las tablas del anexo, en su mayoría presentan los resultados del modelo ya filtrados, ya que no agregan los valores 0, o los movimientos que no se realizan, solo los que se efectúan, esto por el tamaño de datos y que son los datos del análisis.

11.1.1 Tablas de Variables de decisión principales

11.1.1.1 Tabla N°34 Envíos de agricultores a puntos de acopio externos

Tabla 34

Envíos de agricultores a puntos de acopio externos

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	1	Irina	1.295.000	Sur	Victoria	1.211.182
Enero	5	Irina	323.700	Sur	Victoria	323.700
Enero	6	Irina	423.300	Sur	Victoria	423.300
Enero	12	Irina	830.000	Sur	Victoria	830.000
Enero	15	Irina	1.576.200	Sur	Victoria	1.576.200
Enero	16	Irina	1.411.000	Sur	Victoria	1.411.000
Enero	23	Irina	477.000	Sur	Victoria	477.000
Enero	35	Irina	203.000	Sur	Victoria	203.000
Enero	39	Irina	2.324.000	Sur	Victoria	2.324.000
Enero	42	Traveler	231.000	TEMUCO	Cotrisa	126.400
Enero	44	Irina	1.036.000	TEMUCO	Victoria	1.036.000
Enero	45	Irina	148.000	TEMUCO	Victoria	148.000
Enero	49	Irina	854.900	TEMUCO	Victoria	854.900

Tabla 34 (continuación)

Envíos de agricultores a puntos de acopio externos

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	50	Irina	664.000	TEMUCO	Victoria	664.000
Enero	51	Irina	1.743.000	TEMUCO	Victoria	1.743.000
Enero	53	Irina	622.500	TEMUCO	Victoria	622.500
Enero	54	Irina	1.110.000	TEMUCO	Victoria	1.110.000
Enero	60	Irina	1.110.000	TEMUCO	Victoria	1.110.000
Enero	64	Irina	370.000	TEMUCO	Victoria	370.000
Enero	67	Irina	1.344.000	TEMUCO	Victoria	1.344.000
Enero	73	Fandaga	650.000	TEMUCO	Copeval	650.000
Enero	79	Fandaga	260.000	TEMUCO	Copeval	260.000
Enero	82	Irina	133.000	TEMUCO	Victoria	133.000
Enero	83	Irina	1.761.200	TEMUCO	Victoria	1.761.200
Enero	84	Irina	875.000	TEMUCO	Victoria	875.000
Enero	91	Irina	1.190.000	TEMUCO	Victoria	1.190.000
Enero	92	Fandaga	273.000	TEMUCO	Copeval	273.000
Enero	93	Irina	455.000	TEMUCO	Victoria	455.000
Enero	94	Traveler	191.400	TEMUCO	Cotrisa	191.400
Enero	95	Irina	431.600	TEMUCO	Victoria	431.600
Enero	96	Irina	280.000	TEMUCO	Victoria	280.000
Enero	97	Fandaga	227.500	TEMUCO	Copeval	227.500
Enero	98	Irina	415.000	TEMUCO	Victoria	415.000

Tabla 34 (continuación)

Envíos de agricultores a puntos de acopio externos

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	99	Fandaga	585.000	TEMUCO	Copeval	585.000
Enero	99	Irina	1.344.000	TEMUCO	Victoria	1.344.000
Enero	100	Irina	217.000	TEMUCO	Victoria	217.000
Enero	103	Irina	420.000	TEMUCO	Victoria	420.000
Enero	106	Irina	166.000	TEMUCO	Victoria	166.000
Enero	108	Irina	332.000	TEMUCO	Victoria	332.000
Enero	111	Irina	166.000	TEMUCO	Victoria	166.000
Enero	114	Irina	830.000	TEMUCO	Victoria	830.000
Enero	116	Fandaga	221.000	TEMUCO	Copeval	221.000
Enero	117	Fandaga	247.000	TEMUCO	Copeval	247.000
Enero	118	Traveler	198.000	TEMUCO	Cotrisa	198.000
Enero	122	Fandaga	650.000	TEMUCO	Copeval	644.980
Enero	124	Irina	830.000	TEMUCO	Victoria	830.000
Enero	127	Irina	203.000	TEMUCO	Victoria	203.000
Enero	129	Fandaga	78.000	NORTE	Copeval	78.000
Enero	130	Irina	81.400	NORTE	Copeval	81.400
Enero	131	Traveler	567.600	NORTE	Cotrisa	567.600
Enero	132	Irina	444.000	NORTE	Copeval	444.000
Enero	133	Fandaga	377.000	NORTE	Copeval	377.000
Enero	134	Fandaga	637.000	NORTE	Copeval	637.000
Enero	136	Traveler	554.400	NORTE	Cotrisa	554.400

Tabla 34 (continuación)

Envíos de agricultores a puntos de acopio externos

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	137	Irina	483.000	NORTE	Copeval	483.000
Enero	138	Fandaga	325.000	NORTE	Copeval	325.000
Enero	139	Traveler	580.000	NORTE	Cotrisa	580.000
Enero	140	Traveler	158.400	NORTE	Cotrisa	158.400
Enero	141	Irina	1.660.000	NORTE	Copeval	1.660.000
Enero	142	Irina	1.328.000	NORTE	Copeval	1.328.000
Enero	143	Fandaga	513.500	NORTE	Copeval	513.500
Enero	144	Fandaga	487.500	NORTE	Copeval	487.500
Enero	145	Fandaga	591.500	NORTE	Copeval	591.500
Enero	146	Irina	630.000	NORTE	Copeval	630.000
Enero	147	Fandaga	292.500	NORTE	Copeval	292.500
Enero	148	Irina	406.700	NORTE	Copeval	406.700
Enero	149	Irina	740.000	NORTE	Copeval	740.000
Enero	150	Irina	420.000	NORTE	Copeval	420.000
Enero	151	Fandaga	357.500	NORTE	Copeval	357.500
Enero	153	Irina	1.110.000	NORTE	Copeval	1.110.000
Enero	154	Fandaga	325.000	NORTE	Copeval	325.000
Enero	157	Traveler	231.000	NORTE	Cotrisa	231.000
Enero	158	Fandaga	845.000	NORTE	Copeval	154.220
Enero	159	Traveler	660.000	NORTE	Cotrisa	660.000
Enero	160	Traveler	178.200	NORTE	Cotrisa	178.200
Enero	161	Irina	312.000	NORTE	Copeval	312.000

Tabla 34 (continuación)

Envíos de agricultores a puntos de acopio externos

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	162	Fandaga	975.000	NORTE	Copeval	975.000
Enero	163	Fandaga	585.000	NORTE	Copeval	585.000
Enero	166	Irina	280.000	NORTE	Copeval	280.000
Enero	167	Irina	630.000	NORTE	Copeval	630.000
Enero	168	Irina	2.100.000	NORTE	Copeval	2.100.000
Enero	169	Irina	1.502.300	NORTE	Copeval	1.502.300
Enero	172	Irina	770.000	NORTE	Copeval	770.000
Enero	173	Traveler	2.500.000	NORTE	Cotrisa	2.500.000
Enero	174	Fandaga	364.000	NORTE	Copeval	364.000
Enero	176	Irina	938.000	NORTE	Copeval	938.000
Enero	177	Irina	705.500	NORTE	Copeval	705.500
Enero	178	Irina	658.600	NORTE	Copeval	658.600
Enero	180	Traveler	125.400	NORTE	Cotrisa	125.400
Enero	181	Fandaga	585.000	NORTE	Copeval	585.000
Enero	182	Traveler	226.200	NORTE	Cotrisa	226.200
Enero	183	Irina	481.000	NORTE	Copeval	481.000
Enero	184	Fandaga	1.098.500	NORTE	Copeval	1.098.500
Enero	184	Traveler	1.026.600	NORTE	Cotrisa	1.026.600
Enero	185	Irina	370.000	NORTE	Copeval	370.000
Enero	186	Irina	370.000	NORTE	Copeval	370.000
Enero	187	Fandaga	422.500	NORTE	Copeval	422.500
Enero	188	Irina	518.000	NORTE	Copeval	518.000

Tabla 34 (continuación)

Envíos de agricultores a puntos de acopio externos

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	189	Irina	481.000	NORTE	Copeval	481.000
Enero	191	Fandaga	357.500	NORTE	Copeval	269.800
Enero	192	Irina	973.000	NORTE	Copeval	973.000
Enero	192	Traveler	917.400	NORTE	Cotrisa	917.400
Enero	193	Irina	290.500	NORTE	Copeval	290.500
Enero	194	Irina	770.000	NORTE	Copeval	770.000
Enero	194	Traveler	759.000	NORTE	Cotrisa	759.000

11.1.1.2 Tabla N°2 envíos De agricultores a puntos de acopio propios

Tabla 2

Envíos de agricultores a puntos de acopio propios

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	3	Planet	924.000	Sur	Cajon	621.313
Enero	18	Irina	162.800	Sur	Paillaco	162.800
Enero	20	Cosmopolitan	1.819.000	Sur	Cajon	1.819.000
Enero	21	Irina	207.500	Sur	Paillaco	207.500
Enero	24	Irina	1.073.000	Sur	Paillaco	1.073.000
Enero	27	Cosmopolitan	750.000	Sur	Cajon	750.000
Enero	28	Irina	1.132.200	Sur	Paillaco	5.087
Enero	29	Cosmopolitan	382.500	Sur	Cajon	382.500
Enero	33	Irina	450.000	Sur	Paillaco	450.000
Enero	34	Irina	355.200	Sur	Paillaco	355.200
Enero	40	Cosmopolitan	750.000	Sur	Cajon	750.000

Tabla 2 (Continuación)

Envíos de agricultores a puntos de acopio propios

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	41	Irina	1.547.000	Sur	Paillaco	1.547.000
Enero	43	Planet	1.050.000	TEMUCO	Cajon	1.050.000
Enero	46	Planet	700.000	TEMUCO	Cajon	700.000
Enero	55	Planet	882.000	TEMUCO	Cajon	882.000
Enero	56	Planet	700.000	TEMUCO	Cajon	700.000
Enero	81	Planet	296.000	TEMUCO	Cajon	296.000
Enero	86	Planet	420.000	TEMUCO	Cajon	420.000
Enero	107	Planet	296.000	TEMUCO	Cajon	296.000
Enero	109	Planet	296.000	TEMUCO	Cajon	296.000
Enero	113	Planet	350.000	TEMUCO	Cajon	350.000
Enero	121	Cosmopolitan	450.000	TEMUCO	Cajon	450.000
Febrero	1	Irina	1.295.000	Sur	Paillaco	83.818
Febrero	2	Planet	630.000	Sur	Cajon	630.000
Febrero	3	Fandaga	442.000	Sur	Cajon	442.000
Febrero	4	Traveler	580.000	Sur	Cajon	580.000
Febrero	7	Irina	740.000	Sur	Paillaco	740.000
Febrero	9	Fandaga	110.500	Sur	Cajon	110.500
Febrero	10	Irina	490.000	Sur	Paillaco	490.000
Febrero	11	Irina	444.000	Sur	Paillaco	444.000
Febrero	12	Planet	444.000	Sur	Cajon	444.000
Febrero	14	Fandaga	520.000	Sur	Cajon	520.000
Febrero	17	Fandaga	266.500	Sur	Cajon	266.500
Febrero	22	Fandaga	143.000	Sur	Cajon	143.000
Febrero	23	Fandaga	130.000	Sur	Cajon	130.000
Febrero	24	Fandaga	617.500	Sur	Cajon	617.500
Febrero	25	Fandaga	455.000	Sur	Cajon	455.000
Febrero	26	Irina	1.465.200	Sur	Paillaco	1.465.200
Febrero	28	Traveler	290.000	Sur	Cajon	290.000
Febrero	30	Irina	1.328.000	Sur	Paillaco	1.328.000
Febrero	31	Irina	814.000	Sur	Paillaco	814.000
Febrero	31	Traveler	812.000	Sur	Cajon	812.000
Febrero	36	Irina	192.400	Sur	Paillaco	192.400
Febrero	41	Traveler	1.900.800	Sur	Cajon	1.900.800
Febrero	42	Traveler	231.000	TEMUCO	Cajon	104.600

Tabla 2 (Continuación)

Envíos de agricultores a puntos de acopio propios

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Febrero	52	Planet	560.000	TEMUCO	Cajon	560.000
Febrero	57	Fandaga	227.500	TEMUCO	Cajon	227.500
Febrero	58	Traveler	495.000	TEMUCO	Cajon	495.000
Febrero	59	Traveler	270.600	TEMUCO	Cajon	270.600
Febrero	63	Traveler	330.000	TEMUCO	Cajon	330.000
Febrero	64	Cosmopolitan	195.000	TEMUCO	Cajon	195.000
Febrero	65	Traveler	382.800	TEMUCO	Cajon	382.800
Febrero	66	Traveler	1.122.000	TEMUCO	Cajon	1.122.000
Febrero	70	Traveler	198.000	TEMUCO	Cajon	198.000
Febrero	71	Fandaga	247.000	TEMUCO	Cajon	247.000
Febrero	75	Traveler	696.000	TEMUCO	Cajon	696.000
Febrero	76	Planet	490.000	TEMUCO	Cajon	490.000
Febrero	77	Traveler	264.000	TEMUCO	Cajon	264.000
Febrero	80	Planet	296.000	TEMUCO	Cajon	296.000
Febrero	85	Planet	407.000	TEMUCO	Cajon	407.000
Febrero	87	Traveler	158.400	TEMUCO	Cajon	158.400
Febrero	89	Cosmopolitan	300.000	TEMUCO	Cajon	284.280
Febrero	93	Fandaga	390.000	TEMUCO	Cajon	390.000
Febrero	96	Fandaga	260.000	TEMUCO	Cajon	260.000
Febrero	103	Fandaga	390.000	TEMUCO	Cajon	390.000
Febrero	104	Cosmopolitan	225.000	TEMUCO	Cajon	225.000
Febrero	108	Planet	444.000	TEMUCO	Cajon	444.000
Febrero	120	Cosmopolitan	300.000	TEMUCO	Cajon	300.000
Febrero	122	Fandaga	650.000	TEMUCO	Cajon	5.020
Febrero	123	Planet	222.000	TEMUCO	Cajon	222.000
Febrero	124	Planet	666.000	TEMUCO	Cajon	666.000
Febrero	126	Cosmopolitan	240.000	TEMUCO	Cajon	240.000
Febrero	128	Fandaga	292.500	TEMUCO	Cajon	292.500

11.1.1.3 Tabla N°3 envíos de agricultores a plantas de producción

Tabla 3

Envíos de agricultores a plantas de producción

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	8	Planet	1.110.000	Sur	Temuco	1.110.000
Enero	13	Planet	1.050.000	Sur	Temuco	1.050.000
Enero	19	Planet	2.220.000	Sur	Temuco	2.220.000
Enero	28	Irina	1.132.200	Sur	Temuco	1.127.113
Enero	33	Planet	1.050.000	Sur	Temuco	1.050.000
Enero	36	Planet	1.218.000	Sur	Temuco	1.218.000
Enero	37	Planet	1.184.000	Sur	Temuco	1.184.000
Enero	38	Irina	444.000	Sur	Temuco	444.000
Enero	38	Planet	1.050.000	Sur	Temuco	1.050.000
Enero	47	Fandaga	130.000	TEMUCO	Coronel	130.000
Enero	48	Planet	370.000	TEMUCO	Temuco	370.000
Enero	52	Cosmopolitan	637.500	TEMUCO	Coronel	637.500
Enero	53	Cosmopolitan	637.500	TEMUCO	Coronel	637.500
Enero	61	Fandaga	162.500	TEMUCO	Coronel	162.500
Enero	62	Fandaga	130.000	TEMUCO	Coronel	130.000
Enero	68	Planet	595.000	TEMUCO	Temuco	595.000
Enero	69	Irina	680.800	TEMUCO	Temuco	680.800
Enero	72	Irina	249.000	TEMUCO	Temuco	249.000
Enero	74	Planet	280.000	TEMUCO	Temuco	280.000
Enero	78	Fandaga	123.500	TEMUCO	Coronel	123.500
Enero	83	Cosmopolitan	570.000	TEMUCO	Coronel	570.000
Enero	88	Fandaga	91.000	TEMUCO	Coronel	91.000

Tabla 3 (continuación)

Envíos de agricultores a plantas de producción

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	89	Cosmopolitan	300.000	TEMUCO	Coronel	15.720
Enero	89	Irina	296.000	TEMUCO	Temuco	296.000
Enero	90	Cosmopolitan	994.500	TEMUCO	Coronel	994.500
Enero	101	Planet	1.110.000	TEMUCO	Temuco	608.087
Enero	102	Fandaga	156.000	TEMUCO	Coronel	156.000
Enero	105	Planet	518.000	TEMUCO	Temuco	518.000
Enero	110	Planet	370.000	TEMUCO	Temuco	370.000
Enero	115	Fandaga	292.500	TEMUCO	Talagante	292.500
Enero	119	Fandaga	78.000	TEMUCO	Coronel	78.000
Enero	124	Cosmopolitan	425.000	TEMUCO	Coronel	425.000
Enero	125	Cosmopolitan	187.500	TEMUCO	Coronel	187.500
Enero	135	Planet	1.288.000	NORTE	Talagante	1.288.000
Enero	152	Cosmopolitan	425.000	NORTE	Coronel	425.000
Enero	155	Fandaga	188.500	NORTE	Talagante	188.500
Enero	156	Fandaga	97.500	NORTE	Coronel	97.500
Enero	158	Fandaga	195.000	NORTE	Talagante	195.000
Enero	158	Fandaga	845.000	NORTE	Coronel	690.780
Enero	164	Fandaga	234.000	NORTE	Talagante	234.000
Enero	165	Cosmopolitan	225.000	NORTE	Coronel	225.000
Enero	170	Planet	125.800	NORTE	Talagante	125.800
Enero	171	Planet	2.590.000	NORTE	Talagante	2.590.000
Enero	173	Planet	350.000	NORTE	Talagante	350.000
Enero	175	Planet	1.050.000	NORTE	Talagante	1.050.000
Enero	178	Fandaga	169.000	NORTE	Coronel	169.000
Enero	179	Planet	350.000	NORTE	Talagante	350.000

Tabla 3 (continuación)

Envíos de agricultores a plantas de producción

Periodo	Agricultor	Variedad	Cantidad	Zona	Punto	CantidadTotal
Enero	183	Fandaga	227.500	NORTE	Talagante	227.500
Enero	190	Fandaga	455.000	NORTE	Talagante	455.000
Enero	191	Fandaga	357.500	NORTE	Talagante	87.700
Enero	195	Fandaga	169.000	NORTE	Coronel	169.000
Enero	196	Planet	666.000	NORTE	Talagante	666.000
Enero	197	Planet	370.000	NORTE	Talagante	370.000
Enero	198	Cosmopolitan	165.000	NORTE	Coronel	165.000
Febrero	3	Planet	924.000	Sur	Temuco	302.687
Febrero	101	Planet	1.110.000	TEMUCO	Temuco	197.313
Marzo	32	Irina	1.477.400	Sur	Temuco	1.477.400
Marzo	101	Planet	1.110.000	TEMUCO	Temuco	304.600
Marzo	112	Irina	1.258.000	TEMUCO	Temuco	1.258.000

11.1.1.4 Tabla N°4 envíos de puntos de acopio externos a plantas de producción

Tabla 4

Envíos de puntos de acopio externos a plantas de producción

Cantidad	Punto	Variedad	Mes	Planta
330.800	Victoria	Irina	Marzo	Talagante
2.819.200	Cotrisa	Traveler	Marzo	Talagante
619.200	Victoria	Irina	Marzo	Coronel
2.740.800	Cotrisa	Traveler	Marzo	Coronel
2.026.720	Victoria	Irina	Abril	Talagante
1.543.280	Cotrisa	Traveler	Abril	Talagante
3.420.000	Victoria	Irina	Abril	Temuco
1.548.000	Victoria	Irina	Abril	Coronel
252.000	Cotrisa	Traveler	Abril	Coronel
2.685.300	Victoria	Irina	mayo	Talagante
3.230.000	Victoria	Irina	mayo	Temuco
1.755.280	Victoria	Irina	mayo	Coronel

Tabla 4 (continuación)

Envíos de puntos de acopio externos a plantas de producción

Cantidad	Punto	Variedad	Mes	Planta
1.644.720	Cotrisa	Traveler	mayo	Coronel
1.968.920	Copeval	Irina	Junio	Talagante
766.080	Copeval	Fandaga	Junio	Talagante
2.375.000	Victoria	Irina	Junio	Temuco
3.099.200	Copeval	Irina	Junio	Coronel
820.800	Copeval	Fandaga	Junio	Coronel
1.155.960	Copeval	Irina	Julio	Talagante
2.204.040	Copeval	Fandaga	Julio	Talagante
3.230.000	Victoria	Irina	Julio	Temuco
1.903.680	Copeval	Irina	Julio	Coronel
1.696.320	Copeval	Fandaga	Julio	Coronel
3.570.000	Copeval	Fandaga	agosto	Talagante
2.363.912	Victoria	Irina	agosto	Temuco
3.720.000	Copeval	Irina	agosto	Coronel
3.570.000	Copeval	Irina	Septiembre	Talagante
1.230.240	Copeval	Irina	Septiembre	Coronel
2.489.760	Copeval	Fandaga	Septiembre	Coronel
1.317.370	Copeval	Irina	Octubre	Talagante
1.757.570	Victoria	Irina	Octubre	Coronel
1.487.630	Copeval	Irina	Octubre	Coronel
2.488.800	Victoria	Irina	Noviembre	Coronel

11.1.1.5 Tabla N°5 envíos de puntos de acopio propios a plantas de producción

Tabla 5

Envíos de puntos de acopio propios a plantas de producción

Cantidad	Punto	Variedad	Mes	Planta
354.700	Cajon	Fandaga	mayo	Talagante
556.088	Cajon	Planet	agosto	Temuco
3.920.000	Cajon	Planet	Septiembre	Temuco
144.225	Cajon	Traveler	Octubre	Talagante
2.108.405	Cajon	Fandaga	Octubre	Talagante
3.420.000	Cajon	Planet	Octubre	Temuco
354.800	Cajon	Cosmopolitan	Octubre	Coronel
2.174.745	Cajon	Traveler	Noviembre	Talagante
1.185.255	Cajon	Fandaga	Noviembre	Talagante
3.230.000	Cajon	Planet	Noviembre	Temuco
615.600	Cajon	Traveler	Noviembre	Coronel
615.600	Cajon	Cosmopolitan	Noviembre	Coronel
3.250.000	Cajon	Traveler	Diciembre	Talagante
2.920.000	Cajon	Planet	Diciembre	Temuco
1.915.720	Cajon	Traveler	Diciembre	Coronel
848.160	Cajon	Fandaga	Diciembre	Coronel
636.120	Cajon	Cosmopolitan	Diciembre	Coronel

11.1.2 Tablas agrupadas de variables de decisión

11.1.2.1 Tabla n°6, envíos agrupados durante el primer ciclo

Tabla 6

Envíos agrupados primer ciclo

Zona	Punto Cajon	Copeval	Coronel	Cotrisa	Paillaco	Talagante	Temuco	Victoria	Suma total
NORTE		27.891.520	1.941.280	8.484.200		8.177.500			46.494.500
Sur	11.664.113				9.358.005		12.233.200	8.779.382	42.034.700
TEMUCO	15.602.700	3.108.480	4.338.720	515.800		292.500	5.726.800	19.051.200	48.636.200
Total	27.266.813	31.000.000	6.280.000	9.000.000	9.358.005	8.470.000	17.960.000	27.830.582	137.165.400

11.1.2.2 Tabla n°7, envíos agrupados durante segundo ciclo

Tabla 7

Envíos agrupados segundo ciclo

Punto	Planta Coronel	Talagante	Temuco	Total
Cajon	4.986.000	9.217.330	14.046.088	28.249.418
Copeval	16.447.630	14.552.370		31.000.000
Cotrisa	4.637.520	4.362.480		9.000.000
Victoria	8.168.850	5.042.820	14.618.912	27.830.582
Total	34.240.000	33.175.000	28.665.000	96.080.000

11.1.3 Tablas de almacenamiento

11.1.3.1 Tabla n°8 de almacenamiento de punto de acopio externo

Tabla 8

Almacenamientos puntos de acopio externos

Destino	Cantidad
Enero - Victoria	27.830.582
Enero - Rapaco	0
Enero - Cotrisa	9.000.000
Enero - Copeval	31.000.000
Febrero - Victoria	27.830.582
Febrero - Rapaco	0
Febrero - Cotrisa	9.000.000
Febrero - Copeval	31.000.000
Marzo - Victoria	26.880.582
Marzo - Rapaco	0
Marzo - Cotrisa	3.440.000
Marzo - Copeval	31.000.000

Tabla 8 (continuación)

Almacenamientos puntos de acopio externos

Destino	Cantidad
Abril - Victoria	19.885.862
Abril - Rapaco	0
Abril - Cotrisa	1.644.720
Abril - Copeval	31.000.000
mayo - Victoria	12.215.282
mayo - Rapaco	0
mayo - Cotrisa	0
mayo - Copeval	31.000.000
Junio - Victoria	9.840.282
Junio - Rapaco	0
Junio - Cotrisa	0
Junio - Copeval	24.345.000
Julio - Victoria	6.610.282
Julio - Rapaco	0
Julio - Cotrisa	0
Julio - Copeval	17.385.000
agosto - Victoria	4.246.370
agosto - Rapaco	0
agosto - Cotrisa	0
agosto - Copeval	10.095.000
Septiembre - Victoria	4.246.370
Septiembre - Rapaco	0
Septiembre - Cotrisa	0
Septiembre - Copeval	2.805.000
Octubre - Victoria	2.488.800
Octubre - Rapaco	0
Octubre - Cotrisa	0
Octubre - Copeval	0
Noviembre - Victoria	0
Noviembre - Rapaco	0

11.1.3.2 Tabla n°9 de almacenamiento de punto de acopio propio

Tabla 9

Almacenamientos puntos de acopio propios

Destino	Cantidad
Enero - Cajon	15.496.000
Enero - Paillaco	5.442.582
Febrero - Cajon	33.000.000
Febrero - Paillaco	11.000.000
Marzo - Cajon	33.000.000
Marzo - Paillaco	11.000.000
Abril - Cajon	33.000.000
Abril - Paillaco	11.000.000
mayo - Cajon	33.000.000
mayo - Paillaco	11.000.000
Junio - Cajon	32.645.300
Junio - Paillaco	11.000.000
Julio - Cajon	32.645.300
Julio - Paillaco	11.000.000
agosto - Cajon	32.645.300
agosto - Paillaco	11.000.000
Septiembre - Cajon	32.089.212
Septiembre - Paillaco	11.000.000
Octubre - Cajon	28.169.212
Octubre - Paillaco	11.000.000

Tabla 9 (continuación)

Almacenamientos puntos de acopio propios

Destino	Cantidad
Noviembre - Cajon	22.141.782
Noviembre - Paillaco	11.000.000
Diciembre - Cajon	14.320.582
Diciembre - Paillaco	11.000.000

11.1.3.3 Tabla n°10 de almacenamiento de plantas de producción

Tabla 10

Almacenamientos plantas de producción

Destino	Cantidad
Enero - Talagante	16.000.000
Enero - Temuco	24.500.000
Enero - Coronel	10.000.000
Febrero - Talagante	12.850.000
Febrero - Temuco	21.960.000
Febrero - Coronel	6.640.000
Marzo - Talagante	12.430.000
Marzo - Temuco	21.580.000
Marzo - Coronel	8.200.000
Abril - Talagante	12.640.000
Abril - Temuco	21.770.000
Abril - Coronel	6.400.000
mayo - Talagante	13.265.000
mayo - Temuco	22.625.000
mayo - Coronel	6.080.000
Junio - Talagante	12.640.000
Junio - Temuco	21.770.000
Junio - Coronel	6.400.000
Julio - Talagante	12.430.000
Julio - Temuco	21.580.000

Tabla 10 (continuación)

Almacenamientos plantas de producción

Destino	Cantidad
Julio – Coronel	6.280.000
agosto - Talagante	12.430.000
agosto - Temuco	21.080.000
agosto - Coronel	6.280.000
Septiembre - Talagante	12.430.000
Septiembre - Temuco	21.580.000
Septiembre - Coronel	6.400.000
Octubre - Talagante	12.640.000
Octubre - Temuco	21.770.000
Octubre - Coronel	6.280.000
Noviembre - Talagante	12.430.000
Noviembre - Temuco	21.580.000
Noviembre - Coronel	6.400.000
Diciembre - Talagante	12.320.000
Diciembre - Temuco	21.270.000
Diciembre - Coronel	6.080.000

11.1.4 Tablas de almacenamiento inicial y consumo plantas de producción y puntos ap

11.1.4.1 Tabla n°11 almacenamiento inicial plantas de producción

Tabla 11

Almacenamientos inicial plantas de producción

Planta	Variedad	Cantidad inicial
1	1	7.030.200
1	2	1.220.940
1	3	1.627.920
1	4	1.220.940
1	5	0
2	1	6.500.000
2	2	0
2	3	0
2	4	7.000.000

Tabla 11 (continuación)

Almacenamientos inicial plantas de producción

Planta	Variedad	Cantidad inicial
2	5	0
3	1	3.199.200
3	2	1.272.240
3	3	1.696.320
3	4	0
3	5	1.272.240

11.1.4.2 Tabla n°12 Consumo de cebada plantas de producción

Tabla 12

Consumo de cebada plantas de producción

Planta	Variedad	Cantidad mensual	Pe
1	1	1.268.333	1
1	2	416.667	1
1	3	166.667	1
1	4	458.333	1
1	5	916.667	1
2	1	1.061.583	1
2	2	200.000	1
2	3	1.506.750	1
2	4	458.333	1
2	5	0	1
3	1	1.915.833	1
3	2	291.667	1
3	3	708.333	1
3	4	915.833	1
3	5	0	1
1	1	1.268.333	2
1	2	416.667	2
1	3	166.667	2
1	4	458.333	2

Tabla 12 (continuación)

Consumo de cebada plantas de producción

Planta	Variedad	Cantidad mensual	Pe
1	5	916.667	2
2	1	1.061.583	2
2	2	200.000	2
2	3	1.506.750	2
2	4	458.333	2
2	5	0	2
3	1	1.915.833	2
3	2	291.667	2
3	3	708.333	2
3	4	915.833	2
3	5	0	2
1	1	1.268.333	3
1	2	416.667	3
1	3	166.667	3
1	4	458.333	3
1	5	916.667	3
2	1	1.061.583	3
2	2	200.000	3
2	3	1.506.750	3
2	4	458.333	3
2	5	0	3
3	1	1.915.833	3
3	2	291.667	3
3	3	708.333	3
3	4	915.833	3
3	5	0	3
1	1	1.268.333	4
1	2	416.667	4
1	3	166.667	4
1	4	458.333	4
1	5	916.667	4
2	1	1.061.583	4
2	2	200.000	4
2	3	1.506.750	4

Tabla 12 (continuación)

Consumo de cebada plantas de producción

Planta	Variedad	Cantidad mensual	Pe
2	4	458.333	4
2	5	0	4
3	1	1.915.833	4
3	2	291.667	4
3	3	708.333	4
3	4	915.833	4
3	5	0	4
1	1	1.268.333	5
1	2	416.667	5
1	3	166.667	5
1	4	458.333	5
1	5	916.667	5
2	1	1.061.583	5
2	2	200.000	5
2	3	1.506.750	5
2	4	458.333	5
2	5	0	5
3	1	1.915.833	5
3	2	291.667	5
3	3	708.333	5
3	4	915.833	5
3	5	0	5
1	1	1.268.333	6
1	2	416.667	6
1	3	166.667	6
1	4	458.333	6
1	5	916.667	6
2	1	1.061.583	6
2	2	200.000	6
2	3	1.506.750	6
2	4	458.333	6
2	5	0	6
3	1	1.915.833	6
3	2	291.667	6

Tabla 12 (continuación)

Consumo de cebada plantas de producción

Planta	Variedad	Cantidad mensual	Pe
3	3	708.333	6
3	4	915.833	6
3	5	0	6
1	1	1.268.333	7
1	2	416.667	7
1	3	166.667	7
1	4	458.333	7
1	5	916.667	7
2	1	1.061.583	7
2	2	200.000	7
2	3	1.506.750	7
2	4	458.333	7
2	5	0	7
3	1	1.915.833	7
3	2	291.667	7
3	3	708.333	7
3	4	915.833	7
3	5	0	7
1	1	1.268.333	8
1	2	416.667	8
1	3	166.667	8
1	4	458.333	8
1	5	916.667	8
2	1	1.061.583	8
2	2	200.000	8
2	3	1.506.750	8
2	4	458.333	8
2	5	0	8
3	1	1.915.833	8
3	2	291.667	8
3	3	708.333	8
3	4	915.833	8
3	5	0	8
1	1	1.268.333	9

Tabla 12 (continuación)

Consumo de cebada plantas de producción

Planta	Variedad	Cantidad mensual	Pe
1	2	416.667	9
1	3	166.667	9
1	4	458.333	9
1	5	916.667	9
2	1	1.061.583	9
2	2	200.000	9
2	3	1.506.750	9
2	4	458.333	9
2	5	0	9
3	1	1.915.833	9
3	2	291.667	9
3	3	708.333	9
3	4	915.833	9
3	5	0	9
1	1	1.268.333	10
1	2	416.667	10
1	3	166.667	10
1	4	458.333	10
1	5	916.667	10
2	1	1.061.583	10
2	2	200.000	10
2	3	1.506.750	10
2	4	458.333	10
2	5	0	10
3	1	1.915.833	10
3	2	291.667	10
3	3	708.333	10
3	4	915.833	10
3	5	0	10
1	1	1.268.333	11
1	2	416.667	11
1	3	166.667	11
1	4	458.333	11
1	5	916.667	11

Tabla 12 (continuación)

Consumo de cebada plantas de producción

Planta	Variedad	Cantidad mensual	Pe
2	1	1.061.583	11
2	2	200.000	11
2	3	1.506.750	11
2	4	458.333	11
2	5	0	11
3	1	1.915.833	11
3	2	291.667	11
3	3	708.333	11
3	4	915.833	11
3	5	0	11
1	1	1.268.333	12
1	2	416.667	12
1	3	166.667	12
1	4	458.333	12
1	5	916.667	12
2	1	1.061.583	12
2	2	200.000	12
2	3	1.506.750	12
2	4	458.333	12
2	5	0	12
3	1	1.915.833	12
3	2	291.667	12
3	3	708.333	12
3	4	915.833	12
3	5	0	12

11.1.4.3 Tabla n°35 Cantidad inicial puntos de acopio propios

Tabla 35

Cantidad inicial puntos de acopio propios

Planta	variedad	Cantidad inicial
1	1	0
1	2	596.157
1	3	0
1	4	4.275.775
1	5	861.255
2	1	1.641.995
2	2	0
2	3	0
2	4	0
2	5	0

11.1.5 Tablas de costo y porcentaje

En las tablas de costo y porcentaje, se realiza el cálculo del costo según los resultados que dio el modelo, esto se hizo con el fin de llegar a los mismos resultados que el modelo entrega y mostrar el cómo se puede ir trabajando los datos de este mismo.

11.1.5.1 Tabla n° 13 Costo y porcentaje bono agricultor

Tabla 13

Costos y porcentaje bono agricultor

	Cajon	Copeval	Coronel	Cotrisa	Paillaco	Talagante	Temuco	Victoria
N	10	0	0	0	20	5	10	10
S	0	15	15	15	0	20	0	0
T	0	5	5	5	20	10	0	0
N		27.891.52	1.941.280	8.484.200		8.177.500		
		0						
S	11.664.113				9.358.005		12.233.20	8.779.382
							0	

Tabla 13 (continuación)

Costos y porcentaje bono agricultor

	Cajon	Copeval	Coronel	Cotrisa	Paillaco	Talagante	Temuco	Victoria
T	15.602.700	3.108.480	4.338.720	515.800		292.500	5.726.800	19.051.200
N	0	0	0	0	0	40.887.500	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0
T	0	15.542.400	21.693.600	2.579.000	0	2.925.000	0	0
Total	0	15.542.400	21.693.600	2.579.000	0	43.812.500	0	0
%	0%	19%	26%	3%	0%	52%	0%	0%

11.1.5.2 Tabla n°14 Costo y porcentaje de transporte

Tabla 14

Costos y porcentaje de transporte

	Coronel	Talagante	Temuco
Cajon	20	26	3,3
Copeval	14	22	16
Cotrisa	14	23	15
Victoria	15	25	7
Cajon	4.986.000	9.217.330	14.046.088
Copeval	16.447.630	14.552.370	0
Cotrisa	4.637.520	4.362.480	0
Victoria	8.168.850	5.042.820	14.618.912
Cajon	99.720.000	239.650.580	46.352.090,4
Copeval	230.266.820	320.152.140	0
Cotrisa	64.925.280	100.337.040	0
Victoria	122.532.750	126.070.500	102.332.384
Total	517.444.850	786.210.260	148.684.474,4
%	36%	54%	10%

11.1.5.3 Tabla n°15 Costo de almacenamiento externo

Tabla 15

Costo de almacenamiento externo

Cantidad	Mes	Punto	Tarifa	Costo por mes
27.830.582	Enero	Victoria	1,9337	53.815.996
0	Enero	Rapaco	1,9337	0
9.000.000	Enero	Cotrisa	2,7484	24.735.600
31.000.000	Enero	Copeval	2,92919	90.804.890
27.830.582	Febrero	Victoria	1,9337	53.815.996
0	Febrero	Rapaco	1,9337	0
9.000.000	Febrero	Cotrisa	2,7484	24.735.600
31.000.000	Febrero	Copeval	2,92919	90.804.890
26.880.582	Marzo	Victoria	1,9337	51.978.981
0	Marzo	Rapaco	1,9337	0
3.440.000	Marzo	Cotrisa	2,7484	9.454.496
31.000.000	Marzo	Copeval	2,92919	90.804.890
19.885.862	Abril	Victoria	1,9337	38.453.291
0	Abril	Rapaco	1,9337	0
1.644.720	Abril	Cotrisa	2,7484	4.520.348
31.000.000	Abril	Copeval	2,92919	90.804.890
12.215.282	mayo	Victoria	1,9337	23.620.691
0	mayo	Rapaco	1,9337	0
0	mayo	Cotrisa	2,7484	0
31.000.000	mayo	Copeval	2,92919	90.804.890
9.840.282	Junio	Victoria	1,9337	19.028.153
0	Junio	Rapaco	1,9337	0
0	Junio	Cotrisa	2,7484	0
24.345.000	Junio	Copeval	2,92919	71.311.131
6.610.282	Julio	Victoria	1,9337	12.782.302
0	Julio	Rapaco	1,9337	0
0	Julio	Cotrisa	2,7484	0
17.385.000	Julio	Copeval	2,92919	50.923.968
4.246.370	agosto	Victoria	1,9337	8.211.206
0	agosto	Rapaco	1,9337	0

Tabla 15 (continuación)

Costo de almacenamiento externo

Cantidad	Mes	Punto	Tarifa	Costo por mes
0	agosto	Cotrisa	2,7484	0
10.095.000	agosto	Copeval	2,92919	29.570.173
4.246.370	Septiembre	Victoria	1,9337	8.211.206
0	Septiembre	Rapaco	1,9337	0
0	Septiembre	Cotrisa	2,7484	0
2.805.000	Septiembre	Copeval	2,92919	8.216.378
2.488.800	Octubre	Victoria	1,9337	4.812.593
0	Octubre	Rapaco	1,9337	0
0	Octubre	Cotrisa	2,7484	0
0	Octubre	Copeval	2,92919	0
0	Noviembre	Victoria	1,9337	0
0	Noviembre	Rapaco	1,9337	0
0	Noviembre	Cotrisa	2,7484	0
0	Noviembre	Copeval	2,92919	0
0	Diciembre	Victoria	1,9337	0
0	Diciembre	Rapaco	1,9337	0
0	Diciembre	Cotrisa	2,7484	0
0	Diciembre	Copeval	2,92919	0
Total				952.222.560

11.1.5.4 Tabla n°16 Costo de entrada y salida de cebada en puntos externos

Tabla 16

Costo de entrada y salida de cebada en puntos externos

	Copeval	Cotrisa	Victoria
Tarifa	1,866	6,0753	4,66.501
Total enviado	31.000.000	9.000.000	27.830.582
Total	57.846.000	54.677.700	129.829.943,3 242.353.643,3

11.1.5.5 Tabla n°17 Costo y porcentaje general

Tabla 17

Costo y porcentaje general

Costo General	Modelo	Excel	
Envios2	1.452.339.584	1.452.339.584	53%
Envios1	83.627.500	83.627.500	3%
Almacenamietno	952.222.560	952.222.560	35%
cniout	242.353.643	242.353.643,3	9%
	2.730.543.288	2.730.543.288	

11.1.6 Tablas de datos de operación 2024 Maltexco SA.

11.1.6.1 Tabla n°18 recepción agrícola 2024 agrupado por zona y puntos de acopio más costos

Tabla 18

Recepción agrícola 2024 agrupado por zona y punto de acopio

	Cajon	Copeval	Coronel	Cotrisa	Paillaco	Talagante	Temuco	Victoria	Rapaco	T
NO	12.797	29.464.546	2.114.981	3.685.787		2.870.984				
SU	5.381.480		600.041		9.940.763		12.669.687	4.992.506	4.940.885	
TE	26.279.354			5.118.884		706.082	4.374.450	24.245.289		
TA	10	0	0	0	20	5	10	10	20	
TA	0	15	15	15	0	20	0	0	0	
TA	0	5	5	5	20	10	0	0	20	
NO	127.970	0	0	0	0	14.354.920	0	0	0	
SU	0	0	9.000.615	0	0	0	0	0	0	
TE	0	0	0	25.594.420	0	7.060.820	0	0	0	
T	127.970	0	9.000.615	25.594.420	0	21.415.740	0	0	0	556.138.745

11.1.6.2 Tabla n°19 Abastecimiento plantas 2024 agrupado por puntos acopio y plantas más costos

Tabla 19

Abastecimiento a plantas de producción 2024 Maltexco

	Coronel	Talagante	Temuco	Total
Cajon	6.274.810	10.115.940	1.599.070	17.989.820
Copeval	21.275.290	6.673.720		27.949.010
Cotrisa	4.865.320	4.115.170		8.980.490
Rapaco		5.090.710		5.090.710
Victoria		1.868.310	25.169.800	27.038.110
paillaco	375.820	10.471.670		10.847.490
Cajon	20	26	3,3	97.895.630
Copeval	14	22	16	
Cotrisa	14	23	15	
Rapaco	26	30	13	
Victoria	15	25	7	
paillaco	36	30	13	
Cajon	125.496.200	263.014.440	5.276.931	393.787.571
Copeval	297.854.060	146.821.840	0	444.675.900
Cotrisa	68.114.480	94.648.910	0	162.763.390
Rapaco	0	152.721.300	0	152.721.300
Victoria	0	46.707.750	176.188.600	222.896.350
paillaco	13.529.520	314.150.100	0	327.679.620
Total	504.994.260	1.018.064.340	181.465.531	1.704.524.131
%	30%	60%	11%	

11.1.6.3 Tabla n°20 Distribución datos reales vs optimización

Tabla 20

Distribución en % de datos reales vs optimización

	Coronel	Talagante	Temuco
Optimización			
Cajon	18%	33%	50%
Copeval	53%	47%	0%
Cotrisa	52%	48%	0%
Victoria	29%	18%	53%
Datos 2.024			
Cajon	35%	56%	9%
Copeval	76%	24%	0%
Cotrisa	54%	46%	0%
Rapaco	0%	100%	0%
Victoria	0%	7%	93%
Paillaco	3%	97%	0%

11.1.6.4 Tabla n°21 Almacenamiento 2024

Tabla 21

Almacenamiento 2024

Mes/puntos	Cajón	Copeval	Coronel	Cotriza	Paillaco	Rapaco	Talagante	Temuco	Victoria
Enero	5.875.568	26.443.810	9.601.680	5.801.470	663.780	224.860	12.696.334	13.361.364.68	3.623.490
Febrero	27.028.058	30.879.960	9.603.722	9.110.240	9.334.330	2.306.840	10.949.676	17.917.106.37	24.572.600
Marzo	27.158.980	30.877.180	10.148.832	5.043.010	20.604.820	5.129.380	14.408.184	19.341.740	29.424.970
Abril	28.812.890	29.315.400	9.397.750	1.845.470	10.302.410	5.129.380	15.159.562	17.940.803.21	27.481.170
Mayo	28.026.780	29.044.910	6.397.490	0	10.302.410	5.129.380	10.437.684	19.234.480.36	25.379.540
Junio	28.003.980	29.044.910	3.422.590	0	10.302.410	5.129.380	7.714.252	18.782.179.22	22.902.730
Julio	27.710.380	28.628.750	804.673	0	10.302.410	0	9.380.038	18.822.630.8	19.281.670
Agosto	27.561.900	23.040.240	2.193.983	0	10.302.410	0	7.396.606	16.372.110.59	19.134.420
Septiembre	27.128.700	17.982.760	1.350.233	0	7.248.780	0	8.344.512	16.971.703.63	16.528.130
Octubre	26.885.060	7.562.350	1.218.263	0	4.411.000	0	16.432.428	16.866.526.25	13.688.030

11.1.6.5 Tabla n°22 Costos de almacenamiento y porcentaje

Tabla 22

Costo de almacenamiento y porcentaje 2024

Mes/ punto	Copeval	Cotrisa	Rapaco	Victoria	Total general
Enero	77.458.943.81	15.944.760.15	434.811.782	7.006.742.613	100.845.258.4
Febrero	90.453.270.03	25.038.583.62	4.460.736.508	47.516.036.62	167.468.626.8
Marzo	90.445.126.88	13.860.208.68	9.918.682.106	56.899.064.49	171.123.082.2
Abril	85.870.376.53	5.072.089.748	9.918.682.106	53.140.338.43	154.001.486.8
Junio	85.078.059.92	0	9.918.682.106	44.287.009	139.283.751
Julio	83.859.048.21	0	0	37.284.965.28	121.144.013.5
Septiembre	52.674.920.76	0	0	31.960.444.98	84.635.365.75
Octubre	22.151.560	0	0	26.468.543.61	48.620.103.61
Agosto	67.489.240.61	0	0	37.000.227.95	104.489.468.6
Mayo	85.078.059.92	0	0	49.076.416.5	134.154.476.4
(en blanco)					0
Total general	740.558.606.7	59.915.642.2	34.651.594.61	390.639.789.5	1.225.765.633
%	60%	5%	3%	32%	0%

11.1.6.6 Tabla n°33 Costo general real vs optimización

Tabla 33

Costo general real vs optimización

	Optimización	Real	%	Diferencia
Envios2	1.452.339.584	1.726.524.131	118.878.818	274.184.547
Envios1	83.627.500	56.138.745	67.129.527	-27.488.755
Almacenamiento	952.222.560	1.225.765.633	1.287.268	273.543.073
cniout	242.353.643	267.915.744.5	110.547.438	25.562.101

11.1.7 Tablas análisis de sensibilidad

11.1.7.1 Tabla n°23 ahorro análisis de sensibilidad

Tabla 23

Ahorro análisis de sensibilidad

	Costo Total	Diferencia	Porcentaje
Optimización	2.730.543.288		
Temuco	2.476.619.852	253.923.436	9%
Coronel	2.448.537.327	282.005.961	10%
Cajon	2.411.164.144	319.379.144	12%
Paillaco	2.479.967.186	250.576.102	9%
Copeval	1.962.151.430	768.391.858	28%
Cotrisa	2.416.313.545	314.229.743	12%
Victoria	2.076.408.205	654.135.083	24%

11.1.7.2 Tabla n°24 Abastecimiento de plantas, análisis Temuco

Tabla 24

Abastecimiento a plantas, análisis Temuco

	Coronel	Talagante	Temuco
Cajon	11.509.418	13.750.000	7.740.582
Copeval	12.621.975	17.783.525	
Cotrisa	1.647.519	1.641.475	
Paillaco			5.049.418
Victoria	8.461.088		15.675.000
ca	35%	42%	23%
co	42%	58%	0%
cot	50%	50%	0%
paillaco	0%	0%	100%
v	35%	0%	65%

11.1.7.3 Tabla n°25 Agrupado de primer ciclo, análisis Temuco

Tabla 25

Agrupado de primer ciclo, análisis Temuco

	Cajon	Copeval	Coronel	Cotrisa	Paillaco	Talagante	Temuco	Victoria	Total general
NORTE		30.405.500	4.330.006	3.288.994		8.470.000			46.494.500
Sur	11.054.607				9.358.005		12.347.093	9.274.995	42.034.700
TEMUCO	16.212.206		1.949.994				15.612.907	14.861.093	48.636.200
Total general	27.266.813	30.405.500	6.280.000	3.288.994	9.358.005	8.470.000	27.960.000	24.136.088	137.165.400

11.1.7.4 Tabla n°26 Costos de la operación, análisis Temuco

Tabla 26

Costo total, análisis Temuco

Costo General	Temuco	Modelo	
Envios2	1.544.280.426	1.452.339.584	106%
Envios1	52.099.970	83.627.500	62%
Almacenamiento	690.926.077	952.222.560	73%
cniout	189.313.380	242.353.643.3	78%
Total	2.476.619.852	2.730.543.288	

11.1.7.5 Tabla n°27 Abastecimiento a plantas, análisis Coronel

Tabla 27

Abastecimiento a plantas, análisis Coronel

	Coronel	Talagante	Temuco
Cajon	7.128.948	15.994.382	9.876.670
Copeval	10.586.052	14.823.995	
Cotrisa		420.535	
Paillaco		1.936.088	3.113.330
Victoria	16.325.000		15.675.000
ca	22%	48%	30%
co	42%	58%	0%
cot	0%	100%	0%
paillaco	0%	38%	62%
v	51%	0%	49%

11.1.7.6 Tabla n°28 Agrupado de primer ciclo, análisis Coronel

Tabla 28

Agrupado de primer ciclo, análisis Coronel

	Cajon	Copeval	Coronel	Cotrisa	Paillaco	Talagante	Temuco	Victoria	Total general
NORTE		25.410.04	12.193.91	420.535		8.470.000			46.494.50
		7	8						0
Sur	11.042.80				9.358.005		11.101.00	10.532.89	42.034.70
	0						0	5	0
TEMUCO	16.224.01		4.086.082				6.859.000	21.467.10	48.636.20
O	3							5	0
Total general	27.266.81	25.410.04	16.280.00	420.535	9.358.005	8.470.000	17.960.00	32.000.00	137.165.400
	3	7	0				0	0	00

11.1.7.7 Tabla n°29 Costos de la operación, análisis Coronel

Tabla 29

Costo total, análisis Coronel

Costo General	Coronel	Modelo	
Envios2	1.528.186.756	1.452.339.584	105%
Envios1	62.780.410	83.627.500	75%
Almacenamietno	658.319.817	952.222.560	69%
cniout	199.250.344	242.353.643.3	82%
	2.448.537.327	2.730.543.288	

11.1.7.8 Tabla n°30 Abastecimiento a plantas, análisis Cajon

Tabla 30

Abastecimiento a plantas, análisis Cajon

	Coronel	Talagante	Temuco
Cajon	7.410.270	13.750.000	17.089.148
Copeval	12.621.975	17.783.525	
Cotrisa	996.085	1.641.475	
Victoria	13.211.670		11.575.852
ca	19%	36%	45%
co	42%	58%	0%
cot	38%	62%	0%
v	53%	0%	47%

11.1.7.9 Tabla n°31 Agrupado de primer ciclo, análisis Cajon

Tabla 31

Agrupado de primer ciclo, análisis Cajon

	Cajon	Copeval	Coronel	Cotrisa	Paillaco	Talagante	Temuco	Victoria	Total general
NORTE	0	30.405.500	4.981.440	2.637.560	0	8.470.000	0	0	46.494.500
Sur	15.116.800	0	0	0	9.358.005	0	10.271.095	7.288.800	42.034.700
TEMUCO	22.150.013	0	1.298.560	0	0	0	7.688.905	17.498.722	48.636.200
Total general	37.266.813	30.405.500	6.280.000	2.637.560	9.358.005	8.470.000	17.960.000	24.787.522	137.165.400

11.1.7.10 Tabla n°32 Costos de la operación, análisis Cajon

Tabla 32

Costo total, análisis Cajon

Costo General	Cajon	Modelo	
Envios2	1.460.949.917	1.452.339.584	101%
Envios1	48.842.800	83.627.500	58%
Almacenamiento	712.976.758	952.222.560	75%
cniout	188.394.669	242.353.643.3	78%
	2.411.164.145	2.730.543.288	