DISEÑO DE UN MODELO PARA LA PLANIFICACIÓN DE COSECHA Y DISTRIBUCIÓN EN UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO FRUTÍCOLA DEL CENTRO DEL VALLE DEL CAUCA

ANDRES FELIPE PUERTAS MARÍN

YENNY TATIANA FALLA RAMÍREZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL

2018

DISEÑO DE UN MODELO PARA LA PLANIFICACIÓN DE COSECHA Y DISTRIBUCIÓN DE UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO FRUTÍCOLA DEL CENTRO DEL VALLE DEL CAUCA

ANDRÉS FELIPE PUERTAS MARÍN

YENNY TATIANA FALLA RAMÍREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Industrial

Director: MSc Diego León Peña Orozco

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL

2018

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Zarzal, _____ de 2018

AGRADECIMIENTOS

Dios por permitirme alcanzar este logro en mi vida.

A toda mi familia, a mis padres, a mi hermano y a mi novia, por todo su apoyo, por el amor que me brindaron en cada momento de mi carrera.

Especial agradecimiento al profesor Diego León Peña Orozco M.Sc., por su orientación, asesoramiento, colaboración y apoyo durante la realización de este trabajo.

A los profesores de la Universidad del Valle sede Zarzal, por su direccionamiento y asesoría.

Andrés Felipe Puertas Marín

Primero que todo, me gustaría agradecer a Dios por este logro alcanzado.

Doy gracias a toda mi familia, en especial a mis padres por el apoyo incondicional en este proceso, por su amor y su paciencia.

Particularmente me gustaría agradecer a mi director de trabajo de grado Diego León Peña Orozco M.Sc., y los demás educadores por sus aportes, su disposición, por guiarnos de la mejor forma, y transmitir sus conocimientos.

A mi compañero, por su entrega y dedicación, a mis amigos, mi pareja y todas las personas que hicieron parte de este hermoso proceso y aportaron lo mejor de ellos.

Yenny Tatiana Falla Ramírez

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
3. OBJETIVOS 6
   3.1 OBJETIVO GENERAL 6
   3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
4. MARCO CONCEPTUAL 7
   4.1 QUÉ ES UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO 7
      4.1.1 Estructura 8
   4.2 ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO 9
      4.2.1 Planeación logística 10
      4.2.2 Planeación estratégica 10
      4.2.3 Planeación agregada 12
      4.2.4 Coordinación en el contexto de la cadena de abastecimiento 13
      4.2.5 Oferta y demanda 13
      4.2.6 Elasticidad de la demanda 14
   4.3 PRONÓSTICOS 14
   4.4 MODELOS DE PRONÓSTICO EN CADENAS DE ABASTECIMIENTO 14
      4.4.1 Pronósticos de demanda 14
      4.4.2 Métodos de pronóstico por series de tiempo 15
      4.4.1 Programación Lineal 15
   4.5 MODELOS DE GESTIÓN DENTRO DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO 16
      4.5.1 Modelos determinísticos 16
      4.5.2 Modelos probabilísticos o estocásticos 16
5. REVISIÓN DE LA LITERATURA 18
6. MODELO DE REFERENCIA 23
   6.1 INCERTIDUMBRE DEL MERCADO 26
   6.2 RENDIMIENTO Y MADUREZ DEL PRODUCTO 27
   6.3 LOGÍSTICA EN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO 28
   6.4 SUPUESTOS DEL MODELO EN SU PARTE OPERATIVA 28

6.5 CONCLUSIONES DEL MODELO 29
7. DESCRIPCIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO OBJETO DE ESTUDIO . 30
7.1.1. Cultivo de cítricos 30
7.2 PRODUCTORES 30
7.2.1 Mano de obra 30
7.2.2 Insumos 31
7.2.3 Modos de transporte 31
7.3 INTERMEDIARIOS 33
7.4 DETALLISTAS Y MERCADO ABIERTO 33
8. COMPARATIVO ENTRE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO OBJETO DE ESTUDIO Y EL MODELO REFERENTE. 35
9. MODELO PROPUESTO 37
9.1. SUPUESTOS 37
9.2. MODELO MATEMÁTICO 37
9.3. RESTRICCIONES 40
10. CASO DE ESTUDIO 43
10.1. ASPECTOS GENERALES DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO: 45
10.2 SOLUCIÓN DEL MODELO 46
11. ANÁLISIS DE RESULTADOS 48
11.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 50
11.2 VALIDACIÓN DEL MODELO 57
11.2.1 Demanda 57
11.2.2 Inventarios 57
11.2.3 Utilidad 57
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 58
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relación entre costos, cantidad cosechada y precio de venta.

Figura 2: Esquema de cadena de abastecimiento.

Figura 3: Diagrama de una cadena de abastecimiento tradicional.

Figura 4: Relaciones del plan agregado.

Figura 5: Cadena de suministro del cultivo hortofrutícola.

Figura 6: Diagrama de problema de planificación.

Figura 7: Precios diarios por caja de tomates (2007).

Figura 8. Transporte desde parcelas hasta intermediarios.

Figura 9. Transporte desde intermediarios hasta detallistas.

Figura 10. Flujos de distribución de la cadena.

Figura 11. Matriz de decisión de cosecha binaria del limón.

Figura 12. Costo de cosechar con los datos actuales de la cadena.

Figura 13. Costo de cosechar con los datos suministrados para la prueba

Figura 14. Comparación de los datos suministrados por la cadena y los de prueba

Figura 15. Distribución de las ventas anuales del limón.

Figura 16. Distribución de las ventas anuales del limón con datos nuevos para la prueba.

Figura 17. Distribución de las ventas anuales de mandarina.

Figura 18. Distribución de las ventas anuales de mandarina con datos de prueba

Figura 19. Distribución de las ventas anuales de naranja.

Figura 20. Distribución de las ventas anuales de naranja con datos de prueba.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Comparativo promedio de precios máximos y mínimos en diferentes épocas.

Tabla 2: Niveles de la planeación estratégica.

Tabla 3: Resumen de los aspectos relevantes y el método de solución utilizado en cada modelo.

Tabla 4: Horizonte de planificación del modelo.

Tabla 5: Patrones de cosecha.

Tabla 6: Comparativo entre la cadena de abastecimiento objeto de estudio y el modelo referente.

Tabla 7: Ejemplo de calidad del producto y precio de venta al intermediario y detallista

Tabla 8. Variación de cantidad cosechada clasificada por productos y días.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Modelo en AMPL

Anexo 2: Archivo datos

Anexo 3: Archivo comandos

Anexo 4: Archivo resultados del modelo

PALABRAS CLAVE

Consumidores o clientes: Los clientes son el último eslabón de la cadena de abastecimiento y el más importante. Todo lo que se haga en la cadena tiene como objetivo satisfacer sus necesidades.

Detallistas, minoristas o retailers: Son las personas a las cuales el cliente acude para adquirir los productos. Pueden ser o no propiedad de la cadena de abastecimiento. Se caracterizan por ser los lugares donde se puede recoger la información sobre la demanda real del cliente y el nivel de servicio que se está brindando a través de la cadena de abastecimiento.

Función objetivo: Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar). Como ejemplo de funciones objetivo se pueden mencionar: la minimización de los costos variables de operación de un sistema de ruteo de vehículos de emergencia en una ciudad, la maximización de las ventas netas de una empresa agroalimentaria, la minimización de la materia prima utilizada en la fabricación de un producto, etc.

Inventario: Abarca el producto que se tiene en la cadena desde que es cosechado hasta que sale hasta algún cliente.

Intermediario: Son los encargados de comprar el producto a los productores y revenderlo a los detallistas o el mercado abierto.

Información: Consiste en los datos y análisis que se hacen a todas las variables, ya sea, de demanda, costos, precios, y clientes a lo largo de la cadena de abastecimiento.

Parcelas productivas: Son los lugares donde se realiza la recolección del producto, se consideran algunas características para la optimización de cadenas de abastecimiento. Dentro de estas características están: la capacidad de producción y almacenamiento, el nivel de inventario, y la identificación de los productos que pueden ser producidos en cada planta.

Restricciones: Representan el conjunto de relaciones expresadas por medio de ecuaciones que algunas variables están obligadas a satisfacer.

Variables: Representan las decisiones que se pueden tomar y afectan directamente la función objetivo.

1. INTRODUCCIÓN

Un producto o un servicio tienen poco valor si no está disponible para los clientes en el momento y el lugar en que ellos desean consumirlo. Cuando una empresa incurre en el costo de mover el producto hacia el consumidor o de tener un inventario disponible de manera oportuna, ha creado un valor para el cliente que antes no tenía (Ballou, 2004).

Chopra y Meindl, (2008) aseguran que una cadena de suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. “La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (o menudeo) e incluso a los mismos clientes. Dentro de cada organización, como la del fabricante, abarcan todas las funciones que participan en la recepción y el cumplimiento de una petición del cliente. Estas funciones incluyen, pero no están limitadas al desarrollo de nuevos productos, la mercadotecnia, las operaciones, la distribución, las finanzas y el servicio al cliente” (p.3).

La cadena de suministro de alimentos frescos, tales como carne, verduras, frutas y productos lácteos, es un proceso complejo debido a la naturaleza perecedera de los productos (Ahumada y Villalobos, 2009). En la cadena de suministro de alimentos existe un cambio continuo en la calidad, desde el momento en que los alimentos dejan al productor hasta el momento que el producto llega a manos del consumidor final. Esta situación contribuye considerablemente a la determinación del costo final del producto y la experiencia de consumo percibida por el cliente. Esto es considerado en la planificación de la distribución de la cadena de abastecimiento, con el objetivo de entregar un producto en el momento preciso, manteniendo los costos asociados al manejo del producto lo más bajo posibles y garantizando el nivel de calidad deseado por el cliente.

Las regiones productoras de cítricos en Colombia se encuentran en una etapa muy incipiente de desarrollo que limita la posibilidad de competir con otros orígenes en América Latina. El país posee condiciones propicias para el establecimiento de una industria competitiva, pero tiene una limitada capacidad de generación de volumen constante, de ofrecer las variedades requeridas por el mercado y de brindar una oferta de fruta con calidad. Por el contrario, el desarrollo, evolución y crecimiento del mercado interno colombiano está permitiendo que la oferta citrícola de países vecinos vea a Colombia como un importante mercado de destino para su producción exportadora (Szita, Éva, et al., 2012).

La planificación de la producción es parte importante en la logística de la cadena de abastecimiento, mejora la toma decisiones respecto a la cantidad y los tiempos de producción de los productos. Una planificación eficiente puede ser vital para conseguir ahorros en costos y obtener mejor rentabilidad.

Una cadena de abastecimiento frutícola necesita planificar la producción de cada cosecha para satisfacer la demanda de sus clientes. La cadena comprende tres eslabones no integrados logísticamente, es decir, cada eslabón ejerce su operación y asume los costos de producción por cuenta propia y cada uno tiene un proceso distinto. En este caso nos centraremos en el eslabón del productor, quién tiene un problema mayor al no poder solucionar el problema de la relación demanda-precio, ya que, hasta el momento buscan cosechar la mayor cantidad de producto y venderlo al precio que este en el mercado local. Esto produce un desequilibrio en sus ingresos al oscilar los precios impredeciblemente, debido a que no puede producir la cantidad óptima ya sea al no satisfacer la demanda o por una sobreoferta de producto. Generando así, pérdidas económicas de gran magnitud.

Este trabajo de investigación propone un modelo de planificación de la producción, diseñado con el objetivo de ayudar al productor a maximizar la utilidad en sus ventas, mediante el estudio de la administración de operaciones, con el fin de satisfacer un conjunto de restricciones de inventario, demanda, capacidad y transporte, que, a su vez, disminuya la afectación causada a la rentabilidad por los diferentes factores que se ven involucrados en la cadena de abastecimiento.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Cadena productiva de frutas en Colombia es considerada como una de las actividades productivas con mayor potencialidad, por ser un subsector de amplia expansión a nivel internacional, dada su clara connotación y preponderancia en la dieta alimenticia de la población mundial (Lasprilla, D. M. 2011)

La fruticultura Colombiana, en su heterogeneidad de regiones, diversidad de especies y modelos productivos, exhibe una diversidad de limitantes de orden técnico tanto en la producción como en la postproducción (oferta de variedades, calidad del material de siembra, carencia de nuevos modelos productivos, deficientes modelos de planeación de siembra, falta de procesos de agregación de valor), que resultan en bajas producciones y bajos estándares de sanidad, calidad e inocuidad de los productos, perjudicando principalmente a los cultivadores.

Las principales debilidades que enfrentan las cadenas de abastecimiento frutícolas en Colombia son la falta de escalas comerciales significativas y la alta dispersión en la producción, el bajo grado de asociatividad entre los productores y la falta de cultura agro empresarial que limita su acceso al crédito y a la asistencia técnica, y además restringe su capacidad de maniobra frente a otros actores; existe poco grado de integración entre la industria y la agricultura (Szita, Éva, et al., 2012).

Debido a esto, los cultivadores se enfrentan a un problema complejo, pequeñas unidades productivas que no permiten proveer de forma individual a los mercados por los bajos volúmenes, pocas cosechas al año, dispersión de la producción en muchas unidades productivas, estacionalidad de las siembras, condiciones de precios impredecibles que significan también mercados impredecibles, lo que dificulta el acceder a información sobre el sector y mecanismos de distribución óptimos.

En la figura 1, se explica la relación existente entre la cosecha, los costos y los precios de los fletes.

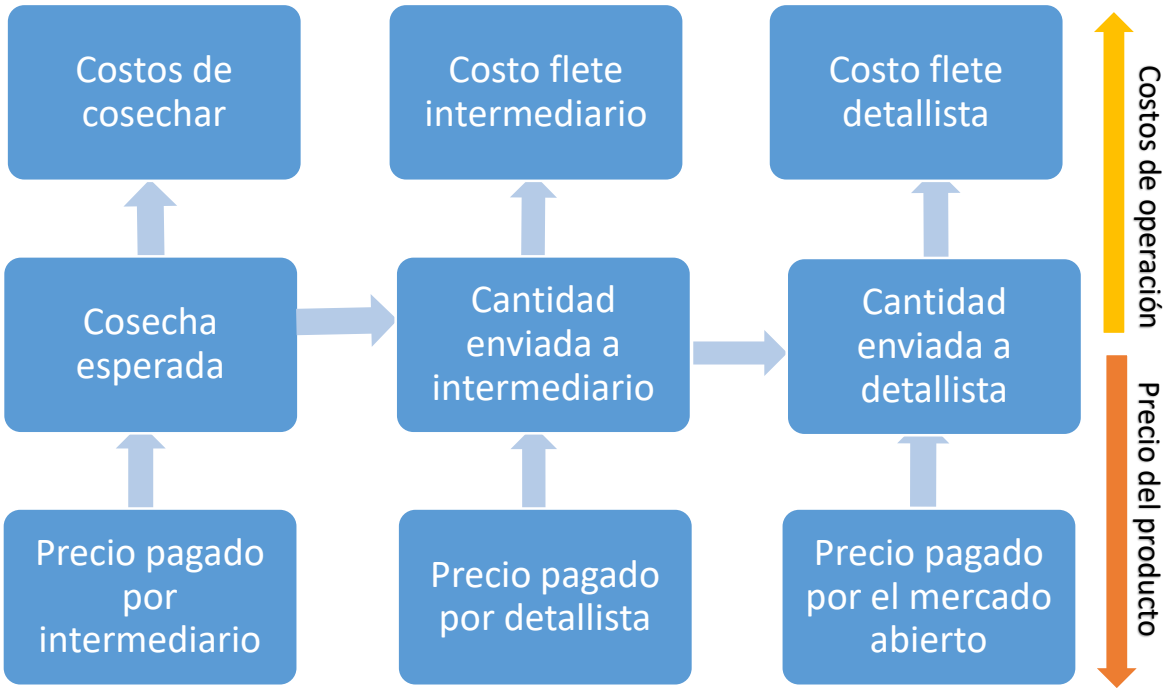

Figura 1. Relación entre costos, cantidad cosechada y precio de venta.

Fuente: Elaboración propia

La cadena objeto de estudio debe sortear una serie de problemas que derivan en pérdidas económicas, que son posibles de mitigar con una correcta administración de la información. El poder combinar el uso de esta información de una manera adecuada, haciendo que las variables que intervienen en el proceso estén en equilibrio y generen utilidad, será la solución operativa a esta cadena y a otras que consulten la herramienta.

Actualmente, los productores ofertan la cantidad cosechada sin saber el comportamiento del precio, tanto el que pagan los intermediarios como el que paga el detallista. Esto hace que, en época de gran cosecha, cuando el precio está muy bajo, las ventas sean mínimas, generando pérdidas en todos los eslabones de la cadena. Cuando el precio este elevado y la cosecha sea poca, también se perderá gran cantidad de ingresos, ya que, el productor busca que no quede producto almacenado ningún día y sea vendido a un precio pactado entre las dos partes. Además de asumir los costos de flete, incrementando las pérdidas.

Tabla 1. Comparativo promedio de precios máximos y mínimos en diferentes épocas.

	Cuando el precio está alto	Cuando el precio está bajo
Precio promedio del limón (bulto 60kg)	100.000	25.000
Precio promedio de la naranja (bulto 60kg)	70.000	30.000
Precio promedio de la mandarina (canastilla 10kg)	80.000	40.000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1 se puede observar la diferencia de precios de cada producto y cuándo es abundante su producción, para analizar el comportamiento y cómo afecta esto a los productores que no pueden prever estás variaciones.

El proceso de planificación de la producción y distribución en esta cadena de abastecimiento frutícola es difícil de diseñar e implementar por la complejidad del acceso a la información en la zona y por la cantidad de variables que se manejan a lo largo del flujo de la misma, en especial cuando se tienen diferentes tipos de productos, precios variables, áreas sembradas y clientes. Por lo tanto, es necesario determinar la cantidad a vender, que productos y cuando. A partir de ahí, se convierte en un problema de administración de la cadena de suministro y es conveniente aplicar la planeación de operaciones y el diseño de un modelo matemático, el cual ayude a la disminución de los costos totales y la optimización de la utilidad.

Por lo tanto, esta propuesta de investigación busca mejorar el desempeño de la cadena de abastecimiento frutícola, específicamente en la utilidad generada en el eslabón del productor, teniendo en cuenta la dificultad que tienen los campesinos para la planificación de la cosecha y la distribución de producto. A pesar de las limitaciones de información disponible en términos de costos, precios, entre otros aspectos que se presenta en este tipo de cadenas, se trata de abordar de manera más precisa la planificación de actividades de cosecha, considerando los costos operativos, los precios de venta para mejorar el proceso de distribución, de tal forma que sea posible generar mayores beneficios en el eslabón productor.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo para la planificación de recolección y distribución en una cadena de abastecimiento frutícola que permita maximizar la utilidad del productor.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el proceso de recolección y distribución de frutas en una cadena de abastecimiento frutícola que permita identificar factores que afecten la utilidad del productor.
- Diseñar un modelo matemático de planificación de la cosecha, aplicado a una cadena de abastecimiento frutícola, que permita maximizar la utilidad en el eslabón de productor.
- Validar el modelo mediante el análisis e interpretación de resultados que permita la toma de decisiones.

4. MARCO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se presentan los fundamentos teóricos que sustentan la investigación. Se aborda la explicación de qué es una cadena de abastecimiento de tres eslabones, y se hace una breve introducción acerca de la Planeación de Operaciones, con el fin de exponer y entender el alcance de esta función dentro de la cadena de abastecimiento y de la necesidad de contar con un modelo cuantitativo que ayude a optimizar los recursos de la misma.

4.1 QUÉ ES UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO

Una cadena de suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente.

La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (o menudeo) e incluso a los mismos clientes. Dentro de cada organización, como la del fabricante, abarca todas las funciones que participan en la recepción y el cumplimiento de una petición del cliente. Estas funciones incluyen, pero no están limitadas al desarrollo de nuevos productos, la mercadotecnia, las operaciones, la distribución, las finanzas y el servicio al cliente (Chopra y Meindl, 2007)

Stock y Lambert (2001) definen la cadena de abastecimiento como la integración de las funciones principales del negocio, que a través de los proveedores que ofrecen productos, servicios e información, agregan valor para los clientes y a otros interesados (Stakeholders). En la cadena de abastecimiento se pueden encontrar dos tipos de miembros, los primarios, que son las compañías autónomas que realizan actividades para satisfacer a un cliente y los de soporte que son las empresas que sirven de proveedores a los miembros primarios para que estos puedan cumplir con sus actividades (Stock y Lambert, 2001)

Según Stock y Lambert (2001) la cadena de abastecimiento cuenta con tres elementos: los procesos, los componentes y la estructura. Los primeros se refieren a las actividades que se realizan por los miembros dentro de la cadena, los componentes se refieren a la integración y el manejo que debe existir entre los procesos, y la estructura se refiere a los miembros con los que existe una unión entre los procesos.

En pocas palabras la cadena de abastecimiento es una red de organizaciones interrelacionadas que intervienen en diferentes fases del proceso productivo mediante actividades que pretenden añadir valor, desde el punto de vista del cliente, al producto, bien o servicio (Companys, 2005)

4.1.1 Estructura

Los componentes de un sistema típico de logística son: servicios al cliente, pronóstico de la demanda, comunicaciones de distribución, control de inventarios, manejo de materiales, procesamiento de pedidos, apoyo de partes y servicio, selección de la ubicación de fábricas y almacenamiento (análisis de localización), compras, embalaje, manejo de bienes devueltos, eliminación de mercaderías aseguradas rescatadas (desechos) y desperdicios, tráfico y transporte, almacenamiento y provisión (Ballou, 2004)

Cada etapa en la cadena de suministro se conecta a través del flujo de productos, información y fondos. Estos flujos ocurren con frecuencia en ambas direcciones y pueden ser administrados por una de las etapas o un intermediario. Ver figura 2.

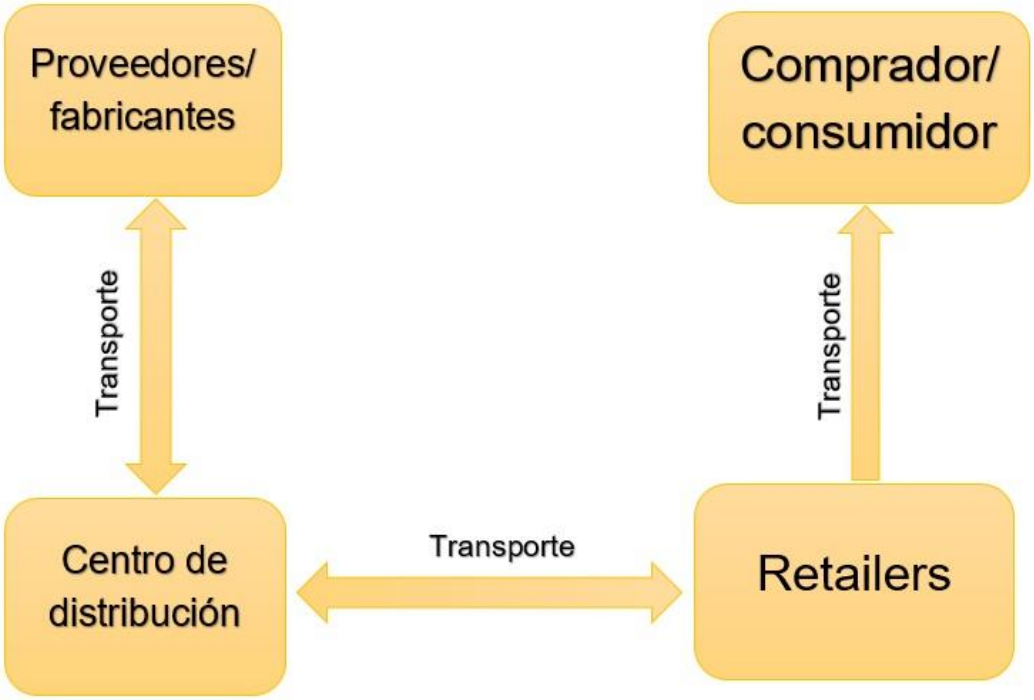

Figura 2. Esquema de cadena de abastecimiento
Fuente: Elaboración propia

Una cadena de abastecimiento típica puede abarcar varias etapas que incluyen:

- Clientes
- Detallistas (retailers)
- Mayoristas/distribuidores
- Fabricantes
- Proveedores de componentes y materias primas

También hacen parte de la cadena de abastecimiento algunas actividades que son determinadas por el tipo de cadena o empresas que la conforman, dependiendo del tamaño de la cadena y su capacidad logística es la eficiencia y la seguridad de cada actividad. Ver figura 3.

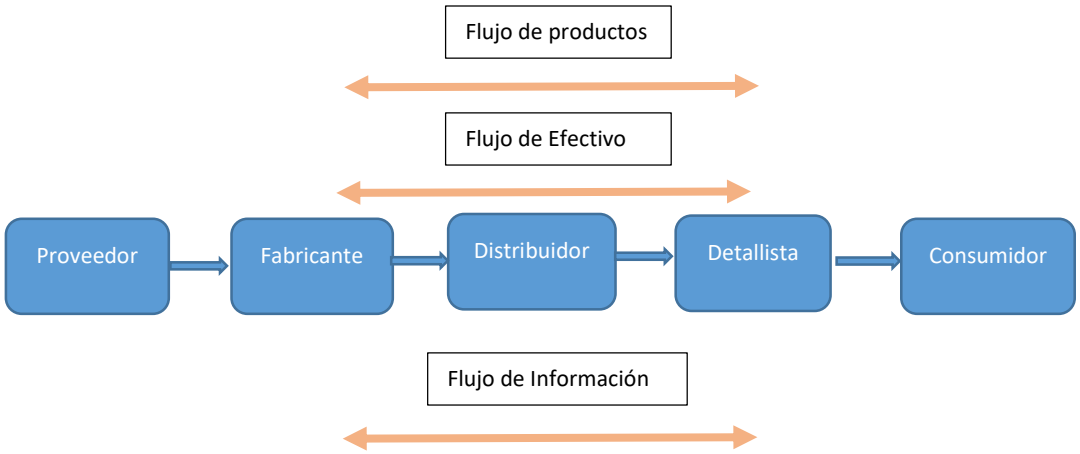

Figura 3. Diagrama de una cadena de abastecimiento tradicional.

Fuente: Elaboración propia

Las actividades que conforman la administración de la cadena de suministro varían según la logística que ésta emplea, dependiendo de la estructura de cada una. Las actividades consideradas clave y de apoyo están separadas porque algunas en general tendrán lugar en todos los canales de la logística y son las que más contribuyen al costo total. El transporte y el mantenimiento de inventarios son las actividades logísticas que principalmente absorben costos. La experiencia ha demostrado que cada una de ellas representará 50 a 66% de los costos logísticos totales. El transporte añade valor de lugar a los productos y servicios, en tanto que el mantenimiento de inventarios les añade valor de tiempo (Ballou, 2004)

4.2 ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO

La administración de la cadena de abastecimiento (Supply Chain Management ó SCM) comprende la planeación y administración de todas las actividades de adquisiciones y compras, conversión, y de administración de Logística. Incluye también la coordinación y colaboración entre canales, los cuales pueden ser proveedores, intermediarios, proveedores de logística y clientes. En esencia, SCM integra las actividades de suministro y demanda dentro de y entre las compañías.

SCM es una función integradora con responsabilidades primarias para ligar funciones mayores y procesos de negocios dentro de y entre las compañías hacia un modelo de negocios cohesivo y de alto desempeño. SCM incluye todas las actividades de administración de logística mencionadas arriba, al igual que las operaciones de manufactura, y lidera la coordinación de los procesos y actividades con y a lo largo de mercadeo, ventas, diseño de productos, finanzas y tecnología de información (Vidal, 2011).

4.2.1 Planeación logística

La planeación logística trata de responder las preguntas qué, cuándo y cómo, y tiene lugar en tres niveles: estratégica, táctica y operativa. La principal diferencia entre ellas es el horizonte de tiempo para la planeación. La planeación estratégica se considera de largo alcance, donde el horizonte de tiempo es mayor de un año. La planeación táctica implica un horizonte de tiempo intermedio, por lo general menor de un año. La planeación operativa es una toma de decisiones de corto alcance, con decisiones que con frecuencia se toman sobre la base de cada hora o a diario (Ballou, 2004)

4.2.2 Planeación estratégica

La planeación estratégica es la toma deliberada y sistemática de decisiones que incluyen propósitos que afectan o deberían afectar toda la empresa durante largos periodos. Es una planeación que incluye plazos más largos, es más amplia y se desarrolla en los niveles jerárquicos más elevados de la empresa, es decir, en el nivel institucional. Es un proceso continuo de toma de decisiones estratégicas que no se preocupa por anticipar decisiones que deban tomarse en el futuro, sino por considerar las implicaciones futuras de las decisiones que deban tomarse en el presente **(Chiavenato, 2011)**

(HAAZ, Alberto., 2010) nos dice que es el proceso de actividades donde se determinan objetivos a través de la priorización de los problemas presentados en la empresa para su resolución donde interviene personal encargado que guíen además de la determinación de los recursos con que se va a llevar y del tiempo con que se va a lograr este desempeño.

En la tabla 2, se mostrarán los diferentes niveles de la planeación estratégica y como se determinan sus planes dependiendo del área en que se desea implementar.

Tabla 2. Niveles de la planeación estratégica

Planeación Estratégica				
Táctico	Mercadológico	Financiero	De producción	De Recursos Humanos
Operacional	Plan de ventas	Plan de utilidades	Plan de producción	Plan de carreras
	Plan de promoción	Plan de inversión	Plan de mantenimiento	Plan de salarios y remuneración
	Plan de publicidad	Plan de flujo de caja	Plan de nuevos equipos	Plan de entrenamiento
	Plan de investigación de mercado	Plan presupuestal de gastos	Plan de suministro	Plan de reclutamiento y selección
	Plan de relaciones públicas	Plan de ingresos	Plan de racionalización	Plan de beneficios y servicios sociales

Fuente: I. Chiavenato, Planeación estratégica. Fundamentos y aplicaciones, México: Mc GrawHill, 2011.

En la tabla anterior, se puede observar como los diferentes niveles de planeación estratégica determinan un plan de trabajo direccionado a un área específica. Por ejemplo, el plan táctico financiero es el que abarca las decisiones de inversión, gastos, ingresos, etc.

Además **(Drucker, Peter., 2012),** señala que para que sea efectiva la estrategia se debe contar con gerentes que sepan analizar, reflexionar y comprender la situación que atraviesa en ese momento la empresa coordinando actividades con recursos de la organización para determinar qué acción debe tomar para obtener un beneficio.

4.2.3 Planeación agregada

Como su nombre lo indica, un plan agregado significa la combinación de los recursos adecuados en términos generales o globales. Dados el pronóstico de la demanda, los niveles de inventario, el tamaño de la fuerza de trabajo y los insumos relacionados, quien hace el plan debe seleccionar la tasa de producción para una instalación que va de 3 a 18 meses **(Heizer y Reinder, 2004)**

Cuando la demanda varía, los niveles de producción deseados no son obvios. Debe determinarse un plan de producción -cuántos y cuando fabricar cada producto-. La meta es hacer coincidir la tasa de producción y la tasa de demanda, para fabricar los productos cuando se necesitan **(Sipper y Bulfin, 1998)**

El enfoque de la planeación está en el plan agregado de operaciones, que convierte los planes de operación logística anual y trimestral en largos planes sobre la fuerza de trabajo y la producción para un plazo inmediato (de 3 a 18 meses). El objetivo del plan agregado de operaciones es minimizar el costo de los recursos necesarios para cubrir la demanda durante un periodo. Consultar figura 4.

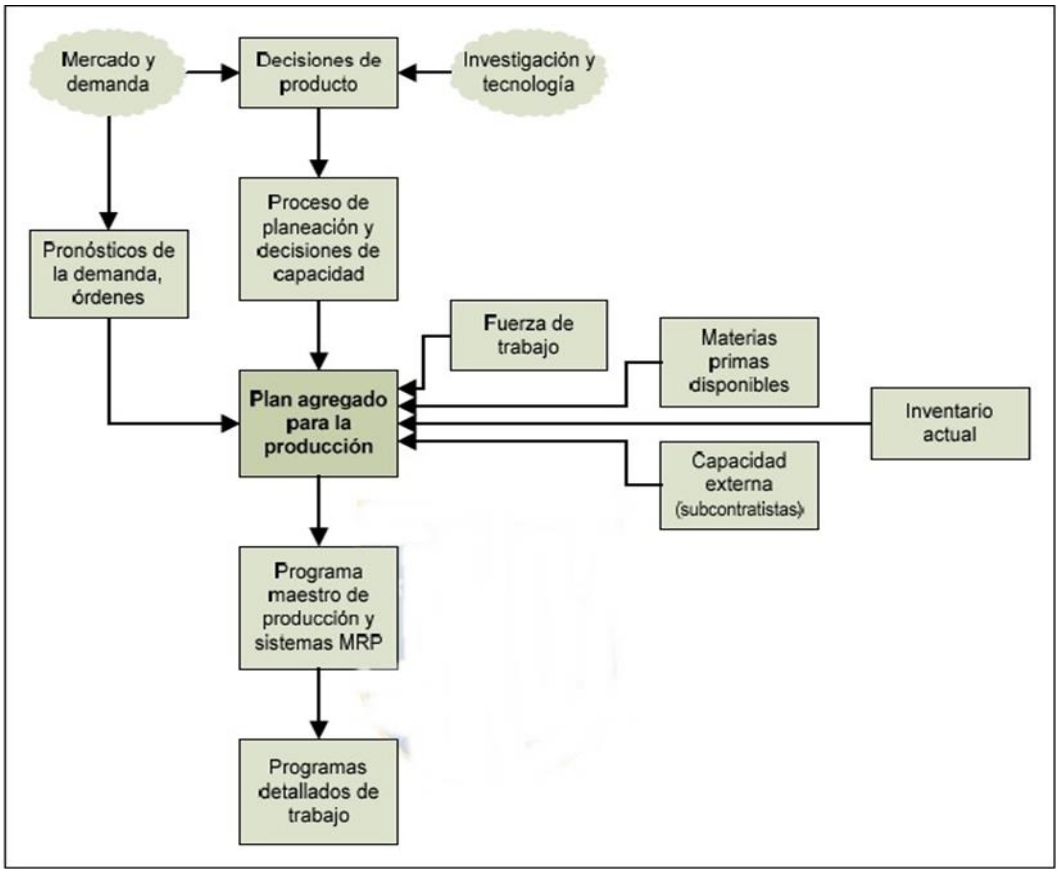

Figura 4. Relaciones del plan agregado.

Fuente: Render, Heizer. “Principios de Administración de Operaciones”.

Igual que en los pronósticos, la planeación agregada plantea una producción mediante tres planes para diferentes proyecciones de tiempo en orden jerárquico. Planes a largo, mediano y corto plazo.

Para este trabajo se usarán planes a corto plazo, ya que, se cubren periodos de planeación de 7 dias. Los tres aspectos más importantes de la planeación agregada son: la capacidad, las unidades agregadas y los costos (Sipper y Bulfin, 1998). A continuación, se hará un breve análisis de cada uno:

Capacidad: Propiedad de poder contener cierta cantidad de producto en las áreas de almacenamiento, en los vehículos de transporte o la cantidad de producto máxima cosechada en nuestro caso.

Unidades agregadas: Esta definición indica que las cantidades a producir se deben establecer de manera global, o sea, no aplica cuando se producen muchos ítems de diversas maneras. Es así, que los autores aconsejan utilizar unidades agregadas tales como: familias de productos, unidad de peso, unidad de volumen o valor en dinero. Los planes a largo plazo se llaman planes de capacidad; los planes a mediano plazo se llaman planes agregados.

Costos: muchos costos operativos intervienen en la cadena de abastecimiento. Entre ellos, los costos de producción, los costos de inventario, costos de transporte, etc. Los costos de producción incluyen materiales y mano de obra directa.

4.2.4 Coordinación en el contexto de la cadena de abastecimiento

La coordinación se aplica en este contexto por medio de flujos de información y prácticas de trabajo que se utilizan a lo largo de la cadena; principalmente en los procesos de gestión de abastecimiento entre los diferentes eslabones, y la gestión de ventas y distribución. Además, otras áreas logran coordinar mejor sus actividades al conocer la estimación de venta de producto por medio de la planeación de operaciones y cómo éste será distribuido, planificando producción, fletes, etcétera.

4.2.5 Oferta y demanda

Según **(Mochón, 1993)** la oferta tiene que ver con los términos en los que las empresas desean producir y vender sus productos. Recogiendo las intenciones de venta de los productores. Y la demanda representa las cantidades demandadas de un bien que los consumidores deseen y puedan comprar.

La **llamada ley de la demanda** es la relación inversa que existe entre el precio de un bien o producto y la cantidad demandada, de tal manera que al aumentar el precio disminuye la cantidad demandada, y lo contrario cuando se reduce el precio.

4.2.6 Elasticidad de la demanda

La elasticidad precio de la demanda mide el grado en que la cantidad demandada responde a una variación del precio. En términos más concretos, se puede decir que el coeficiente de elasticidad precio de la demanda, es la razón entre la variación porcentual de la cantidad demandada de un bien y la variación porcentual de su precio, manteniéndose constantes todos los demás factores que afectan a la cantidad demandada **(Mochón, 1993)**

4.3 PRONÓSTICOS

Los pronósticos proporcionan información para tomar mejores decisiones. El primer paso es identificar la decisión. Si la decisión no se afecta por el pronóstico, el pronóstico es innecesario. La importancia de la decisión sugerirá el esfuerzo que debe dedicarse a producir un pronóstico. Una decisión de una sola vez requiere un pronóstico, mientras que una decisión recurrente necesita un pronóstico cada vez que se toma la decisión. En cualquier caso, la decisión determina qué pronosticar, el nivel de detalle necesario y con qué frecuencia se hará el pronóstico. Los pronósticos de ventas, calidad de materiales, ingresos, gastos, uso de energía o los tiempos de llegada de los clientes son una necesidad común en las organizaciones **(Sipper y Bulfin, 1998)**

4.4 MODELOS DE PRONÓSTICO EN CADENAS DE ABASTECIMIENTO

4.4.1 Pronósticos de demanda

Los pronósticos de demanda futura son esenciales para tomar decisiones sobre la cadena de abastecimiento. Son vitales para toda la organización, siendo la base de la planeación logística a largo plazo. A su vez, los pronósticos proporcionan el fundamento para la planeación de presupuestos y el control de costos.

El pronóstico se puede clasificar en cuatro tipos básicos: cualitativo, análisis de series de tiempo, relaciones causales y simulación.

En nuestro caso el que más aplica a la cadena es el pronóstico por series de tiempo, ya que, según Chopra y Meindl, (2007), éstos utilizan la demanda histórica para hacer pronósticos. Se basan en la suposición de que la historia de la demanda pasada es un buen indicador de la demanda futura. Estos métodos son más apropiados cuando el patrón de la demanda básica no varía significativamente de

un año al siguiente. Son los métodos más simples de implementar y pueden servir como un buen punto de inicio para el pronóstico de la demanda.

4.4.2 Métodos de pronóstico por series de tiempo

Los métodos de pronóstico de series de tiempo utilizan la demanda histórica para hacer pronósticos. Se basan en la suposición de que la historia de la demanda pasada es un buen indicador de la demanda futura. Estos métodos son más apropiados cuando el patrón de la demanda básica no varía significativamente de un año al siguiente. Son los métodos más simples de implementar y pueden servir como un buen punto de inicio para el pronóstico de la demanda **(Chopra y Meindl, 2007)**

Promedios Móviles

En lugar de tomar el promedio de todos los datos, se puede elegir promediar sólo algunos de los datos más recientes. Este método es llamado promedio móvil, y es un compromiso entre los métodos del último dato y del promedio. Promedia los datos más recientes para reducir el efecto de las fluctuaciones aleatorias. Como sólo usa datos recientes para el pronóstico, un promedio móvil responde al cambio en el proceso de una manera más rápida **(Sipper y Bulfin, 1998)**

Suavización Exponencial

En los métodos de pronósticos anteriores (promedios móviles), la principal desventaja es la necesidad de manejar en forma continua gran cantidad de datos históricos (esto también sucede con las técnicas de análisis de regresión). En estos métodos, al agregar cada nueva pieza de datos, se elimina la observación anterior y se calcula el nuevo pronóstico. En muchas aplicaciones (quizás en la mayor parte), las ocurrencias más recientes son más indicativas del futuro que aquellas en el pasado más distante. Si esta premisa es válida (que la importancia de los datos disminuye conforme el pasado se vuelve más distante), es probable que el método más lógico y fácil sea la suavización exponencial **(Chase, Jacobs y Aquilano, 2010)**

4.4.1 Programación Lineal

La programación lineal se aplica a modelos de optimización en los que las funciones objetivo y restricción son estrictamente lineales. La técnica se aplica en una amplia variedad de casos, en los campos de agricultura, industria, transporte, economía,

salud, ciencias sociales, y de la conducta y militar. También produce algoritmos eficientes de cómputo para problemas con miles de restricciones y variables **(Taha, 2004)**

4.5 MODELOS DE GESTIÓN DENTRO DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO

Los modelos facilitan la gestión por cuanto muestran resultados de una situación específica y en la planificación operativa permiten reaccionar rápidamente a los cambios del entorno que no se pueden predecir con anterioridad **(Arumugam et al., 2010)**
En el caso de las cadenas de abastecimiento, hay un número limitado de modelos que responden a necesidades de planeación operativa centrados en estrategias para hacer frente a la incertidumbre de la demanda. Dos de ellos son: El primero es el modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministro (SCOR), el cual se basa en reingeniería de procesos de negocio, evaluación comparativa y medición de procesos en un marco de funciones transversales. Este modelo proporciona definiciones genéricas de los procesos de la CS para la producción y la logística. Mín y Zhou (2002). El segundo modelo para la gestión es el propuesto por el Foro Mundial de la Cadena de Suministro (Fine, 2000). Este modelo tiene una perspectiva estratégica y se centra en la integración mediante la gestión de relaciones.

4.5.1 Modelos determinísticos

Los modelos determinísticos son aquéllos donde se supone que todos los datos pertinentes se conocen con certeza. Es decir, en ellos se supone que cuando el modelo sea analizado se tendrá disponible toda la información necesaria para tomar las decisiones correspondientes (Eppen, 2000)

4.5.2 Modelos probabilísticos o estocásticos

En los modelos probabilísticos, o estocásticos, algunos elementos no se conocen con certeza. Es decir, en los modelos probabilísticos se presupone que algunas variables importantes, llamadas variables aleatorias, no tendrán valores conocidos antes que se tomen las decisiones correspondientes, y que ese desconocimiento debe ser incorporado al modelo **(Eppen, 2000)**

A manera de conclusión. La planeación de la cadena de abastecimiento requiere el diseño de modelos de gestión que logren identificar ampliamente las dinámicas del

territorio, teniendo en cuenta aspectos como el tamaño de los agricultores, las condiciones de producción primaria, la tecnología, la demanda del mercado, la capacidad financiera y las prácticas de gestión, entre otros, lo cual implica la elaboración de diseños que se adapten a las condiciones específicas del territorio, proceso que se facilita actualmente gracias a los modelos estocásticos que permiten manejar un grupo más amplio de variables **(Sánchez y Hasbleidy, 2014)**

5. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Importantes trabajos en el área de la Administración y planeación de Operaciones se han desarrollado con el enfoque de cadenas de abastecimiento. Algunos de ellos son: **Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2009).** "Application of planning models in the agri-food supply chain: A review". El artículo aborda los temas de la apertura de los mercados nacionales frutícolas a la competencia internacional a través de la voluntad de los productores para hacer más eficiente éste sector, que dan como resultado un cambio en el enfoque de la planeación de la producción. El agricultor busca la eficiencia general de la cadena de suministro, para esto, debe enfrentar los desafíos que requiere el sector frutícola en torno a las variables de planeación y es necesario tener una mirada crítica a la cadena de suministro actual para determinar las mejores estrategias a asumir con las nuevas condiciones mundiales.

Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011). "Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products". El artículo expone la problemática que enfrentan los productores en materia de planificación de cosechas, como decidir el nivel de tecnología a utilizar, la cantidad de materia prima de un determinado producto, el momento de la siembra y la cosecha.

Alejandro, B., & Karina, E. (2016). "La planificación estratégica y su impacto en la producción bananera de la empresa TOCALIT SA ubicada en la ciudad de Naranjal". El autor propone el diseño de un modelo de planificación estratégica para una cadena de abastecimiento frutícola y ofrece al productor tener el conocimiento de cómo se debe administrar mejor la cadena y mejorar la producción; de esta forma puedan tomar decisiones acertadas y seguras para el mejoramiento continuo de la empresa.

Farías Ramírez, C. E. (2016). "Mejora de procesos de abastecimiento y comercialización de fruta a través de pronósticos en la oferta y demanda en Geofrut". El autor propone un modelo para mejorar las actividades de planificación y coordinación de producción de frutas, lo cual permite anticiparse a eventos futuros evitando así costos asociados. Teniendo en cuenta la estimación de oferta y demanda, en su conjunto, dando las herramientas necesarias para tomar mejores decisiones en el ciclo de abastecimiento y distribución para las ventas spot, la que, a diferencia de la venta programada, dependen de las estimaciones para definir dónde será destinada la fruta y asegurar buenas oportunidades de venta, antes que la fruta esté en riesgo de perecer.

García Vázquez, A., García Salazar, J. A., Guzmán Soria, E., Portillo Vázquez, M., & Fortis Hernández, M. (2011). "El mercado de la sandía en México: un estudio de caso sobre excesos de oferta y volatilidad de precios". El artículo estudia la problemática que presenta un grupo de productores de sandía al enfrentar las pérdidas económicas como consecuencia de los excesos de oferta por temporadas. Presenta un modelo de programación lineal que incorpora elementos espaciales y temporales, que caracterizan la producción y consumo de sandía en México. Dando

como resultado que la mejor política para incrementar la ganancia era planear la producción.

Revollo Gaviria, L. (2009). “Propuesta para el mejoramiento de la producción en Alimentos SAS S. A., a través de la estructuración de un modelo de planeación, programación y control de la producción”. Tesis de grado, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería . El autor propone el diseño de un sistema de planeación, programación y control de la producción, siendo primordial el uso correcto de las herramientas y elementos que maneja la planeación de operaciones Estos modelos son principalmente utilizados para determinar la programación de la producción y de las entregas y para establecer los niveles de inventario.

Hernández Vega, M. O., & Muñoz Meza, M. C. (2004). “Diseño de una metodología para la planeación y programación de producción de café tostado y molido en la planta de Colcafé Bogotá”. El autor propone una metodología para la planeación y producción de una planta de café, que plantea una solución para mejorar la capacidad de respuesta ante las posibles variaciones en la demanda del café.

Peña, I., & Santa Cruz, R. (2001). “Modelo de Planeación de la Producción para una Empresa Agroindustrial”. El artículo describe un modelo de planeación de la producción desarrollado para una empresa agroindustrial en el mercado nacional y de exportación. Se utiliza un modelo matemático para determinar las variables de decisión que minimizan una función de costos incurridos en las correspondientes actividades establecidas en el plan de producción. El artículo termina mostrando los resultados del modelo, requerimientos y niveles de utilización de planta.

Ramírez, R. S., Bobadilla, C. U., & Araya, M. G. (2012). “Modelo para la planeación de la producción de bayas congeladas”. El artículo propone la Administración la cadena de suministro de alimentos como un proceso complejo debido a la naturaleza perecedera de los productos, donde el deterioro de la calidad se incrementa a medida que transcurre el tiempo en que el producto no es consumido. Con este propósito, desarrollan un modelo de programación lineal entera para planificar la producción de bayas congeladas, que busca disminuir las pérdidas y minimizar los costos operativos en las plantas de embalaje.

Ramírez Barraza, B. A. (2014). “Producción de melón y sandía en la Comarca Lagunera: un estudio de planeación para reducir la volatilidad de precios”. El autor expone la problemática de una producción que presenta bajos precios en cierta época del año como consecuencia de la existencia de excesos de ofertas temporales. Presenta la solución de un modelo de programación que considera las características espaciales y temporales de la producción de los cultivos.

Sánchez, V., & Hasbleidy, Z. (2014). “Modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos”. El artículo consiste en exponer una breve panorámica sobre la planeación de cadenas de suministro de productos perecederos mediante el diseño de modelos de gestión que logren identificar

ampliamente las dinámicas del territorio, teniendo en cuenta aspectos como el tamaño de las áreas de producción, las condiciones de producción primaria, la tecnología, la demanda del mercado, la capacidad financiera y las prácticas de gestión, lo cual implica la elaboración de diseños que se adapten a las condiciones específicas del territorio, proceso que se facilita actualmente gracias a los modelos estocásticos que permiten manejar un grupo más amplio de variables.

De esta manera se muestra cuáles son los diferentes enfoques que se le han dado en algunas cadenas de abastecimiento frutícolas a la planeación de operaciones, lo cual, ha contribuido a mejorar sustancialmente el flujo de los productos y la información a lo largo de la misma, mejorando variables como: la demanda, variabilidad de precios, disminución de pérdidas, sobreoferta, cantidad de materia prima, etc.

A continuación, se incluye una tabla con el consolidado de la información bibliográfica, que permitirá hacer un análisis más técnico de las cadenas que son objeto de estudio.

Tabla 3. Resumen de los aspectos relevantes y el método de solución utilizado en cada modelo.

Características de la cadena	**Enfoque del proceso de planeación**	**Método de solución**
Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2009).	Estudio de modelos de planificación utilizados en los diferentes aspectos de la cadena de suministro de alimentos agrícolas.	Análisis e interpretación de resultados.
Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011).	Maximizar la utilidad del productor, teniendo en cuenta que la rentabilidad depende en gran medida del manejo de la planificación a corto plazo en la época de cosecha.	Resultados de la aplicación del modelo en un caso de estudio.
Alejandro, B., & Karina, E. (2016).	Planificación estratégica para mejorar la administración de una cadena de abastecimiento frutícola.	Análisis e interpretación de resultados.
Farias Ramírez, C. E. (2016).	Explorar la utilidad de diversos métodos matemáticos, para formalizar un sistema de pronósticos de oferta y	Herramientas del business Intelligence y de estadística. (metodología KDD y Data Mining)

	demanda que permita planificar mejor la distribución de las ventas Spot (67% de las ventas).	
García Vázquez, A., García Salazar, J. A., Guzmán Soria, E., Portillo Vázquez, M., & Fortis Hernández, M. (2011).	Modelo de programación lineal que permite tomar medidas de control de la oferta, para mejorar la ganancia.	Escenarios de posibles resultados comparados para tomar el mejor.
Gaviria, I. R., Alonso, J. D. S., & Peña, J.	Un modelo de pronósticos. Dependiendo de diversos factores, que incluye el marco de tiempo, el comportamiento de la demanda y la existencia posible de tendencias o patrones.	Establecer una valoración económica con el fin de determinar la viabilidad financiera de las propuestas.
Hernández Vega, M. O., & Muñoz Meza, M. C. (2004).	Planeación de producción para mejorar la respuesta ante variaciones de demanda	Herramientas de producción, finanzas, análisis de sistemas de información, investigación de operaciones, control de calidad y mercados.
Peña, I., & Santa Cruz, R. (2001).	Programación matemática para determinar las variables de decisión que minimizan una función de costos incurridos en el plan de producción.	Evaluación de un número de estrategias de producción para encontrar la alternativa con el menor costo y así realizar el análisis de sensibilidad.
Ramírez Barraza, B. A. (2014).	Modelo de programación lineal que incorpora características espaciales y temporales de producción, maximizando	La solución del modelo se obtuvo con el procedimiento MINOS escrito en el lenguaje de programación GAMS *(General Algebaric*

	la ganancia del productor, sujeta a restricciones de balance de oferta y demanda.	*Modeling Systems) (Brooke et al., 1998).*
Ramírez, R. S., Bobadilla, C. U., & Araya, M. G. (2012).	Un modelo de programación lineal entera, que permite planificar la producción disminuyendo pérdidas y disminuyendo costos operativos.	El paquete de software utilizado es CPLEX Optimization Studio, versión 12.4, instalado en un computador portátil con procesador Intel Core i3® de 2.1 GHz con 3 GbRAM de 1.333 MHz.
Sánchez, V., & Hasbleidy, Z. (2014).	Modelación y configuración de cadenas de suministro y el impacto del territorio en su planeación.	Se establece un modelo de referencia hacia la demanda, específicamente en requisitos de tiempo y volumen, lo que obliga al mercado a consumir en los momentos de abundancia, y a la cadena de abastecimiento a adaptarse a las condiciones tanto de la producción y su variabilidad, como a las necesidades de la demanda.

Fuente: elaboración propia

La revisión de la literatura incluye trabajos académicos desarrollados entre el 2009 y 2016, que tratan diferentes aspectos relacionados con el desempeño de las cadenas de abastecimiento agroindustriales. En tal sentido los trabajos presentados en la tabla No. 3 se orientan a tratar las dimensiones de desempeño relacionadas con la planificación de la cosecha y su impacto en términos de costos y utilidad. Se abordan problemas desde la planeación operativa pero también desde la planeación estratégica. Los modelos de pronósticos juegan un papel importante en los artículos revisados como un elemento relevante en la programación de producción y la disminución de costos. La capacidad de respuesta de la cadena frente a la variabilidad de la demanda es uno de los enfoques tratados en estos documentos, pero además las consideraciones de temporalidad de la producción y sus efectos

en los precios son tratadas. Los modelos de optimización se plantean en varios de los documentos estudiados y se utilizan herramientas como business intelligence, Data mining, lenguajes de programación GAMS y Cplex como solucionadores.

En general, la complejidad de los procesos de planeación en cadenas de abastecimiento agrícolas se hace evidente, en consideración a los aspectos de temporalidad, sobre oferta, precios de mercado, por mencionar algunos.

6. MODELO DE REFERENCIA

Se toma como referencia un artículo de **Ahumada y Villalobos (2011)**, donde se diseña un modelo de planeación de operaciones para una cadena de abastecimiento alimenticia de cinco eslabones, en el cual, se maximizan los ingresos del productor a corto plazo. Teniendo en cuenta que los productores de alimentos perecederos, como frutas y hortalizas, día a día se enfrentan a problemas de planificación, ya sea, táctica, estratégica u operativa. El modelo presenta un caso estudio de cultivos de pimentón y tomate en Estados Unidos; pero dada su importancia económica, su complejidad al ser modelado, y las herramientas empleadas puede ser adaptable a otro tipo de cultivo. A continuación, se muestra como está conformada la cadena:

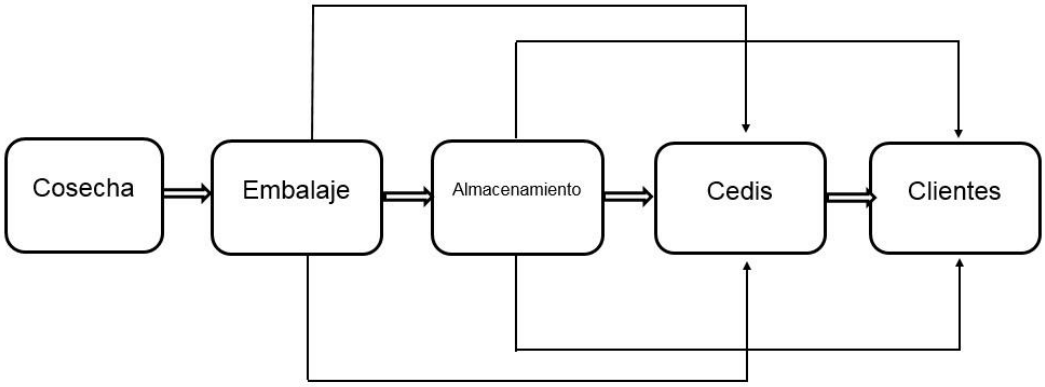

Figura 5. Cadena de suministro del cultivo hortofrutícola.

Fuente: Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011)

Para realizar el modelo, los autores tienen en cuenta las condiciones de la cadena a la cual se hace referencia, tales como: la planificación de la cosecha a corto plazo, la reducción de los costos operativos, la preservación del valor de los cultivos y el uso de modos de transporte eficientes, convirtiéndose en mejor calidad de los productos.

A continuación, se relacionan varios aspectos que los autores tienen en cuenta para formular el modelo.

En primer lugar, se busca que ciertos atributos de calidad (color) estén presentes en el producto al momento de la venta, por lo tanto, se creó una tabla donde clasifican el nombre que se le da al producto según el color que va tomando con el paso de los días y su respectivo precio, el cual es decreciente. Con este patrón de calidad, se desarrolló un modelo de planificación que cuantifica y equilibra la pérdida de valor del producto y los costos incurridos para evitar esa pérdida, como el aumento del número de cosechas en un período de tiempo dado. Permitiendo que los productores no incurran en mayores costos en términos de mano de obra y transporte.

Todavía existen factores incontrolables que influyen en las decisiones de planificación de la producción, como fluctuaciones repentinas del mercado (oferta-demanda), el rendimiento esperado y la madurez de los cultivos, que dependen en gran medida de las condiciones climáticas y el comportamiento poscosecha de los cultivos. Para hacer frente a estos problemas de planificación a corto plazo, el modelo incorporó los tiempos de cosecha, modos de transporte, inventarios, mano de obra y todos los costos asociados a la entrega.

A continuación, se presenta el esquema de la cadena de suministro que se utilizó para el desarrollo de este modelo de planificación. Aunque los detalles pueden variar de un país a otro:

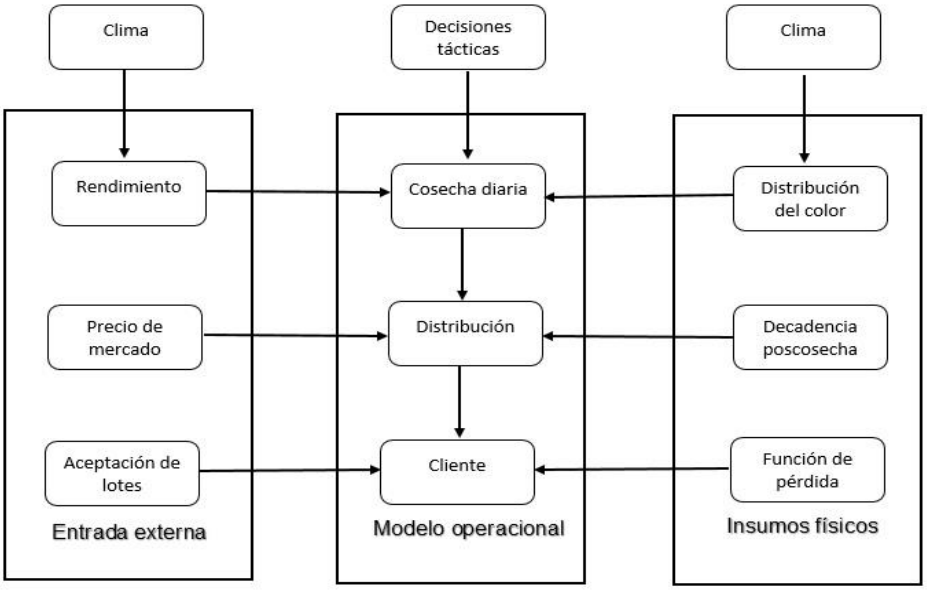

Figura 6. Diagrama de problema de planificación.

Fuente: Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011)

Para conocer más sobre el proceso de distribución, se debe tener en cuenta que los productos pueden ser vendidos a intermediarios o vendidos en el mercado abierto. Algunas veces, los clientes en el mercado abierto prefieren recoger sus productos en el almacén de embalaje, mientras que los intermediarios acceden a diferentes tipos de acuerdos en el precio y transporte, disminuyendo en ocasiones los ingresos del productor.

En segundo lugar, realizan los supuestos y horizontes de planificación, suponiendo que las decisiones tácticas y estratégicas ya se tomaron en cuenta, como lo son la planificación de producción, cuánto y cuándo plantar, todo el diseño logístico; esto implica que, en el momento de aplicar el modelo, se tienen claras las variedades, las cantidades plantadas de cada cultivo y los modos de transporte disponibles. También plantean que no es posible aumentar la producción de cultivos a nivel de planificación operacional. Por lo tanto, se asume que la demanda tiene que ser satisfecha con los niveles disponibles, o adquiriendo productos adicionales en el mercado abierto.

Con respecto al horizonte de planificación, se propone un horizonte de 4 semanas para las decisiones de cosecha, embalaje y transporte. Dicho horizonte de planificación se muestra en la (Tabla 4).

Tabla 4. Horizonte de planificación del modelo.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Cosecha													
Embalaje													
Almacenamiento / transporte													
Duración													

Fuente: Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011)

Como puede observarse en la anterior tabla, el empaque se realiza casi siempre simultáneamente con la cosecha, el almacenamiento y/o el transporte, siendo este último el tiempo más largo. Además, se espera que la planificación se aplique en un horizonte continuo, actualizado al menos una vez por semana, pero si los planificadores requieren mayor precisión, podría actualizarse dos veces o más por semana.

6.1 INCERTIDUMBRE DEL MERCADO

La incertidumbre del mercado es otro de los factores que influyen dentro del modelo, puesto que, este tipo de cultivos tiene una vida útil corta, por lo tanto, no pueden tener un almacenamiento prolongado, obligando a los agricultores abastecer la demanda independientemente de la distribución del rendimiento de los cultivos, lo cual genera restricciones y hace que se genere sub-producción y sobreproducción creando incertidumbre en la estimación de la demanda y precios de los productos. El rendimiento y la madurez, son dos de los principales insumos dentro del modelo operacional durante los periodos de cosecha; dado que, la estimación precisa de la cantidad de fruta lista para ser cosechada y sus características particulares de calidad son importantes para determinar la frecuencia de las decisiones de cosecha, transporte y comercialización. El modelo integra las estimaciones de rendimiento y madurez del cultivo a través de modelos biológicos de uso, desarrollados por investigadores en ciencias agrícolas.

Este comportamiento es evidente en el caso del mercado de tomates, donde los precios aumentan cuando la oferta es baja (meses de invierno) y disminuyen cuando la oferta es abundante (meses de verano). Además de las tendencias estacionales, los precios del tomate también pueden ser muy variables a lo largo de la temporada de cosecha con cambios repentinos.

Incluso hay cambios significativos en los precios de una semana a la otra, como puede verse en la Fig. 7. Que presenta los precios diarios de los tomates recolectados por el USDA (2007) para la temporada de invierno/primavera, desde las últimas 2 semanas de diciembre hasta la última semana de mayo.

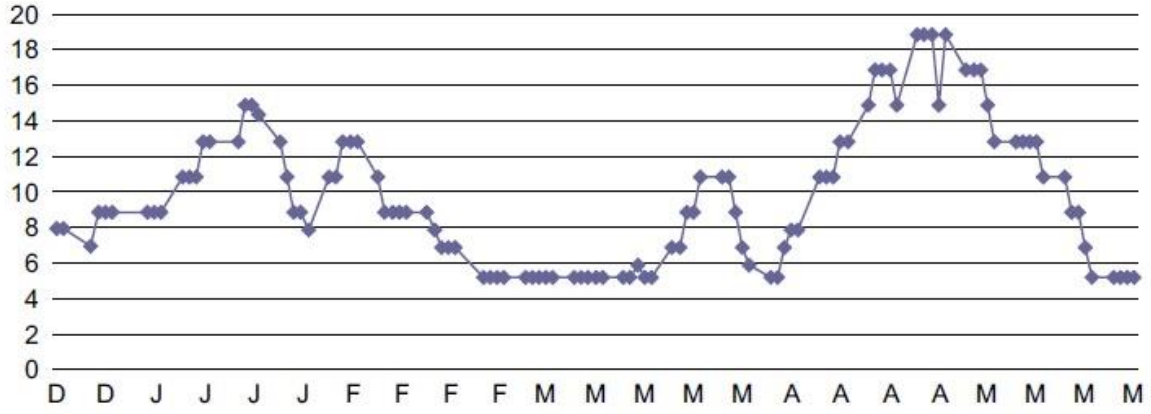

Figura.7 Precios diarios por caja de tomates (2007)

Fuente: Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011)

Estas variaciones en los mercados y sus efectos en los ingresos del agricultor son lo que hace que la toma de decisiones a corto plazo sea cada vez más importante.

6.2 RENDIMIENTO Y MADUREZ DEL PRODUCTO

Dos de las principales variables para el modelo operacional son el rendimiento y madurez de los productos durante los períodos de cosecha ya que, la estimación exacta de la cantidad de fruta lista para ser cosechada y sus características de calidad son importantes para determinar la frecuencia de las decisiones de cosecha, transporte y comercialización.

Una alternativa utilizada en este artículo, es usar la información histórica de la cosecha semanal para determinar el volumen esperado para ser cosechado basado en el tiempo de siembra. Esta información es ajustada utilizando muestras semanales de cada parcela para llegar a una estimación del producto transportado en las plantas y el estado de su madurez. Ambas piezas de información se pueden utilizar para estimar la distribución de los rendimientos y los tamaños de los frutos para las semanas que siguen.

El tercer factor que se tuvo en cuenta a nivel operativo es la vida útil del producto una vez que se ha cosechado. Para estimar la descomposición (o pérdida de valor) de los productos durante el almacenamiento y la distribución, se requieren métricas adecuadas para medir la calidad del producto. Una cuestión relacionada es la calidad deseada exigida por los consumidores (punto óptimo) y su comportamiento de aceptación. Ambos aspectos se pueden combinar en el concepto de mantener

la calidad, que es el tiempo hasta que una mercancía se vuelve inaceptable porque ciertos atributos de calidad de los cultivos se han deteriorado más allá del límite de aceptación de los clientes **(Tijskens y Polderdijk, 1996).**

6.3 LOGÍSTICA EN LA CADENA DE ABASTECIMIENTO

Como se mencionó anteriormente, existe un equilibrio entre los costos de almacenamiento y transporte y la calidad de los productos entregados a los clientes. Además, algunos clientes también imponen requisitos en el servicio, como el tiempo máximo de entrega o la disponibilidad inmediata de los productos, lo que se implica que se deba almacenar productos más cerca del cliente. Para cumplir con estos requisitos de distribución, se requieren diferentes tipos de recursos, que incluyen centros de distribución y modos de transporte.

El modelo supone que, podría no ser factible enviar una gran cantidad de producto a través de cualquier de transporte. Por esta razón, el modelo asume una capacidad limitada de los modos de transporte, es decir, un límite máximo y mínimo de kilogramos a enviar a los clientes. El modelo supone que pueden utilizarse tres tipos de modos de transporte para enviar los productos entre la planta y los clientes finales o entre la planta y los centros de distribución o intermediarios. Estos modos son: el transporte por camión, el ferrocarril y el aire, que son los más comunes en Estados Unidos, y los modos de transporte más populares para los productos perecederos. Para el modelo, la unidad básica de transporte se da en contenedores, y se supone que todos los contenedores utilizados en los tres modos son similares a los utilizados por los camiones.

6.4 SUPUESTOS DEL MODELO EN SU PARTE OPERATIVA

Como se mencionó anteriormente, las principales decisiones del modelo incluyen el tipo de producto a cosechar, su frecuencia (veces por semana) y los días en que deben cosecharse. Estas decisiones van ligadas a las restricciones de tiempo y trabajo, y los efectos de las decisiones de recolección sobre la calidad de los productos. El modelo aborda estas decisiones mediante el uso de patrones predeterminados para la recolección de cada parcela, por ejemplo, una parcela se podría cosechar: diariamente, dos veces por semana, tres veces por semana, etc. Incluso cuando podría haber muchos patrones diferentes, existe un número finito que podrían utilizarse para el horizonte de planificación de 12 días propuesto en la decisión de cosecha. Además, una vez seleccionado el patrón, se puede utilizar durante varias semanas, dependiendo del mercado y de los factores ambientales que influyen en las decisiones de recolección.

Los posibles patrones para un horizonte de cosecha de 12 días se presentan en la Tabla 5, y muestra los días seleccionados para la cosecha con una frecuencia de entre 1 y 4 días.

Tabla 5. Patrones de cosecha

Patrón	Día											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
II	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
III	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
IV	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

Fuente: Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011)

Podemos ver como el patrón II tiene una frecuencia de tres veces por semana (cosecha 2 días) y el patrón III tiene frecuencia de dos veces por semana. Existen dos modelos de tipo II, tres de tipo III y cuatro de tipo IV, que cubren los 12 períodos de recolección en el horizonte de planificación.

Se tomó la decisión de usar los patrones para cosechar una parcela en un horizonte de planificación dado. Por ejemplo, la mitad de la parcela se puede cosechar con el patrón II a partir del día 1 y la otra mitad se puede cosechar con el patrón I, pero a partir del día 2. Debido a esto, una parte de una parcela puede ser cosechada en día 1 y la otra parte en el día 2.

Se ha optado por maximizar los ingresos del productor, dada la elección de los clientes, los precios que ofrecen y los costos incurridos en la producción.

6.5 CONCLUSIONES DEL MODELO

Se puede concluir que el modelo desarrollado por Ahumada y Villalobos ayuda al agricultor a tomar decisiones a corto plazo, en medio de mercados complejos. El uso de esta herramienta es muy útil para maximizar la utilidad de los productores en un clima variado y mercados dinámicos. Tomando en cuenta la calidad del producto, la naturaleza de los cultivos y las diferentes alternativas para su distribución, el modelo debe ser lo más flexible posible para determinar el porcentaje de rentabilidad y para analizar nuevos mercados.

7. DESCRIPCIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO OBJETO DE ESTUDIO

La cadena de abastecimiento está ubicada en el municipio de Andalucía, Valle del Cauca, una pequeña población con 27.034 hab., 16.363 en la zona urbana y 10.671 en la zona rural. Su territorio es en mayoría plano, con temperatura media de 23ºC y altitud de 995 msnm; se encuentra a 110 km de la capital vallecaucana (Cali). (valle, 2018)

La economía del municipio está basada en la agricultura y la ganadería, siendo sus principales cultivos limón, mandarina, naranja, maíz, caña de azúcar, plátano. Cuenta con desarrollo en los servicios públicos y crecimiento de las ciudades aledañas a nivel comercial, permitiéndole sacar adelante sus productos. La microempresa de la elaboración de gelatina se incrementó en gran porcentaje, generando empleo y un mejor nivel en la población andaluza (Manzano y Rodriguez, 2007)

7.1.1. Cultivo de cítricos

La oferta de cítricos se puede observar a lo largo de toda su zona rural plana, siendo la fuente de ingresos de la mayoría de pobladores de todas los corregimientos y veredas del municipio que se describen a continuación.

Corregimientos: Campoalegre, Zabaletas y El Salto.

Veredas: Madre Vieja, Tamboral, El Oriente, Monte Hermoso, Zanjón de Piedra.

Es el corregimiento de Campoalegre, ubicado a 5 minutos del parque principal, es el que produce más cítricos, debido a su gran población y a tener la vía principal en medio, también posee centros de almacenamiento de fruta y alojamiento rural. Las veredas de Madrevieja, Sabaletas y Zanjón de Piedra. Siguen en segundo lugar complementando esta oferta.

7.2 PRODUCTORES

7.2.1 Mano de obra

Los productores realizan la recolección de forma artesanal y con limitaciones técnicas. Por ejemplo, para recolectar 600 kg de limón o 10 bultos, el productor debe contratar mano de obra que por lo general trabaja al día o cobra por bultos recogidos. Al finalizar el día, se tiene un inventario de producto empacado en las zonas destinadas para el almacenamiento y se procede a el pago de la mano de obra que se hace con base al salario diario promedio que se tiene en la zona, por lo

general es de 30.000 $/día. La contratación de los empleados depende de la honestidad al realizar su labor y de la experiencia recolectando el producto, que permita terminar el proceso lo más rápido posible. El número de trabajadores depende de la oferta del producto, es decir, si es temporada de alta producción, se necesitan unos 5 trabajadores por hectárea (en promedio), para laborar seis días a la semana.

7.2.2 Insumos

A la hora de abonar la tierra o comprar venenos para el control de plagas, los productores utilizan los más económicos para reducir costos y que estén a la mano en las poblaciones aledañas, por lo general Tuluá es la fuente de comercio de insumos más cercana. Algunos de los elementos utilizados son:

Fertilizantes: Abono mineral Triple 15, Triple 18, Urea, Nutrimon, Compost orgánico, Nutribacter.

Plaguicidas: Oxicloruro de cobre, Furadan 5g (Carbofurano), Cipermetrina, Vertimec 8.4 SC, Lorsban 4 EC, Engeo.

7.2.3 Modos de transporte

Debido a que la zona cuenta con vías de acceso en buen estado, los vehículos de transporte para recolección en cada parcela son camionetas con capacidad de carga de 1000 kg en promedio, como se muestra en la figura 9. Desde cada parcela hasta los centros de acopio de los intermediarios con una frecuencia diaria.

Para el transporte desde los centros de distribución a los detallistas o el mercado abierto, se utilizan vehículo de más capacidad, ya que, se lleva casi todo el producto que llega a los centros de acopio y deben viajar largas distancias. Estos vehículos, por lo general, son camiones tipo turbo con capacidad para 5.000 kg en promedio, ver figura 10. A continuación, se muestran las fotos de los vehículos utilizados para el transporte de producto.

Figura 8. Transporte desde parcelas hasta intermediarios.

[Fotografía de Andrés Puertas].(Valle del Cauca. 2018)

Figura 9. Transporte desde intermediarios hasta detallistas.

[Fotografía de Andrés Puertas].(Valle del Cauca. 2018)

7.3 INTERMEDIARIOS

Es el nivel que opera entre el fabricante y los clientes finales, para facilitar las transacciones y ejerciendo funciones fundamentales que agregan valor tanto al fabricante como al consumidor, como búsqueda y evaluación del producto o servicio a menor costo, asesoría en la definición de necesidades e información de características del producto o servicio al cliente, comunicación de preferencias del consumidor, cubrimiento de los riesgos de impago y de los productos, y la distribución misma del producto.

Los intermediarios en la cadena recepcionan el producto de las parcelas más cercanas, cuando pasa la mañana, las bodegas de almacenamiento ya están llenas para ser seleccionado y empacado nuevamente en las presentaciones que se va a vender, ya sea en cajas, mayas (4 o 5 unidades) o bultos, dependiendo de como lo solicite el cliente. El producto que entra a estos centros de acopio es pagado inmediatamente y lo ideal es que el inventario que queda en las parcelas sea cero, evitando cambio en el patrón de calidad del producto. Los costos operativos y logísticos que se generan a partir de que el producto es pagado y entra a las bodegas del intermediario son asumidos por ellos mismo, quienes deberán establecer su margen de ganancia a la hora de vender a los detallistas.

El intermediario es el que tiene la peor reputación en la actividad económica de la cadena. Debido a que, se le responsabiliza del encarecimiento injustificado del precio de los productos. Dichos comentarios provienen del desconocimiento sobre los costos que tiene que asumir el intermediario al contratar personal para empacar y comprar estas materias primas.

7.4 DETALLISTAS Y MERCADO ABIERTO

Los detallistas son los comerciantes o mercados de venta al por menor o al detalle que tienen como objetivo al consumidor final. Estos se abastecen por lo general, dependiendo de la oferta y la demanda del producto. La demanda casi siempre será constante, pero el precio varía diariamente y es un factor importante a la hora de adquirir el producto.

Algunos ejemplos de detallistas o minoristas son:

- Tiendas de barrio.
- Supermercados de cadena.
- Plazas de mercado locales.
- Restaurantes.
  Cabe anotar, que existe una limitación en la venta a algunos supermercados de cadena, tanto para productores, intermediarios y detallistas: que impide

que se expandan e integren de una mejor manera. Ya que, estos clientes tienen algunas exigencias legales, entre las que se encuentran:

a. Tener el Registro Sanitario, si el producto lo amerita.
b. Cumplir con las medidas del Sistema Internacional de Unidades, como también las obligaciones del Precio por Unidad de Medida (PUM).
c. Cumplir con las exigencias legales en cuanto al contenido del producto. Es decir que haya etiquetas donde se indique el nombre del fabricante, los ingredientes, las instrucciones de uso y de conservación, en algunos casos mencionar si el producto puede ser nocivo para la salud, y poner la fecha de vencimiento, si lo requiere.
d. Si la mercancía es importada, se debe aportar copia de la Declaración de Importación. Además, cumplir con los requisitos seriales exigidos por las autoridades, como los de la Superintendencia de Industria y Comercio y la Dian.

8. COMPARATIVO ENTRE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO OBJETO DE ESTUDIO Y EL MODELO REFERENTE.

Luego de describir la cadena objeto de estudio, se realiza una comparación con el modelo referente para ver características similares y diferentes, que permitirá formular el modelo propuesto. Algunas de esas características se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Comparativo entre la cadena de abastecimiento objeto de estudio y el modelo referente

Características del modelo referente	Características de la cadena objeto de estudio	Consideraciones
Presenta un horizonte de planeación más largo, es decir, los días en que se realiza el proceso desde la recolección hasta la entrega a los clientes finales es de hasta 4 semanas.	Se estima un tiempo de máximo 7 días para el proceso, ya que, el precio del producto juega un papel muy importante en la decisión de cosechar.	Se considera darle un periodo corto al horizonte de planeación debido a que los datos de precio del producto varían diariamente.
Es diferente la logística con que opera la cadena, es decir, el tipo de transporte es asumido por el productor (camión, ferrocarril y aire)	Existe la posibilidad de negociar el tipo de transporte, escogiendo el que más les convenga.	Al depender del productor el transporte se elevarían los costos de este y disminuiría la utilidad, generando que afecte directamente el precio del producto. Por lo tanto estos datos son aportados de manera general por los tres eslabones.
La cadena de abastecimiento es mucho más grande, ya que cuenta con 5 eslabones, incluyendo centros de almacenamiento.	La cadena solo cuenta con 3 eslabones (productor, intermediario, detallista).	La sencillez de la estructura de la cadena permite utilizar menos datos y hacer más simple su modelado.

Las áreas de producción son muy extensas, haciendo que la producción se realice de una manera industrial.	Cuenta con áreas muy pequeñas, que permiten un número pequeño de empleados.	Los datos sobre costo de la mano obra y número de empleados son limitados, se espera incluirlos en el modelado en la función objetivo .
El precio incide poco en las pérdidas que genera el deterioro del producto. Simplemente, la utilidad será menor.	El precio es un factor importante a la hora de planear las pérdidas por deterioro. En esta cadena el deterioro de producto es valorado en términos de precio de venta, el cual es menor a un producto de primera. En este sentido, el productor al momento de la selección manual evalúa el estado del producto, evitando seleccionar producto deteriorado.	Los datos sobre precio son los más importantes del modelo y se tiene registro de su variación diaria. Se espera modelar considerando dos calidades de producto y dos precios diferentes asociados a cada calidad.
Considera poca variación en la demanda y precio de sus productos en el tiempo.	La cadena de abastecimiento considera variaciones importantes en los niveles de demanda y en los precios. Sin embargo, se cuenta con poca información consistente al respecto.	Para realizar la modelación con los datos limitados disponibles, se deben considerar demandas y precios como promedios y poco variables.
Tiene en cuenta el factor climático como un supuesto a la hora de presentar el modelo, ya que, éste influye considerablemente en la producción, más específicamente en el proceso de recolección.	El clima es un factor determinante en la cadena objeto de estudio, pero el mayor impacto en la cadena se observa en el desempeño del precio y las cantidades disponibles para la venta.	Este aspecto no se considera en el modelo debido a que no se dispone de información al respecto.

Fuente: Elaboración propia

9. MODELO PROPUESTO

En esta sección se presenta el desarrollo del modelo de planificación de cosecha y distribución para la cadena de abastecimiento de cítricos de tres eslabones compuesta por un productor, un intermediario y un detallista.

El modelo se formula considerando los aspectos identificados en el capítulo anterior, formulando los supuestos necesarios de acuerdo a las características de la cadena de abastecimiento citrícola objeto de estudio, definiendo conjuntos, variables y parámetros que intervienen en el establecimiento de la función objetivo y las restricciones del modelo.

Posteriormente en un capítulo aparte se fámula el caso de estudio para su validación y análisis de resultados.

9.1. SUPUESTOS

1. Se parte de parcelas con árboles en etapa productiva.
2. La frecuencia de cosecha depende primordialmente de la condición de precio en el mercado.
3. Existen un precio para el intermediario y uno para el detallista.
4. El precio puede cambiar día a día
5. El productor decide cosechar una cantidad que puede ser menor o mayor de acuerdo con la conveniencia de precio.
6. Todo lo que se cosecha se vende, es decir la oferta es igual a la demanda.

9.2. MODELO MATEMÁTICO

CONJUNTOS

CONJUNTOS	DESCRIPCIÓN	INDEXACIÓN
$PARP$	Parcelas productivas	i
$PRODT$	Productos	j
$INTERM$	Intermediarios	k
DET	Detallistas	d
$PERD$	Periodo de tiempo (días)	l
$CALPR$	Calidad del producto	q

PARÁMETROS

NOTACIÓN	DESCRIPCIÓN
QC_{ij}	Cantidad cosechada (Bultos de 60kg) de cada producto j en cada parcela i. [Bultos por 60 kilos]
CE_{ij}	Cosecha esperada por hectárea de producto j en la parcela i [kg/ha].
CAP_{il}	Capacidad de cosecha de cada parcela i en el día l [kg].
$CAPD_{il}$	Capacidad de despacho de cada parcela i en el día l [kg].
CPN_{ij}	Costo de producir cada producto j en cada parcela i. [$].
$DEMIN_{jkl}$	Demanda de cada producto j por cada intermediario k en el día l. [kg/día].
$DEMDE_{jdl}$	Demanda de cada producto j por cada detallista d en el día l. [kg/día].
$PREI_{jkl}$	Precio de venta unitario esperado del producto j vendido al intermediario k en el día l. [$/kilo].
$PRED_{jdl}$	Precio de venta unitario esperado del producto j vendido al detallista d en el día l. [$/kilo].
$PRVI_{jkl}$	Precio unitario penalizado del producto j vendido al intermediario k en el día l cuando hay algún fallo de calidad. [$/kilo]
$PRVD_{jdl}$	Precio unitario penalizado del producto j vendido al detallista d en el día l cuando hay algún fallo de calidad. [$/kilo]
$CFPI_{ik}$	Costo unitario de flete desde la parcela i hasta el intermediario k. [$/kilo].
$CFPD_{id}$	Costo unitario de flete desde la parcela i hasta el detallista d. [$/kilo].
$CEMB_{ijl}$	Costo de embalar un bulto de producto j en cada parcela i en el día l (Implementos, sueldos por embalar bultos). [$/bulto de 60 kilos]
$CLABOR_i$	Costo de una hora de trabajo por área de cultivo i. [$/hora-ha]
LEH_i	Horas requeridas para embalar un bulto por 60 kilos cosechado en el cultivo i. [horas/bulto x 60 kg]
LDH_l	Horas de mano de obra disponibles para cosechar y embalar en el día l. [horas/día]
LBH_i	Horas de mano de obra necesarias para cubrir una hectárea de parcela i. [horas/ha]
$PROB_{jk}$	Probabilidad de deterioro del producto j que se entrega en el intermediario k
$PROB_{jd}$	Probabilidad de deterioro del producto j que se entrega al detallista d
$CINVP_{ijl}$	Costo unitario de mantener inventario de producto j en la parcela i en el día l [$/kg].
$CAPCUL_{il}$	Capacidad máxima de inventario en cada parcela i en el día l. [kg]
$CCOS_j$	Costo de cosechar un kg de producto j [$/kg].

ATP_{ij}	Área total sembrada en parcelas i del producto j(Ha)

VARIABLES DE DECISIÓN

NOTACIÓN	DESCRIPCIÓN
Y_{ijl}	Kilogramos de producto j cosechados en la parcela i en la día l. [kg/día]
Z_{ijqdl}	Kilogramos despachados del producto j de la parcela i de la calidad q al detallista d en el día l. [kg/día]
R_{ijqkl}	Kilogramos despachadas de producto j desde la parcela i de la calidad q para intermediario k en el día l. [kg/día]
Q_{ijl}	Bultos embalados del producto j en la parcela i en día l. [bultos por 60 kg/día]
$Y2_{jdl}$	Variable binaria (1 si se cosecha el producto j para el detallista d el día l, 0 de lo contrario)
$Y1_{jkl}$	Variable binaria (1 si se cosecha el producto j para el intermediario k el día l, 0 de lo contrato)
$W1_{jkl}$	Variable binaria de aceptación de precio de mercado para el producto j para el intermediario k el día l (1= si se acepta; 0 de lo contrario)
$W2_{jdl}$	Variable binaria de aceptación de precio de mercado para el producto j para el detallista d el día l (1= si se acepta; 0 de lo contrario)
INV_{ijl}	Inventario del producto j en la parcela i en el día l. [kg/día]
AP_{ijl}	Área de parcela i cosechada del producto j el día l. [Ha]
$ADISP_{ijl}$	Área disponible en la parcela i para el producto j en el día l. [Ha]

FUNCIÓN OBJETIVO: Maximizar la utilidad del productor

MAX U=

$\sum_{ijkl} PREI_{jkl} * \mathrm{R}_{\mathrm{ijqkl}} * (1 - PROB_{jk}) + \sum_{ijkl} PRVI_{jkl} * \mathrm{R}_{\mathrm{ijqkl}} * PROB_{jk} + \sum_{ijdl} PRED_{jdl} * Z_{ijqdl} * (1 - PROB_{jd}) + \sum_{ijdl} PRVD_{jdl} * Z_{ijqdl} * PROB_{jd} - \sum_{ijl} CEMB_{ijl} * Q_{ijl} - \sum_{ij} CCOS_j * Y_{ijl} - \sum_{ijqkl} R_{ijqkl} * CFPI_{ik} - \sum_{ijqdl} Z_{ijqdl} * CFPD_{id} - \sum_{ijl} INV_{ijl} * CINVP_{ijl}$

9.3. RESTRICCIONES

- **Restricción de capacidad de producción:** La cantidad cosechada Y_{jil} es dependiente del área de las parcelas cosechadas en el día (AP_{ijl}) y de la cosecha esperada (CE_{ij}).

$$AP_{ijl} * CE_{ij} = Y_{ijl} \qquad para \quad \forall_{i,j,l}$$

- **Restricción de capacidad de cosecha:** La cantidad de producto cosechado desde cada parcela en el día l, debe ser menor o igual a la capacidad de cosecha diaria de cada parcela.

$$\sum_i Y_{ijl} \leq \sum_i CAP_{il} \qquad para\ V_{j,l}$$

Restricción de capacidad de despacho: La capacidad de despacho $CAPD_{il}$ de la parcela i en el día l, debe ser mayor o igual a la cantidad de producto de calidad q despachado en el día, desde cada parcela al intermediario y al detallista.

$$\sum_j \sum_q \sum_d Z_{ijqdl} + \sum_j \sum_q \sum_k R_{ijqkl} \leq CAPD_{il} \qquad para\ V_{i,l}$$

- **Restricción de cantidad embalada:** La cantidad de bultos embalados está limitado por la cantidad de horas de mano de obra disponibles para cosechar y embalar en el día l.

$$\sum_j \sum_i (LEH_i\ x\ Q_{ijl} + AP_{ijl} x\ LBH_i) \leq LDH_l \qquad para\ \forall_l$$

- **Satisfacción de la demanda de cada cliente Intermediario:** Todos los despachos al intermediario deben ser mayores o iguales a la demanda de los clientes intermediarios.

$$\sum_i \sum_q R_{ijqkl} \geq \mathrm{DEMIN_{jkl}} \qquad para\ \forall_{j,k,l}$$

- **Satisfacción de la demanda de cada cliente detallista:** Todos los despachos al detallista deben ser mayores o iguales a la demanda de los clientes detallistas.

$$\sum_i \sum_q Z_{ijqdl} \geq \text{DEMDE}_{jdl} \quad para \ \forall_{j,d,l}$$

- **Restricción de balance de área sembrada:** El área cosechada de cada parcela i en el horizonte de planificación, está limitado por el área total sembrada.

$$ADISP_{ijl} = ATP_{ij} - AP_{jl}, \qquad para \ \forall_{i,j,l} \quad l=1$$

$$ADISP_{ijl} = ADISP_{ij(l-1)} - AP_{jl}, \qquad para \ \forall_{i,j,l} \quad l\geq 2$$

- **Restricciones de balance de inventario:** Se asume que el productor en el momento de inicio del periodo de planeación en l=1 no tiene inventario (La cosecha en el periodo 1 es igual al inventario al final de ese periodo más los despachos a intermediarios y a mayoristas durante el periodo); y posteriormente l > 1 (El inventario inicial del periodo, más lo cosechado en el periodo es igual al inventario final del periodo más los despachos a intermediarios y detallistas realizados en ese periodo). El balance de inventario se expresa como sigue:

Balance para L=1:

$$Y_{ijl} = INV_{ijl} + \sum_d \sum_q Z_{ijqdl} + \sum_k \sum_q R_{ijqkl}, \quad para \ \forall_{ijl} \ l = 1$$

Balance para L>1:

$$inv_{ij(l-1)} + Y_{ijl} = inv_{ijl} + \sum_d \sum_q Z_{ijqdl} + \sum_d \sum_k R_{ijqkl}, \quad para \ \forall_{jil} \ l > 1$$

- **Restricciones de decisión de venta al intermediario:** Define si el precio esperado se acepta con relación a un precio objetivo del intermediario:

$$PREI_{jkl} \geq PREOBJI_j + M(1 - W1_{jkl})$$

$$PREI_{jkl} \leq PREOBJI_j + M * (W1_{jkl})$$

- **Restricciones de decisión de venta al detallista:** Define si el precio esperado se acepta con relación a un precio objetivo del detallista:

$$PRED_{jdl} \geq PREOBJD_j + M(1 - W2_{jdl})$$

$$PRED_{jdl} \leq PREOBJD_j + M * (W2_{jdl})$$

- **Restricciones de decisión de cosecha y envío al intermediario:** Define si se cosecha para entregar al intermediario:

$$R_{ijkl} \leq M * \left(Y1_{jkl} \right)$$

$$Y1_{jkl} \leq W1_{jkl}$$

- **Restricciones de decisión de cosecha y envío al detallista:** Define si se cosecha para entregar al detallista.

$$Z_{ijdl} \leq M * \left(Y2_{jdl} \right)$$

$$Y2_{jdl} \leq W2_{jdl}$$

- **Tipos de variables**

Q_{ijl} >= 0 enteras $\forall_i \in PARP,\ \forall_j \in PRODT,\ \forall_l \in PERD$

$Y2_{jdl}$,$Y1_{jkl}$, $W1_{jkl}$, $W2_{jdl}$ $binarias$

10. CASO DE ESTUDIO

La propuesta aborda el diseño de un modelo para la planificación de la producción y distribución de una cadena de abastecimiento frutícola del centro del Valle del Cauca, donde se tienen en cuenta todas las variables y factores que conforman la misma. Se trata de una cadena descentralizada, donde cada eslabón busca disminuir sus gastos operativos al máximo, optimizando así sus utilidades. El objetivo de este modelo es ayudar al agricultor en la toma de decisiones de planificación de cosecha y distribución de frutas a corto plazo, proporcionándole una herramienta que permita el correcto flujo de operaciones para garantizar la distribución de recursos y la mayor utilidad posible.

La cadena de abastecimiento está conformada por tres eslabones; el primero representa a los productores, quienes son personas dedicadas al cultivo de cítricos tales como: Mandarina, naranja y Limón. Los productores no se encuentran asociados a empresas o cooperativas, por lo tanto, su forma de producir es empírica y artesanal. Ellos no definen el precio de venta del producto y se acogen a lo que generalmente dispone el intermediario con base en la información diaria de la región. Adicionalmente se incluye la situación en la cual el productor asume el costo del flete desde las instalaciones de cosecha hasta el intermediario y/o del detallista. El segundo eslabón es el de los intermediarios, que son las personas que compran el producto en toda la región, abasteciéndose de una gran cantidad de inventario que les permita atender la demanda de los productos en el mercado de las ciudades grandes. Estos intermediarios compran el producto al precio que consideren conveniente en relación al componente oferta-demanda en las plazas de mercado, precio del cual se lleva un registro diario por parte del gobierno para ejercer control en casos que se requiera. El tercer eslabón es el de los detallistas o mercado abierto, que son los lugares de comercio donde se compra la fruta en gran cantidad a los intermediarios o a los productores según quién les venda más barato, para venderlo al menudeo (tiendas, graneros, etc.) o para el consumo de los hogares. Este eslabón paga el producto a un precio diferente del que el intermediario paga al productor, ya que, el intermediario debe restar algunos costos operativos y sacar la mayor ganancia en la operación. Finalmente, el detallista fija un precio de venta que también está dado por la relación oferta-demanda y el margen de ganancia, para que el producto llegue a los hogares, vendiéndose por kilos o por unidades.

Por otra parte, la calidad del producto se ve afectada por los días que transcurren desde el momento en el cual se cosecha la fruta y el momento en el cual se entrega el producto al cliente. Es decir, el producto tiene un punto óptimo en sus características físicas que puede variar con el transcurso de las horas, haciendo que su precio de venta varíe cuanto más se aleja del tiempo de cosecha. Debido a esto, se han creado dos tipos de calidad para el producto. La primera, quiere decir que se venderá al 100% de su precio tanto a intermediarios como detallistas, ya que aún conserva todas sus propiedades de color, aroma, sabor y textura. La segunda, se le ha asignado a manera de ejemplo un porcentaje de 80% y 70% para

intermediario y detallista respectivamente, ya que en el transcurso del tiempo debido a las condiciones de cosecha aumenta la probabilidad de que sea rechazado. A continuación, se construye de manera empírica (Ver Tabla 6), un ejemplo de tabla de la calidad del producto y del precio asociado, con el propósito de ejemplificar la situación que se presenta al momento de la fijación de precios en el proceso de venta.

Tabla 7. Ejemplo de calidad del producto y precio de venta al intermediario y detallista.

Calidad del producto	Precio de venta Intermediario	Precio de venta detallista
Primera	PREI	PRED
Segunda	PRVI=PREIx0,7	PRVD=PREDx0,8

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, el precio de venta determina la cosecha de tal forma que si el precio en el mercado alcanza el precio objetivo del productor, éste estaría dispuesto a cosechar , y por el contrario si el precio está por debajo del precio objetivo del productor, éste decide no cosechar.

En la figura 8, se pueden observar los flujos de distribución que se presentan en esta cadena. Se ve claramente como el productor es libre para vender su producto, ya sea al intermediario o al detallista, pero el segundo eslabón está obligado a depender del precio que le da el mercado abierto.

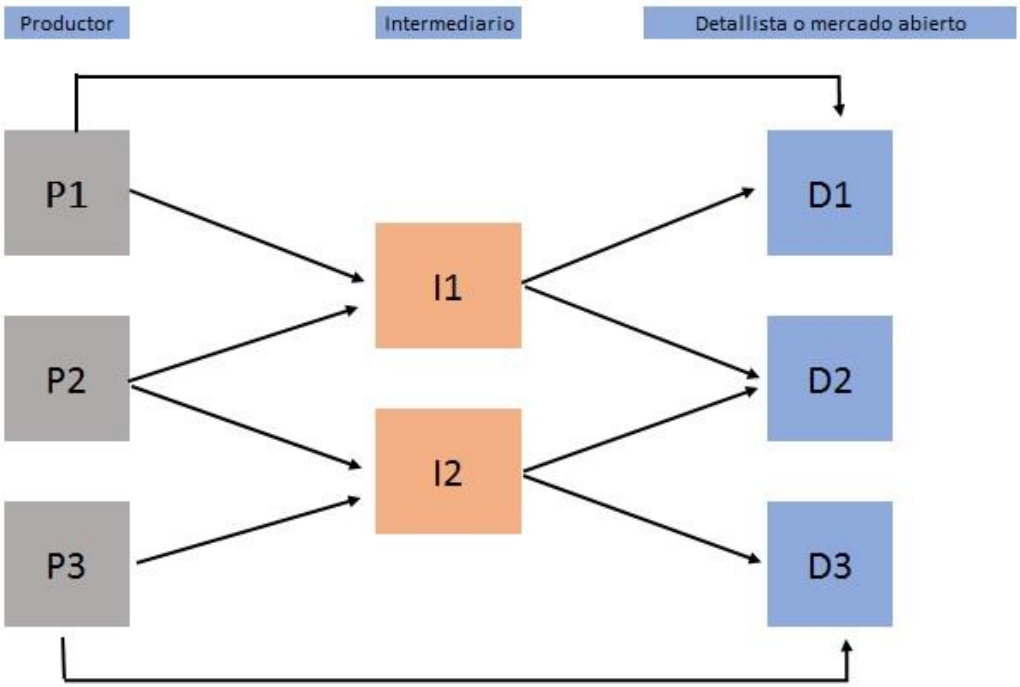

Figura 10. Flujos de distribución en la cadena.

Fuente: Elaboración propia

10.1. ASPECTOS GENERALES DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DESCRITA EN EL CASO DE ESTUDIO SOBRE LA JARARQUIZACIÓN DE LA DECISIÓN DE COSECHAR:

1. La cosecha de la fruta depende directamente del precio de manera recurrente.
2. El parámetro de precio es el que domina. Debe definirse la variable asociada al precio que es el parámetro para definir la variable dominante. En este caso es la demanda.
3. Aunque la cosecha en el caso de estudio no es un área funcional de una organización, sino de una cadena de abastecimiento, se puede hacer el símil, en el sentido, que el área de cosecha (pequeño productor) depende de las condiciones de precio del área comercial (Intermediario–detallista) para tomar la decisión de cosecha.
4. Se identifican la decisión de disponibilidad y la decisión de cosecha. La primera no es condición suficiente para cosechar, pero si necesaria para la segunda decisión, debido a que es la que activa el proceso de cosecha.

5. El modelo se considera de jerarquización implícita, debido a que no se formulan como modelos separados, en la versión determinística, si no que se vincula el precio como una restricción que domina la de disponibilidad.
6. En este caso la dominancia la tiene otra área (intermediario-detallista) frente a la decisión de cosechar, esto se ajusta al hecho de la solución óptima de cosecha está sujeta a la dominancia que tiene el intermediario y detallista frente a la fijación de precio.

10.2 SOLUCIÓN DEL MODELO

Debido a que el modelo es de gran tamaño, contempla un número grande de variables y restricciones, por lo tanto, se debe utilizar un software especializado para su solución.

El proceso de generación del modelo consistió en que al software se le suministró la estructura matemática de acuerdo con su propia sintaxis, y el generador combina los archivos del modelo y de datos para producir un archivo ejecutable por el solucionador correspondiente. Cuando éste resuelve el problema, el generador interpreta la solución y devuelve el resultado de acuerdo con los nombres de las variables, función objetivo y restricciones originales que se le hayan definido (Vidal, 2009).

Después de formular el modelo matemático y escribirlo en forma simbólica matemática, se tradujo el modelo archivo de acuerdo con la sintaxis específica del generador de modelos utilizado. En este caso se empleó el generador AMPL (*A Modeling Language for Mathematical Programming*. Éste es un generador con un poderoso manejo de conjuntos, lo cual es muy importante para modelar y resolver modelos similares al propuesto.

El modelo en AMPL se corrió a través de NEOS Server. En él se pueden correr diversos tipos de modelos, entre los que se encuentra modelos de programación lineal continua, modelos de programación lineal entera-mixta, modelos de optimización global, modelos combinatorios y enteros, modelos no-lineales, algunos modelos estocásticos y otros modelos especializados. El servidor se puede utilizar con varios generadores de modelos, para nuestro trabajo se utilizó AMPL con el solucionador GUROBI.

Para correr el modelo se ingresa a la página web https://neos-server.org/neos/solvers/index.html y se escoge el solucionador y el generador de modelos a utilizar de acuerdo con el tipo de modelo a resolver. En este caso se escogió GUROBI conjunto de solucionadores de programación lineal entera con

restricciones lineales. Posteriormente, se ingresan tres archivos: datos, comandos y el archivo del modelo; se da la opción de: submit to Neos y el software da la respuesta.

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dentro del análisis de resultados cabe destacar que, el modelo ayuda sustancialmente la administración de la cadena de abastecimiento, especialmente en el primer eslabón, en el tema económico, permitiendo que los otros eslabones se beneficien del resultado del modelo.

Al maximizar la utilidad del productor, se encontró que la mejor solución posible que arroja el modelo, teniendo en cuenta los precios penalizados mediante decisión de venta, los rendimientos de cada producto, los costos de producción por hectárea y los medios de transporte disponible, se puede obtener una utilidad total a corto plazo, debido a las características del producto y la rapidez de su salida al mercado.

considerar que el productor selecciona al momento de cosechar fruta en buenas condiciones. Sin embargo, existe una probabilidad de que algunas sean de segunda y estas se venden al mercado a menor precio o a un precio penalizado. Las de primera calidad se vende a precio estándar. Es decir que el deterioro se relaciona con el precio.

Dentro de los resultados más notables que arrojó el modelo se encuentran que la cantidad de algunos productos cosechados disminuyó con respecto a la demanda, haciendo que se pierda menos producto por sobreoferta. En la siguiente tabla se mostrarán los resultados respecto a la cantidad cosechada.

Tabla 8. variación de cantidad cosechada clasificada por productos y parcelas.

	Limón		Mandarina		Naranja	
Parcelas	Datos de la cadena objeto de estudio	Resultados del Modelo	Datos de la cadena objeto de estudio	Resultados del Modelo	Datos de la cadena objeto de estudio	Resultados del Modelo
1	4000	0	5000	0	6000	0
2	4000	15680	5000	0	6000	24780
3	4000	5185	5000	18320	6000	2395
4	4000	0	5000	2040	6000	1965
5	4000	5185	5000	2040	6000	1975
6	4000	7980	5000	21000	6000	1975
7	4000	0	5000	3060	6000	2395
8	4000	0	5000	5220	6000	0
9	4000	5185	5000	0	6000	0
10	4000	0	5000	2040	6000	1965
Total	40000	39215	50000	53720	60000	37450

Total producción en la cadena	150000
Total producción modelo	130385

Fuente: Datos obtenidos de la cadena objeto de estudio.

Esto quiere decir, que en la cadena de abastecimiento se cosechaba basados en históricos dejados por experiencia propia, es decir, se cosechaba la mayor cantidad de producto para tratar de atender la demanda inesperada. Con los resultados del modelo, se obtiene información para que la cosecha sea regulada y evitar que la sobreoferta genere pérdidas económicas al no venderse o a tener que vender con precio penalizado.

En la variable binaria donde se buscaba la aprobación o improbación de cosechar producto para detallistas e intermediarios, también el resultado fue positivo con los datos suministrados, es decir, el productor tiene la aprobación del modelo para cosechar a los detallistas y a los intermediarios los tres tipos de producto, como se puede observar en la figura 9.

Y2 [1,*,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Y1 [1,*,*] (tr)

:	1	2	3	:=
1	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	

Figura 11. Matriz de decisión de cosecha binaria del limón.

Fuente: Datos suministrados por la cadena objeto de estudio.

En este caso podemos observar como la decisión de cosechar para el detallista (Y2), con los datos suministrados fue positiva para todos los productos. Al igual que la decisión de cosechar para intermediarios (Y1). Cabe anotar, que de haber sido cero (0) el resultado, la decisión sería no cosechar, y tendría que ver con la relación de los datos suministrados, más que todo los datos de precio.

En general, el modelo arrojó un resultado favorable en casi todas las variables de decisión. Dejando al productor una utilidad de 7’227.673.

11.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad suele ejecutarse en un modelo para diversos valores del parámetro cuya sensibilidad quiere calcularse dejando fijos todos los demás. Sin embargo, la sensibilidad a un parámetro dependerá de los valores adoptados por los demás parámetros, con lo que resultará más complejo hacer un análisis de sensibilidad. Cabe recordar, que, si el modelo es muy sensible a un parámetro, pero este varía muy poco, dicha sensibilidad no va a ser relevante.

En algunos casos puede que no sea lo adecuado hacer un análisis de sensibilidad ejecutando el modelo para todas las posibles combinaciones de todos los rangos de las variables de interés. En estos casos, es preferible utilizar otros métodos para comprobar los resultados.

Se realizó un análisis de sensibilidad donde se muestra cuál es el impacto en la función objetivo al variar los parámetros de modelo como: cotos de cosecha, capacidad de producción, demanda, costos de transporte, etc. A continuación, se relacionan algunos resultados del análisis.

Se aumentó la cosecha semanal, asumiendo que hubo un incremento en la demanda, luego se realizó la comparación frente a la utilidad total arrojada por el modelo previamente, como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 9. Variación de aumento en la cosecha con datos de prueba

Costo semanal de la cosecha	Costo de cosechar actual	Costos nuevos	Diferencia	Variación
Limón	$70.700	$110.000	$39.300	56%
Naranja	$77.000	$100.000	$23.000	30%
Mandarina	$70.700	$120.000	$49.300	70%

Fuente: Elaboración propia

Parámetros de costos de cosecha

A continuación, podemos observar la variación que tuvo el parámetro del costo de cosechar, dado que es uno de los principales causantes de pérdidas económicas y a su vez, generador de baja rentabilidad. Se decide variar en forma exponencial los datos, asumiendo que se presentaba una amplia demanda de cada producto. En general, no se presentó gran variabilidad y se pude observar como su tendencia es muy parecida en los diagramas. A continuación en la figura 12 se presenta la distribución de las ventas de la cosecha con datos actuales.

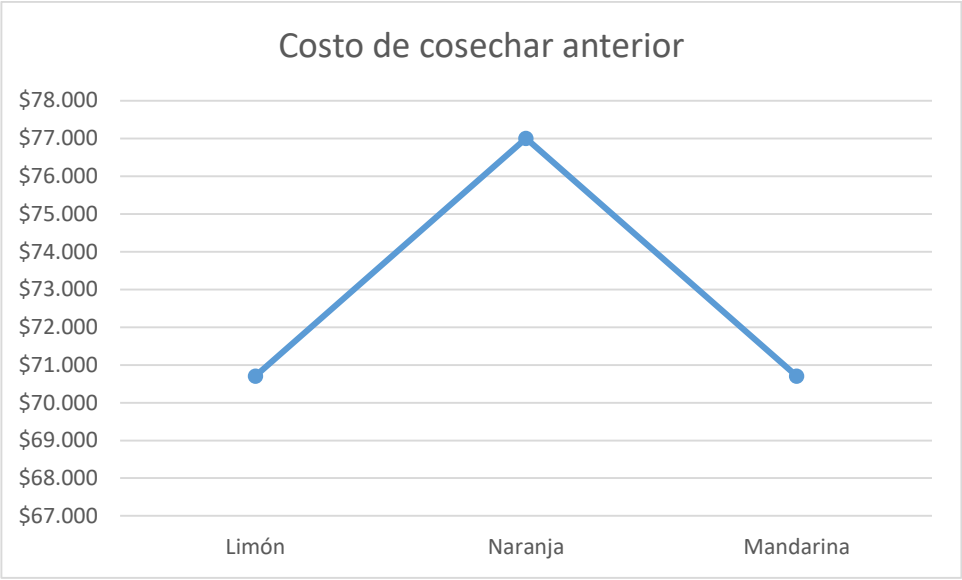

Figura 12. Costo de cosechar con los datos actuales de la cadena.

Fuente: Elaboración propia

La anterior figura muestra la variación del costo de cosechar tal cual estaba en el modelo y se puede apreciar como la naranja es el producto más caro para cosechar.

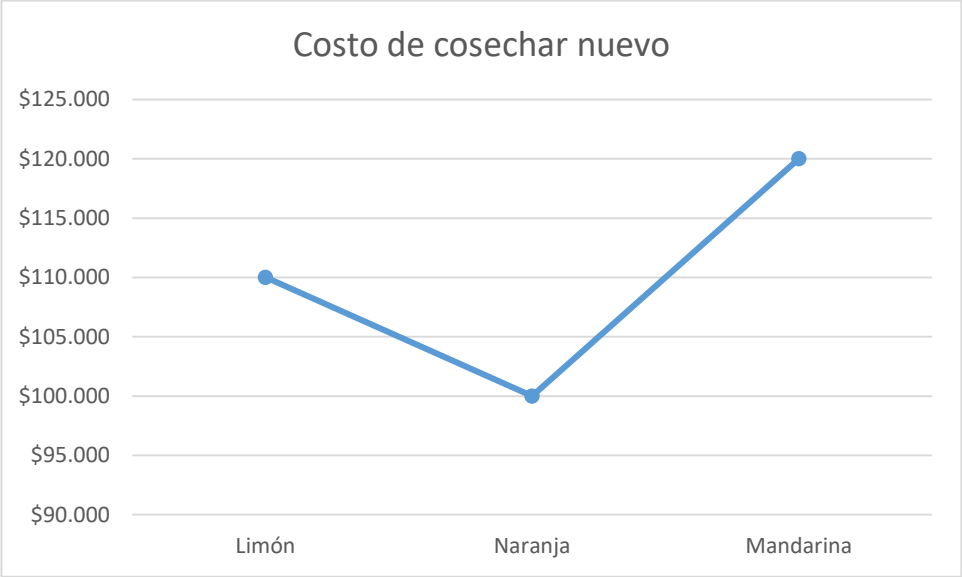

Figura 13. Costo de cosechar con los datos suministrados para la prueba.

Fuente: Elaboración propia

En este cuadro se aprecia que luego que se incrementaron los costos, el de la naranja no supero el 30%, mientras el limón y la mandarina tuvieron un incremento de 56% y 70% respectivamente. Haciendo que se generen las mayores pérdidas y se afecte la función objetivo si se incrementan los costos de estos dos productos.

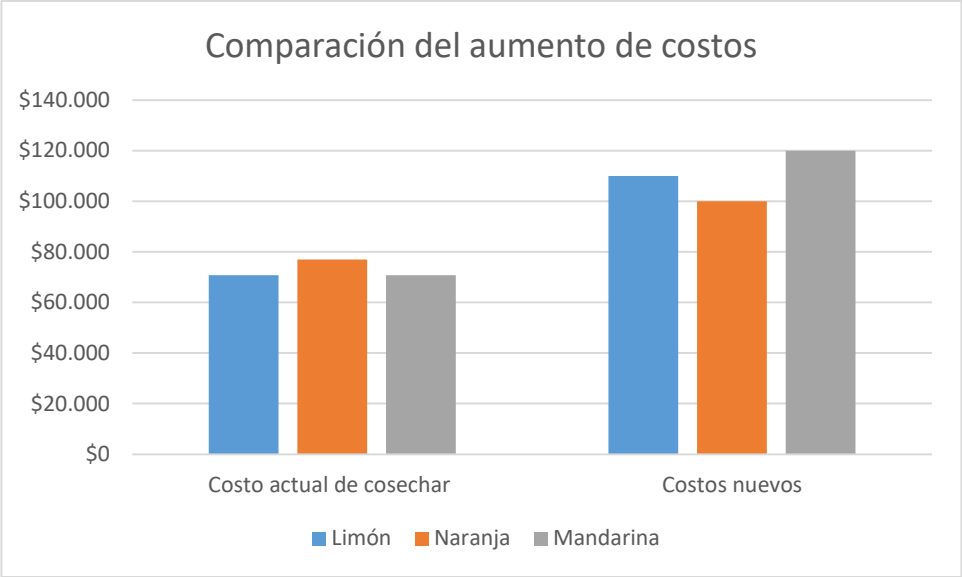

Figura 14. Comparación de los datos suministrados por la cadena y los de prueba.

Fuente: Elaboración propia

En este cuadro se puede apreciar claramente cómo afecta la variación a los costos de producción.

Variación en la demanda de cada producto

También se realizó un cambio en el parámetro que tiene que ver con la variación en la demanda de cada producto y arrojó que, si se incrementa mucho mensualmente, esto no afecta mucho la distribución de las ventas, al ser un promedio con un rango muy estrecho.

Limón

VENTAS	$	1.997.478,00
DESVIACION	$	1.124.770
CV		56,31%

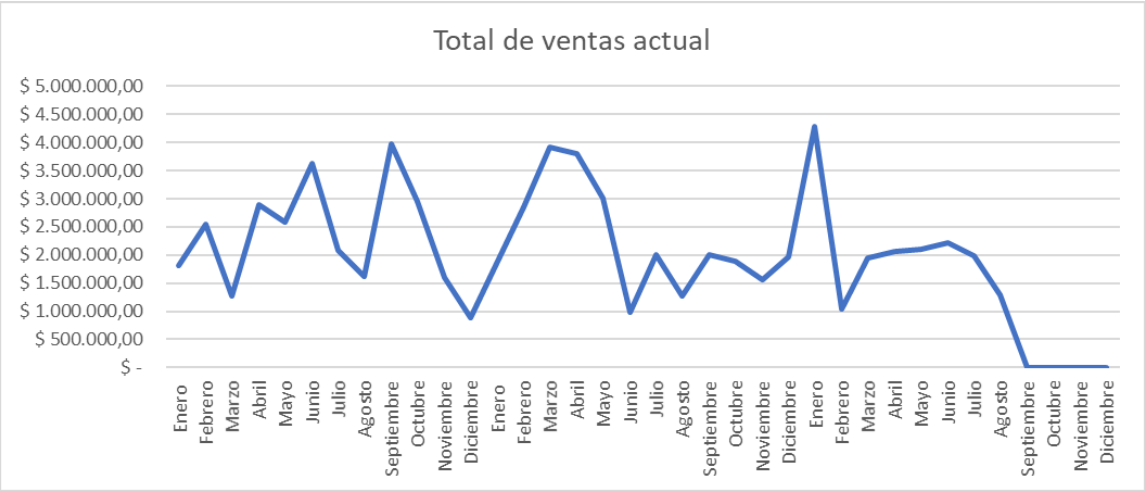

Figura 15. Distribución de las ventas anuales del limón.

Fuente: Elaboración propia

El limón presenta un registro de ventas estable con un final decreciente.

Ventas del limón con variación

Aquí se puede observar la variación de los datos con un aumento e

VENTAS	$	2.329.998,89
DESVIACION	$	1.293.534
CV		64,76%

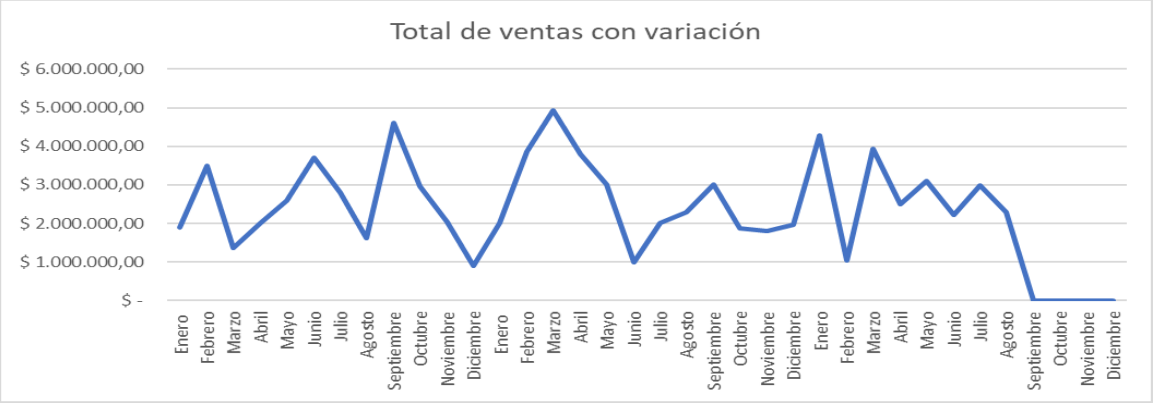

Figura 16. Distribución de las ventas anuales del limón con datos nuevos para la prueba.

Fuente: Elaboración propia

Mandarina

VENTAS	$ 2.545.442,50
DESVIACION	$ 1.889.915
CV	74,25%

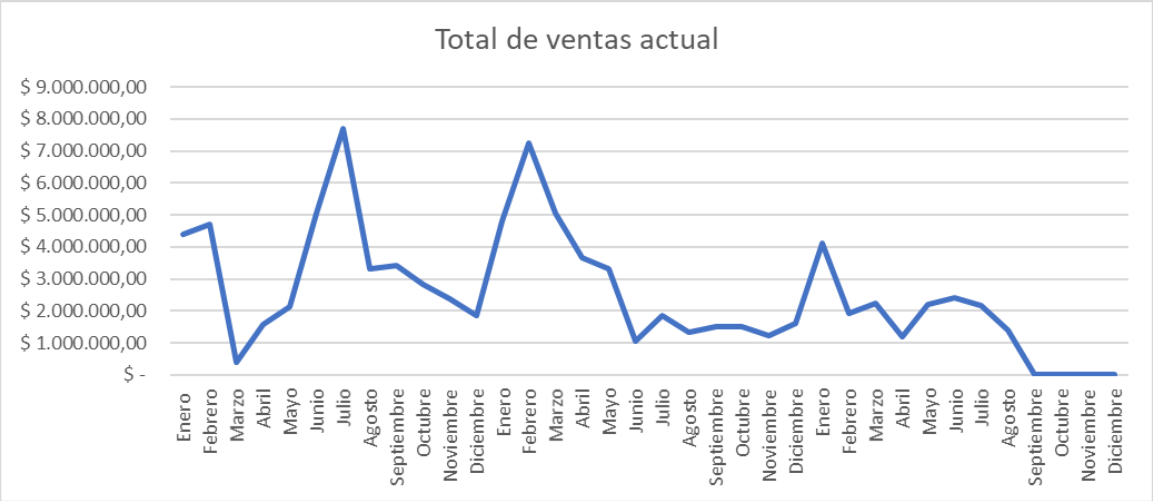

Figura 17. Distribución de las ventas anuales de mandarina.

Fuente: Elaboración propia

Al igual que el limón, la mandarina presenta una demanda con picos al principio del año y al final termina decreciendo.

Ventas de la mandarina con la variación

VENTAS	$ 3.332.372,81
DESVIACION	$ 2.079.850
CV	70,22%

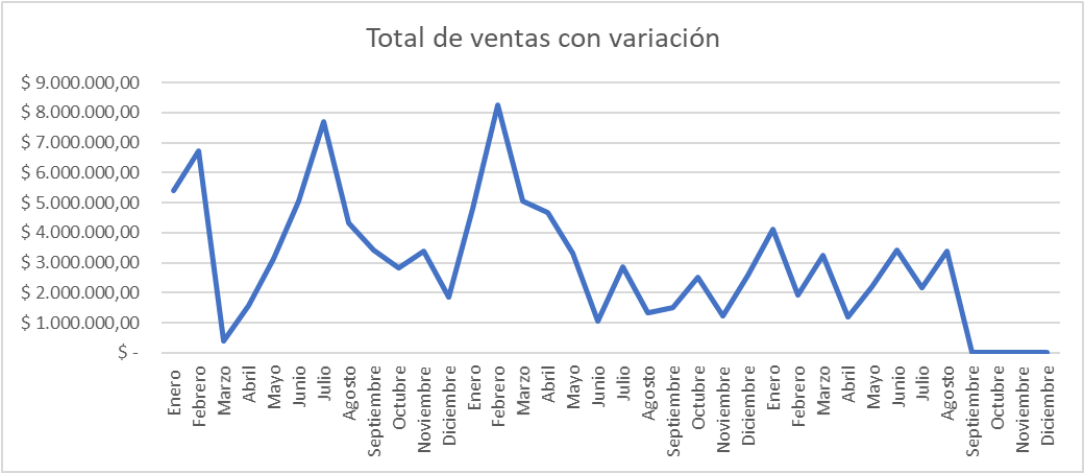

Figura 18. Distribución de las ventas anuales de mandarina con datos de prueba.

Fuente: Elaboración propia

Naranja

VENTAS	$ 1.631.013,28
DESVIACION	$ 2.728.800
CV	167,31%

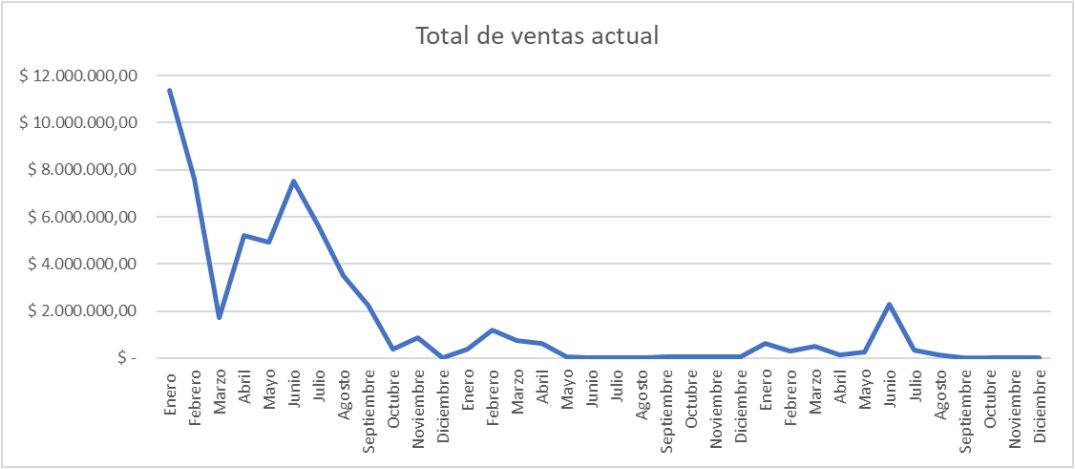

Figura 19. Distribución de las ventas anuales de naranja.

Fuente: Elaboración propia

Ventas de Naranja con variación

VENTAS	$ 2.065.179,94
DESVIACION	$ 2.854.161
CV	138,20%

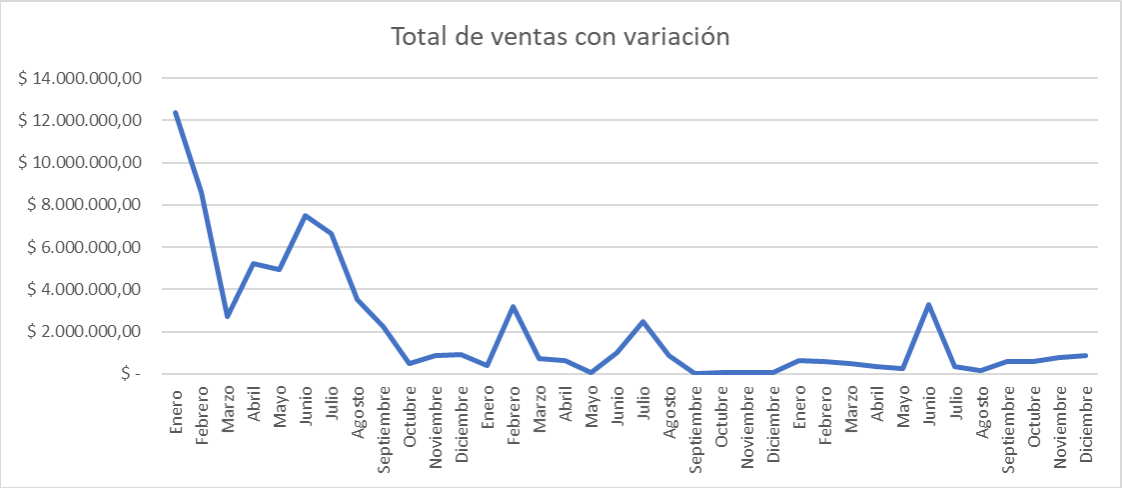

Figura 20. Distribución de las ventas anuales de naranja con datos de prueba.

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, podemos dar por concluido que el aumento de la demanda produce una variación muy escasa en el modelo, casi siempre con tendencia decreciente al final del año. Esto nos sugiere que se debe poner especial atención a la cosecha de fin de año, ya que es cuando los productos se venden menos. Ahí aplicar el modelo para validar si es aceptable la opción de cosechar o no. Generando un leve cambio en la función objetivo.

Dentro del análisis de resultados se observa cuáles son los cambios más significativos dentro del flujo de la cadena, que permiten un funcionamiento más óptimo de la misma. Primero que todo, es muy positivo el resultado en el tema del precio, ya que, si en realidad son acertadas las decisiones binarias que tome el modelo, se verá reflejado a la hora de calcular la utilidad, dándole al productor la oportunidad de vender a un precio más justo. Segundo, la reducción de los costos de operación, incluyendo las variables de producción y distribución actuales, cuyos valores reales generaban las mayores pérdidas.

11.2 Algunos parámetros para tener especial cuidado.

11.2.1 Demanda

El modelo muestra que el comportamiento de la planeación y distribución inmersas en la cadena durante los primeros meses la producción ha sobrepasado la demanda pronosticada teniendo picos de 140.547 kilogramos para el mes de febrero. La producción ha estado enfocada principalmente en los tres primeros meses del año, favoreciendo los costos de producción y distribución al ser temporada de cosecha alta. El hecho de que empezando el año los productores hayan trabajado a full capacidad y que la distribución se haya realizado directamente desde la parcela hasta el detallista explica la aproximación que tuvo el modelo con respecto a los datos reales.

11.2.2 Inventarios

Los inventarios se han mantenido estables debido a la capacidad de las parcelas ya que al aumentarse la producción se tendría que recurrir a otras instalaciones y así aumentar los costos operativos o de inventario.

11.2.3 Utilidad

Gracias a la minuciosa introducción de datos de la cadena objeto de estudio, el modelo arrojó, como era de esperarse, un resultado positivo en cuestión de utilidad neta para el productor, por valor de $7’227.673.3.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la búsqueda de una estrategia que permitiera la correcta administración de la cadena, se encontró en este modelo matemático aplicado a una cadena de abastecimiento frutícola de la región, una herramienta que ayuda a agilizar sustancialmente la toma de decisiones por parte del productor y permite la gestión eficaz de la cadena de abastecimiento en general.

Se caracterizó el proceso de recolección y distribución de frutas en la cadena de abastecimiento, realizando el levantamiento de información en la zona, identificando factores que afectan la utilidad del productor, tales como, cosecha, precios de venta, clientes y forma de distribución. Se evidencia limitaciones en la información disponible por parte de los productores con respecto a costos y cantidades de producción entre otros aspectos. Se identificaron una gran habilidad empírica y una gran debilidad en el manejo formal de información relevante en los procesos de costos de cosecha, mano de obra y precios para la comercialización de sus productos.

El modelo matemático propuesto para representar las condiciones de operación de la cadena objeto de estudio permite evaluar aspectos referentes al costo, comportamiento de demanda, precios de ventas y sus impacto en la utilidad, como elementos determinantes en el desempeño de la función objetivo de maximización de la utilidad para el pequeño productor.

Con respecto a la validación del modelo, se determinó que la propuesta se ajusta a la descripción de la cadena objeto de estudio. Se realizó el respectivo análisis de las variables que generaban más impacto en la función objetivo, logrando concluir que el modelo cumple con las restricciones de capacidad de cosecha, demanda, y distribución, haciendo que la utilidad del productor sea positiva y convirtiéndose en una herramienta eficaz en la toma de decisiones alrededor de la cadena de abastecimiento

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2009). Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. European journal of Operational research, 196(1), 1-20.

Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2011). Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products. *International Journal of Production Economics*, *133*(2), 677-687.

Aguilar, P., Escobar, M., & Passaro, C. E. (2012). Cítricos: Cultivos, poscosecha e industrialización. Corporación Universitaria Lasallista, MADR, CORPOICA y Universidad de Antioquia.

Augusto Manzano B., César; Rodríguez B., Álvaro (2007). *Juntos por el Valle del Cauca*. Fundación Farallones del Norte.

Alejandro, B., & Karina, E. (2016). *La planificación estratégica y su impacto en la producción bananera de la empresa TOCALIT SA ubicada en la ciudad de Naranjal* (Bachelor's thesis, Machala: Universidad Técnica de Machala).

Ballou, Ronald. Administración de la cadena de suministro. Editorial Prentice Hall. 5ª edición. 2004.

Chopra, S., & Meindl, P.(2007). Supply chain management. Strategy, planning & operation. *Das summa summarum des management*, 265-275.

Chiavenato, I., Planeación estratégica. Fundamentos y aplicaciones, México: Mc GrawHill, 2011.

Chase, R., Aquilano, N., Jacobs, F. Administración de producción y operaciones. Manufactura y servicios. 8ª edición. McGraw-Hill. 2000.

Companys, R.; (2005). Diseño de sistemas productivos y logísticos. EPSEB-UPC.

C. H. Fine, “Clockspeed-based strategies for supply chain design”, *Production and Operations Management,* vol. 9, n.° 3, pp. 213-221, 2000. DOI: 10.1111/ j.1937-5956.2000.tb00134.x

Drucker, Peter. (2012). información planeación estratégica.doc. Recuperado el 10 de Octubre de 2014, de https://docs.google.com/document/d/1IqU7C0qASK0qwlQkD_2sGjeIG5Wpn6gwYJsfFOybpoI/edit?pli=1

Eppen, G. D. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa: construcción de modelos para la toma de decisiones con hojas de cálculo electrónicas*. Pearson educación.

García Vázquez, A., García Salazar, J. A., Guzmán Soria, E., Portillo Vázquez, M., & Fortis Hernández, M. (2011). El mercado de la sandía en México: un estudio de caso sobre excesos de oferta y volatilidad de precios. *Región y sociedad*, *23*(52), 239-260.

Haaz, Alberto. (2010). Guía para Planeación Estratégica en el sector público. Recuperado el 25 de septiembre de 2014, de http://www.academia.edu/4098133/Gu%C3%ADa_para_Planeaci%C3%B3n_Estrat%C3%A9gica_en_el_Sector_P%C3%BAblico

Heizer, J., & Render, B. (2004). Principios de administración de operaciones. Pearson Educación.

H. Min and G. Zhou, “Supply chain modeling: past, present and future”, *Computers & Industrial Engineering,* vol. 43, n.° 1, p. 231, 2002. DOI: 10.1016/ S0360-8352(02)00066-9

Hernández Vega, M. O., & Muñoz Meza, M. C. *Diseño de una metodología para la planeación y programación de producción de café tostado y molido en la planta de Colcafé Bogotá* (Bachelor's thesis, Facultad de Ingeniería).

Jay Heizer, Barry Render. (2005) “Principios de Administración y Operaciones”.

Lasprilla, D. M. (2011). Estado actual de fruticultura colombiana y perspectivas para su desarrollo. Revista Brasileira de Fruticultura, 33, 199-205.

Mochón, F. (1993). *Economía. Teoría y política* (Vol. 4). McGraw-Hill.

N. Arumugam, M. A. Fatimah, E. Chiew and M. Zainalabidin, “Supply chain analysis of fresh fruits and vegetables (FFV): prospects of contract farming”, Agric. Econ. Czech, pp. 435-442, 2010.

Orjuela Castro, J., & Herrera Ramírez, M. (2014). Perspectiva de Trazabilidad en la Cadena de Suministros de Frutas: Un Enfoque desde la Dinámica de Sistemas.

Peña, I., & Santa Cruz, R. (2001). Modelo de Planeación de la Producción para una Empresa Agroindustrial. *Acta Nova*, *1*(2), 181-189.

Ramírez-Barraza, B. A., García-Salazar, J. A., & Mora-Flores, J. S. (2015). Producción de melón y sandía en la Comarca Lagunera: un estudio de planeación para reducir la volatilidad de precios. *Ciencia Ergo Sum*, *22*(1), 45-53.

Ramírez, R. S., Bobadilla, C. U., & Araya, M. G. (2012). MODELO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BAYAS CONGELADAS.

Red de información y comunicación estratégica del sector agropecuario – AGRONET. Análisis-Estadísticas. Colombia: AGRONET, 2011.

Revollo Gaviria, L. (2009). Propuesta para el mejoramiento de la producción en Alimentos SAS S. A., a través de la estructuración de un modelo de planeación, programación y control de la producción. Tesis de grado, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería.

Sánchez, V., & Hasbleidy, Z. (2014). Modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos. *Ingenieria y desarrollo*, *32*(1).

Stock, J., & Lambert, D. (2001). Strategic Logisitcs Management (Cuarta edición ed.). Boston: McGraw Hill.

Sipper, D., & Bulfin, R. (1998). Planeación y control de la producción. México DF: McGraw-Hill.

Szita, É., Kozár, F., Sierra, J., Pássaro Carvalho, C. P., Nunes, C., Vásquez Mejía, S. M., ... & Palou, L. (2012). *Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización*.

Taha, H. A. (2004). *Investigación de operaciones*. Pearson Educación.

Tijskens, L. M. M., & Polderdijk, J. J. (1996). A generic model for keeping quality of vegetable produce during storage and distribution. *Agricultural Systems*, *51*(4), 431-452

Vidal Holguín, C. J. (2009). Planeación. optimización y administración de cadenas de abastecimiento. *Cali, Valle del Cauca, Colombia: Programa Editorial–Universidad del Valle*.

ANEXOS

Anexo 1: Modelo en AMPL.

```
#CONJUNTOS

set PARP; #Conjunto de parcelas productivas
set PRODT; #Conjunto de productos
set INTERM; #Conjunto de intermediarios
set DET; #Conjunto de detallistas
set PERD; #Conjunto de periodo de tiempo
set CALPR; #Conjunto de calidad del producto


#PARAMETROS
param M := 100000000000; #se crea el parametro M, no estaba creado.
param QC{i in PARP, j in PRODT}>=0; #Cantidad cosechada de cada producto j
en cada parcela i
param CE{i in PARP, j in PRODT}>=0; #Cosecha esperada por hectárea de
producto j en la parcela i
param CAP{i in PARP, l in PERD}>=0; #Capacidad de cosecha de cada parcela i
en el día l
param CAPD{i in PARP, l in PERD}>=0; #Capacidad de despacho de cada parcela
i en el día l
param CPN{i in PARP, j in PRODT}>=0; #Costo de producir cada producto j en
cada parcela i
param DEMIN{j in PRODT, k in INTERM, l in PERD}>=0; #Demanda de cada
producto j por cada intermediario k en el día l
param DEMDE{j in PRODT, d in DET, l in PERD}>=0; #Demanda de cada
producto j por cada detallista d en el día l
param PREI{j in PRODT, k in INTERM, l in PERD}>=0; #Precio de venta unitario
esperado del producto j vendido al intermediario k en el día l
param PRED{j in PRODT, d in DET, l in PERD}>=0; #Precio de venta unitario
esperado del producto j vendido al detallista d en el día l
param PRVI{j in PRODT, k in INTERM, l in PERD}>=0; #Precio unitario penalizado
del producto j vendido al intermediario k en el día l cuando hay algún fallo de
calidad
param PRVD{j in PRODT, d in DET, l in PERD}>=0; #Precio unitario penalizado
del producto j vendido al detallista d en el día l cuando hay algún fallo de calidad
param CFPI{i in PARP, k in INTERM}>=0; #Costo unitario de flete desde la parcela
i hasta el intermediario k
param CFPD{i in PARP, d in DET}>=0; #Costo unitario de flete desde la parcela i
hasta el detallista d
```

```
param CEMB{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}>=0;  #Costo de embalar un bulto de producto j en cada parcela i en el día l
param CLABOR{i in PARP}>=0; #Costo de una hora de trabajo por área de parcela i
param LEH{i in PARP}>=0; #Horas requeridas para embalar un bulto por 60 kilos cosechado en el parcela i
param LDH{l in PERD}>=0; #Horas de mano de obra disponibles para cosechar y embalar en el día l
param LBH{i in PARP}>=0; #Horas de mano de obra necesarias para cubrir una hectárea de parcela i
param PROB{j in PRODT, k in INTERM}>=0; #Probabilidad de deterioro del producto j que se entrega en el intermediario k
param PROB2{j in PRODT, d in DET}>=0; #Probabilidad de deterioro del producto j que se entrega al detallista d
param CINVP{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}>=0; #Costo unitario de mantener inventario de producto j en la parcela i en el día l
param CAPCUL{i in PARP, l in PERD}>=0; #Capacidad máxima de inventario en cada parcela i en el día l
param CCOS{j in PRODT}>=0; #Costo de cosechar un kg de producto j
param ATP{i in PARP, j in PRODT}>=0; #Área total sembrada en parcelas i del producto j

#VARIABLES DE DESICIÓN
var Y{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}>=0; #Kilogramos de producto j cosechados en la parcela i en la día l
var Z{i in PARP, j in PRODT, q in CALPR, d in DET, l in PERD}>=0; #Kilogramos despachados del producto j de la parcela i de la calidad q al detallista d en el día l
var R{i in PARP, j in PRODT, q in CALPR, k in INTERM, l in PERD}>=0; #Kilogramos despachadas de producto j desde la parcela i de la calidad q para intermediario k en el día l
var Q{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}>=0; #Bultos embalados del producto j en la parcela i en día l
var Y2{j in PRODT, d in DET, l in PERD}>=0, binary; #Variable binaria, 1 si se cosecha el producto j para el detallista el día l, 0 de lo contrario
var Y1{j in PRODT, k in INTERM, l in PERD}>=0, binary; #Variable binaria, 1 si se cosecha el producto j para el intermediario el día l, 0 de lo contrario
var W1{j in PRODT, k in INTERM, l in PERD}>=0, binary; #Variable binaria de aceptación de precio de mercado para el producto j para intermediario k el día l: 1 si se acepta, 0 de lo contrario
var W2{j in PRODT, d in DET, l in PERD}>=0, binary; #Variable binaria de aceptación de precio de mercado para el producto j para detallista d el día l: 1 si se acepta, 0 de lo contrario
var INV{i in  PARP, j in PRODT, l in PERD}>=0; #Inventario del producto j en la parcela i en el día l
```

```
var AP{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}>=0; #Área de parcela i cosechada del
producto j el día l
var ADISP{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}>=0; #Área disponible en la parcela i
para el producto j en el día l

#FUNCIÓN OBJETIVO

maximize UTILIDAD:
#Ingreso esperado de ventas a intermediario con penalización por probabilidad de
deterioro
sum{i in PARP, j in PRODT, k in INTERM, l in PERD, q in
CALPR}(PREI[j,k,l]*R[i,j,q,k,l]*(1-PROB[j,k]))+
#ingreso de ventas a intermediario con penalización por probabilidad deterioro
sum{i in PARP, j in PRODT, k in INTERM, l in PERD, q in
CALPR}(PRVI[j,k,l]*R[i,j,q,k,l]*PROB[j,k])+
#ingreso esperado de ventas a detallista con penalización por probabilidad de
deterioro
sum{i in PARP, j in PRODT, d in DET, l in PERD, q in
CALPR}(PRED[j,d,l]*Z[i,j,q,d,l]*(1-PROB2[j,d]))+
#ingreso de ventas a detallista con penalización por probabilidad de deterioro
sum{i in PARP, j in PRODT, d in DET, l in PERD, q in
CALPR}(PRVD[j,d,l]*Z[i,j,q,d,l]*PROB2[j,d])-
#costo de embalaje en parcelas
sum{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}(CEMB[i,j,l]*Q[i,j,l])-
#costo de cosechar en parcelas
sum{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}(CCOS[j]*Y[i,j,l])-
#costo de flete de la parcela al intermediario
sum{i in PARP, j in PRODT, q in CALPR, k in INTERM, l in
PERD}(R[i,j,q,k,l]*CFPI[i,k])-
#costo de flete de la parcela al detallista
sum{i in PARP, j in PRODT, q in CALPR, d in DET, l in
PERD}(Z[i,j,q,d,l]*CFPD[i,d])-
#costo de mantener inventario den parcela
sum{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}(INV[i,j,l]*CINVP[i,j,l]);
```

```
#RESTRICCIONES
subject to balance_procosechydespachadoICIONADA{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}: sum{d in DET, q in CALPR}(Z[i,j,q,d,l])+sum{k in INTERM, q in CALPR}(R[i,j,q,k,l]) = (Y[i,j,l]);
subject to cap_produccion{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}: AP[i,j,l]*CE[i,j] = Y[i,j,l];
subject to cap_cosecha{j in PRODT, l in PERD}: sum{i in PARP}(Y[i,j,l]) <= sum{i in PARP} (CAP[i,l]);
subject to cap_despacho{i in PARP, l in PERD}: sum{j in PRODT, q in CALPR, d in DET}(Z[i,j,q,d,l])+sum{j in PRODT, q in CALPR, k in INTERM}(R[i,j,q,k,l]) <= 10000000*CAPD[i,l];
subject to cant_embalada{l in PERD}: sum{i in PARP, j in PRODT}(LEH[i]*Q[i,j,l]+AP[i,j,l]*LBH[i]) <= LDH[l];
subject to dem_intermediario{j in PRODT, k in INTERM, l in PERD}: sum{i in PARP, q in CALPR}(R[i,j,q,k,l]) >= DEMIN[j,k,l];
subject to dem_detallista{j in PRODT, d in DET, l in PERD}: sum{i in PARP, q in CALPR}(Z[i,j,q,d,l]) >= DEMDE[j,d,l];
subject to balance_area_sembrada1{i in PARP, j in PRODT, l in PERD:l=1}: ATP[i,j]-AP[i,j,l] = ADISP[i,j,l];
subject to balance_area_sembrada2{i in PARP, j in PRODT, l in PERD:l>=2}: ADISP[i,j,l-1]-AP[i,j,l] = ADISP[i,j,l];
subject to balance_inventario1{i in PARP, j in PRODT, l in PERD:l=1}: INV[i,j,l]+sum{d in DET, q in CALPR}(Z[i,j,q,d,l])+sum{k in INTERM, q in CALPR}(R[i,j,q,k,l]) = (Y[i,j,l]);
subject to balance_inventario2{i in PARP, j in PRODT , l in PERD:l>1 }: INV[i,j,l]+sum{d in DET, q in CALPR}(Z[i,j,q,d,l])+sum{d in DET, k in INTERM, q in CALPR}(R[i,j,q,k,l]) = INV[i,j,l-1]+(Y[i,j,l]);
subject to decision_venta_interm1{j in PRODT, k in INTERM, l in PERD}: PREI[j,k,l] >= PROB[j,k]+M*(1-W1[j,k,l]);
```

```
subject to decision_venta_interm2{j in PRODT, k in INTERM, l in PERD}:
PREI[j,k,l] <= PROB[j,k]+M*W1[j,k,l];
subject to decision_venta_detallis1{j in PRODT, d in DET, l in PERD}: PRED[j,d,l]
>= PROB2[j,d]+M*(1-W2[j,d,l]);
subject to decision_venta_detallis2{j in PRODT, d in DET, l in PERD}: PRED[j,d,l]
<= PROB2[j,d]+M*W2[j,d,l];
subject to decision_cosecha_interm1{i in PARP, j in PRODT, k in INTERM, q in
CALPR,l in PERD}: R[i,j,q,k,l] <= M*Y1[j,k,l];
subject to decision_cosecha_interm2{j in PRODT, k in INTERM, l in PERD}:
Y1[j,k,l] <= W1[j,k,l];
subject to decision_cosecha_detallis1{i in PARP,j in PRODT, d in DET, l in PERD,
q in CALPR}: Z[i,j,q,d,l] <= M*Y2[j,d,l];
subject to decision_cosecha_detallis2{j in PRODT, d in DET, l in PERD}: Y2[j,d,l]
<= W2[j,d,l];
subject to embalaje{i in PARP, j in PRODT, l in PERD}: (Q[i,j,l])*60=  Y[i,j,l]; # se
agrego convertir bultos a kilos
#subject to exc_varbinaria{j in PRODT, l in PERD}: sum{k in
INTERM}(W1[j,k,l])+sum{d in DET}(W2[j,d,l]) = 1;
```

Anexo 2: Archivo de datos

```
#Conjuntos
set PARP:= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10; #Conjunto de posibles parcelas productivas
set PRODT:= 1 2 3; #Conjunto de productos a cosechar
set INTERM:= 1 2 3; #Conjunto de intermediarios de la cadena
set DET:= 1 2 3 4 5 6 7; #Conjunto de detallistas de la cadena
set PERD:= 1 2 3 4 5 6 7; #Conjunto de periodos de tiempo en días
set CALPR:= 1 2; #Conjunto de calidad del producto


#PARÁMETROS

param QC:   1       2       3:=
1           4000    5000    6000
2           4000    5000    6000
3           4000    5000    6000
4           4000    5000    6000
5           4000    5000    6000
6           4000    5000    6000
7           4000    5000    6000
8           4000    5000    6000
9           4000    5000    6000
10          4000    5000    6000;


param CE:   1       2       3 :=
1           4500    5500    6500
2           5500    5500    5000
3           6500    6000    6000
4           6500    6000    6000
5           6500    6000    6000
6           6500    6000    6000
7           6500    6000    6000
8           6500    6000    6000
9           6500    6000    6000
10          6500    6000    6000 ;

param CAP:  1       2       3       4       5       6       7       :=
1           1000    1000    1000    1000    1000    1000    1000
2           1000    1000    1000    1000    1000    1000    1000
3           1000    1000    1000    1000    1000    1000    1000
4           1000    1000    1000    1000    1000    1000    1000
5           1000    1000    1000    1000    1000    1000    1000
6           1000    1000    1000    1000    1000    1000    1000
7           1000    1000    1000    1000    1000    1000    1000
```

8	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
9	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

;

param CAPD:

	1	2	3	4	5	6	7:=
1	950	950	950	950	950	950	950
2	850	850	850	850	850	850	850
3	800	800	800	800	800	800	800
4	800	800	800	800	800	800	800
5	800	800	800	800	800	800	800
6	800	800	800	800	800	800	800
7	800	800	800	800	800	800	800
8	800	800	800	800	800	800	800
9	800	800	800	800	800	800	800
10	800	800	800	800	800	800	800;

param CPN:

	1	2	3	:=
1	10	11	10	
2	11	11	11	
3	10	11	10	
4	10	11	10	
5	10	11	10	
6	10	11	10	
7	10	11	10	
8	10	11	10	
9	10	11	10	
10	10	11	10;	

param DEMIN:=

[*,*,1]:

	1	2	3	:=
1	300	300	300	
2	200	200	200	
3	200	200	200	

[*,*,2]:	1	2	3	:=
1	350	350	350	
2	250	250	250	
3	200	200	200	

[*,*,3]:	1	2	3	:=
1	380	380	380	
2	280	280	280	
3	200	200	200	

[*,*,4]:	1	2	3	:=
1	300	300	300	
2	200	200	200	
3	200	200	200	

[*,*,5]:	1	2	3	:=
1	350	350	350	
2	250	250	250	
3	200	200	200	

[*,*,6]:	1	2	3	:=
1	380	380	380	
2	280	280	280	
3	200	200	200	

[*,*,7]:	1	2	3	:=
1	380	380	380	

```
2          280   280   280
3          200   200   200;

param DEMDE:=

[*,*,1]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          200   200   200   200   200   200   200
2          180   180   180   180   180   180   180
3          190   190   190   190   190   190   190

[*,*,2]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          180   180   180   180   180   180   180
2          200   200   200   200   200   200   200
3          190   190   190   190   190   190   190

[*,*,3]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          200   200   200   200   200   200   200
2          190   190   190   190   190   190   190
3          170   170   170   170   170   170   170

[*,*,4]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          200   200   200   200   200   200   200
2          180   180   180   180   180   180   180
3          190   190   190   190   190   190   190

[*,*,5]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          180   180   180   180   180   180   180
2          200   200   200   200   200   200   200
3          190   190   190   190   190   190   190

[*,*,6]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          200   200   200   200   200   200   200
2          190   190   190   190   190   190   190
3          170   170   170   170   170   170   170

[*,*,7]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          180   180   180   180   180   180   180
2          200   200   200   200   200   200   200
3          190   190   190   190   190   190   190;

param PREI:=
```

```
[*,*,1]:        1     2     3     :=
1               1000  1000  1000
2               833   833   833
3               1000  1000  1000

[*,*,2]:        1     2     3     :=
1               1100  1100  1100
2               900   900   900
3               950   950   950

[*,*,3]:        1     2     3     :=
1               1200  1200  1200
2               950   950   950
3               800   800   800

[*,*,4]:        1     2     3     :=
1               1000  1000  1000
2               833   833   833
3               1000  1000  1000

[*,*,5]:        1     2     3     :=
1               1100  1100  1100
2               900   900   900
3               950   950   950

[*,*,6]:        1     2     3     :=
1               1200  1200  1200
2               950   950   950
3               800   800   800

[*,*,7]:        1     2     3     :=
1               1200  1200  1200
2               950   950   950
3               800   800   800;

param PRED:=

[*,*,1]:        1     2     3     4     5     6     7     :=
1               1400  1400  1400  1400  1400  1400  1400
2               1200  1200  1200  1200  1200  1200  1200
3               1000  1000  1000  1000  1000  1000  1000

[*,*,2]:        1     2     3     4     5     6     7     :=
1               1400  1400  1400  1400  1400  1400  1400
2               1500  1500  1500  1500  1500  1500  1500
```

```
3          1250  1250  1250  1250  1250  1250  1500

[*,*,3]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          1450  1450  1450  1450  1450  1450  1450
2          1500  1500  1500  1500  1500  1500  1500
3          1300  1300  1300  1300  1300  1300  1300

[*,*,4]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          1400  1400  1400  1400  1400  1400  1400
2          1200  1200  1200  1200  1200  1200  1200
3          1000  1000  1000  1000  1000  1000  1000

[*,*,5]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          1400  1400  1400  1400  1400  1400  1400
2          1500  1500  1500  1500  1500  1500  1500
3          1250  1250  1250  1250  1250  1250  1500

[*,*,6]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          1450  1450  1450  1450  1450  1450  1450
2          1500  1500  1500  1500  1500  1500  1500
3          1300  1300  1300  1300  1300  1300  1300

[*,*,7]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          1400  1400  1400  1400  1400  1400  1400
2          1500  1500  1500  1500  1500  1500  1500
3          1250  1250  1250  1250  1250  1250  1500;

param PRVI:=

[*,*,1]:   1     2     3     :=
1          700   700   700
2          600   650   750
3          550   600   650

[*,*,2]:   1     2     3     :=
1          650   750   650
2          700   650   700
3          650   500   550

[*,*,3]:   1     2     3     :=
1          500   650   600
2          650   550   550
3          600   550   500

[*,*,4]:   1     2     3     :=
```

```
1          700   700   700
2          600   650   750
3          550   600   650

[*,*,5]:   1     2     3     :=
1          650   750   650
2          700   650   700
3          650   500   550

[*,*,6]:   1     2     3     :=
1          500   650   600
2          650   550   550
3          600   550   500

[*,*,7]:   1     2     3     :=
1          650   750   650
2          700   650   700
3          650   500   550;

param PRVD:=

[*,*,1]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          900   900   900   900   900   900   900
2          800   800   800   800   800   800   800
3          750   750   750   750   750   750   750

[*,*,2]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          850   850   950   950   950   950   950
2          800   850   800   800   800   800   800
3          750   800   750   750   750   750   750

[*,*,3]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          900   950   900   900   900   900   900
2          850   850   850   850   850   850   850
3          700   750   800   800   800   800   800

[*,*,4]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          900   900   900   900   900   900   900
2          800   800   800   800   800   800   800
3          750   750   750   750   750   750   750

[*,*,5]:   1     2     3     4     5     6     7     :=
1          850   850   950   950   950   950   950
2          800   850   800   800   800   800   800
3          750   800   750   750   750   750   750
```

[*,*,6]:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	900	950	900	900	900	900	900	
2	850	850	850	850	850	850	850	
3	700	750	800	800	800	800	800	

[*,*,7]:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	850	850	950	950	950	950	950	
2	800	850	800	800	800	800	800	
3	750	800	750	750	750	750	750;	

param CFPI:	1	2	3:=
1	400	400	400
2	400	400	400
3	400	400	400
4	400	400	400
5	400	400	400
6	400	400	400
7	400	400	400
8	400	400	400
9	400	400	400
10	400	400	400;

param CFPD:	1	2	3	4	5	6	7:=
1	600	600	600	600	600	600	600
2	600	600	600	600	600	600	600
3	600	600	600	600	600	600	600
4	600	600	600	600	600	600	600
5	600	600	600	600	600	600	600
6	600	600	600	600	600	600	600
7	600	600	600	600	600	600	600
8	600	600	600	600	600	600	600
9	600	600	600	600	600	600	600
10	600	600	600	600	600	600	600;

param CEMB:=

[*,*,1]:	1	2	3:=
1	10000	9000	8000
2	10000	9000	8000
3	10000	9000	8000
4	10000	9000	8000

5	10000	9000	8000
6	10000	9000	8000
7	10000	9000	8000
8	10000	9000	8000
9	10000	9000	8000
10	10000	9000	8000

[*,*,2]:	1	2	3:=
1	10000	9000	8000
2	10000	9000	8000
3	10000	9000	8000
4	10000	9000	8000
5	10000	9000	8000
6	10000	9000	8000
7	10000	9000	8000
8	10000	9000	8000
9	10000	9000	8000
10	10000	9000	8000

[*,*,3]:	1	2	3:=
1	10000	9000	8000
2	10000	9000	8000
3	10000	9000	8000
4	10000	9000	8000
5	10000	9000	8000
6	10000	9000	8000
7	10000	9000	8000
8	10000	9000	8000
9	10000	9000	8000
10	10000	9000	8000

[*,*,4]:	1	2	3:=
1	10000	9000	8000
2	10000	9000	8000
3	10000	9000	8000
4	10000	9000	8000
5	10000	9000	8000
6	10000	9000	8000
7	10000	9000	8000
8	10000	9000	8000
9	10000	9000	8000
10	10000	9000	8000

[*,*,5]:	1	2	3:=
1	10000	9000	8000

```
2                10000 9000   8000
3                10000 9000   8000
4                10000 9000   8000
5                10000 9000   8000
6                10000 9000   8000
7                10000 9000   8000
8                10000 9000   8000
9                10000 9000   8000
10               10000 9000   8000

[*,*,6]:         1        2        3:=
1                10000 9000   8000
2                10000 9000   8000
3                10000 9000   8000
4                10000 9000   8000
5                10000 9000   8000
6                10000 9000   8000
7                10000 9000   8000
8                10000 9000   8000
9                10000 9000   8000
10               10000 9000   8000

[*,*,7]:         1        2        3:=
1                10000 9000   8000
2                10000 9000   8000
3                10000 9000   8000
4                10000 9000   8000
5                10000 9000   8000
6                10000 9000   8000
7                10000 9000   8000
8                10000 9000   8000
9                10000 9000   8000
10               10000 9000   8000;

param CLABOR:=
1       3000
2       3000
3       3000
4       3000
5       3000
6       3000
7       3000
8       3000
9       3000
10      3000;
```

```
param LEH:=
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1;

param LDH=
1	10000
2	10000
3	10000
4	10000
5	10000
6	10000
7	10000;

param LBH:=
1	4
2	4
3	4
4	4
5	4
6	4
7	4
8	4
9	4
10	4;

param PROB:	1	2	3:=
1	0.1	0.1	0.1
2	0.1	0.1	0.1
3	0.1	0.1	0.1;

param PROB2:	1	2	3	4	5	6	7:=
1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2;

param CINVP:=
```

[*,*,1]:	1	2	3:=
1	400	500	500
2	400	500	500
3	400	500	500
4	400	500	500
5	400	500	500
6	400	500	500
7	400	500	500
8	400	500	500
9	400	500	500
10	400	500	500

[*,*,2]:	1	2	3:=
1	400	500	500
2	400	500	500
3	400	500	500
4	400	500	500
5	400	500	500
6	400	500	500
7	400	500	500
8	400	500	500
9	400	500	500
10	400	500	500

[*,*,3]:	1	2	3:=
1	400	500	500
2	400	500	500
3	400	500	500
4	400	500	500
5	400	500	500
6	400	500	500
7	400	500	500
8	400	500	500
9	400	500	500
10	400	500	500

[*,*,4]:	1	2	3:=
1	400	500	500
2	400	500	500
3	400	500	500
4	400	500	500
5	400	500	500
6	400	500	500
7	400	500	500

8	400	500	500
9	400	500	500
10	400	500	500

[*,*,5]: 1 2 3:=

1	400	500	500
2	400	500	500
3	400	500	500
4	400	500	500
5	400	500	500
6	400	500	500
7	400	500	500
8	400	500	500
9	400	500	500
10	400	500	500

[*,*,6]: 1 2 3:=

1	400	500	500
2	400	500	500
3	400	500	500
4	400	500	500
5	400	500	500
6	400	500	500
7	400	500	500
8	400	500	500
9	400	500	500
10	400	500	500

[*,*,7]: 1 2 3:=

1	400	500	500
2	400	500	500
3	400	500	500
4	400	500	500
5	400	500	500
6	400	500	500
7	400	500	500
8	400	500	500
9	400	500	500
10	400	500	500;

param CAPCUL: 1 2 3 4 5 6 7:=

1	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
2	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000

```
3        5000      5000      5000      5000      5000      5000
5000
4        5000      5000      5000      5000      5000      5000
5000
5        5000      5000      5000      5000      5000      5000
5000
6        5000      5000      5000      5000      5000      5000
5000
7        5000      5000      5000      5000      5000      5000
5000
8        5000      5000      5000      5000      5000      5000
5000
9        5000      5000      5000      5000      5000      5000
5000
10       5000      5000      5000      5000      5000      5000
5000;

param CCOS:=
1    500
2    500
3    500;

param ATP:  1      2      3:=
1           5      6      5
2           4.5    5      6
3           4      5.5    4.5
4           5      4      5
5           4      4      5
6           6      3.5    5
7           6.5    7      4.5
8           5.5    6      6
9           4      5      7
10          4.5    4      5;
```

Anexo 3: Archivo comandos

```
# COMANDOS EN AMPL CORRESPONDIENTES AL MODELO DE
PLANEACIÓN DE OPERACIONES DE LA CA FRUTICOLA

# UTILIZANDO NEOS SERVER

# COMANDOS DE INICIALIZACIÓN DE CONDICIONES:

option show_stats 1;
#option solution_precision 0;
option display_width 200;
option omit_zero_rows 1;
option omit_zero_cols 1;
option display_precision 6;
option display_round 1;
option display_1col 0;


# COMANDO DE SOLUCIÓN:

solve;

# COMANDOS DE IMPRESIÓN DE RESULTADOS:
printf "\n\n************************************\n";
printf "RESULTADOS DEL MODELO DE PLANEACIÓN DE LA CADENA DE
ABASTECIMIENTO\n";
printf "************************************\n\n";

printf "\nUTILIDAD TOTAL = \t%9.1f", UTILIDAD;

printf "\n\nCANTIDAD DE PRODUCTO COSECHADO EN PARCELA =\n\n";
display Y;

printf "\n\nCANTIDAD DE PRODUCTO DESPACHADO AL DETALLISTA =\n\n";
display Z;

printf "\n\nCANTIDAD DE PRODUCTO DESPACHADO AL INTERMEDIARIO
=\n\n";
display R;

printf "\n\nBULTOS EMBALADOS EN PARCELA =\n\n";
display Q;

printf "\nCOSECHA PARA DETALLISTA =\n\n";
```

```
display Y2;

printf "\nCOSECHA PARA INTERMEDIARIO =\n\n";
display Y1;

printf "\nACEPTACIÓN DE PRECIO DEL MERCADO PARA INTERMEDIARIO
=\n\n";
display W1;

printf "\nACEPTACIÓN DE PRECIO DEL MERCADO PARA DETALLISTA =\n\n";
display W2;

printf "\nINVENTARIO DEL RODUCTO EN PARCELA =\n\n";
display INV;

printf "\nAREA DE PARCELA COSECHADA =\n\n";
display AP;

printf "\nAREA DISPONIBLE DE PARCELA =\n\n";
display ADISP;


printf"\nPRECIOS SOMBRA=\n\n";
display cap_produccion.dual;
display cap_cosecha.dual;
display cap_despacho.dual;
display cant_embalada.dual;
display dem_intermediario.dual;
display dem_detallista.dual;
display balance_area_sembrada1.dual;
display balance_area_sembrada2.dual;
display balance_inventario1.dual;
display balance_inventario2.dual;
display decision_venta_interm1.dual;
display decision_venta_interm2.dual;
display decision_venta_detallis1.dual;
display decision_venta_detallis2.dual;
display decision_cosecha_interm1.dual;
display decision_cosecha_interm2.dual;
display decision_cosecha_detallis1.dual;
display decision_cosecha_detallis2.dual;

printf"\nHOLGURAS=\n\n";
display cap_produccion.slack;
display cap_cosecha.slack;
```

```
display cap_despacho.slack;
display cant_embalada.slack;
display dem_intermediario.slack;
display dem_detallista.slack;
display balance_area_sembrada1.slack;
display balance_area_sembrada2.slack;
display balance_inventario1.slack;
display balance_inventario2.slack;
display decision_venta_interm1.slack;
display decision_venta_interm2.slack;
display decision_venta_detallis1.slack;
display decision_venta_detallis2.slack;
display decision_cosecha_interm1.slack;
display decision_cosecha_interm2.slack;
display decision_cosecha_detallis1.slack;
display decision_cosecha_detallis2.slack;

printf"\nCOSTOS REDUCIDOS=\n\n";
display Y.rc;
display Z.rc;
display R.rc;
display Q.rc;
display Y2.rc;
display Y1.rc;
display W1.rc;
display W2.rc;
display INV.rc;
display AP.rc;
display ADISP.rc;
```

Anexo 4: Archivo resultados del modelo

****

RESULTADOS DEL MODELO DE PLANEACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO

****

UTILIDAD TOTAL = 7227673.3

CANTIDAD DE PRODUCTO COSECHADO EN PARCELA =

Y [*,1,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
2	0.0	0.0	7840.0	0.0	0.0	7840.0	0.0	
3	766.7	770.0	720.0	766.7	770.0	720.0	673.3	
5	766.7	770.0	720.0	766.7	770.0	720.0	673.3	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7980.0	
9	766.7	770.0	720.0	766.7	770.0	720.0	673.3	

[*,2,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	9160.0	0.0	0.0	9160.0	0.0	
4	420.0	400.0	0.0	420.0	400.0	0.0	400.0	
5	420.0	400.0	0.0	420.0	400.0	0.0	400.0	
6	0.0	6520.0	0.0	0.0	6520.0	0.0	7960.0	
7	0.0	1530.0	0.0	0.0	1530.0	0.0	0.0	
8	600.0	750.0	840.0	600.0	750.0	840.0	840.0	
10	420.0	400.0	0.0	420.0	400.0	0.0	400.0	

[*,3,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
2	0.0	8260.0	0.0	0.0	8260.0	0.0	8260.0	
3	100.0	475.0	525.0	100.0	475.0	525.0	195.0	
4	432.5	197.5	185.0	432.5	197.5	185.0	337.5	
5	432.5	197.5	185.0	432.5	197.5	185.0	337.5	
6	432.5	197.5	185.0	432.5	197.5	185.0	337.5	
7	100.0	475.0	525.0	100.0	475.0	525.0	195.0	
10	432.5	197.5	185.0	432.5	197.5	185.0	337.5;	

CANTIDAD DE PRODUCTO DESPACHADO AL DETALLISTA =

Z [*,1,1,1,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	66.7	60.0	66.7	66.7	60.0	66.7	0.0	
5	66.7	60.0	66.7	0.0	0.0	66.7	60.0	

9	66.7	0.0	66.7	66.7	0.0	66.7	60.0

[*,1,1,2,*]

:	2	3	4	6	7	:=
3	60.0	66.7	66.7	0.0	60.0	
5	0.0	0.0	66.7	66.7	60.0	
9	60.0	0.0	0.0	0.0	60.0	

[*,1,1,3,*]

:	1	2	3	4	6	7	:=
3	0.0	0.0	0.0	66.7	66.7	60.0	
5	0.0	60.0	66.7	0.0	0.0	60.0	
9	66.7	0.0	66.7	0.0	66.7	60.0	

[*,1,1,4,*]

:	1	3	4	5	6	7	:=
3	66.7	66.7	66.7	0.0	0.0	60.0	
5	0.0	0.0	0.0	60.0	0.0	60.0	
9	66.7	66.7	0.0	60.0	66.7	0.0	

[*,1,1,5,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	66.7	60.0	0.0	66.7	60.0	66.7	60.0	
5	66.7	60.0	0.0	0.0	60.0	66.7	0.0	
9	0.0	0.0	66.7	66.7	0.0	0.0	0.0	

[*,1,1,6,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	66.7	60.0	0.0	66.7	60.0	0.0	0.0	
5	66.7	0.0	66.7	66.7	60.0	66.7	0.0	
9	0.0	60.0	66.7	66.7	60.0	66.7	60.0	

[*,1,1,7,*]

:	1	3	4	5	6	7	:=
3	66.7	66.7	66.7	0.0	0.0	0.0	
5	66.7	66.7	0.0	0.0	66.7	60.0	
9	66.7	0.0	0.0	60.0	0.0	60.0	

[*,1,2,1,*]

:	2	4	5	7	:=
3	0.0	0.0	0.0	60.0	
5	0.0	66.7	60.0	0.0	
9	60.0	0.0	60.0	0.0	

[*,1,2,2,*]

:	1	2	3	4	5	6	:=
3	66.7	0.0	0.0	0.0	60.0	66.7	
5	66.7	60.0	66.7	0.0	60.0	0.0	
9	66.7	0.0	66.7	66.7	60.0	66.7	

[*,1,2,3,*]

:	1	2	3	4	5	6	:=
3	66.7	60.0	66.7	0.0	60.0	0.0	
5	66.7	0.0	0.0	66.7	60.0	66.7	
9	0.0	60.0	0.0	66.7	60.0	0.0	

[*,1,2,4,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	60.0	0.0	0.0	60.0	66.7	0.0	
5	66.7	60.0	66.7	66.7	0.0	66.7	0.0	
9	0.0	60.0	0.0	66.7	0.0	0.0	60.0	

[*,1,2,5,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	66.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	0.0	0.0	66.7	66.7	0.0	0.0	60.0	
9	66.7	60.0	0.0	0.0	60.0	66.7	60.0	

[*,1,2,6,*]

:	1	2	3	6	7	:=
3	0.0	0.0	66.7	66.7	60.0	
5	0.0	60.0	0.0	0.0	60.0	
9	66.7	0.0	0.0	0.0	0.0	

[*,1,2,7,*]

:	2	3	4	5	6	7	:=
3	60.0	0.0	0.0	60.0	66.7	60.0	
5	60.0	0.0	66.7	60.0	0.0	0.0	
9	60.0	66.7	66.7	0.0	66.7	0.0	

[*,2,1,1,*]

:	1	2	3	4	6	7	:=
3	0.0	0.0	1308.6	0.0	1308.6	0.0	
4	0.0	0.0	0.0	60.0	0.0	66.7	
5	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	60.0	66.7	0.0	60.0	0.0	0.0	

[*,2,1,2,*]

:	1	2	4	5	7	:=
4	60.0	0.0	60.0	0.0	0.0	

5	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	7960.0
7	0.0	1530.0	0.0	1530.0	0.0
10	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0

[*,2,1,3,*]

:	1	2	3	4	5	7	:=
3	0.0	0.0	1308.6	0.0	0.0	0.0	
4	60.0	66.7	0.0	60.0	66.7	66.7	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7	66.7	
10	60.0	66.7	0.0	0.0	66.7	66.7	

[*,2,1,4,*]

:	2	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	1308.6	0.0	
4	0.0	66.7	0.0	0.0	
10	66.7	0.0	0.0	66.7	

[*,2,1,5,*]

:	1	2	4	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	0.0	0.0	1308.6	0.0	
4	0.0	0.0	60.0	66.7	0.0	0.0	
5	0.0	66.7	60.0	66.7	0.0	66.7	
10	60.0	66.7	0.0	0.0	0.0	66.7	

[*,2,1,6,*]

:	1	2	4	5	7	:=
4	60.0	66.7	60.0	66.7	66.7	
5	60.0	66.7	0.0	66.7	66.7	
10	0.0	66.7	0.0	66.7	66.7	

[*,2,1,7,*]

:	2	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	1308.6	0.0	0.0	1308.6	0.0	
4	66.7	0.0	60.0	66.7	0.0	66.7	
5	0.0	0.0	60.0	66.7	0.0	66.7	
10	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	66.7	

[*,2,2,1,*]

:	1	2	4	5	7	:=
4	60.0	66.7	0.0	66.7	0.0	
5	0.0	66.7	60.0	66.7	66.7	
10	0.0	0.0	0.0	66.7	66.7	

[*,2,2,2,*]

:	1	2	3	4	5	6	:=
3	0.0	0.0	1308.6	0.0	0.0	1308.6	
5	0.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	
6	0.0	6520.0	0.0	0.0	6520.0	0.0	
10	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

[*,2,2,3,*]

:	1	2	4	6	:=
3	0.0	0.0	0.0	1308.6	
5	60.0	66.7	60.0	0.0	
10	0.0	0.0	60.0	0.0	

[*,2,2,4,*]

:	1	2	3	4	5	7	:=
3	0.0	0.0	1308.6	0.0	0.0	0.0	
4	60.0	66.7	0.0	60.0	0.0	66.7	
5	60.0	66.7	0.0	60.0	66.7	66.7	
10	60.0	0.0	0.0	60.0	66.7	0.0	

[*,2,2,5,*]

:	1	2	3	4	5	7	:=
3	0.0	0.0	1308.6	0.0	0.0	0.0	
4	60.0	66.7	0.0	0.0	0.0	66.7	
5	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	0.0	0.0	0.0	60.0	66.7	0.0	

[*,2,2,6,*]

:	1	3	4	6	:=
3	0.0	1308.6	0.0	1308.6	
5	0.0	0.0	60.0	0.0	
10	60.0	0.0	60.0	0.0	

[*,2,2,7,*]

:	1	2	5	:=
4	60.0	0.0	0.0	
5	60.0	66.7	0.0	
10	60.0	66.7	66.7	

[*,3,1,1,*]

:	1	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	0.0	95.0	0.0	0.0	
4	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	47.5	0.0	47.5	0.0	0.0	47.5	
6	0.0	42.5	47.5	0.0	0.0	47.5	
7	0.0	0.0	0.0	95.0	0.0	0.0	

10	47.5	42.5	0.0	0.0	42.5	0.0

[*,3,1,2,*]

:	1	2	3	4	5	6	:=
4	0.0	47.5	0.0	47.5	47.5	42.5	
5	0.0	0.0	42.5	0.0	47.5	0.0	
10	47.5	0.0	42.5	47.5	0.0	42.5	

[*,3,1,3,*]

:	2	3	4	5	7	:=
3	95.0	85.0	0.0	0.0	0.0	
4	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	
5	0.0	0.0	47.5	0.0	47.5	
6	0.0	0.0	47.5	0.0	0.0	
7	0.0	0.0	0.0	95.0	0.0	
10	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	

[*,3,1,4,*]

:	1	3	4	5	7	:=
3	0.0	0.0	0.0	95.0	0.0	
4	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	47.5	0.0	47.5	0.0	0.0	
7	0.0	85.0	0.0	95.0	0.0	
10	47.5	0.0	47.5	0.0	47.5	

[*,3,1,5,*]

:	1	2	3	4	6	7	:=
3	0.0	0.0	85.0	0.0	85.0	0.0	
4	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	
5	47.5	0.0	0.0	47.5	0.0	47.5	
6	0.0	0.0	0.0	47.5	0.0	47.5	
7	0.0	95.0	85.0	0.0	85.0	0.0	
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	

[*,3,1,6,*]

:	1	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	85.0	0.0	95.0	0.0	0.0	
4	0.0	0.0	47.5	0.0	0.0	47.5	
5	47.5	0.0	47.5	0.0	0.0	0.0	
6	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
7	0.0	85.0	0.0	0.0	85.0	0.0	
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	

[*,3,1,7,*]

:	1	2	3	5	6	:=

2	0.0	8260.0	0.0	8260.0	0.0
3	0.0	0.0	85.0	0.0	85.0
4	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0
5	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0
6	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	85.0

[*,3,2,1,*]

:	1	2	3	4	6	7	:=
3	0.0	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	0.0	0.0	42.5	47.5	42.5	47.5	
5	0.0	0.0	42.5	0.0	42.5	0.0	
6	47.5	0.0	0.0	0.0	42.5	0.0	
7	0.0	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	0.0	0.0	0.0	47.5	0.0	47.5	

[*,3,2,2,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.0	
4	47.5	0.0	42.5	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	47.5	47.5	0.0	47.5	0.0	42.5	0.0	
6	47.5	47.5	42.5	47.5	47.5	42.5	0.0	
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.0	
10	0.0	47.5	0.0	0.0	47.5	0.0	0.0	

[*,3,2,3,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	0.0	0.0	95.0	85.0	0.0	
4	47.5	0.0	0.0	47.5	0.0	0.0	0.0	
5	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	
7	0.0	95.0	85.0	0.0	0.0	85.0	0.0	
10	47.5	0.0	0.0	47.5	0.0	0.0	0.0	

[*,3,2,4,*]

:	1	2	3	4	6	7	:=
3	0.0	95.0	85.0	0.0	85.0	0.0	
4	0.0	0.0	0.0	47.5	0.0	47.5	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	
6	47.5	0.0	0.0	47.5	0.0	47.5	
7	0.0	95.0	0.0	0.0	85.0	0.0	

[*,3,2,5,*]

:	1	2	4	5	:=
3	0.0	95.0	0.0	95.0	

4	0.0	0.0	47.5	0.0
6	47.5	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	95.0
10	47.5	0.0	47.5	0.0

[*,3,2,6,*]

:	1	2	4	5	6	7	:=
3	0.0	95.0	0.0	0.0	85.0	0.0	
4	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	
6	0.0	0.0	47.5	0.0	0.0	47.5	
7	0.0	95.0	0.0	95.0	0.0	0.0	
10	47.5	0.0	47.5	0.0	0.0	0.0	

[*,3,2,7,*]

:	1	3	4	7	:=
2	0.0	0.0	0.0	8260.0	
4	0.0	0.0	47.5	0.0	
5	0.0	0.0	47.5	0.0	
6	0.0	0.0	47.5	0.0	
7	0.0	85.0	0.0	0.0	
10	47.5	0.0	47.5	0.0	

;

CANTIDAD DE PRODUCTO DESPACHADO AL INTERMEDIARIO =

R [*,1,1,1,*]

:	1	2	3	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	126.7	116.7	126.7	0.0	
5	100.0	0.0	126.7	0.0	126.7	126.7	
9	100.0	116.7	0.0	0.0	0.0	126.7	

[*,1,1,2,*]

:	1	2	4	6	7	:=
2	0.0	0.0	0.0	7840.0	0.0	
3	100.0	116.7	100.0	0.0	0.0	
5	100.0	0.0	100.0	0.0	0.0	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	7980.0	
9	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	

[*,1,1,3,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	126.7	0.0	0.0	126.7	126.7	
5	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
9	0.0	116.7	0.0	100.0	116.7	0.0	0.0	

[*,1,2,1,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	100.0	116.7	0.0	100.0	0.0	0.0	126.7	
5	0.0	116.7	0.0	100.0	116.7	0.0	0.0	
9	0.0	0.0	126.7	100.0	116.7	126.7	0.0	

[*,1,2,2,*]

:	1	2	3	5	:=
2	0.0	0.0	7840.0	0.0	
3	0.0	0.0	0.0	116.7	
5	0.0	116.7	0.0	116.7	
9	100.0	116.7	0.0	116.7	

[*,1,2,3,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	100.0	116.7	0.0	100.0	116.7	0.0	0.0	
5	0.0	116.7	126.7	100.0	116.7	126.7	126.7	
9	100.0	0.0	126.7	0.0	0.0	126.7	126.7	

[*,2,1,1,*]

:	4	5	6	:=
8	200.0	250.0	280.0	

[*,2,1,2,*]

:	3	5	6	7	:=
8	280.0	250.0	280.0	280.0	

[*,2,1,3,*]

:	4	5	6	:=
8	200.0	250.0	280.0	

[*,2,2,1,*]

:	1	2	3	7	:=
8	200.0	250.0	280.0	280.0	

[*,2,2,2,*]

:	1	2	4	:=
8	200.0	250.0	200.0	

[*,2,2,3,*]

:	1	2	3	7	:=
8	200.0	250.0	280.0	280.0	

[*,3,1,1,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
4	50.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	
5	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0	50.0	50.0	
6	50.0	50.0	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	
10	50.0	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0	

[*,3,1,2,*]

:	1	2	3	4	6	7	:=
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
4	50.0	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0	
5	0.0	0.0	50.0	50.0	50.0	0.0	
6	50.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	
10	50.0	50.0	0.0	50.0	0.0	0.0	

[*,3,1,3,*]

:	1	2	3	4	5	7	:=
3	100.0	0.0	100.0	100.0	0.0	0.0	
4	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	
5	0.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	
6	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	50.0	
7	100.0	0.0	100.0	100.0	0.0	0.0	
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	

[*,3,2,1,*]

:	2	3	4	5	6	7	:=
4	0.0	50.0	50.0	0.0	50.0	50.0	
5	0.0	50.0	50.0	50.0	0.0	0.0	
6	0.0	0.0	50.0	0.0	50.0	50.0	
10	50.0	0.0	0.0	50.0	50.0	50.0	

[*,3,2,2,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
4	0.0	0.0	0.0	50.0	50.0	50.0	0.0	
5	50.0	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	
6	0.0	0.0	50.0	50.0	50.0	0.0	0.0	
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
10	0.0	0.0	50.0	0.0	50.0	50.0	0.0	

[*,3,2,3,*]

:	2	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	100.0	0.0	
4	0.0	0.0	0.0	50.0	
5	0.0	0.0	0.0	50.0	
6	0.0	50.0	0.0	0.0	
7	0.0	0.0	100.0	0.0	

10 50.0 50.0 0.0 0.0
;

BULTOS EMBALADOS EN PARCELA =

Q [*,1,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
2	0.0	0.0	130.7	0.0	0.0	130.7	0.0	
3	12.8	12.8	12.0	12.8	12.8	12.0	11.2	
5	12.8	12.8	12.0	12.8	12.8	12.0	11.2	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	133.0	
9	12.8	12.8	12.0	12.8	12.8	12.0	11.2	

[*,2,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	152.7	0.0	0.0	152.7	0.0	
4	7.0	6.7	0.0	7.0	6.7	0.0	6.7	
5	7.0	6.7	0.0	7.0	6.7	0.0	6.7	
6	0.0	108.7	0.0	0.0	108.7	0.0	132.7	
7	0.0	25.5	0.0	0.0	25.5	0.0	0.0	
8	10.0	12.5	14.0	10.0	12.5	14.0	14.0	
10	7.0	6.7	0.0	7.0	6.7	0.0	6.7	

[*,3,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
2	0.0	137.7	0.0	0.0	137.7	0.0	137.7	
3	1.7	7.9	8.8	1.7	7.9	8.8	3.2	
4	7.2	3.3	3.1	7.2	3.3	3.1	5.6	
5	7.2	3.3	3.1	7.2	3.3	3.1	5.6	
6	7.2	3.3	3.1	7.2	3.3	3.1	5.6	
7	1.7	7.9	8.8	1.7	7.9	8.8	3.2	
10	7.2	3.3	3.1	7.2	3.3	3.1	5.6	

;

COSECHA PARA DETALLISTA =

Y2 [1,*,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

[2,*,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

[3,*,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

;

COSECHA PARA INTERMEDIARIO =

Y1 [1,*,*] (tr)

:	1	2	3	:=
1	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	

[2,*,*] (tr)

:	1	2	3	:=
1	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	

[3,*,*] (tr)

:	1	2	3	:=
1	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	

;

ACEPTACIÓN DE PRECIO DEL MERCADO PARA INTERMEDIARIO =

W1 [1,*,*] (tr)

:	1	2	3	:=
1	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	

[2,*,*] (tr)

:	1	2	3	:=
1	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	

[3,*,*] (tr)

:	1	2	3	:=
1	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	

;

ACEPTACIÓN DE PRECIO DEL MERCADO PARA DETALLISTA =

W2 [1,*,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

[2,*,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

[3,*,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

;

INVENTARIO DEL RODUCTO EN PARCELA =

INV [*,1,*]
[*,2,*]
[*,3,*];

AREA DE PARCELA COSECHADA =

AP [*,1,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
2	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	1.4	0.0	
3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	

9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

[*,2,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
3	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	1.5	0.0	
4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	
5	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	
6	0.0	1.1	0.0	0.0	1.1	0.0	1.3	
7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	
8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
10	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	

[*,3,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
2	0.0	1.7	0.0	0.0	1.7	0.0	1.7	
3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	
4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	
5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	
6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	
7	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	
10	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	

;

AREA DISPONIBLE DE PARCELA =

ADISP [*,1,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
2	4.5	4.5	3.1	3.1	3.1	1.6	1.6	
3	3.9	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	
4	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
5	3.9	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	
6	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	4.8	
7	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	
8	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
9	3.9	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	
10	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	

[*,2,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
3	5.5	5.5	4.0	4.0	4.0	2.4	2.4	
4	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7	3.7	
5	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7	3.7	

6	3.5	2.4	2.4	2.4	1.3	1.3	-0.0
7	7.0	6.7	6.7	6.7	6.5	6.5	6.5
8	5.9	5.8	5.6	5.5	5.4	5.3	5.1
9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
10	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7	3.7

[*,3,*]

:	1	2	3	4	5	6	7	:=
1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
2	6.0	4.3	4.3	4.3	2.7	2.7	1.0	
3	4.5	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1	4.1	
4	4.9	4.9	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	
5	4.9	4.9	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	
6	4.9	4.9	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	
7	4.5	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1	4.1	
8	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
9	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
10	4.9	4.9	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	

;

PRECIOS SOMBRA=

cap_produccion.dual [*,1,*]
[*,2,*]
[*,3,*];

cap_cosecha.dual [*,*] (tr);

cap_despacho.dual [*,*];

cant_embalada.dual [*] :=
;

dem_intermediario.dual [1,*,*] (tr)
[2,*,*] (tr)
[3,*,*] (tr);

dem_detallista.dual [1,*,*]
[2,*,*]
[3,*,*];

balance_area_sembrada1.dual [*,*,1];

balance_area_sembrada2.dual [*,1,*]
[*,2,*]
[*,3,*];