

**POLÍTICA DE CONTROL DE INVENTARIOS CONSIDERANDO EL CICLO  
DE VIDA BIOLÓGICO DEL PRODUCTO EN UNA CADENA DE  
ABASTECIMIENTO FRUTÍCOLA DE TRES ESLABONES**

**CRISTHIAN GUILLERMO ACOSTA IMBACHI  
ANDRÉS FELIPE CANO LARRAHONDO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUGA – VALLE DEL CAUCA**

**2018**

**POLÍTICA DE CONTROL DE INVENTARIOS CONSIDERANDO EL CICLO  
DE VIDA BIOLÓGICO DEL PRODUCTO EN UNA CADENA DE  
ABASTECIMIENTO FRUTÍCOLA DE TRES ESLABONES**

**CRISTHIAN GUILLERMO ACOSTA IMBACHI  
ANDRÉS FELIPE CANO LARRAHONDO**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial**

**DIRECTOR**

**MSc. MARIO JOSE BASALLO TRIANA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUGA – VALLE DEL CAUCA**

**2018**

**NOTA ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**JURADO 1**

---

**JURADO 2**

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro director Mario José Basallo Triana, MCs, Ingeniería Industrial, por su apoyo durante todo este proceso y el tiempo que dedicó a revisar continuamente este trabajo. Su dedicación, empeño y humildad en su labor ha sido un ejemplo a seguir para nosotros.

Al profesor Diego León Peña, Estudiante de doctorado de Ingeniería Industrial, por su gran colaboración, cooperación y tiempo dedicado para la recolección de información vital para el desarrollo de este estudio.

Al profesor Edwin Loaiza, PhD, Física, por la disciplina y dedicación que nos inculcó desde el principio de esta carrera y los conocimientos brindados en cuanto a softwares de programación, los cuales fueron muy útiles para la elaboración de este proyecto.

A las personas de Asohofrucol, la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria de Andalucía (UMATA) y a los pequeños productores que abrieron las puertas de su casa para brindar toda su colaboración.

A todas las personas, que de cierta manera han aportado a la realización de nuestra tesis.

## DEDICATORIA

A Dios en primer lugar, pues ha guiado mi vida de tal forma que ha sido difícil tomar decisiones erradas. Siempre que he estado en situación de incertidumbre, he encontrado las mejores soluciones poniendo todo en sus manos. Por la amorosa y fantástica familia que me brindó y las bendiciones recibidas.

A mi madre amada por su amor incondicional, por su gran comprensión y sabios consejos en momentos cruciales. Por inculcarnos valores fundamentales desde niños, como la disciplina, el respeto hacia los demás sin importar su condición, la perseverancia y el amor a Dios. Por sus desvelos y también sus madrugadas, por sus deseos de ayudarme en cualquier forma y en todo momento.

A mi padre amado por luchar constantemente, por su carisma y su capacidad de sacar una sonrisa en cualquier momento. Por su gran compromiso con la educación de mi hermana y mía. Por su gigantesca atención, preocupación, amor y compañía a pesar de la distancia. Por enseñarnos que la perseverancia y el esfuerzo constante son las principales inversiones para alcanzar nuestros propósitos.

A mi “nerra”, por su tenacidad y gran visión, sin su iniciativa posiblemente la vida de nuestra familia sería muy diferente. Por su amor, apoyo y confianza brindada en todo momento. Por siempre tener palabras llenas de amor y ánimo para mi vida, por creer en mí incondicionalmente y lograr generar satisfacción en mí frente a cualquier decisión tomada.

A mi “popocha” porque en momentos de gran dificultad, siempre supo cómo hacerme reír a carcajadas, lo que brindaba una gran tranquilidad y buena disposición para afrontar los retos de esta hermosa carrera. Sé que eres brillante y podrás afrontar los desafíos de tu carrera con gran actitud.

A Hader, por su carisma en momentos difíciles. Por su preocupación y atención prestada durante el desarrollo de este proyecto.

A mi novia, compañera y amiga por su apoyo en momentos cruciales de mi vida y carrera profesional, por su enorme paciencia y por su constante motivación. Por su buena actitud, alegría y comprensión durante mi carrera. Por su preocupación cuando me notaba desconcertado y la manera en que lograba llenarme de tranquilidad y alegría.

A doña Sandra, doña Martha, doña Nora y don Rafael pues cuando requerí de su colaboración, su apoyo fue incondicional, me hicieron sentir como parte de su familia y en sus hogares sentí un fuerte aprecio.

Gracias a mi compañero de trabajo de grado y amigo por su objetividad y dedicación. Por las madrugadas y noches en vela. Por creer en mí y brindarme apoyo generosamente para fijar propósitos académicos ambiciosos, tomando como ejemplo su perseverancia y constancia. Por su compromiso y su ingenio

matemático. Gracias también a su familia, siempre sentí hospitalidad, un gran respeto y aprecio en su hogar.

A Julián, Mauricio, Felipe y Carlos, pues durante este largo camino demostraron ser grandes y valiosos amigos, excelentes personas y con quién puedo contar de forma incondicional.

A todos nuestros docentes, por su vocación y constancia en la labor. Porque de una manera u otra contribuyeron, con conocimientos y experiencias en la realización de este proyecto.

A muchas otras personas que quizá paso por alto, y que contribuyeron en algún momento de mi vida para alcanzar esta meta.

***Cristhian Guillermo Acosta Imbachi***

A Dios porque ha sido un apoyo incondicional en mi vida y me ha dado las fuerzas necesarias para seguir adelante en los momentos más difíciles y superar todos los obstáculos.

A mi madre por su amor incondicional, ternura, comprensión y ayuda en todos los proyectos que he emprendido.

A mi padre, por amarme, respetarme y enseñarme de su paciencia y tranquilidad para afrontar los problemas de la mejor manera.

A mi abuela, por ser una fuente de inspiración y motivación para poder superarme cada día más.

A John Anderson Torres, por inculcarme la perseverancia, dedicación y empeño en todo lo que hago.

Gracias a mi compañero de tesis y amigo personal por su dedicación, por ser una persona comprometida, responsable, respetuosa, esforzada, humilde, perseverante, por todas las días y noches de desvelo compartidos durante esta carrera mientras luchábamos por sacar este proyecto adelante, por tomar las riendas de este trabajo mientras estuve ausente por diferentes motivos y condiciones.

Gracias a mi novia y amiga, quien estuvo siempre pendiente del progreso de este trabajo y en parte de mi proceso de formación, por el apoyo que me brindo en los momentos más difíciles.

***Andrés Felipe Cano Larrahondo***

## Tabla de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
<b>3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>16</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>17</b>
4.1 OBJETIVO GENERAL	17
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
<b>5. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>18</b>
<b>6. MARCO TEÓRICO</b>	<b>20</b>
<b>7. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>25</b>
<b>8. METODOLOGÍA</b>	<b>27</b>
<b>9. CARACTERIZACION</b>	<b>30</b>
9.1 MACROCARACTERIZACIÓN	32
9.2 MICROCARACTERIZACIÓN	38
9.3 DETERIORO DE PRODUCTOS CÍTRICOS	51
<b>10. DIAGNOSTICO DE LA CADENA DE SUMINISTRO CITRÍCOLA OBJETO DE ESTUDIO</b>	<b>55</b>
10.1 FLUJO DE INFORMACIÓN Y DE PRODUCTOS	55
10.2 INTERACCIÓN ENTRE LOS ESLABONES DE LA CADENA	56
10.3 ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LOS ESLABONES DE LA CADENA CITRÍCOLA OBJETO DE ESTUDIO	58
10.3.1 PROVEEDOR	58
10.3.2 PRODUCTOR	59
10.3.3 DETALLISTA	61
10.4 ANÁLISIS DE LA DEMANDA	63
<b>11. ELECCIÓN DE MODELO MATEMÁTICO</b>	<b>66</b>
<b>12. DESARROLLO DE MODELO MATEMÁTICO</b>	<b>69</b>

<b>12.1</b>	<b>VARIABLES Y PARÁMETROS</b>	<b>69</b>
<b>12.2</b>	<b>MODELO DE INVENTARIO DE PRODUCTOS TERMINADOS DEL DETALLISTA</b>	<b>71</b>
<b>12.3</b>	<b>NIVEL DE INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS DEL ALMACÉN DEL PRODUCTOR</b>	<b>74</b>
<b>12.4</b>	<b>NIVEL DE INVENTARIO DE PRODUCTOS TERMINADOS DEL PRODUCTOR</b>	<b>75</b>
<b>12.5</b>	<b>MODELO DE INVENTARIO DEL PROVEEDOR</b>	<b>78</b>
<b>12.6</b>	<b>DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA LA CADENA CITRÍCOLA ESTUDIADA</b>	<b>81</b>
<b>13.</b>	<b><u>RESULTADOS</u></b>	<b><u>83</u></b>
<b>13.1</b>	<b>CANTIDADES DE ENTREGA ENTRE ESLABONES</b>	<b>83</b>
<b>13.2</b>	<b>COSTOS ÓPTIMOS INDEPENDIENTES Y COSTO ÓPTIMO DE LA CADENA INTEGRADA</b>	<b>85</b>
<b>13.3</b>	<b>POLÍTICA DE CONTROL DE INVENTARIOS DE LOS ESLABONES EN LA CADENA DE SUMINISTROS DE LIMÓN</b>	<b>86</b>
13.3.1	POLÍTICA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL DETALLISTA	86
13.3.2	POLÍTICA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL PRODUCTOR	86
13.3.3	POLÍTICA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA EL PROVEEDOR	86
<b>13.4</b>	<b>COSTEO DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO ACTUAL</b>	<b>87</b>
<b>13.5</b>	<b>ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD</b>	<b>89</b>
13.5.1	VARIACIÓN EN TASAS DE DETERIORO	89
13.5.2	VARIACIÓN DE COSTOS	90
<b>14.</b>	<b><u>CONCLUSIONES</u></b>	<b><u>91</u></b>
	<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>	<b><u>93</u></b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Aspecto político y gubernamental de la macrocaracterización</i> .....	34
<i>Tabla 2. Aspecto asociativo de la macrocaracterización</i> .....	35
<i>Tabla 3. Aspecto económico de la macrocaracterización</i> .....	36
<i>Tabla 4. Aspecto social de la macrocaracterización</i> .....	37
<i>Tabla 5. Aspecto tecnológico de la microcaracterización</i> .....	39
<i>Tabla 6. Aspecto de aprendizaje de la microcaracterización</i> .....	40
<i>Tabla 7. Aspecto comercial de la microcaracterización</i> .....	41
<i>Tabla 8. Aspecto organizacional de la microcaracterización</i> .....	42
<i>Tabla 9. Aspecto financiero de la microcaracterización</i> .....	43
<i>Tabla 10. Cálculo de muestra significativa para microcaracterización</i> .....	44
<i>Tabla 11. Costos, precios y almacenamiento</i> .....	46
<i>Tabla 12. Comercialización e Información</i> .....	47
<i>Tabla 13. Volumen, productos y factores de impacto en la cadena de estudio</i> .....	48
<i>Tabla 14. Pérdidas poscosecha, integración, clientes y proveedores de la cadena citrícola</i> .....	49
<i>Tabla 15. Transporte y aspectos generales del cultivo</i> .....	50
<i>Tabla 16. Condiciones controladas sugeridas por el GRUPO PM para el almacenamiento frutas frescas.</i> .....	53
<i>Tabla 17. Condiciones controladas sugeridas por la FAO para el almacenamiento frutas frescas.</i> .	54
<i>Tabla 18. Resumen histórico de venta en kilogramos</i> .....	63
<i>Tabla 19. Selección del método de pronóstico respecto al ECM (Error Cuadrático Medio)</i> .....	65
<i>Tabla 20. Notación utilizada en el desarrollo del Modelo Matemático</i> .....	69
<i>Tabla 21. Parámetros empleados en la ejecución del modelo.</i> .....	82
<i>Tabla 22. Cantidades entregadas por los eslabones y porcentaje de producto deteriorado en la cadena para diferentes frecuencias de entregas</i> .....	83
<i>Tabla 23. Costos locales y globales para varias frecuencias de entrega</i> .....	85
<i>Tabla 24. Cronograma de entregas actual: Período de planeación de un mes</i> .....	87
<i>Tabla 25. Costos de la cadena de suministro citrícola actual</i> .....	87
<i>Tabla 26. Comparación del costo actual y el costo óptimo obtenido con el modelo</i> .....	88
<i>Tabla 27. Costos de la cadena para diferentes tasas de deterioro</i> .....	89
<i>Tabla 28. Costo Total de la cadena y número de entregas variando los costos</i> .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Estructura general de la Caracterización .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2. Aspectos de la Macrocaracterización .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3. Aspectos de la Microcaracterización.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4. Flujo de información y productos de la cadena objeto de estudio.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5. Nivel de Inventario de la Cadena de Suministro para cada eslabón .....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 6. Flujograma del proceso realizado por el Proveedor.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 7. Flujograma del proceso realizado por el Productor .....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 8. Flujograma del proceso realizado por el Detallista.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 9. Demanda Histórica de Limón Pajarito .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 10. Porcentaje de producto deteriorado para diferente número de entregas.....</i>	<i>84</i>

## 1. INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministro son un tema de gran interés en diversos sectores económicos, especialmente en el agrícola, donde se requiere un esfuerzo en la coordinación de los actores, actividades y recursos para cumplir con los requerimientos de los clientes (Sánchez, 2014). Sin embargo, debido a las condiciones en que se desenvuelven estas cadenas, se presentan diferentes problemáticas. Según Shukla y Jharkharia (2013), entre los más importantes se encuentran la previsión de la demanda, la gestión de inventarios y el transporte. Existen otros factores como los márgenes de intermediación, la infraestructura y las condiciones geográficas que pueden tener serias repercusiones en cuanto a pérdidas poscosecha e influyen en la economía de los integrantes de la cadena al no haber disponibilidad de alimentos.

En este trabajo se pretende abordar la gestión de inventarios, una de las principales problemáticas en la cadena de abastecimiento frutícola debido a la restricción ligada al ciclo de vida biológico del producto. Se encontrará información acerca de la cadena de abastecimiento agrícola, las características que diferencian dicha cadena de las demás y los problemas descritos por distintos autores referentes a la misma, haciendo énfasis en el problema de inventario de productos con ciclo de vida biológico corto o perecederos, como las frutas.

Así pues, se presentan a continuación las secciones en las que se divide el trabajo de investigación, el cual describirá el uso de un modelo matemático con un enfoque que permitirá mostrar las ventajas que trae la integración para cada uno de los eslabones de la cadena de suministro. Por consiguiente, se inicia con el planteamiento del problema, el cual tiene como objetivo describir los problemas característicos, aspectos específicos y factores diferenciadores de las cadenas de suministro cítricas. Enseguida, se plantea la pregunta de investigación, sobre la cual se direccionará este proyecto. Posteriormente, se plantea un objetivo general con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación a través del desarrollo de cada uno de los objetivos específicos. Después, se presenta dentro de la justificación, la pertinencia y la necesidad del estudio que se quiere realizar y los potenciales beneficios que traería una visión integradora en una cadena de abastecimiento. Seguidamente, se presentarán en el marco teórico los conceptos que se utilizarán durante el desarrollo de este trabajo para su posible entendimiento de manera global. A continuación, se realiza una revisión de la literatura sobre los diferentes autores que han llevado a cabo investigaciones relacionadas con el uso de modelos matemáticos que han considerado la integración y el ciclo de vida biológico del producto como principales elementos dentro de su modelación en el marco de las cadenas de suministro cítricas. Más adelante se desarrolla la macro y microcaracterización, las cuales estarán plasmadas mediante el uso de las matrices PESAGE y FOCAT para su respectivo análisis a través de los diferentes

aspectos que las conforman. Luego, se efectúa un diagnóstico de la cadena de suministro cítrica objeto de estudio, el cual incluye un análisis del flujo de información y productos, interacción entre los eslabones de la cadena, aspectos específicos de cada uno de los integrantes de la misma y análisis de la demanda. Posteriormente, se muestran los diferentes modelamientos matemáticos que se consideraron para el desarrollo de este trabajo y se justifica la elección del modelo empleado en este caso de estudio, junto con la descripción de cada una de sus ecuaciones, variables y parámetros.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos en relación a la política de gestión de inventario adecuada para cada uno de los eslabones de la cadena, así como los costos de la cadena cítrica actual con el fin de realizar una comparación entre el enfoque integrador e individualista. Se realiza un análisis de sensibilidad con el fin de determinar cómo se comporta el modelo cuando se varía en diferentes proporciones algunos de sus parámetros más importantes y por último se llevan a cabo las conclusiones del trabajo.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En general, la administración de la cadena de suministros abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materia prima (extracción) hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados (Ballou, 2004). Un caso de particular interés son las cadenas de suministro agrícolas, donde se requiere un esfuerzo en la coordinación de los actores, actividades y recursos para cumplir con los requerimientos de los clientes (Viancha, 2014).

Según Shukla y Jharkharia (2013), existen una serie de problemas característicos en la operación de una cadena de suministro agrícola. Entre los más importantes pueden ser considerados: la previsión de la demanda, la gestión de inventarios y el transporte. Existen otros factores como los márgenes de intermediación, la infraestructura y las condiciones geográficas que pueden tener serias repercusiones en cuanto a pérdidas poscosecha e influye en la economía de los integrantes de la cadena al no haber disponibilidad de alimentos.

De acuerdo con Carmona (2009), otro de los problemas característicos de las cadenas de suministro agrícolas está relacionado con la integración de sus actores como estrategia competitiva. La poca integración de esta cadena genera una baja competitividad y representa un muro para la creación de nuevas formas de producción. De igual manera, Ocón (2000) establece que la ausencia de estrategias de cooperación e integración es un impedimento para la innovación y creación de nuevas formas de responder al mercado. Lowe & Preckel (2004) afirman que el esfuerzo que se debe hacer en las cadenas de suministro agrícolas en cuanto a productividad, calidad y marketing es enorme, ya que según Ahumada y Villalobos (2009) la industria de alimentos utiliza cada vez más estrategias de diferenciación. Por ende, solo las cadenas organizadas que cuenten con los recursos necesarios para cumplir con la normatividad exigida podrán hacer de esto una ventaja competitiva.

Hay una gran variedad de factores que diferencian a la cadena de suministro agrícola de las demás. De acuerdo con Ahumada y Villalobos (2009), se puede decir que entre los principales factores se encuentra la variabilidad de la demanda y los precios; la disponibilidad de trabajadores; el rendimiento del cultivo; los costos laborales y los asociados al acopio de los productos; el uso de medios de transporte eficientes que proporcionen un equilibrio entre el tiempo para llegar al mercado y el costo; el manejo poscosecha de los cultivos; el grado de madurez del producto; el tiempo máximo para la entrega; la disponibilidad de los productos; el tiempo de transporte y los costos de entrega. Otros autores como Seuring y Müller (2008), aseguran que el manejo de los productos perecederos y su ciclo de vida son los factores más diferenciadores de este tipo de cadena.

Por lo anterior, las cadenas de suministro y en especial las agroalimentarias se convierten en sistemas complejos que se encuentran en constante cambio y que involucran una gran cantidad de participantes como lo son los proveedores, distribuidores, comercializadores, mayoristas y minoristas, entre otros que hace que se comporte como un organismo multidisciplinario, el cual busca satisfacer las demandas del cliente final a través de una coordinación efectiva de los flujos de información, productos y recursos financieros (García, 2006).

Un problema de gran interés, de los identificados en la literatura relacionada con el desempeño de las cadenas de suministro agrícolas, en especial las cadenas frutícolas, es la gestión de los inventarios a lo largo de la cadena, debido a la restricción que implica el ciclo de vida biológico del producto.

Según Herrera, M. y Orjuela, J. (2014), el seguimiento y control en los procesos de almacenamiento, distribución y transformación de la cadena de suministro es primordial para garantizar la calidad de los alimentos, especialmente en procesos con alta variabilidad. Por este motivo, la frecuencia de revisión del inventario, que puede definirse como el intervalo de tiempo que transcurre entre dos revisiones sucesivas del nivel de inventario efectivo (Vidal, 2010), se convierte en un asunto crítico en el manejo de productos perecederos, pues la posibilidad de que el ciclo de vida biológico de los productos sea menor a la frecuencia con la que se revisa el inventario debe ser eliminada, de lo contrario se incurrirán en pérdidas al no tener definida una adecuada política de revisión.

Otro aspecto fundamental consiste en la cantidad óptima de pedido y el momento en que se debe pedir, si los productos se agotan antes de tiempo y no se puede satisfacer cierta demanda, se incurre en un costo por “bajo inventario” (understock), si, por el contrario, queda un cierto número de productos sin vender, solo puede recuperarse una parte de su precio, incurriendo en un costo por “exceso de inventario” (overstock) (Vidal, 2010). Por tal razón, cabe la posibilidad de que no se pueda satisfacer la demanda, o que se genere una sobreoferta y dada la restricción de perecederos, se presenten pérdidas por deterioro. Por estas razones, la gestión de inventarios, se convierte en un tema crítico al tratar con productos perecederos como las frutas, pues si estos no cumplen con determinados requisitos de calidad, se pueden ver afectados por los aspectos antes mencionados y en consecuencia serán rechazados por el mercado. Es probable que cuando este tipo de productos sufra las consecuencias de una mala gestión de inventarios, los productores no puedan percibir las ganancias potenciales de su cosecha y los clientes queden insatisfechos.

### **3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Qué política permitiría controlar de manera óptima los inventarios teniendo en cuenta el ciclo de vida biológico del producto en una cadena de abastecimiento frutícola de tres eslabones?

## 4. OBJETIVOS

### ***4.1 Objetivo general***

Proponer una política para el control de inventarios que considere el ciclo de vida biológico del producto a lo largo de una cadena de abastecimiento frutícola de tres eslabones.

### ***4.2 Objetivos específicos***

- Caracterizar una cadena de abastecimiento frutícola en la zona rural de Tuluá.
- Proponer un modelo matemático que permita determinar la cantidad óptima de pedido, el momento de ordenar y la frecuencia de revisión del inventario para una fruta determinada.
- Validar y probar el modelo matemático con los datos recopilados de la cadena de abastecimiento de Tuluá, con el fin de determinar la cantidad óptima de pedido, el momento de ordenar y la frecuencia de revisión del inventario.

## 5. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, existe una problemática alimentaria que está afectando incluso a países de gran potencial en recursos naturales como el nuestro, según la Declaración del Encuentro Nacional Crisis Alimentaria en Colombia, Acciones Sociales para la Defensa de la Soberanía y Autonomía Alimentaria (2008), “en nuestro país 57% de los propietarios, que posee menos de 3 hectáreas, sólo controla el 1.7% del área para uso agropecuario; mientras que 0.4% de los propietarios, que tiene predios mayores a 500 hectáreas, controla el 62.3% de las tierras cultivables. A pesar de esta inequidad, hoy día la producción de las familias campesinas, indígenas y afrocolombianas aporta más del 55% de los alimentos que se consumen en nuestras ciudades”. Esto refleja un panorama desconsolador frente a una de las necesidades básicas de todos los seres humanos, la alimentación.

En primer lugar, es vital comprender que los inventarios son un aspecto crucial en las cadenas de abastecimiento de productos perecederos (Viancha, 2016). Sin embargo, existen pocos estudios que abarquen el problema de inventarios a lo largo de una cadena de abastecimiento frutícola. Este estudio pretende considerar este tema poco explorado de las cadenas de abastecimiento frutícolas teniendo como referentes estudios similares en otros tipos de cadenas de abastecimiento. Se considera como aspecto crítico para los productos que se manejan en estas cadenas su ciclo biológico, lo cual implica un grado de complejidad elevado.

La necesidad de realizar este análisis surge de la ausencia de control y de políticas claras, así como metodologías estadísticas o matemáticas para el manejo de los inventarios, tal como se evidencia en la caracterización logística en las cadenas de frutas realizada por el grupo de investigación en Cadena de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad (GICALyT) de la Universidad Distrital, en colaboración con ASOHOFRUCOL y LOGyCA. A partir de dicha caracterización se obtiene que el 88,23 % de las empresas no utilizan métodos ABC para clasificar sus productos en la gestión de sus inventarios, y el 70,59 % de los encuestados asegura no conocer el valor de inventario, lo cual refleja el bajo control y seguimiento de los inventarios a lo largo de la cadena de abastecimiento. Adicional a ello, Shukla y Jharkharia (2013), identifican diversos problemas en la operación de las Cadenas de Suministro Agrícolas (CSA), entre los principales se encuentran: 1) previsión de la demanda, 2) planificación de la producción, 3) gestión de inventarios y 4) el transporte. Existen otros factores que afectan la gestión de las CSA, como el manejo de la información, el territorio, las formas de organización y los tipos de configuración de acuerdo con la manera como se atiende la demanda; en otras cadenas agrícolas como la cadena productiva de la quinua, también se presentan problemas por desconocimiento de procesos óptimos. Se realizan algunos procesos convencionales poco eficientes, que podrían optimizarse aplicando el conocimiento proveniente de otros países como Bolivia, Perú y Ecuador, que manejan el cultivo a gran escala y que han aplicado procesos específicos con resultados favorables

(Montoya et al, 2005). En este orden de ideas, se evidencia el desconocimiento y como consecuencia de ello, la falta de implementación de métodos estructurados y sistemas de control que permitan, de manera objetiva, establecer procedimientos de control claros. Todo esto evidencia la necesidad de establecer una política que permita controlar y gestionar los inventarios de productos perecederos (Frutas) a lo largo de la cadena de abastecimiento en procura de estandarizar y lograr una gestión de inventarios óptima para el caso de estudio.

## 6. MARCO TEÓRICO

Según Chopra y Meindl (2008), 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. Una cadena de suministro es dinámica e implica un flujo constante de información, productos y fondos entre las diferentes etapas. Generalmente estas etapas pueden incluir: clientes, detallistas, mayoristas, distribuidores, fabricantes y proveedores de componentes y materias primas. No es necesario que cada etapa esté presente en la cadena de suministro. El diseño apropiado de ésta depende tanto de las necesidades del cliente como de las funciones que desempeñan las etapas que abarca.

En un estudio realizado en Ecuador por parte del grupo INIAP y con el apoyo de COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación) en el año 2006, se entiende por cadena de suministro agrícola la articulación de diferentes actores que participan en los flujos o movimientos de bienes y servicios, desde el abastecimiento de insumos, pasando por la producción, hasta el consumo; ésta toma en cuenta la transformación y distribución del producto, proporcionando una serie de servicios de apoyo en cada paso del proceso. Este tipo de industria forma tres niveles: agricultores, distribuidores de productos y minoristas. Los productos agrícolas se recogen cada cierto período de tiempo, y se recogen en el almacén después de ser comprados por los distribuidores, y luego transportados a los minoristas a su vez. Los agricultores son los productores de una cadena de suministro. Cuando los productos agrícolas no se han reunido aún, el deterioro de la tasa y el costo es bajo. Los distribuidores de productos constituyen el jugador intermedio de la cadena de suministro.

Para Chopra y Meindl (2008), el objetivo de una cadena de suministro debe ser maximizar el valor total generado. La diferencia entre lo que vale el producto final y los costos generados en toda la cadena, representa el valor generado por la cadena de abastecimiento. Para la mayoría de las cadenas de suministro, el valor estará estrechamente correlacionado con la rentabilidad de la cadena de suministro. La rentabilidad de la cadena es la diferencia entre los ingresos generados por el cliente y el costo total de la cadena de suministro.

Con el fin de entender cómo una compañía puede mejorar el desempeño de la cadena en términos de capacidad de respuesta y eficiencia, se debe examinar las directrices lógicas e interfuncionales del comportamiento de la misma: instalaciones, inventario, transportación, información, aprovisionamiento y fijación de precios (Chopra y Meindl ,2008). Estas directrices interactúan para determinar el desempeño en términos de capacidad de respuesta y eficiencia. Como resultado, la estructura de estos conductores determina cómo se logra el ajuste estratégico en toda la cadena de suministro. Primero se define cada una de las directrices y luego se analiza su impacto en el desempeño de la cadena de suministro.

Según Cannella S, Ciancimino, y Disney S, entre los factores relevantes por la colaboración en cadenas de suministro, se tiene la dispersión geográfica, tipo de demanda, características del producto, coste de implementación del sistema TIC, cambios organizativos y compartimiento de la información con los socios.

De acuerdo con Chopra y Meindl (2008), las instalaciones son las ubicaciones físicas reales en la red de la cadena de suministro donde el producto se almacena, ensambla o fabrica. Los lugares donde se realiza la producción y se guarda el producto representan los dos grandes tipos de instalaciones. Las decisiones respecto al papel, ubicación, capacidad y flexibilidad de las instalaciones tienen un impacto significativo en el desempeño de la cadena.

Bowersox, Closs y Cooper (2007) definen el transporte como el área operativa de la logística que desplaza y posiciona geográficamente el inventario. Existen 3 maneras básicas de satisfacer los requerimientos del transporte. En primer lugar, se puede contratar una flota privada. Segundo, se pueden preparar contratos con especialistas dedicados al transporte. Por último, una empresa puede contratar los servicios de una amplia variedad de transportistas que proporcionen los diferentes servicios de transporte requeridos en función del envío. Desde el punto de vista del sistema logístico, se consideran tres factores fundamentales en el manejo de transporte: costo, velocidad y regularidad.

En cuanto a la información, Chopra y Meindl (2008), la relacionan con respecto a los datos y análisis concernientes a las instalaciones, inventario, transportación, costos, precios y clientes a lo largo de la cadena de suministro. (Chopra y Meindl, 2008).

Dependiendo del tipo de información compartida entre los eslabones, se pueden presentar 4 arquetipos de cadenas de suministro (Cannella et al, 2010). Estos son: la cadena de suministro tradicional, cadena de suministro de información compartida, cadena de suministro con pedido gestionado por el proveedor y la cadena de suministro sincronizada. En la cadena tradicional se presenta una estructura descentralizada y la toma de decisiones se hace de manera independiente, puesto que cada empresa busca maximizar solo objetivos locales. En el segundo arquetipo, los miembros de la cadena aún toman decisiones independientes pero basadas en información estratégica de valor añadido como es la demanda. En el caso de la cadena con pedido gestionado por el proveedor, la estructura es centralizada y las decisiones sobre la cantidad que pide el minorista son tomadas por el proveedor, el cual tiene acceso a información sobre el nivel de inventario de cada cliente. Para el último arquetipo, los miembros se transmiten información en tiempo real acerca de sus niveles de inventario, producto en tránsito y ventas. Esta estructura también es centralizada y gracias a la información que se comparte entre los eslabones, se pueden generar pedidos sincronizados que mejoran significativamente el rendimiento de la cadena.

Por su parte el aprovisionamiento, según Chopra y Meindl (2008) representa la decisión acerca de quién llevará a cabo una actividad específica de la cadena de abastecimiento como producción, almacenamiento, transportación o administración de la información. A nivel estratégico, estas decisiones determinan qué funciones llevará a cabo la empresa y cuales otra realizará por medio de outsourcing. Las decisiones de aprovisionamiento afectan tanto la capacidad de respuesta como la eficiencia de la cadena.

En relación al inventario, Bowersox, Closs y Cooper (2007), expresan que los requerimientos de éste, se relacionan directamente con la red de la planta y el nivel deseado de servicios al cliente. El objetivo de una estrategia de inventario es alcanzar el servicio al cliente deseado con la mínima cantidad posible de stock.

Dependiendo del tipo de demanda, se pueden presentar diferentes problemas de control de inventarios de acuerdo con las características de la demanda y de los tiempos de reposición. La demanda se puede clasificar en: constante y conocida, determinística y aleatoria (Vidal, 2010). Vidal (2010), aclara que, en la vida real, casi nunca se cumple la condición de que la demanda sea conocida y constante, por tal razón, no tiene mucho sentido práctico, sin embargo, es el punto de partida para la comprensión y manejo de modelos más complejos, como es el caso de la demanda determinística. Esta última ocupa el segundo nivel de complejidad, pues, aunque se trata de demanda variable, ésta se puede conocer con gran precisión antes de que ocurra. Esta demanda se presenta en aquellas situaciones de contratos de venta preestablecidos, repuestos para mantenimiento preventivo, planeación determinística de requerimiento de materiales (Material Requirements Planning MRP), entre otros posibles casos. Para la demanda constante y la demanda determinística se asume usualmente que los tiempos de reposición son constantes y conocidos.

Finalmente, para la demanda probabilística o aleatoria, Vidal (2010) expresa que este tipo de demanda representa la situación más compleja pero también la más aproximada a la realidad. Aquí, la variable aleatoria “demanda” se asume que sigue cierta distribución probabilística y con base en ésta se deducen las expresiones para su control. En este caso, el tiempo de reposición se puede considerar constante y conocido en primera instancia y luego se puede definir como aleatorio para llegar al caso más aproximado a la práctica.

El control de inventarios es uno de los temas más complejos y apasionantes de la logística y de la planeación y administración de la cadena de abastecimiento (Supply Chain Management, SCM) (Vidal, 2010). Los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa (Ballou, 2004).

De acuerdo con Vidal (2010), el control de inventarios cuando la demanda es determinística se puede solucionar mediante 3 métodos distintos. El primero está

relacionado con la cantidad óptima de pedido (EOQ) para todos los pedidos, la cual se calcula con el promedio de la demanda en el horizonte de planeación. El segundo método se basa en la utilización de un modelo matemático y finalmente, se tiene el uso de heurísticas.

El EOQ se puede aplicar de otras dos formas diferentes a la mencionada anteriormente. Primero, se puede ordenar la cantidad exacta dada por el EOQ, de manera que se obtenga un inventario cero al final del horizonte de planeación, lo cual implica que la cantidad a pedir sea ajustada paulatinamente. La segunda forma está relacionada con el hecho convertir el EOQ a un número entero de períodos dividiéndolo por la demanda promedio y redondeando al entero más próximo, y así ordenar siempre una cantidad igual a la demanda de ese número de períodos (Vidal, 2010).

Los métodos de solución mencionados podrán ser empleados siempre y cuando la demanda varíe de un periodo a otro, pero siendo determinística. Lo anterior implica que no ocurran faltantes de inventario o demanda no servida. También, se asume que los pedidos llegan al comienzo de los períodos donde ellos son requeridos y que no hay descuentos por cantidad pedida. Para los costos, la tasa de inflación permanece baja. Cada ítem se considera de forma independiente y la cantidad solicitada en cada pedido es despachada en forma total y no es recibida por lotes o en forma gradual.

Existen tres aspectos claves que debe responder un sistema de control de inventarios, relacionadas con la frecuencia de revisión, el momento de ordenar y la cantidad que debe ordenarse (Vidal, 2010). Para dar respuesta al primer tópico, frecuencia de revisión, se tienen dos formas de revisión del inventario. La primera consiste en revisar continuamente el inventario, es decir, cada que ocurre un movimiento se revisa el inventario. Este sistema es conocido también como “sistema de reporte de transacciones”, en donde la protección se hace sobre el tiempo de reposición. La segunda manera hace referencia a revisar el inventario periódicamente, es decir, cada cierta cantidad de periodos. Este sistema requiere un mayor inventario de seguridad que el sistema continuo, pues se debe garantizar la protección no solo para el tiempo de reposición sino también para el tiempo relacionado con el intervalo de revisión.

Cuando la demanda es aleatoria, existen ciertos sistemas de control de inventarios específicos relacionados con el punto de reorden “ $s$ ”, la cantidad a ordenar en cada pedido “ $Q$ ”, el intervalo de revisión “ $R$ ” y el inventario máximo efectivo hasta el cual deba ordenarse “ $S$ ” (Vidal, 2010).

El primer sistema, mejor conocido como “*Sistema Continuo* ( $s, Q$ )”, ordena una cantidad fija “ $Q$ ” cada que el inventario efectivo llega al punto de reorden “ $s$ ”. Este sistema funciona bajo una restricción y es que no debe existir más de un pedido de reposición pendiente. Sin embargo, el sistema puede utilizarse ajustando la

cantidad a pedir “ $Q$ ”, hasta que ésta sea considerablemente mayor que la demanda promedio durante el tiempo de reposición.

El segundo sistema, llamado “*Sistema Periódico (R, S)*” consiste en revisar el inventario cada “ $R$ ” unidades de tiempo y ordenar una cantidad tal que este inventario suba al valor máximo “ $S$ ”. A diferencia del sistema anterior, este permite el control coordinado de diversos ítems aprovechando las ventajas de las economías de escala y estrategias de consolidación de envío, las cuales según Ballou (2004), se pueden lograr mediante otros 4 tipos de consolidación. Primero, se hace consolidación del inventario para poder atender la demanda. Esto permite que se hagan envíos grandes, e incluso de vehículos de carga completa dentro del inventario. Segundo, hay consolidación del vehículo, es decir, cuando la recolección y el reparto son menores que la capacidad de carga del vehículo, se coloca en el mismo vehículo más de una carga de recibo o de entrega para un transporte más eficiente. Tercero, se hace consolidación del almacén para permitir la transportación de grandes volúmenes o tamaños de envío a través de grandes distancias, y la transportación de volúmenes o tamaños pequeños de envíos a cortas distancias. En cuarto lugar, se encuentra la consolidación temporal, donde los pedidos de los clientes se retienen, de manera que pueden hacerse de una vez pocos envíos más grandes, en vez de hacer muchos envíos pequeños.

Por otro lado, se encuentra el “**Sistema (R, s, S)**” que consiste en una combinación de los sistemas (s, S) y (R, S). Cada  $R$  unidades de tiempo, se revisa el inventario efectivo. Si éste es menor o igual que el punto de reorden “ $s$ ”, entonces se emite un pedido por una cantidad tal que el inventario efectivo se recupere hasta un nivel máximo  $S$ . Si el nivel de inventario efectivo es mayor que “ $s$ ”, no se ordena cantidad alguna hasta la próxima revisión que tendrá lugar en “ $R$ ” unidades de tiempo.

Existen diversos aspectos que influyen en el diseño de un sistema de administración de inventarios, entre ellos se tienen el ciclo de vida del producto y el proceso productivo (Vidal, 2010).

## 7. ESTADO DEL ARTE

En sus inicios, el problema de inventario se intentó resolver inicialmente por el modelo clásico de la cantidad económica de pedido, también conocido como EOQ (Harris, F. 1913), sin embargo, este modelo asume un supuesto inválido para los productos perecederos, se asume que la vida útil de los productos es infinita. En la literatura se encuentran diferentes categorizaciones para los problemas relacionados con control de inventarios para productos perecederos, y se encuentran diversas clasificaciones según algunas características propias del producto a tratar.

El desarrollo y evolución de modelos y políticas de inventario de productos perecederos tienen su origen en los años sesenta. Uno de los primeros modelos de inventario de productos con un tiempo de vida limitado fue presentado por Van Zyl en 1964 (Nahmias, 2011). Desde entonces, se han realizado 17 revisiones de la literatura sobre este tema: Plata (1981), Nahmias (1982), Raafat (1991), Goyal y Giri (2001), Bakker et al. (2012), Lim et al. (2013), Wang (2013), Li et al. (2010), y Lowalekar Ravichandran (2013), Stanger et al. (2012b), y Belien la fuerza (2012), Prastacos (1984), Piers Kalla (2004), Karaesmen et al. (2011), Nahmias (2011), Pal et al. (2014), y Amorim et al. (2011)

La primera revisión exhaustiva relacionada con esta problemática de ordenamiento de una cantidad adecuada de pedido se da con Nahmias (1982), el cual plantea políticas de pedidos teniendo en cuenta el inventario perecedero de vida fija y el inventario conforme a decaimiento exponencial continuo. Este último definido como el deterioro presentado en los sistemas de inventario cuando se asume una fracción fija del inventario. Por su parte, Bakker (2012), especifica el desgaste de los productos como ciclo de vida fijo, tasa de deterioro según la edad y el tiempo o inventario.

Raafat (1991) también proporciona una revisión del estado del arte sobre modelos de inventario de producto que es susceptible a cambios en su ciclo de vida biológico, por ende, distingue entre productos con deterioro permanente y con vida útil fija, sin embargo, propone una clasificación según Silver (1981) con relación al valor o utilidad de los productos con respecto al tiempo y señala que existen unas brechas entre la teoría y la práctica en el manejo de inventarios. Más adelante Wang (2013) crea una revisión basada en el suministro de la cadena de suministro dentro del marco de la gestión de inventario.

Existe gran variedad de clasificaciones para los diferentes trabajos referenciados de acuerdo a diversas características distintivas en los sistemas de inventarios, entre las cuales se puede mencionar: variación en el precio de venta (determinación de una política de precio óptima); existencia de faltantes; inclusión de múltiples productos; existencia de más de un depósito para el almacenamiento de los inventarios; inclusión de más de un nivel dentro de la cadena de suministro;

existencia de una política de crédito del proveedor; inclusión de valor de dinero en el tiempo y/o inflación y uso de variables y/o parámetros difusos.

Entre las diversas clasificaciones existentes hasta ahora, existe una que posee una característica destacada y es la inclusión de más de un nivel dentro de la cadena de suministro. Rau, Wu, & Wee (2003), realizan una investigación con el objetivo de desarrollar un modelo de inventario multinivel para un elemento de deterioro y para deducir el costo total de una articulación óptima desde una perspectiva integrada entre el proveedor, el productor y el detallista, su trabajo muestra que los resultados del enfoque de estrategia integrada dan un costo total conjunto más bajo, en comparación con los enfoques de decisión independientes.

Más adelante, (Coelho & Laporte, 2014) realizan un trabajo donde se analizan las decisiones óptimas conjuntas de cuándo, cómo y cuánto reponer a los clientes con productos de distintas edades. Se discuten las principales características del problema que se plantea en la reposición conjunta y entrega de productos perecederos, y modelarlos bajo supuestos generales. El algoritmo propuesto es capaz de calcular las soluciones óptimas para los casos con hasta 30 clientes, tres períodos, y una edad máxima de dos períodos para el producto perecedero.

Un estudio realizado por (Wang, Lin, & Yu, 2011), supone que el deterioro del producto es sensible al tiempo y desarrolla una política de inventario óptimo integrado para productos sensibles al tiempo de deterioro. El estudio investiga empíricamente cómo las diferentes tasas de deterioro en cada escalón afectan a las actuaciones de los individuos y las políticas de inventario integrados. Se da un análisis de sensibilidad para justificar que el impacto de los cambios en las tasas de deterioro de cada escalón es significativo y el costo conjunto de la política de inventario integrado propuesto se encuentra a ser mucho menor que las políticas individuales, como se mencionó anteriormente.

## 8. METODOLOGÍA

Para lograr el cumplimiento del primer objetivo es necesario realizar la caracterización de la cadena de abastecimiento desde dos perspectivas complementarias ilustradas en la figura 1, en primer lugar, el estudio de factores macro que puedan tener influencia sobre la cadena de abastecimiento, en segundo lugar, la microcaracterización de la misma. Para la primera fase mencionada, se realiza una macro caracterización de la cadena de abastecimiento a través de diferentes herramientas de análisis, por ejemplo, construcción de la matriz PESAGE, la cual, según Peña D, et al. (2017), consiste en una matriz que trata de identificar aquellos aspectos macro que afectan o pueden afectar de alguna manera el desempeño de la cadena de abastecimiento frutícola y se pueden considerar como oportunidades para el desarrollo de la Cadena. Esta matriz define aspectos relevantes del entorno Político, Económico, Social, Asociativo, Gubernamental y Ecológico que pueden tener influencia sobre la cadena de abastecimiento que sea objeto de estudio.

Para la segunda fase, la realización de la microcaracterización, se realiza la identificación de las zonas geográficas objeto de estudio e identificación de cultivos y cantidades producidas por año, se consolida la información y se identifican los actores en la cadena, a continuación, se deben abordar los flujos de la cadena de abastecimiento, los procesos de esta y la infraestructura de la cadena. Se realiza la consolidación de la caracterización teórica, en una sola matriz por cada uno de los aspectos de la matriz FOCAT, las características de operación de la cadena y luego se lleva a cabo el levantamiento de información de fuentes primarias mediante la selección de una muestra representativa y aplicación de encuestas. De acuerdo con Peña D, et al. (2017), se define la matriz FOCAT como una herramienta que permitirá enfocar los esfuerzos de caracterización en torno a los aspectos claves de la cadena tales como los Financieros, Organizaciones, Comerciales, de Aprendizaje y Tecnológicos, como se presenta en la figura 3. Dichos factores deben estar enmarcados dentro de tres grandes elementos, los flujos de la cadena de abastecimiento, los procesos en la cadena de abastecimiento y la infraestructura. Finalmente, se realiza la consolidación de la información y ésta es empleada como insumo para el desarrollo de las actividades que permitirán alcanzar los objetivos específicos planteados.

La elección de la cadena de abastecimiento y localización de la zona de estudio se realiza mediante juicio de expertos, a través de reuniones sostenidas con los representantes de Asohofrucol a nivel departamental y miembros pertenecientes al ICA. Existen dos cadenas de abastecimiento factibles sugeridas por dichos expertos, considerando la ubicación geográfica de los cultivos y la fortaleza de estos en el Valle del Cauca, a saber: La cadena de abastecimiento de plátano y la cadena de abastecimiento de cítricos. Para realizar la elección, se define como criterio fundamental el impacto esperado de la investigación en la cadena estudiada, es

decir, los beneficios potenciales que conllevaría una intervención de la academia en dicha cadena.

Al momento de socializar las características de las cadenas propuestas, se presenta en primer lugar el caso de la cadena de abastecimiento de plátano y los expertos coinciden en que se trata de una cadena organizada y con un alto grado de madurez, incluso, existen vínculos comerciales establecidos con grandes corporaciones nacionales productoras de pasabocas. Por otro lado, al contemplar la cadena de cítricos, se encuentran características totalmente diferentes; se trata de una cadena desorganizada, sin la existencia de agremiaciones fuertes, con un alto grado de informalidad e, incluso, sin un comité nacional conformado.

El Coordinador departamental, los demás miembros de la Asociación Hortofrutícola de Colombia (ASOHOFrucol), así como los integrantes del grupo de investigación, consideramos realizar el estudio sobre la cadena de abastecimiento cítrica, pues el impacto esperado en esta cadena, dadas las condiciones mencionadas con anterioridad, es mucho mayor que en una cadena organizada y estructurada, como lo es la cadena de plátano.

El siguiente paso, es definir a que zona del Valle del Cauca se enfocaría el estudio, para lo cual se definen dos criterios: Facilidad de acceso para la recolección de información y volumen de productores. Finalmente, se obtiene como resultado que la zona rural de Tuluá-Andalucía es el área con mayor representatividad según el número de productores. Por otro lado, es la zona de más fácil acceso gracias a su infraestructura (Todas las calles y corregimientos, excepto "El Salto", se encuentran pavimentadas, no existen problemáticas de orden público) y cercanía a la ubicación de los investigadores.

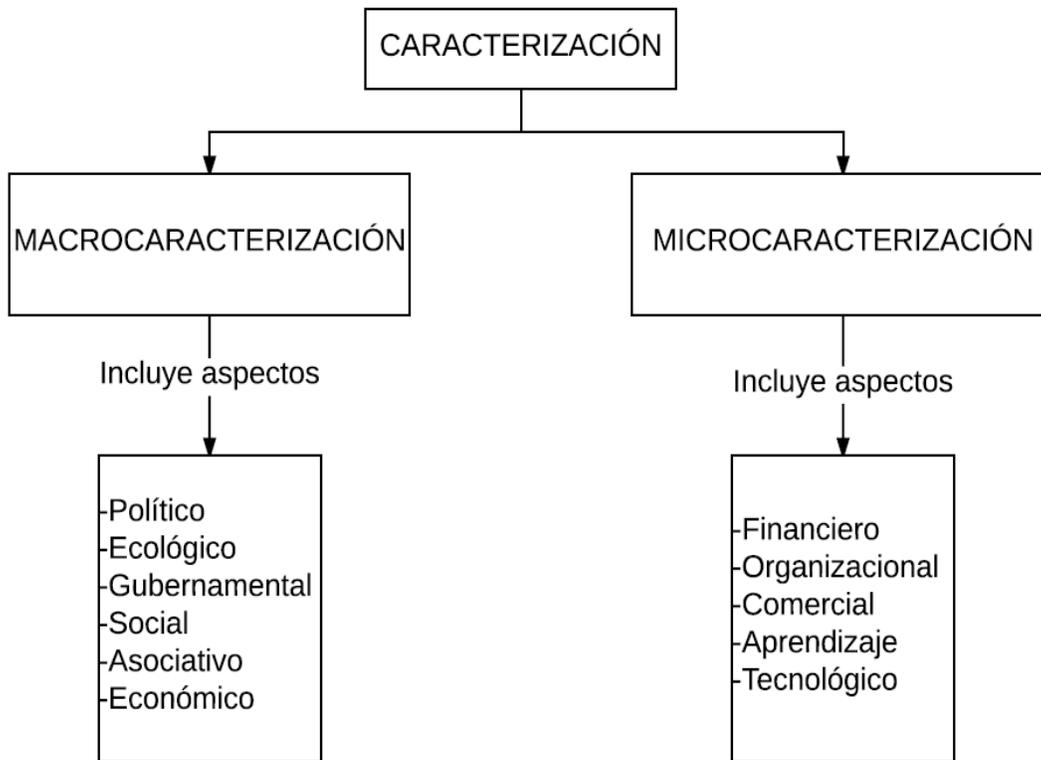
Para desarrollar las fases mencionadas, se establecen vínculos articulados con diferentes entidades como la Cámara de Comercio de Tuluá, La Asociación Hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol), Asocampoalegre, UMATA, entre otras organizaciones vinculadas con el sector cítrico. Se programan diferentes reuniones con el fin de socializar la macro y microcaracterización teórica, sacando partido del proceso de conformación del comité de cítricos que se adelanta en la actualidad, en donde se encuentran representantes de las instituciones que colaborarán con el proyecto de investigación, así como representantes de asociaciones de productores cítricos de la zona objeto de estudio, con quienes se planean visitas con el fin de validar la información real frente a aquella que previamente fue recolectada teóricamente, realizando la aplicación de encuestas que permitieron levantar información primaria de la cadena y de esta manera culminar definitivamente la caracterización.

En cuanto al segundo objetivo, se realiza una extensa revisión sobre los autores que hayan abordado modelos de inventario para productos perecederos en cadenas de abastecimiento. Luego, se estudiaron detalladamente algunos de estos modelos matemáticos y mediante la información obtenida con la caracterización de la cadena

frutícola, se determina cual es el modelo que mejor se ajusta a las características específicas de la cadena. Una vez elegido el modelo a seguir, se le realizan los correspondientes cambios en cuanto a conjuntos, variables y estimación de parámetros. De esta manera, se determinan las ecuaciones que relacionan las variables de interés obtenidas a partir de las distintas hipótesis y suposiciones del modelo. Después de haber obtenido el modelo matemático, se procede a realizar un proceso de validación con el fin de determinar si este es una representación aproximada de la cadena de abastecimiento real. Finalmente, el modelo será alimentado con los datos obtenidos mediante la caracterización y se determinará la cantidad óptima de pedido, así como el momento de ordenar y la frecuencia de revisión del inventario.

## 9. CARACTERIZACION

La caracterización de una cadena de suministro abarca la identificación de todos los factores y procesos a nivel macro y micro que en ella intervienen o influyen. De esta manera, el análisis detallado de todos los actores que la componen y de las actividades que generan valor, permitirá obtener una visión integral y clara sobre el papel que juega cada eslabón de la cadena. Dentro de una caracterización se identifica principalmente los tipos de producto, clientes, subprocesos, documentos, indicadores, recursos, insumos, proveedores y demás aspectos que ayudan a tener un entendimiento general del funcionamiento de una cadena de suministro.



**Figura 1. Estructura general de la Caracterización**

Fuente: Elaboración propia.

La caracterización es realizada para el sector cítrico de la zona, es decir, considerando todos los eslabones que configuran el sistema productivo y comercial de cítricos de la zona rural entre Andalucía – Tuluá. En general, se tiene registro de aproximadamente 500 pequeños agricultores de cítricos, 8 productores y un número indefinido de detallistas (Asohfrucol, 2016). La macrocaracterización se realiza desde un enfoque general dirigido al sector cítrico a nivel internacional y nacional, por otro lado, la microcaracterización permite identificar características específicas de agricultores, productores y detallistas de la zona. Mediante ésta última caracterización, se realiza la selección de una cadena de abastecimiento cítrico; como se verá más adelante, el sector presenta un nivel de informalidad elevado, por tal razón, el criterio de elección de la cadena cítrica específica sobre la cual se realiza el modelo es el registro de información histórica. Al realizar la aplicación de las encuestas, se encuentra que sólo un productor posee registro histórico de la demanda, una clara definición de costos e información relevante para el proyecto a desarrollar, por tal razón se elige dicha cadena de abastecimiento de cítricos, que se explica a continuación.

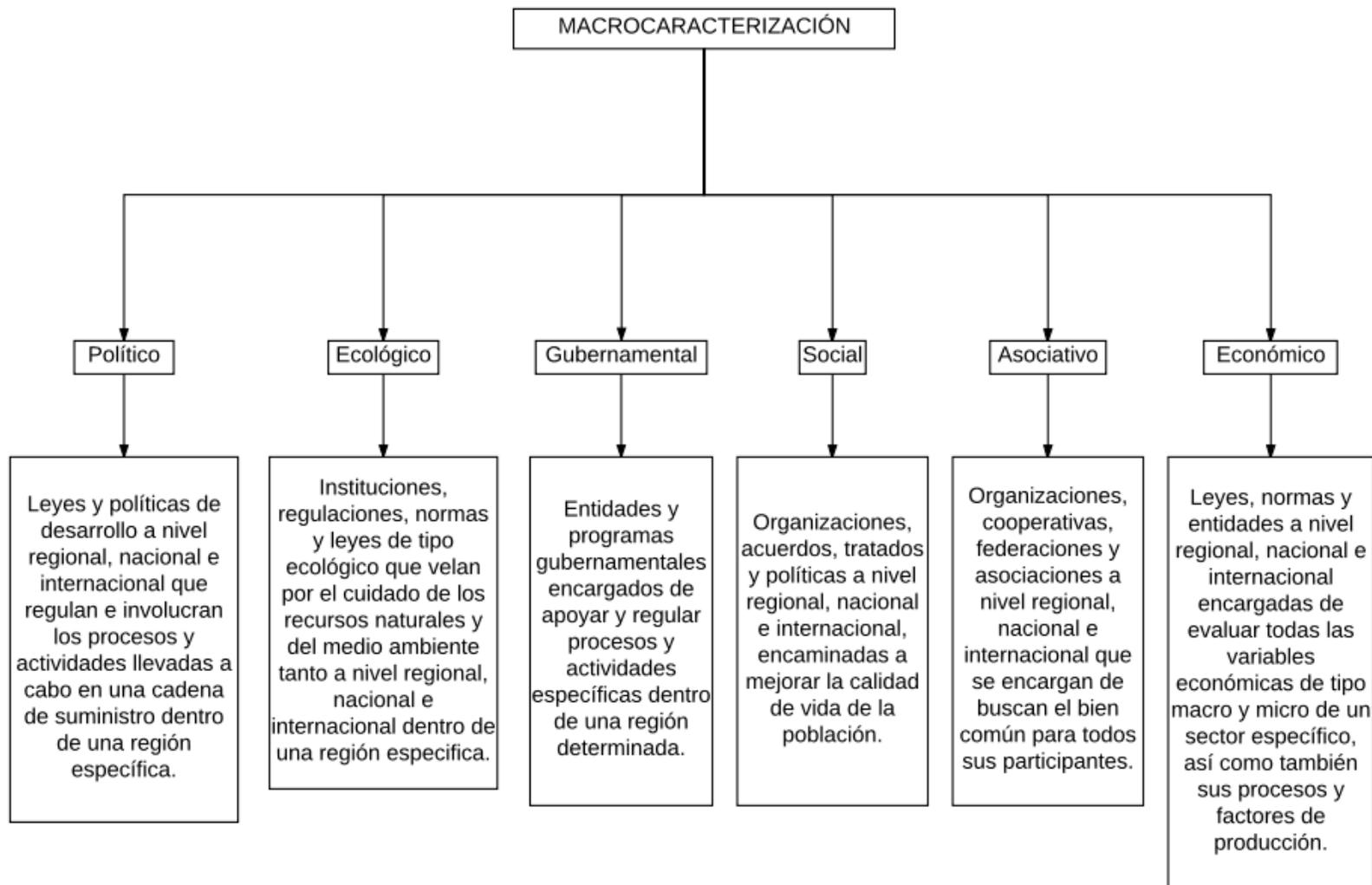
### **Explicación general de la cadena objeto de estudio**

La cadena objeto de estudio consiste en tres eslabones, a saber: un único proveedor, un productor y un detallista. El proveedor o Supplier, se encarga de iniciar el flujo de producto hacia los demás eslabones, aguas abajo. El siguiente integrante de la cadena es el productor, quien cuenta con una bodega para materia prima y otra bodega para almacenar el producto terminado. Finalmente, de cara al consumidor, se encuentra el eslabón detallista quien se encarga de satisfacer directamente la demanda del consumidor final.

El proveedor debe realizar el abastecimiento de insumos desde un proveedor externo, con el propósito de mantener limón virgen (materia prima) para el próximo eslabón oportunamente. Éste, se encarga de suplir al siguiente eslabón con la cantidad de limón virgen requerida para su procesamiento, entregando cantidades fijas en un intervalo de tiempo fijo, por tanto, el productor hace recepción en su almacén de materia prima del limón virgen proveniente del proveedor. A continuación, el productor inicia un proceso de agregación de valor tomando limón virgen de su bodega, realizando un proceso de selección, lavado y empaquetado, generando así el producto terminado de la cadena de cítricos objeto de estudio, paquetes en malla de limón selecto de 1 kilogramo. Finalmente, el productor realiza un número determinado de entregas de productos terminados con un tiempo constante entre cada entrega, hasta el detallista en la ciudad de Cali, quien se encarga de realizar la exhibición del producto al consumidor y concretar la venta.

## **9.1 Macrocaracterización**

El primer objetivo se logra realizando la caracterización de la cadena de abastecimiento desde dos perspectivas complementarias, en primer lugar, el estudio de factores macro que puedan tener influencia sobre la cadena de abastecimiento, en segundo lugar, la realización de la micro caracterización de la misma. Para la primera fase mencionada, se realizó una macro caracterización de la cadena de abastecimiento a través de una herramienta de análisis que permite abordar diferentes aspectos fundamentales, se realizó la construcción de la matriz PESAGE, donde se consignaron elementos externos claves, referentes al aspecto político, económico, social, asociativo, gubernamental y ecológico que pueden tener influencia sobre la cadena de abastecimiento citrícola que es objeto de estudio. La estructura mencionada y la definición de cada factor puede observarse en la figura 2. Se realiza un análisis extenso de cada uno de los factores, sin embargo, sólo se consigna lo que se considere más crítico de cada uno de ellos, la información más relevante de cada factor que compone la estructura de la macrocaracterización se encuentra compilada en las tablas 1 hasta 4.



**Figura 2. Aspectos de la Macrocaracterización**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 1.**

Aspecto político y gubernamental de la macrocaracterización

<b>MACROCARACTERIZACIÓN</b>		
<b>ASPECTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELEVANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN</b>
<b>POLÍTICO Y GUBERNAMENTAL</b>	Existen organizaciones a nivel internacional que se encargan de tratar temas relacionados con la erradicación del hambre y la pobreza. Una de estas organizaciones es la ONU, la cual tiene como uno de sus objetivos la erradicación del hambre, el logro de la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y la promoción de la agricultura sostenible (ONU, 2014). A nivel regional se encuentra la CELAC, la cual plantea de igual manera políticas en aras de garantizar la seguridad alimentaria. A nivel nacional, el plan nacional de desarrollo cuenta con estrategias enfocadas a la transformación del campo.	Se evidencia la necesidad de una estrategia de integración de la cadena de suministro cítrica para lograr obtener los beneficios que presenta el plan nacional de desarrollo en cuanto a la prestación de servicios de apoyo para la conformación o fortalecimiento de asociaciones de productores de cítricos en la región.

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.**

Aspecto asociativo de la macrocaracterización

<b>MACROCARACTERIZACIÓN</b>		
<b>ASPECTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELEVANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN</b>
<b>ASPECTO ASOCIATIVO</b>	<p>De acuerdo con FAO (2004) las asociaciones permiten a sus miembros economías de escala en el acceso a los recursos financieros, además se convierten en un medio institucional para integrar a los pequeños agricultores en la economía nacional. En el caso particular de Colombia, se cuenta con estadísticas, que afirman que las cooperativas de pequeños agricultores comercializaron el 35% de la leche fresca y el 6% de las exportaciones totales de café. De acuerdo con las cifras del tercer Censo Nacional de agricultura, se estima que el 73,7% de los agricultores que residen en la zona donde realizan sus actividades, no pertenece a ningún tipo de asociación productiva (DANE, 2016).</p>	<p>La investigación propuesta sugiere un escenario integrado, por lo que este aspecto permite identificar los tipos de asociaciones de productores agrícolas a nivel nacional e internacional y, precisar la importancia que tiene la integración de diferentes actores para un mejor desempeño de la cadena.</p>

**Tabla 3.**  
**Aspecto económico de la macrocaracterización**

<b>MACROCARACTERIZACIÓN</b>		
<b>ASPECTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELEVANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN</b>
<b>ASPECTO ECONÓMICO</b>	<p>De acuerdo al Informe de la secretaría de la UNCTAD presentado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (2015), “cerca de 2.500 millones de personas trabajan a tiempo parcial o completo en 500 millones de pequeñas explotaciones agrícolas en todo el mundo”. Aunque el terreno ocupado por estos productores solo representa el 12% de todas las tierras agrícolas, cubren más del 80% de los alimentos a nivel mundial. En el contexto nacional, según información de la Sociedad de Agricultores de Colombia en su balance preliminar 2015 y perspectivas 2016, el PIB agropecuario creció 2,9%, del cual, gran parte se debe a la producción agrícola que tuvo un crecimiento en el valor de la producción de 2,1%, donde la producción de cafetera acumulo para el 2015 un alza de 11,5%. Actualmente, el sector agrícola, es uno de los sectores generadores de empleo y riqueza para el país (El Espectador, 2016).</p>	<p>Se aprecia la importancia que tienen los pequeños productores a nivel nacional e internacional, pues abastecen gran porcentaje de los alimentos en todo el mundo. Aunque el sector agrícola es gran generador de empleo en el país, los ingresos que perciben los pequeños productores son muy bajos en relación a productores de otras economías del mismo sector, ya que existe un nivel alto de desorganización.</p>

**Tabla 4.**  
**Aspecto social de la macrocaracterización**

<b>MACROCARACTERIZACIÓN</b>		
<b>ASPECTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELEVANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN</b>
<b>ASPECTO SOCIAL</b>	<p>Salcedo et al. (2014) establece la necesidad de segmentar la agricultura familiar y posibilitar el dimensionamiento del sector, de manera que se desarrollen políticas y programas encaminados a mejorar la calidad de vida de estas comunidades. De esta manera, propone la siguiente segmentación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Segmento de subsistencia: Con enfoque hacia el autoconsumo, cuyos ingresos son escasos para el sustento familiar</li> <li>• Segmento en transición: Enfoque hacia la venta y autoconsumo.</li> <li>• Agricultura familiar consolidada: Tiene acceso a mercados y genera ganancias para la capitalización de la unidad productiva.</li> </ul> <p>Así, el segmento de subsistencia concentra el mayor número de familias, con cerca del 60%; 28% pertenecen al segmento de transición y 12% a la agricultura familiar consolidada (FAO, 2007). Lo que permite afirmar que gran parte de la agricultura familiar en América Latina y el Caribe cuenta con niveles de pobreza representativos y recursos muy limitados para ejecutar su producción.</p>	<p>La comprensión de la segmentación de la agricultura familiar permite dimensionar los niveles de pobreza y falta de recursos de este sector para llevar a cabo su producción. Se identifican áreas donde se requiere mayor profundización en la microcaracterización, para identificar variables que pudieran afectar los aspectos logísticos de transporte, almacenamiento, entre otros.</p>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

## 9.2 Microcaracterización

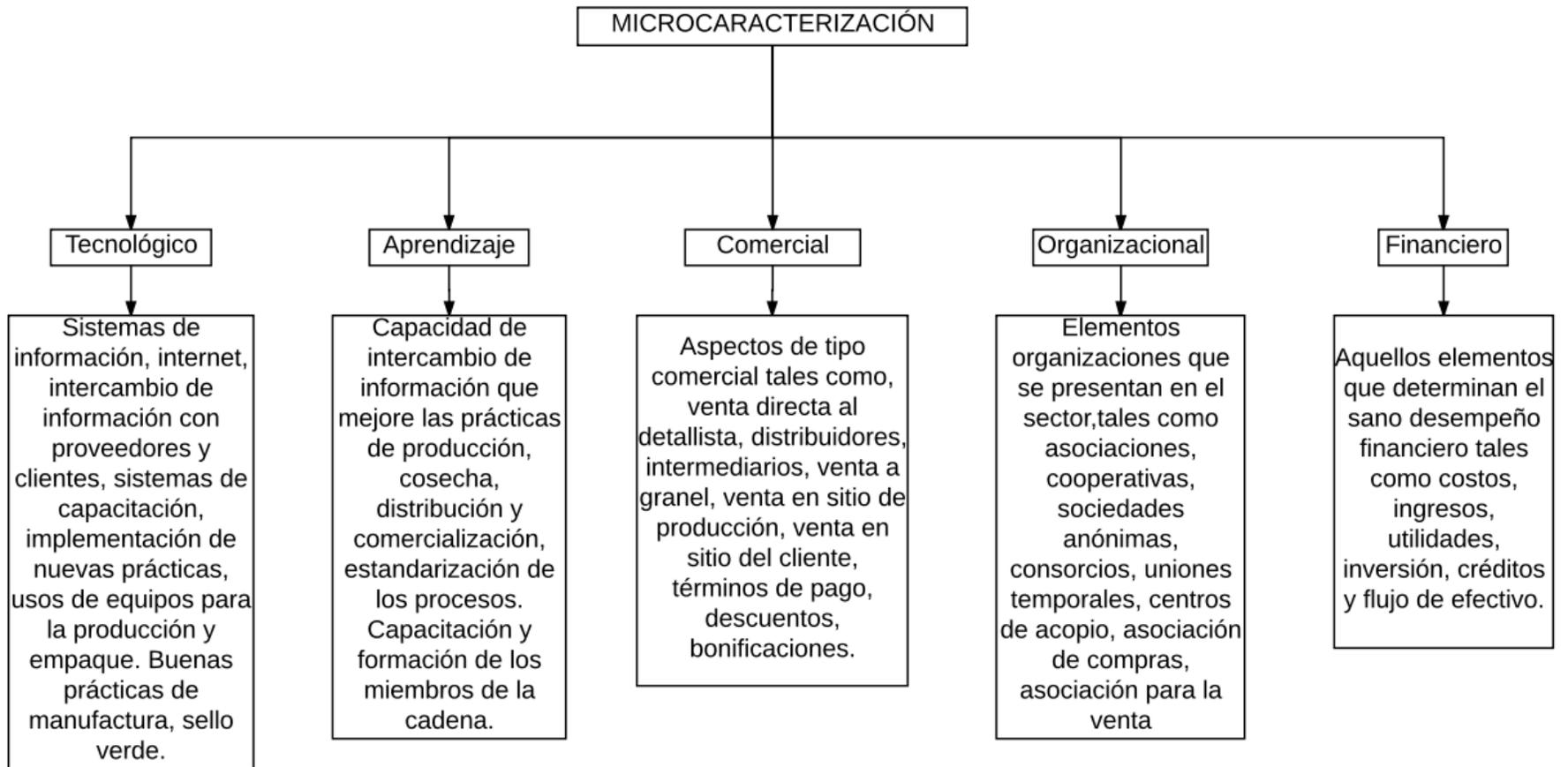


Figura 3. Aspectos de la Microcaracterización.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.**

Aspecto tecnológico de la microcaracterización

<b>MICROCARACTERIZACIÓN</b>		
<b>ASPECTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELEVANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN</b>
<b>TECNOLÓGICO</b>	<p>El Documento de Trabajo No. 66 de Agrocadenas (Martínez, 2005), concluyó que el sector cítrico muestra una desventaja competitiva, pues se caracteriza por ser una cadena importadora, y menciona que las principales debilidades que enfrenta la cadena son la falta de escalas comerciales significativas, la alta dispersión en la producción, el bajo grado de asociatividad entre los productores y la falta de cultura agroempresarial.</p> <p>Con respecto a la poscosecha e industria, se identifican ciertas dificultades como la poca infraestructura para un adecuado manejo de la poscosecha, centros de producción distantes de los puertos y la mala logística en los mismos. Además, se aprecia una falta de homogeneidad y estandarización del producto, altas pérdidas poscosecha, ausencia de cadena de frío, poco valor añadido (empaques, presentación), falta de implementación de técnicas de prolongación de la vida útil de los productos cosechados y deficiente inteligencia de mercados.</p>	<p>La cadena cítrica está poco integrada, lo que dificulta el acceso eficiente a las cadenas de abastecimiento. El resultado de investigaciones anteriores, sugieren la necesidad de estudiar modelos operativos integrados y evidenciar aportes que hagan a la cadena cítrica más competitiva.</p> <p><b>Aspecto en la cadena de estudio</b></p> <p>No existe cadena de frío, se observa una ausencia de métodos para prolongar la vida útil del producto. No todos los integrantes de la cadena hacen uso de los medios tecnológicos para actualizarse en cuanto a precios, oferta, demanda y variaciones del mercado de los cítricos a nivel nacional y departamental.</p>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.**

Aspecto de aprendizaje de la microcaracterización

MICROCARACTERIZACIÓN		
ASPECTO	DESCRIPCIÓN	RELEVANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN
<b>APRENDIZAJE</b>	<p><b>-Distribución y Transporte:</b> Los principales canales de comercialización en Colombia para los productos perecederos son las plazas mayoristas, que son canales indirectos y largos, puesto que la fruta que llega es comprada en el cultivo por un acopiador rural quien dispone de su propio medio de transporte para trasladarla a la plaza regional, donde es comprada por el intermediario mayorista para venderla a los detallistas. En todos los casos el pago se hace en el momento de la compra. (Asocítricos et al. 2002, p. 51)</p> <p><b>-Información:</b> En el país, la información de apoyo a la gestión comercial de sus agentes es muy limitada e insuficiente. Al esfuerzo continuado de entregar la información sobre los precios mayoristas y el abastecimiento, que entrega el SIPSA, es necesario acompañarlo con una estrategia más amplia y permanente en materia de divulgación.</p>	<p>La forma en que operan las relaciones entre los eslabones de la cadena, permiten identificar las diferentes estrategias para lograr mejores resultados en la gestión de la cadena. Adicionalmente se identifican las variables determinantes en la operación que permiten hacer supuestos válidos en la formulación del modelo propuesto en esta investigación.</p> <p style="text-align: center;"><b>Aspecto en la cadena de estudio</b></p> <p>El eslabón productor de la cadena de estudio cuenta con medio de transporte propio para comercializar y distribuir sus productos en diferentes ciudades del Valle del Cauca, Colombia (principalmente Cali). De igual manera, se encarga de recolectar producto virgen desde los proveedores que no cuentan con los medios para transportar su mercancía.</p>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.**

Aspecto comercial de la microcaracterización

MICROCARACTERIZACIÓN		
ASPECTO	DESCRIPCIÓN	RELEVANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN
<b>COMERCIAL</b>	<p>En Colombia los cítricos, después del banano, son los frutales de mayor importancia económica, presentando un rendimiento de 13,53 ton/ha en el año 2012. Sin embargo, no todo lo que se produce en cuanto a cítricos es comercializado, pues según Rodríguez &amp; Bermúdez (1998), la causa más sobresaliente de este fenómeno es el bajo nivel de los precios en épocas de cosecha, lo cual, según los productores, lleva a la no justificación de contratar obreros para la recolección. Otra causa (de menor importancia) es la baja calidad del producto en cuanto a tamaño y estado de madurez en el cual es comercializado. En cuanto a canales de distribución, se pueden identificar los siguientes actores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productor - Acopiador rural - acopiador mayorista transportador –mayorista de plaza nacional - distribuidor minorista - consumidor final.</li> <li>• Productor - acopiador mayorista - distribuidor minorista – consumidor final.</li> <li>• Productor – acopiador mayorista - distribuidor minorista - minoristas -Consumidor final.</li> </ul>	<p>Se valida la pertinencia de la cadena de abastecimientos de tres niveles propuesta en este trabajo como objeto de estudio, planteada como productor, intermediario y detallista. Adicionalmente se obtienen datos de precio entre los eslabones, que son insumo importante para el estudio que se propone en esta investigación.</p> <p style="text-align: center;"><b>Aspecto en la cadena de estudio</b></p> <p>El 91% de los productores de cítricos de la zona rural de Andalucía, Valle del Cauca, Colombia manifiestan que uno de sus mejores productos es el limón pajarito, ya que siempre hay demanda de este cítrico y es el que más se comercializa en la zona.</p>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8.**

Aspecto organizacional de la microcaracterización

<b>MICROCARACTERIZACIÓN</b>		
<b>ASPECTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELEVANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN</b>
<b>ORGANIZACIONAL</b>	<p>De acuerdo al ministerio de agricultura, en Colombia, está presente el Consejo Nacional de los cítricos como actor principal de la cadena citrícola del país. Este consejo está conformado por 9 miembros que en conjunto representan el sector público y privado. De acuerdo a la Cámara de Comercio de Medellín (2012) el Consejo se formó el 22 de mayo de 2008 y los actores que participan son los siguientes: Por los productores citrícolas (Asociación de Citricultores de Colombia - Citricauca), Proveedores de Insumos (Asociación Colombiana de Viveristas - Citrivivero), Comercializadores, Exportadores (C.I. AGRÍCOLAS UNIDAS S.A.), Industrias Procesadoras, ASOHOFRUCOL, CCI, PROEXPORT, AUGURA, ANDI y Centrales de Abastos (Central Mayorista de Medellín). Así mismo asisten como entidades de apoyo (ICA, CORPOICA y SENA), de las Universidades asiste la Universidad Nacional, sede Medellín.</p>	<p>Se identifica la estructura organizacional en el ámbito nacional de la cadena, que permite visualizar adicionalmente el potencial éxito y la pertinencia que puede tener una propuesta de un modelo que presuponga la integración como modelo de organización de los pequeños productores.</p> <p><b>Aspecto en la cadena de estudio</b></p> <p>A nivel nacional existe una entidad llamada Asohofrucol que se encarga de representar los intereses de los productores hortifrutícolas de Colombia y a nivel departamental. En la zona de estudio, se encuentra Asocampoalegre, una organización sin ánimo de lucro que busca el crecimiento integral de sus cultivadores de cítricos y de sus agro-negocios.</p>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9**

Aspecto financiero de la microcaracterización

<b>MICROCARACTERIZACIÓN</b>		
<b>ASPECTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELEVANCIA PARA ESTA INVESTIGACIÓN</b>
<b>FINANCIERO</b>	<p><b>-Dinero:</b> Entidades como Finagro y El Banco agrario se encargan de proveer a los productores de los fondos requeridos, para llevar a cabo sus actividades agrícolas, por medio de créditos otorgados. En el caso de los cultivadores de cítricos en Colombia se puede observar un incremento progresivo en los créditos aprobados por razones de siembra. Sin embargo de acuerdo con el Consejo Nacional Citrícola (2011), existe poco conocimiento por parte de los citricultores de las diferentes fuentes de financiación existentes.</p> <p><b>-Precio:</b> Por medio del portal Agronet del Ministerio de Agricultura de Colombia fue posible acceder a los datos de los precios a mayoristas de los productos cítricos durante los últimos 10 años, donde se puede evidenciar una gran variabilidad del precio/kg tanto de la mandarina, la naranja y el limón. Este último oscilando entre \$500/kg y \$3300/kg aproximadamente desde el 2001 hasta el 2016.</p> <p><b>-Aprovisionamiento:</b> Los porcentajes de costos más elevados en los cítricos se encuentran sujetos a los precios de la semilla y a los costos necesarios para el mantenimiento de las plantas, sin embargo, este primer costo se considera una inversión, ya que representa un alto costo inicial, estos no se vuelven a generar más adelante (Corporación Universitaria Lasallista, 2012).</p>	<p>Se evidencia las grandes fluctuaciones que existen en el precio de los cítricos y los altos costos de aprovisionamiento de la cadena objeto de estudio. En épocas de excesiva oferta, donde la caída del precio es significativa, se observa la necesidad de minimizar los costos logísticos a lo largo de la cadena a través de un modelo con enfoque de integración.</p> <p style="text-align: center;"><b>Aspecto en la cadena de estudio</b></p> <p>Los pequeños agricultores de la zona tienen acceso a diferentes herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Línea especial de crédito con tasa subsidiada, es un programa mediante el cual se pueden financiar actividades con tasas más favorables para los agricultores.</li> <li>- Microcrédito para actividades de bajo monto sin haber tenido crédito con entidades financieras anteriormente, respaldado por Finagro.</li> <li>- Incentivos a la capitalización rural: Abono directamente al crédito para disminuir el saldo del mismo.</li> <li>- Incentivo al seguro agropecuario.</li> </ul>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Además de los aspectos detallados anteriormente, se realizaron subgrupos de tópicos que también fueron relevantes para la investigación y el desarrollo de este caso de estudio, los cuales pueden encontrarse en las tablas 11-15. En ellas se detallan los aspectos o tópicos de interés y los principales hallazgos encontrados al realizar el análisis de datos de las encuestas aplicadas a los productores, intermediarios y detallistas.

El levantamiento de información fue posible gracias a la colaboración y apoyo brindado por la Unidad Municipal de Asistencia Técnica (Umata) y la Asociación Hortofrutícola de Colombia (Asohfrucol), principalmente. Para obtener datos representativos de la población objeto de estudio, se realizó el cálculo de una muestra representativa como se observa en la tabla 10.

**Tabla 10.**  
Cálculo de muestra significativa para microcaracterización

POBLACIÓN	
El salto	78
Campoalegre	106
Tamboral	40
Zanjón de piedras	108
El oriente	60
Monte hermoso	30
Madre Vieja	43
Zabaletas	57
Tamaño de muestra	
Confianza	95%
E	5%
P	0,9
Q	0,1
N	522
$Z_{\alpha/2}$	1,96
<b>n</b>	<b>97</b>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Para una población de 522 productores de cítricos se realiza el cálculo de una muestra representativa, considerando un nivel de confianza de 95%. Partiendo de información suministrada por Asohofrucol, en donde se encuentra consolidado un censo de la población en que se relaciona número de personas y cultivos sembrados, es posible estimar el parámetro P, que representa la probabilidad de éxito, o proporción esperada de que la población cumpla con las características deseadas (cítricos cultivados). Aplicando la siguiente ecuación:

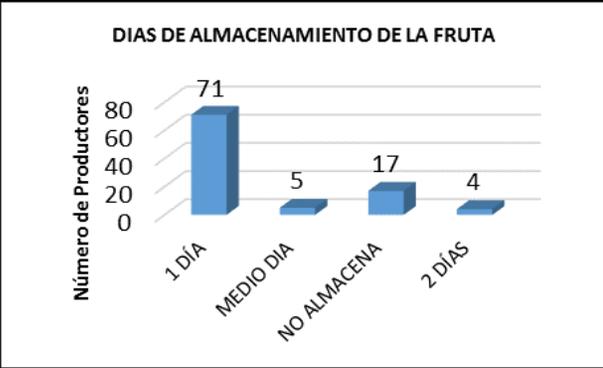
$$n = \frac{NZ^2_{\alpha}P(1 - P)}{(N - 1)e^2 + Z^2_{\alpha} * P(1 - P)}$$

Se obtiene como resultado que la encuesta debe ser aplicada a una muestra de 97 personas. La aplicación de las encuestas se realiza a cultivadores de cítricos a lo largo de todos los corregimientos incluidos en la tabla 10.

Debido a la falta de conocimiento en cuanto a la ubicación específica de cada cultivador e intermediario, este proceso se realiza mediante la guía y acompañamiento de un miembro de la UMATA, quien se encarga de establecer el vínculo con las personas de la región y definir las rutas a seguir para la aplicación de las encuestas.

**Tabla 11.**

Costos, precios y almacenamiento

MICROCARACTERIZACIÓN												
ASPECTO	HALLAZGOS											
<b>COSTOS Y PRECIOS</b>	Solo el 12% de los encuestados llevan un control organizado de costos de producción. Los productores de la región manifiestan que no saben si en realidad están obteniendo ganancia, pues no conocen el costo promedio unitario por kilo de cada cítrico que cultivan. Peor aún, el precio no es dictaminado por ellos mismos, sino por el comprador.	El precio promedio para el limón pajarito tiene un valor de \$1154,2/kg. En el caso de la mandarina arrayana, esta tiene un precio promedio de \$1182,9/kg. Por último, la naranja tiene un valor de \$1604,05/kg										
<b>ALMACENAMIENTO</b>	El 73% de los encuestados solo almacenan un día la fruta, pues aseguran que toda la producción logra venderse en el transcurso del día. Por otro lado, existen productores que almacenan hasta dos días y en el caso de que la fruta presente deterioro, esta es vendida a un precio menor.	 <p><b>DIAS DE ALMACENAMIENTO DE LA FRUTA</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Días de Almacenamiento</th> <th>Número de Productores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 DÍA</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td>MEDIO DÍA</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>NO ALMACENA</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>2 DÍAS</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	Días de Almacenamiento	Número de Productores	1 DÍA	71	MEDIO DÍA	5	NO ALMACENA	17	2 DÍAS	4
Días de Almacenamiento	Número de Productores											
1 DÍA	71											
MEDIO DÍA	5											
NO ALMACENA	17											
2 DÍAS	4											

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12.**

Comercialización e Información

MICROCARACTERIZACIÓN															
ASPECTO	HALLAZGOS														
<b>COMERCIALIZACIÓN</b>	<p>El porcentaje de distribución de las ventas de los productores a intermediarios, almacenes detallistas y a consumidor final es de 70%, 15% y 15% respectivamente. También se halló que el 92,8% de la población no transporta su producto a sus clientes y solo el 7,2% realiza esta actividad.</p> <div style="text-align: right;"> <p><b>DISTRIBUCIÓN DE LAS VENTAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ INTERMEDIARIO</li> <li>■ ALMACEN DETALLISTA</li> <li>■ CONSUMIDOR FINAL</li> </ul> </div>														
<b>ACCESO A MEDIOS DE INFORMACIÓN</b>	<p>Cerca del 70% de los encuestados manifiestan que son conocedores del precio a través de otros productores o mediante el intermediario. En el caso del intermediario, el precio se conoce a través de reportes del sector, específicamente de Cabaza en la ciudad de Cali.</p> <div style="text-align: right;"> <p><b>¿A qué medios de información tiene acceso sobre: precios, demanda y compradores?</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Medio de Información</th> <th>Número de Encuestados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prensa</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Reportes...</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Datos...</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Otros...</td> <td>67</td> </tr> <tr> <td>Intermediario</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Otro, cuál?</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> </div>	Medio de Información	Número de Encuestados	Prensa	7	Reportes...	12	Datos...	16	Otros...	67	Intermediario	18	Otro, cuál?	3
Medio de Información	Número de Encuestados														
Prensa	7														
Reportes...	12														
Datos...	16														
Otros...	67														
Intermediario	18														
Otro, cuál?	3														

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13.**

Volumen, productos y factores de impacto en la cadena de estudio

MICROCARACTERIZACIÓN																											
ASPECTO	HALLAZGOS																										
<b>FACTORES DE IMPACTO EN LOS CULTIVOS</b>	El factor que mayor pérdida económica genera a los productores de cítricos es la lluvia. Existen otros factores, además de los expuestos en la encuesta, que tienen un impacto negativo en el cultivo como las épocas de sequía, heladas, plagas e inundaciones.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>FACTOR</th> <th>No. de Productores</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">LLUVIA</td> <td>61</td> <td>66,30%</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>12,00%</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>9,80%</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>7,60%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4,30%</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">OTROS (heladas, verano, precios bajos, inundaciones, sobreproducción, plagas)</td> <td>22</td> <td>81,50%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>14,80%</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0,00%</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0,00%</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3,70%</td> </tr> </tbody> </table>	FACTOR	No. de Productores	%	LLUVIA	61	66,30%	11	12,00%	9	9,80%	7	7,60%	4	4,30%	OTROS (heladas, verano, precios bajos, inundaciones, sobreproducción, plagas)	22	81,50%	4	14,80%	0	0,00%	0	0,00%	1	3,70%
FACTOR	No. de Productores	%																									
LLUVIA	61	66,30%																									
	11	12,00%																									
	9	9,80%																									
	7	7,60%																									
	4	4,30%																									
OTROS (heladas, verano, precios bajos, inundaciones, sobreproducción, plagas)	22	81,50%																									
	4	14,80%																									
	0	0,00%																									
	0	0,00%																									
	1	3,70%																									
<b>COSECHA Y VOLUMEN DE PRODUCCIÓN</b>	La cosecha mensual de limón en kilogramos para el 72.41% de los productores oscila entre 12 y 612 kg al mes. Para la naranja, el 84.62% de los productores se encuentran entre 30 y 830 kilogramos al mes y solo el 1.92% cuenta con volúmenes de producción hasta de 5630 kg al mes. Con respecto a la naranja, el 86.27% cosechan entre 30 y 2330 kilogramos en el mes.	<p><b>Cosecha Mensual del Limón en KG</b></p> <table border="1"> <caption>Cosecha Mensual del Limón en KG</caption> <thead> <tr> <th>Intervalos en Kg</th> <th>Frecuencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12-612</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>612-1212</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>1212-1812</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>1812-2412</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2412-3012</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>3012-3612</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Intervalos en Kg	Frecuencia	12-612	63	612-1212	13	1212-1812	6	1812-2412	1	2412-3012	3	3012-3612	1											
Intervalos en Kg	Frecuencia																										
12-612	63																										
612-1212	13																										
1212-1812	6																										
1812-2412	1																										
2412-3012	3																										
3012-3612	1																										
<b>TIPOS DE CITRICOS</b>	El 91% de los productores de cítricos de la zona rural de Andalucía, Valle del Cauca, Colombia manifiestan que uno de sus mejores productos es el limón pajarito, pues siempre hay demanda de este cítrico.	<p><b>¿Cuál es el producto más vendido?</b></p> <table border="1"> <caption>¿Cuál es el producto más vendido?</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de Fruta</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LIMÓN...</td> <td>91%</td> </tr> <tr> <td>MANDARI...</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>NARANJA</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>NO SABE</td> <td>4%</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de Fruta	%	LIMÓN...	91%	MANDARI...	2%	NARANJA	3%	NO SABE	4%															
Tipo de Fruta	%																										
LIMÓN...	91%																										
MANDARI...	2%																										
NARANJA	3%																										
NO SABE	4%																										

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14.**

Pérdidas poscosecha, integración, clientes y proveedores de la cadena citrícola

<b>MICROCARACTERIZACIÓN</b>	
<b>ASPECTO</b>	<b>HALLAZGOS</b>
<b>DESCOMPOSICIÓN Y PÉRDIDAS POSCOSECHA</b>	De acuerdo con el criterio de los productores encuestados la cantidad de días promedio que toma en descomponerse un limón están alrededor de 9.4 días, según la encuesta realizada, con una desviación de 6.9 días. Por otro lado, a la mandarina le toma en promedio descomponerse 7.8 días con una desviación de 5.9. Por último, a la naranja le toma 9.9 días descomponerse con una desviación de 6.6 días
<b>INTEGRACIÓN DE LA CADENA CITRÍCOLA</b>	El 80 % de la población encuestada considera que integrar los eslabones de la cadena de cítricos es algo positivo para los integrantes de la misma, especialmente los productores, ya que los ingresos se distribuirían de manera más uniforme entre todos los participantes de la cadena. Cerca del 17% consideran que no es algo positivo, pues debido a deficiencias en la administración de las asociaciones pasadas no se obtuvieron buenos resultados.
<b>CLIENTES Y PROVEEDORES</b>	<p><b>CLIENTES:</b> Los principales clientes de esta cadena citrícola son intermediarios de la zona, los cuales se encargan de distribuir el producto a las centrales mayoristas en diferentes ciudades del Valle del Cauca, Colombia.</p> <p><b>PROVEEDORES:</b> Se encontró también que el principal proveedor de los productores de la zona es Hacendagro, pues el 73% compra materia prima para su cultivo en esta compañía.</p>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15.**

Transporte y aspectos generales del cultivo

MICROCARACTERIZACIÓN		
ASPECTO	HALLAZGOS	
<b>TRANSPORTE</b>	El 92,8% de la población no transporta su producto a sus clientes. Generalmente el producto es recogido por un intermediario o por otros productores mayores de la zona. El 7,2% restante cuenta con transporte propio tanto para recoger producto de otros productores con menor capacidad de producción como para transportar su propia cosecha a diferentes ciudades del Valle del Cauca, Colombia.	
<b>ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO</b>	<p>Solo 1% de los productores trabaja tiempo completo en su cultivo, esto implica trabajar hasta 91 horas a la semana.</p> <p>Existen productores que no le dedican ni una sola hora a la semana a su cultivo, pues no es una actividad mediante la cual subsistan, sino un complemento para su diario vivir.</p> <p>El 85% de la población manifestó que, si se elimina el intermediario, la rentabilidad aumentaría.</p>	<p>El 43,82% de los productores consideran que el tiempo que transcurre entre la siembra y la cosecha oscila entre 22 y 30 meses para el limón.</p> <p>La encuesta reveló que el 63% de los productores cuentan con un área entre 4711 - 8922 m<sup>2</sup>, es decir, alrededor de 1 plaza. De la población encuestada sólo el 10% posee un área para siembra mayor a las 3 plazas.</p>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

### **9.3 Deterioro de productos cítricos**

En general, los cítricos presentan una corta vida útil, es decir, un corto período de tiempo (días) en que conservan sus características organolépticas (Olor, sabor, textura). Si se almacenan demasiado tiempo, dichas características empiezan a deteriorarse, lo que podría causar que el consumidor final decida no realizar su compra. Por tal motivo, se considera que una de las principales características diferenciadoras del modelo desarrollado, es el hecho de tener en cuenta la condición de perecederos de los productos que se manejan a lo largo de la cadena. En consecuencia, es fundamental fijar una tasa de deterioro apropiada, de acuerdo con las condiciones físicas específicas del caso de estudio. Sin embargo, se considera importante tener una mirada amplia de este aspecto, realizando un barrido general y considerando la vida útil del producto abordando las condiciones apropiadas (Humedad relativa, temperatura, entre otras). Finalmente, se realizará un análisis de sensibilidad tomando como referencia el caso real (condiciones no controladas) y la información que en esta sección se presenta (condiciones controladas sugeridas para prolongar la vida útil, reducción de la tasa de deterioro).

Para tal propósito, es importante realizar un proceso de conceptualización que permita comprender las variables de mayor relevancia que puedan afectar el ciclo de vida biológica de los cítricos.

En primer lugar, la temperatura es el factor ambiental que más influye en el deterioro del producto cosechado (Kader, 2013). En general, el ritmo de deterioro del producto es 2 a 3 veces mayor por cada incremento de 10 °C por encima de la temperatura óptima de conservación de los productos. La temperatura también modifica el efecto del etileno y de los niveles residuales de O<sub>2</sub> y altos de CO<sub>2</sub> en el producto cosechado, además, afecta directamente el ritmo respiratorio de las frutas y la germinación de esporas de los hongos y el posterior desarrollo de patógenos. Por encima de 40°C, se observan severos daños en el producto y a 60°C aproximadamente, cesa toda actividad enzimática. Adicionalmente, la fruta sufre excesiva pérdida de agua por transpiración; todo lo cual arruina el producto (FAO, 2007).

En segundo lugar, el daño por enfriamiento, cuyos síntomas más comunes son fallas en la maduración, desarrollo de sabores y aromas atípicos, decoloración, ennegrecimiento y deterioro de los tejidos, e incremento de la susceptibilidad del producto al ataque de patógenos secundarios. Las frutas tropicales y subtropicales son susceptibles de sufrir alteraciones fisiológicas en un rango de temperatura de aproximadamente 5 a 14°C. El daño por frío se puede presentar a temperaturas cercanas al punto de congelamiento del producto (FAO, 2007).

Por último, una variable de control fundamental para prolongar la vida útil de la fruta es la humedad relativa (HR), que se define como contenido de humedad (como vapor de agua) de la atmósfera, expresado como un porcentaje de la cantidad de

humedad máxima que puede retenerse por la atmósfera (cantidad de saturación) a una temperatura y presión, sin que el vapor de agua de la atmosfera se condense. Una gama adecuada de humedad relativa para el almacenamiento de los frutos es del 85 al 95%, mientras que la de la mayoría de los vegetales varía del 90 al 98%. La gama óptima de humedad relativa para cebollas y calabazas secas es de 70 a 75% (Kader, 2013).

El GRUPO PM, es una reconocida asociación de diferentes organizaciones que se encarga de comercializar frutas y hortalizas en México y Centroamérica, en su Manual Técnico de Frutas y Verduras (2007), presenta de una manera bastante detallada las condiciones controladas recomendadas para el almacenamiento de diversas frutas frescas y estima el tiempo de almacenamiento si se logran materializar dichos parámetros, entre estas condiciones se encuentra la humedad relativa, la temperatura de almacenamiento, la temperatura más alta de congelación, la producción de etileno y la susceptibilidad al etileno, tal como se presenta en la tabla 16.

La información del GRUPO PM será utilizada para estimar la cantidad de producto deteriorado a lo largo de la cadena de abastecimiento en el horizonte de planeación de un mes en condiciones controladas óptimas. De igual manera, a partir de la información levantada in situ, se estima cuál es la tasa de deterioro apropiada para las condiciones de almacenamiento y transporte real del limón en la cadena de abastecimiento de la zona rural de Andalucía, las cuales no se encuentran controladas y están expuestas a variaciones de acuerdo a las fluctuaciones climáticas externas. Ambos escenarios serán contemplados en el modelo matemático al realizar un análisis de sensibilidad, tomando como punto de partida los resultados del escenario real, seguido de la reducción en la tasa de deterioro empleada (para representar condiciones controladas de almacenamiento y transporte, pues la cantidad de producto deteriorado en un período de planeación de un mes con condiciones controladas es mucho menor que en condiciones no controladas).

**Tabla 16.**

Condiciones controladas sugeridas por el GRUPO PM para el almacenamiento frutas frescas.

Nombre		Variables de manejo							
		Temperatura de almacenamiento		Humedad Relativa	Temperatura más alta de congelación		Producción de etileno	Susceptibilidad al etileno	Vida de almacenamiento aproximada
En español	En inglés	°C	°F	%	°C	°F			
Grosella	Currants	-0.5 - 0	31 - 32	90 - 95	-1	30.2	B	B	1 - 4 semanas
Grosella espinosa; Uva espina	Gooseberry	-0.5 - 0	31 - 32	90 - 95	-1.1	30	B	B	3 - 4 semanas
Guanábana	Soursop	13	55	85 - 90					1 - 2 semanas
Guayaba	Guava	5 - 10	41 - 50	90			B	M	2- 3 semanas
Higo	Fig, fresh	-0.5 - 0	31 - 32	85 - 90	-2.4	27.6	M	B	7 - 10 días
Jaca; Nanjea	Jackfruit	13	55	85 - 90			M	M	2 - 6 semanas
Jujuba	Jujube; Chinese Date	2.5 - 10	36 - 50	85 - 90	-1.6	29.2	B	M	1 mes
Kiwi	Kiwifruit; Chinese gooseberry	0	32	90 - 95	-0.9	30.4	B	A	3 - 5 meses
Kiwuano	African homed; melon; kiwuano	13 - 15	50 - 60	90			B	M	6 meses
Kumquat	Kumquat	4	40	90 - 95					2 - 4 semanas
Langsat	Langsat; Lanzone	11 - 14	52 - 58	85 - 90					2 semanas
Limón	Lime, Mexican, Tahiti o Persian	9 - 10	48 - 50	85 - 90	-1.6	29.1			6 - 8 semanas
Limón real	Lemon	10 - 13	50 - 55	85 - 90	-1.4	29.4			1 - 6 meses

**Nota.** Fuente: Adaptado de Manual Técnico de Frutas y Verduras (2007).

Por otro lado, la FAO (2000) propone una serie de temperaturas y humedades relativas recomendadas para el almacenamiento de algunas frutas, dichos valores suministrados pueden cambiar para las diferentes variedades de la fruta. Los rangos de control de las variables críticas (Humedad relativa, temperatura) se pueden consultar en la tabla 17. Esta información, al igual que la suministrada por el GRUPO PM, se utiliza para estimar la cantidad de producto deteriorado en un período de planeación de un mes, si llegase a materializarse las condiciones sugeridas de control de las variables críticas (Humedad relativa, temperatura).

**Tabla 17.**

Condiciones controladas sugeridas por la FAO para el almacenamiento frutas frescas.

Producto	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Vida aproximada de almacenamiento
Guayaba	8 -10	90	2 a 3 meses
Lima	8.5 - 10	85 - 90	1 a 4 meses
Limón verde	10 - 14	85 - 90	2 a 3 semanas
Limón coloreado	0 - 4.5	85 - 90	2 a 6 meses
Mango	7 - 12	90	3 a 6 semanas
Mandarina	4	90 - 95	2 a 4 semanas
Maracuyá	7 - 10	85 - 90	3 a 5 semanas
Melón	7 - 10	85 - 90	3 a 7 semanas
Naranja	3 - 9	85 - 90	3 a 12 semanas
Palta (aguacate)	7 - 12	85 - 90	1 a 2 semanas
Papaya	7 - 13	85 - 90	1 a 3 semanas

**Nota.** Fuente: Adaptado de FAO (2000).

## 10. DIAGNOSTICO DE LA CADENA DE SUMINISTRO CITRICOLO OBJETO DE ESTUDIO

### 10.1 Flujo de información y de productos

El modelo se desarrolla desde un enfoque de cadena de suministro integrada, en donde se comparte información de la demanda real del consumidor a lo largo de todos los eslabones de la cadena. El proveedor (campesino) se encarga de enviar limones a granel al productor (intermediario), quién se encarga de seleccionar producto en buen estado y desechar el producto deteriorado, lava el producto que lo requiera y lo empaca en mallas con un peso de 1 kg. El productor envía como bien unitario cada malla de limón selecto hacia el detallista, quien se encarga de exhibirlo para ser vendido al consumidor final. El flujo de información y de productos se puede observar en la figura 4.

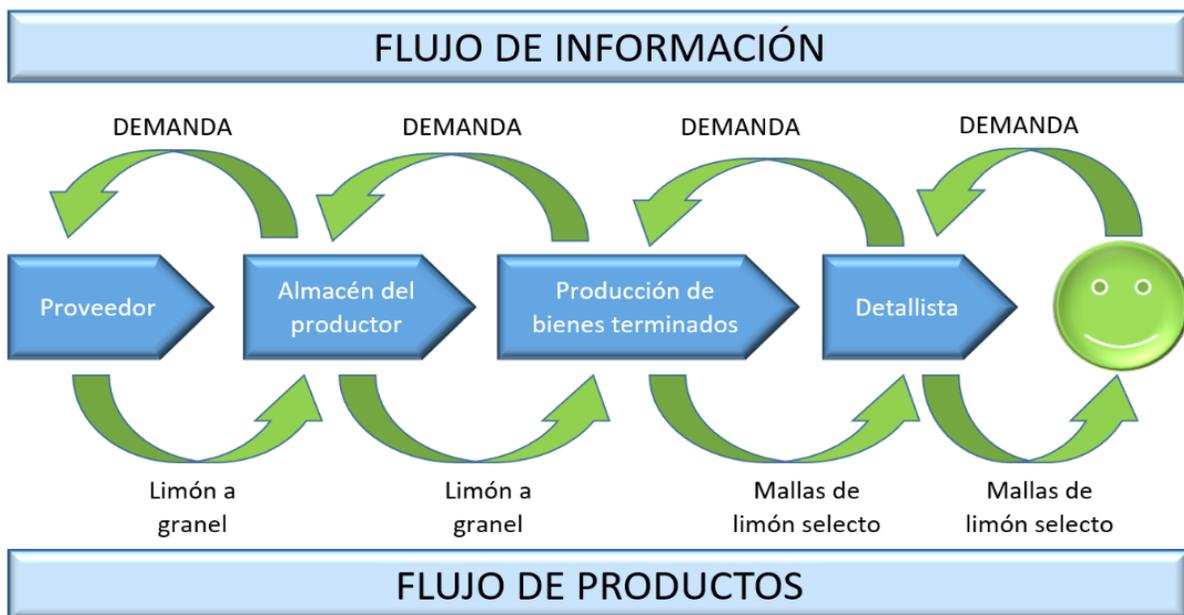


Figura 4. Flujo de información y productos de la cadena objeto de estudio

Fuente: Elaboración propia.

## **10.2 Interacción entre los eslabones de la cadena**

La cadena objeto de estudio consiste en tres eslabones, a saber: un único proveedor, un productor y un detallista, como se observa en la figura 5. El proveedor, se encarga de iniciar el flujo de producto hacia los demás eslabones, aguas abajo. El siguiente integrante de la cadena es el productor, quien cuenta con una bodega para materia prima y otra bodega para almacenar el producto terminado. Finalmente, de cara al consumidor se encuentra el eslabón detallista, encargado de satisfacer directamente la demanda del consumidor final, también, es éste eslabón quien inicia el flujo de información, compartiendo la demanda esperada con los otros eslabones.

La interacción en la cadena de suministro inicia en el momento que el detallista realiza una orden que busca satisfacer la demanda durante un período de planeación  $T$ , dicha información de la demanda a satisfacer se comparte con los demás eslabones. Al ser transmitida la demanda al siguiente eslabón (el productor) a través de una orden, éste debe satisfacer dicha orden mediante  $n$  entregas, en intervalos fijos de tiempo, puestas en la bodega de almacenamiento del detallista.

Al recibir la orden, el productor inicia un proceso de agregación de valor tomando materia prima de su bodega y procesándola, generando así el producto terminado de la cadena de cítricos objeto de estudio. Como se observa en la figura 5, existe una relación inversamente proporcional entre los inventarios manejados por el productor, ya que cuando inicia el proceso de agregación de valor, el inventario de materia prima se reduce a lo largo del tiempo, mientras el de producto terminado aumenta. Puesto que la tasa de producción es mayor a la demanda, el productor acumula inventario de producto terminado para la realización de entregas que se llevarán a cabo posteriormente (en un período donde se detiene la producción), la principal razón para esto, es que el inventario acumulado alcanzado es suficiente para satisfacer el número de entregas restantes, considerando la cantidad de producto que sufrirá deterioro.

Para iniciar su proceso productivo, el productor requiere ser provisto de materia prima, la cual es suministrada por el proveedor. Éste eslabón debe realizar el abastecimiento de insumos desde un proveedor externo (no considerado en el caso de estudio), con el propósito de mantener un buen estado de las materias primas para el eslabón productor. El proveedor se encarga de suministrar la materia prima requerida por el productor para su procesamiento, esto se logra entregando iguales cantidades en intervalos de tiempo fijos.

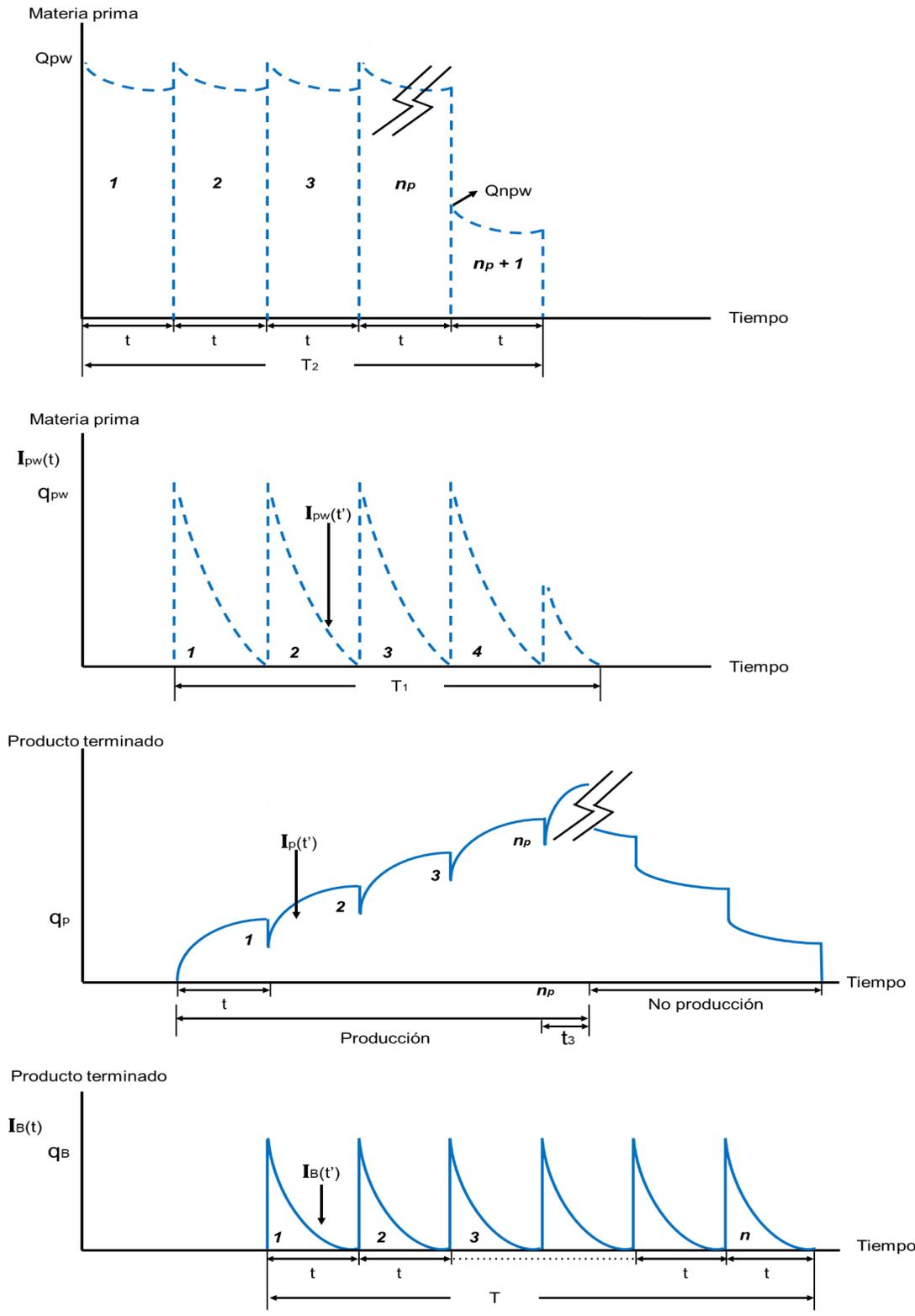


Figura 5. Nivel de Inventario de la Cadena de Suministro para cada eslabón

Fuente: Adaptado de Hsin Rau, et al. (2003).

### 10.3 Aspectos específicos de los eslabones de la cadena citrícola objeto de estudio

A continuación, se describe el proceso que realiza cada eslabón de la cadena objeto de estudio y aspectos que se consideran relevantes para comprender su rol dentro de la misma.

#### 10.3.1 Proveedor

El proveedor entrega limón virgen al productor dependiendo del nivel de existencias que tenga en el momento. En el caso de que no se logre satisfacer la demanda, el proveedor debe ir a su cultivo y cosechar el limón necesario para cumplir con la orden del productor. El proveedor deposita su producto en canastillas y finalmente lo despacha, pero sin algún tipo de tratamiento o agregación de valor. El proveedor entrega canastillas plásticas, con un contenido de limón virgen de 30kg y el productor lo recibe en una bodega donde arruma las canastillas y enseguida empieza su proceso de agregación de valor.

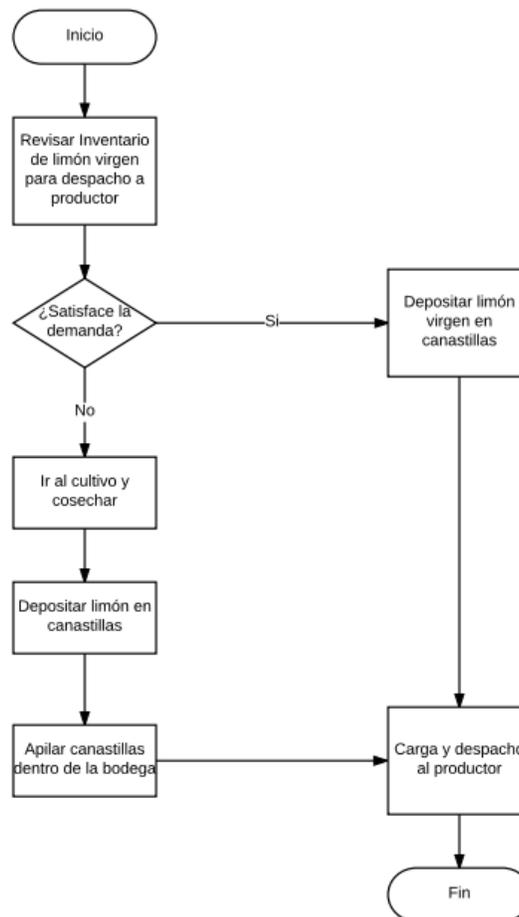


Figura 6. Flujograma del proceso realizado por el Proveedor

Fuente: Elaboración propia

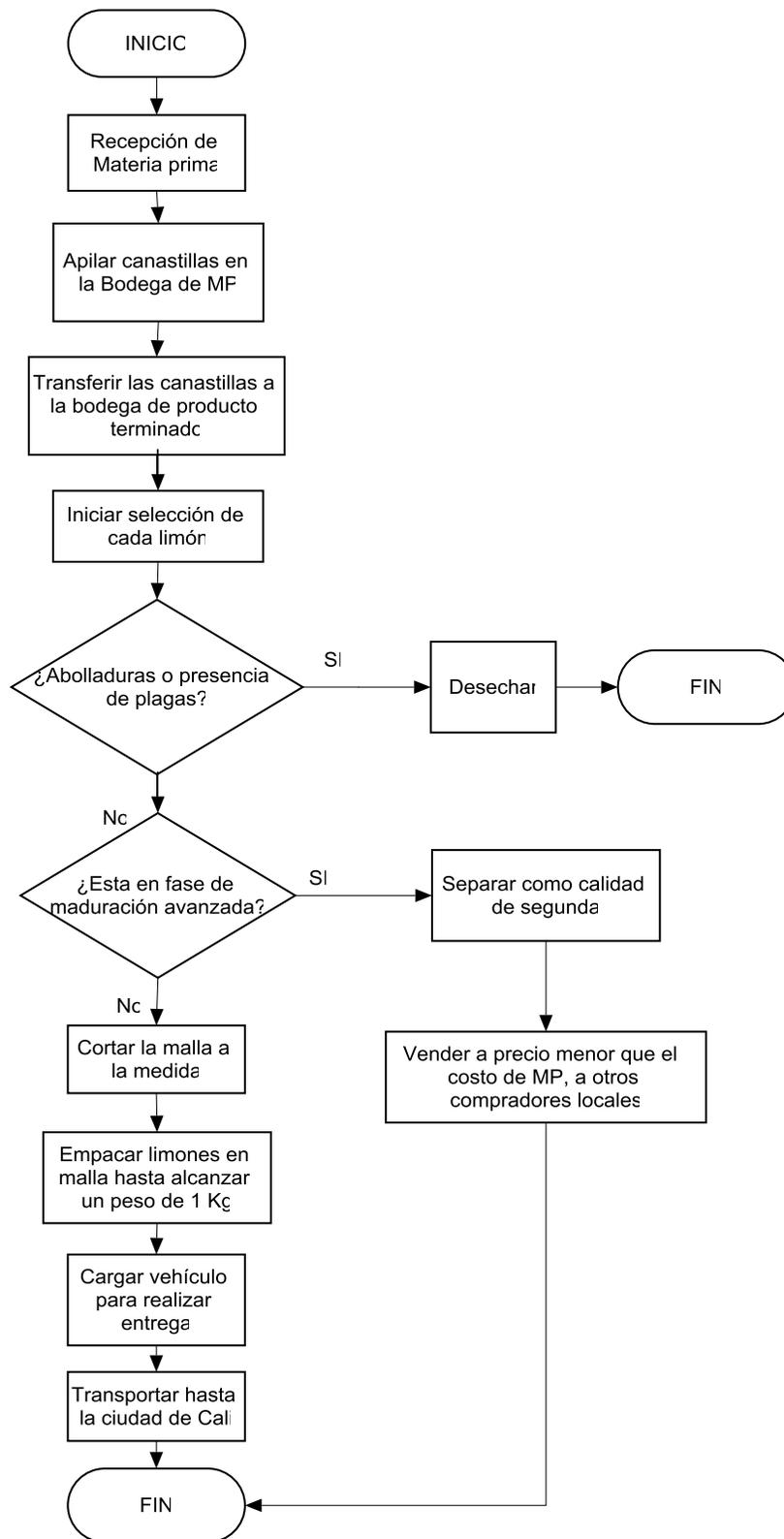
### 10.3.2 Productor

La materia prima del productor proviene del proveedor y consiste en limón sin seleccionar y en diferentes fases de maduración, a lo que se conocerá en adelante como “limón virgen”. El productor recibe canastillas plásticas con un contenido de limón virgen de 30kg.

El productor en la cadena de abastecimiento citrícola estudiada cuenta con dos espacios físicos claramente separados para desarrollar procesos diferentes: Almacenamiento de Limón Virgen y Procesamiento de Limón Virgen, en este último se procesa el limón virgen y se almacena producto terminado hasta que el detallista realiza la orden de compra (mediante una llamada telefónica).

En primer lugar, el productor recibe el limón virgen en la bodega correspondiente y arruma las canastillas provenientes del proveedor. El productor toma las canastillas de su bodega de Materia Prima y las traslada a la bodega de producto terminado, en donde se realiza el proceso de agregación de valor. Luego de tener las canastillas de limón virgen en la bodega de producto terminado, se realiza el proceso de selección del producto, en éste, el productor evalúa la condición de cada limón y con base en su experiencia desecha aquellos que tengan abolladuras o presencia de plagas, también, se retira el producto que se encuentre muy maduro, aunque no presente daño físico. El producto en una fase de maduración avanzada se retira ya que el tiempo que requiere para ser transportado junto con el tiempo de exhibición superan la vida útil del mismo y no cumpliría con las condiciones solicitadas para ser adquirido por el consumidor final. Luego de ser seleccionado, el limón en óptimas condiciones es empacado en mallas de 1 kilogramo, las cuales son depositadas en canastillas plásticas con un estibado máximo de 4 niveles. La unidad de producto terminado se define como 1 malla de limón selecto con un peso igual a 1 kilogramo.

Finalmente, al momento de alistar una orden para abastecer al detallista, las canastillas son desarrumadas de la bodega y cargadas al camión, que se encargará de transportar el producto terminado hasta la ciudad de Cali. Cabe resaltar que el costo de transporte es asumido por el productor, el vínculo comercial existente establece el precio del producto terminado puesto en la bodega del detallista.



**Figura 7. Flujograma del proceso realizado por el Productor**

Fuente: Elaboración propia

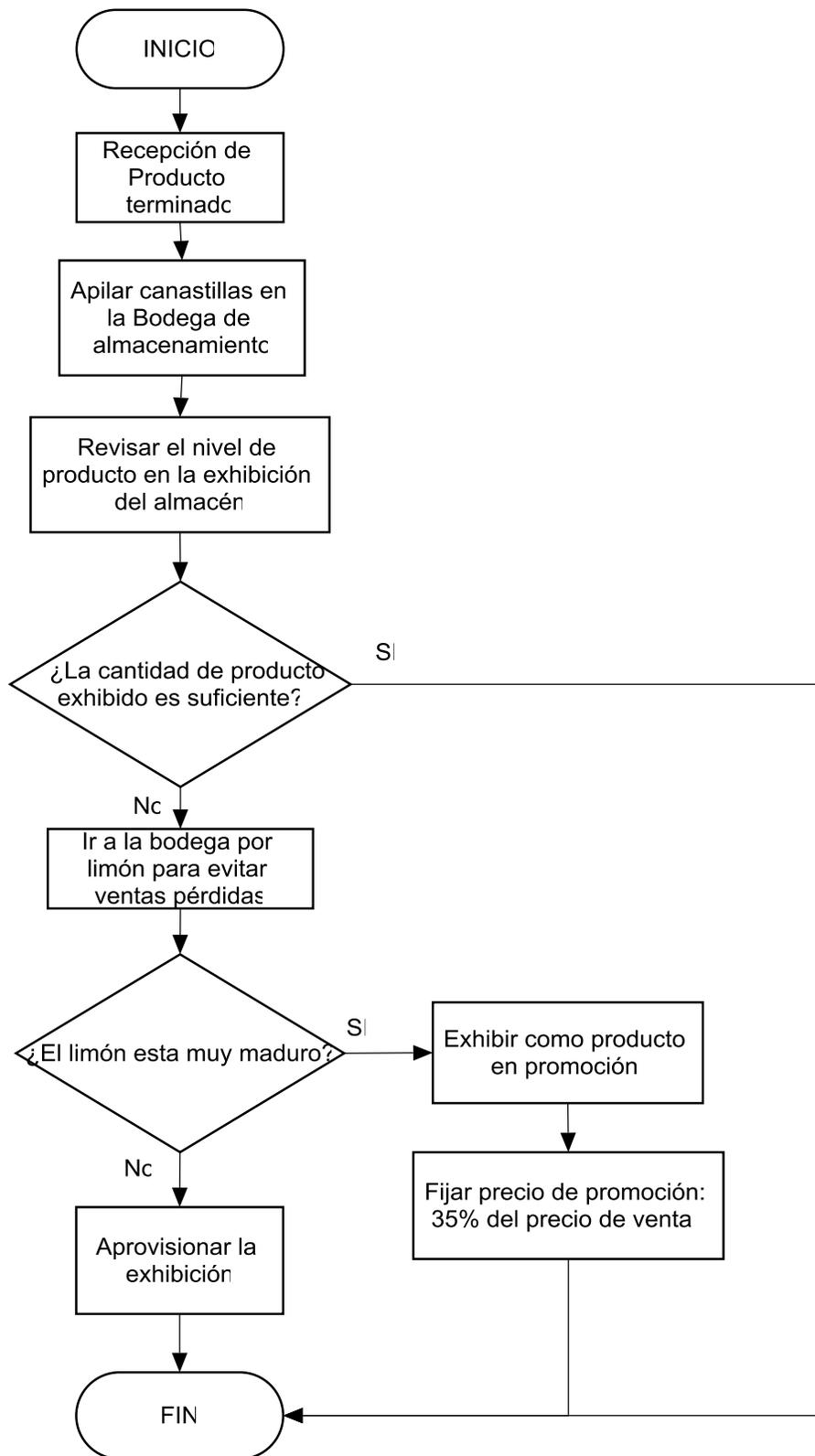
### 10.3.3 Detallista

El último eslabón de la cadena de suministro de cítricos estudiada es el detallista, quien se encarga de realizar la exhibición del producto y venderlo al consumidor final. Este eslabón se encuentra ubicado en la ciudad de Cali, es un supermercado dedicado a la comercialización de bienes de consumo. El proceso de este eslabón inicia con la recepción de bienes terminados (mallas de limón selecto con un peso igual a 1 kilogramo) en su bodega, los almacena en ésta sin mantener condiciones controladas, es decir, no existe control de temperatura ni humedad relativa, se almacena el limón expuesto a condiciones ambientales.

Al realizar el pedido de una orden, los costos en que debe incurrir el detallista son muy bajos, sólo debe llamar a sus proveedores y al momento de recibir el producto realiza la entrega de la orden de cobro (papelería), que será cancelada al finalizar cada semana. Al realizar la recepción de cada entrega, el detallista es el encargado de asumir el costo de cargue/descargue para tomar la mercancía del camión del productor y depositarla en su bodega.

El costo de manutención de inventario de limón se calcula mediante el arrendo que debe pagar el detallista por el alquiler de la bodega, ya que el limón no es el único producto que se almacena. Durante la aplicación de la encuesta se preguntó cuál es el área total de la bodega, así como el área que se encuentra destinada al limón específicamente, de esta manera se logró prorratear el costo de manutención del limón en la bodega del detallista. Adicionalmente, existe un costo que debe ser añadido al costo de arrendamiento correspondiente al inventario de producto terminado en bodega, dicho costo es el de exhibición en el almacén.

Un aspecto que merece ser resaltado en este eslabón es el costo de deterioro del producto. En la aplicación de la encuesta desarrollada, el detallista manifiesta que al llegar la fase de maduración del producto realiza descuentos y promociones para evitar la pérdida total de la inversión, ofreciendo el producto a precios inferiores del costo de adquisición, específicamente, tomando como referencia el precio de venta al consumidor, el detallista ofrece sus productos con un descuento de 65%. Para tener mayor claridad al respecto se presenta el siguiente ejemplo: el precio de venta al consumidor final del kilogramo de limón selecto empacado en malla es de \$2500, al llegar a la fase de maduración avanzada el detallista decide realizar promociones para evitar el deterioro total del producto (lo que generaría como consecuencia final la pérdida de recursos económicos de la compañía), en este punto el precio que fijaría sería de \$875 para cada malla de limón selecto empacado en malla de 1 kilogramo.



**Figura 8. Flujograma del proceso realizado por el Detallista**

Fuente: Elaboración propia

## 10.4 Análisis de la demanda

Durante el ejercicio de aplicación de las encuestas a los diferentes eslabones, se identificó una enorme deficiencia respecto a la documentación o registro histórico de las operaciones realizadas en toda la cadena. Las encuestas aplicadas a proveedores (campesinos cultivadores de limón) dieron como resultado que de la población encuestada 0% tiene registro de las operaciones comerciales realizadas.

Sin embargo, un productor realizó el registro disciplinado de las ventas que realizaba. La información se encontró documentada a mano, en un cuaderno de registro o bitácora. El paso a seguir fue la consolidación de dicha información en hojas de cálculo para ser procesadas y posteriormente usarla como insumo en el modelo matemático.

La información se consolidó en la hoja de cálculo según los registros de la bitácora, con frecuencia de 1 día (el productor consolidaba la información al finalizar cada día, si existían operaciones comerciales). Con el propósito de establecer la demanda en un horizonte de planeación de un mes, se agruparon los registros diarios consolidados en la hoja de cálculo según el mes en que haya sido realizada la operación comercial, obteniendo como resultado 31 valores de demandas mensuales históricas que se encuentran consolidados en la tabla 18.

**Tabla 18**  
Resumen histórico de venta en kilogramos

Año Mes	1	2	3
	Suma de Cantidad (kilos)	Suma de Cantidad (kilos)	Suma de Cantidad (kilos)
Enero	8.281	5.355	7.280
Febrero	7.243	9.086	2.162
Marzo	1.220	7.961	3.864
Abril	4.173	6.081	1.925
Mayo	5.575	4.555	3.206
Junio	7.983	2.439	5.855
Julio	8.451	4.626	3.057
Agosto	4.748	2.492	
Septiembre	7.068	2.718	
Octubre	5.048	2.502	
Noviembre	4.590	2.532	
Diciembre	2.328	3.329	
Total general	66.707	53.675	27.349

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

## Caracterización de la demanda

Los registros históricos de la demanda de limón gráficamente sugieren un comportamiento constante, como se observa en la figura 9, ya que no existen períodos con demanda igual a cero o períodos con niveles exuberantes de demanda.

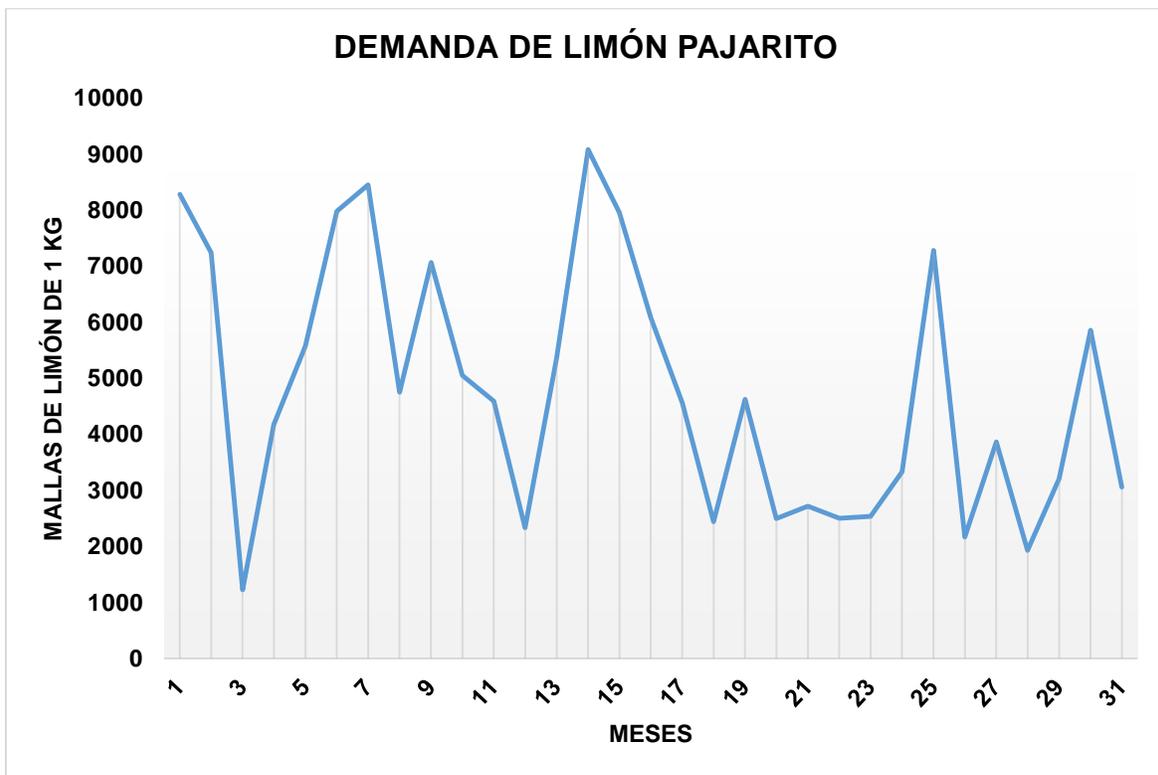


Figura 9. Demanda Histórica de Limón Pajarito

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el cálculo del coeficiente de variación sugerido por Vidal (2010), para determinar si la demanda de limón pajarito, según los registros históricos, es perpetua o errática, de la siguiente forma:

$$CV = \frac{\text{Desviación Estándar de la demanda}}{\text{Demanda Promedio}}$$

$$CV = \frac{2264,5}{4766}$$

$$CV = 0,475$$

Si el coeficiente de variación es mayor o igual que 1 (100%), la demanda puede catalogarse como errática. En caso contrario, la demanda puede considerarse estacionaria o perpetua (Vidal, 2010). El resultado obtenido es 0.475, por lo tanto, es posible concluir que la demanda de limón pajarito presenta un comportamiento perpetuo o estacionario.

El paso a seguir es aplicar diferentes métodos de pronóstico sugeridos para este tipo de demanda por Vidal (2010). Se emplean tres métodos de pronóstico para estimar la demanda de limón pajarito selecto en malla de 1 kilogramo, estos son:

- Media móvil
- Suavización Exponencial Simple
- Suavización Exponencial Doble

Para el método de media móvil, se realizó el cálculo con N desde 2 hasta 10. En los métodos de suavización exponencial, se delimito el valor de alfa entre 0.01 y 0.3, para evitar falta de sensibilidad del modelo o nerviosismo del mismo, respectivamente. En los tres métodos de pronóstico se minimizó el Error Cuadrático Medio (ECM), obteniendo como resultado los valores de la tabla 19.

**Tabla 19.**  
Selección del método de pronóstico respecto al ECM (Error Cuadrático Medio)

TIPO DE PRONOSTICO	ECM	PARÁMETRO
Media Móvil	4.276.528	N = 9
Suavización Exponencial Simple	4.373.412	$\alpha = 0,23445659878$
Suavización Exponencial Doble	5.097.084	$\alpha = 0,08244141621$

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

El menor error cuadrático medio se obtiene utilizando el método de pronóstico Media Móvil, con un número de períodos igual a nueve (N = 9). Al emplear este método de pronóstico se logra calcular la demanda estimada durante el período de planeación de un mes:

$$D = 3718 \frac{\text{Unidad}}{\text{mes}}$$

## 11. ELECCIÓN DE MODELO MATEMÁTICO

Para el cumplimiento del segundo objetivo específico de este trabajo, se realizó una revisión sobre los autores que han abordado modelos de inventario para productos perecederos en cadenas de abastecimiento. Algunos de los modelos estudiados fue el propuesto por P.C. Yang a, H.M. Wee (2001), quienes desarrollan una política de inventario que solo considera un vendedor y múltiples compradores para productos perecederos. P.C. Yang & H.M. Wee (2001) proponen un modelo matemático que considera tanto una tasa de producción y demanda constante, como también los costos del proveedor y de los compradores. En este modelo se demuestra que la política integrada trae beneficios en cuanto a reducción de costos para ambos eslabones de la cadena, comparado con las decisiones independientes tomadas por el vendedor y los compradores. El estudio realizado por P.C. Yang & H.M. Wee (2001) considera un solo artículo con deterioro constante, en donde no se permite la escasez, los compradores ordenan siempre la misma cantidad y no hay reemplazo de unidades deterioradas. A pesar de que el problema que se quiere abordar en este trabajo, tiene ciertas similitudes con el propuesto por Yang & H.M. Wee (2001), en cuanto a los beneficios que trae la integración en la cadena de suministro y la minimización del costo para cada actor de la cadena, este modelo solo considera dos eslabones de la cadena, por lo tanto no se ajusta a las necesidades del problema que se quiere tratar, pues el objetivo es determinar una política de inventario tanto para el minorista, como también para el intermediario y productor.

Junxiu Jia & Qiyang Hu (2011) estudian cómo controlar el inventario y tomar decisiones en cuanto a precios en una cadena de suministro de productos perecederos y la cantidad óptima de ordenar. Este modelo considera que la demanda es aleatoria y sensible a los precios. Tanto el proveedor como el minorista tienen como objetivo maximizar sus beneficios totales. Otros supuestos de este modelo tienen relación con la revisión periódica de los niveles de inventario y las diferencias de precios entre los diferentes eslabones de la cadena.

A pesar de que este último modelo refleja en gran parte la situación que viven los pequeños productores de la zona en donde se llevó a cabo el estudio, el objetivo principal de este trabajo no es determinar una política de precios, sino como tal una política que permita determinar exclusivamente, el momento, la frecuencia y la cantidad óptima de ordenar, de manera que se beneficien todos los integrantes de la cadena. Además, un modelo de fijación de precios sería realmente difícil de proponer y aplicar en una zona donde en primera instancia son los grandes compradores quienes fijan los precios y no aceptan las negociaciones de precio. Por lo anterior, se aprecia una gran brecha entre los precios del productor y el minorista, de acuerdo con la información recolectada en la caracterización de la cadena de suministro frutícola de la zona rural de Andalucía, Valle del Cauca, Colombia.

Haijema (2013) presenta una nueva clase de políticas de pedido dependientes del nivel de stock para productos perecederos tales como alimentos frescos y concentrados de plaquetas sanguíneas, que como se ha explicado con anterioridad, se caracterizan por una corta vida útil. La política denominada por el autor como  $(s, S, q, Q)$ , es una política de revisión periódica  $(s, S)$  con la cantidad de orden restringida por un mínimo  $(q)$  y máximo  $(Q)$ .

El autor formula el problema de ordenación como un problema de decisión de Markov periódico (MDP). Establece el período de revisión a 1 día y asume que el problema es: 1) estacionario a lo largo de semanas (cualquier semana es estocásticamente lo mismo que cualquier otra semana), y 2) no estacionario (dentro de una semana los parámetros son diferentes para los diferentes días de la semana). Para una variedad de casos, se deriva numéricamente una política de ordenamiento dependiente del stock-edad óptima mediante la programación dinámica estocástica (SDP). A través de la simulación se investiga la estructura de la política óptima y se extraen las políticas dependientes del nivel de las existencias que encajan bien. La política óptima puede ser aproximada por una política 'periódica'  $(s, S)$  dependiente del día de la semana  $d$  y de los valores de los parámetros  $s_d, S_d$ . La estructura de la política óptima sugiere restringir la cantidad del pedido por un mínimo y un máximo,  $q_d$  respectivamente  $Q_d$ , y el día de la semana se denomina  $d$ . Como se mencionó, se clasifica la nueva política como  $(sd, Sd, qd, Qd)$ . Esta clase de política de pedido dependiente del nivel de inventario parece ser nueva y se desempeña en muchos casos cerca del óptimo y mucho mejor que la política  $(s_d, S_d)$ . En conclusión, empleando políticas de pedido dependiente del nivel de inventario se logran mejoras de las políticas  $(s, S)$ , en muchos casos mejoras que van desde 4% hasta 25% del costo total relevante.

Considerando el diagnostico mencionado, se concluye que el modelo propuesto por Haijema (2013) coincide con el problema que se aborda en este trabajo principalmente al considerar la característica de perecederos para el producto manejado, también, asume una frecuencia de revisión diaria, lo cual se ajusta a las condiciones de la cadena de cítricos estudiada; sin embargo, el modelo propuesto se enfoca a realizar el control de inventarios de productos perecederos únicamente para uno de los eslabones de una cadena de productos, mientras que el alcance de este trabajo busca abarcar el control del inventario a lo largo de la cadena de suministro citrícola, es decir, un enfoque de integración de la cadena.

Otro factor importante que diferencia el estudio realizado en el artículo de nuestro caso de estudio, son las características de la demanda, ya que el autor menciona que esta es impredecible y estocástica, en nuestro caso, por el contrario, la demanda del producto tiene una clara tendencia perpetua, con bajas fluctuaciones y sin presentar estaciones donde se incrementen o decaigan drásticamente las ventas.

Hsin Rau, et al. (2003) desarrollan un modelo de inventario integrado para un producto bajo condiciones de deterioro en el tiempo en una cadena de suministro de múltiples niveles. Este modelo considera un solo proveedor, productor y detallista, se desea obtener tanto el número óptimo de entregas como también el tamaño del lote, cuando se minimiza en conjunto el costo de todos los eslabones de la cadena de suministro. De acuerdo con la caracterización de la cadena de suministro se encontró un caso particular de un productor de cítricos de la zona que tiene una cadena muy similar a la planteada por Hsin Rau, et al. (2003), en su modelo de inventario multinivel y que concuerda con la mayoría de supuestos que maneja el modelo, entre los más destacados son la consideración de demanda y producción constante en el tiempo, pues de acuerdo a la información de la venta de este productor durante un periodo de 3 años, el comportamiento de su demanda se puede proyectar con un modelo de suavización exponencial simple. Otros supuestos que maneja el modelo son: la producción es mayor a la demanda, el periodo de planificación es conocido, el tiempo de reposición es infinito, no se permite la escasez, se considera un solo artículo, la tasa de deterioro es determinista y constante, múltiples entregas de lotes por orden en lugar de una sola entrega por orden y el proveedor entrega la misma cantidad de materia prima al productor.

En resumen, este estudio realizado por Hsin Rau, et al. (2003) desarrolla un modelo de inventario integrado para un solo producto, bajo consideraciones de deterioro a una tasa constante en una cadena de suministro de múltiples niveles. La modelación matemática del modelo considera un proveedor único, un productor único y un detallista único para obtener el número óptimo de entregas y ordenar el tamaño del lote, minimizando de esta manera el costo total conjunto de cada eslabón de la cadena.

En aras de adaptar el modelo seleccionado a la cadena citrícola objeto de estudio adecuadamente, se realizan las siguientes consideraciones:

- El eslabón proveedor será el pequeño agricultor de limón virgen
- El eslabón productor será el intermediario, encargado de recibir limón virgen en su bodega y realizar un proceso de selección, lavado y empaçado. Generando producto terminado.
- El eslabón detallista será la empresa comercializadora, encargada de recibir producto terminado desde el productor, exhibirlo al consumidor final y concretar la venta.

## 12. DESARROLLO DE MODELO MATEMÁTICO

### 12.1 Variables y parámetros

**Tabla 20.**

Notación utilizada en el desarrollo del Modelo Matemático

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
$T$	Horizonte de planeación
$T_1$	Tiempo de producción del productor $T_1 = n_p t + t_3$
$T_2$	Tiempo de ciclo del proveedor $T_2 = (n_p + 1)t$
$N$	Número de entregas de bienes terminados del productor al detallista por orden en un ciclo $T$
$T_1$	Número de entregas de bienes terminados del productor al detallista durante $T_1$
$t_3$	El tiempo del producto desde el punto $n_p$ al final de la producción
$q_B$	Tamaño de lote de productos terminados por entrega del productor al detallista
$Q_B$	Cantidad total de productos terminados para el detallista por ciclo $T$
$q_P$	Cantidad de productos terminados producidos en el momento $t$
$q_{PW}$	Cantidad de materias primas del proveedor al almacén del productor por entrega
$q_{nPW}$	La última cantidad de suministro de materias primas desde el proveedor al almacén del productor
$Q_S$	Cantidad total de pedidos de materias primas para el proveedor por ciclo $T_2$
$Q_{PW}$	Cantidad de materias primas del proveedor externo al proveedor por entrega
$Q_{nPW}$	Cantidad de materias primas del proveedor externo al proveedor por la última entrega
$A_P$	Cantidad total de inventario de productos terminados del productor en $T$
$I_B(t)$	Nivel del inventario de productos acabados en el momento $t$ para el detallista
$I_{Pi}(t)$	Inventario de bienes terminados en el momento $t$ para el productor
$I_{PW}(t)$	Nivel de inventario de materias primas en el momento $t$ para el almacén del productor
$I_S(t)$	Nivel de inventario de materias primas en el momento $t$ para el proveedor
$TC_B$	Costo total para el detallista
$TC_P$	Costo total para el productor

$TC_{PW}$	Coste total para el almacén del productor
$TC_S$	Costo total para el proveedor
$TC$	Costo total conjunto con (TCB+ TCPW+ TCP + TCS)
$D$	Tasa de demanda mensual de bienes terminados para el detallista
$A$	Costo de ordenar para productos terminados por pedido para el detallista
$F_B$	Coste de recibir productos terminados por recepción para el detallista
$H_B$	Costo de mantenimiento de productos terminados por unidad por tiempo para el detallista
$P_B$	Costo de una unidad deteriorada para los productos terminados del detallista
$\theta_B$	Tasa de deterioro de los productos terminados del detallista
$P$	Tasa de producción semanal de productos terminados en el productor
$S_P$	Costo de instalación por configuración para el productor
$F_P$	Costo de entrega de los productos terminados por entrega para el productor
$H_P$	Costo de mantenimiento de una unidad de producto terminado por unidad de tiempo para el productor
$P_P$	Costo de una unidad deteriorada para los productos terminados del productor
$\theta_P$	Tasa de deterioro de los productos terminados del productor
$F_{PW}$	Coste de recibir materias primas por recepción para el productor
$H_{PW}$	Costo de mantenimiento de una unidad de materias primas por unidad de tiempo para el almacén del productor
$P_{PW}$	Coste de una unidad deteriorada para las materias primas del productor
$\theta_{PW}$	Tasa de deterioro de las materias primas del productor
$S$	Costo de la orden de las materias primas por pedido para el proveedor
$F_S$	Costo de entrega de materias primas por entrega para el proveedor
$H_S$	Coste de mantener una unidad de materias primas por unidad de tiempo para el proveedor
$P_S$	Costo de una unidad deteriorada para las materias primas del proveedor
$\theta_S$	Índice de deterioro de las materias primas del proveedor

**Nota.** Fuente: Adaptado de Hsin Rau, et al. (2003). Integrated inventory model for deteriorating items under a multi-echelon supply chain environment. *International Journal of Production Economics*, 86(2), 155–168

## 12.2 Modelo de inventario de productos terminados del detallista

Según Ghare & Schrader (1963), el nivel de inventario de bienes terminados en el tiempo puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{dI_B(t')}{dt'} = -D - \theta_B I_B(t'), \quad 0 \leq t' \leq t \quad (1)$$

Resolviendo (1) en sus puntos extremos con el método del factor integrante se tiene que:

$$u = e^{\int \theta_B dt'}$$

Por tanto, el factor integrante que será:

$$u = e^{\theta_B t'}$$

Multiplicando a ambos lados de la ecuación (1) por  $e^{\theta_B t'}$ , la expresión queda de la siguiente manera:

$$\frac{dI_B(t')}{dt'} e^{\theta_B t'} + \theta_B e^{\theta_B t'} I_B(t') = -D e^{\theta_B t'} \quad (2)$$

La parte derecha de la ecuación (2) se puede expresar como la derivada de un producto como sigue:

$$\frac{d(e^{\theta_B t'} I_B(t'))}{dt'} = -D e^{\theta_B t'}$$

Integrando a ambos lados de la ecuación y resolviendo las integrales respectivas, se tiene que:

$$\int d(e^{\theta_B t'} I_B(t')) = \int -D e^{\theta_B t'} dt'$$
$$e^{\theta_B t'} I_B(t') = -\frac{D}{\theta_B} e^{\theta_B t'} + C \quad (3)$$

Multiplicando a ambos lados de (3) por  $e^{-\theta_B t'}$  y simplificando:

$$I_B(t') = -\frac{D}{\theta_B} + C e^{-\theta_B t'} \quad (4)$$

Aplicando la condición de frontera  $I_B(t) = 0$  en (4) para obtener el valor de la constante de integración, se tiene como resultado:

$$C = \frac{D}{\theta_B} e^{\theta_B t}$$

Usando el valor de la constante en la expresión de (4) y simplificando:

$$I_B(t') = -\frac{D}{\theta_B} + \left[ \frac{D}{\theta_B} e^{\theta_B t} \right] e^{-\theta_B t'}$$

$$I_B(t') = -\frac{D}{\theta_B} + \frac{D}{\theta_B} e^{\theta_B(t-t')} \quad (5)$$

Por lo tanto, la cantidad de orden inicial se obtiene poniendo la condición de frontera  $I_B(0)$  en (5) De esta forma, se tiene que  $I_B(0) = q_B$  y la expresión resultante es:

$$I_B(0) = -\frac{D}{\theta_B} + \frac{D}{\theta_B} e^{\theta_B(t-0)}$$

$$= -\frac{D}{\theta_B} + \frac{D}{\theta_B} e^{\theta_B t}$$

$$= \frac{D}{\theta_B} (e^{\theta_B t} - 1) = q_B$$

$$q_B = \frac{D}{\theta_B} (e^{\theta_B t} - 1) \quad (6)$$

Para obtener la expresión la cantidad de inventario de productos terminados en espera, se debe integrar la ecuación (6) entre 0 y t, así:

$$\begin{aligned}
 \int_0^t I_B(t') dt' &= \int_0^t \left(-\frac{D}{\theta_B} + \frac{D}{\theta_B} e^{\theta_B(t-t')}\right) dt' \\
 &= \left[-\frac{D}{\theta_B} t' - \frac{D}{\theta_B^2} e^{\theta_B(t-t')}\right]_0^t \\
 &= -\frac{D}{\theta_B} t - \frac{D}{\theta_B^2} + \frac{D}{\theta_B^2} e^{\theta_B t} \\
 &= \frac{D}{\theta_B^2} e^{\theta_B t} - \left(\frac{D}{\theta_B} t + \frac{D}{\theta_B^2}\right) \\
 &= \frac{D}{\theta_B^2} e^{\theta_B t} - \left(\frac{D\theta_B^2 t + D\theta_B}{\theta_B\theta_B^2}\right) \\
 &= \frac{D}{\theta_B^2} e^{\theta_B t} - \left[\frac{\theta_B(D\theta_B t + D)}{\theta_B\theta_B^2}\right] \\
 &= \frac{D}{\theta_B^2} e^{\theta_B t} - \left[\frac{(D\theta_B t + D)}{\theta_B^2}\right] \\
 &= \frac{D}{\theta_B^2} e^{\theta_B t} - \frac{D\theta_B t + D}{\theta_B^2}
 \end{aligned}$$

$$\int_0^t I_B(t') dt' = \frac{D}{\theta_B^2} e^{\theta_B t} - \frac{D\theta_B t + D}{\theta_B^2} \quad (7)$$

El costo total de los bienes ofertados puede expresarse como la suma del costo del pedido, el costo de recepción, el costo de mantenimiento y el costo de deterioro. Por lo tanto, el costo total de los bienes ofertados para el detallista durante un periodo de planeación T, puede expresarse como:

$$TC_B = \frac{A}{T} + F_B \frac{n}{T} + \left(\frac{D}{\theta_B^2} e^{\theta_B t} - \frac{D + D\theta_B t}{\theta_B^2}\right) H_B \frac{n}{T} + \left[\frac{D}{\theta_B} (e^{\theta_B t} - 1) - Dt\right] P_B \frac{n}{T} \quad (8)$$

Usando la siguiente aproximación:

$$e^{\theta t} = \frac{(2 + \theta t)}{(2 - \theta t)}$$

Propuesta por Hsin Rau, et al. (2003) y sustituyendo en la ecuación de del costo total del detallista, se obtiene:

$$\begin{aligned} TC_B = \frac{A}{T} + F_B \frac{n}{T} + \left[ \frac{D \left( 2 + \theta_B \frac{T}{n} \right)}{\theta_B^2 \left( 2 - \theta_B \frac{T}{n} \right)} - \frac{D + D\theta_B \frac{T}{n}}{\theta_B^2} \right] H_B \frac{n}{T} + \\ \left[ \frac{D}{\theta_B} \left( \frac{2 + \theta_B \frac{T}{n}}{2 - \theta_B \frac{T}{n}} - 1 \right) - Dt \right] P_B \frac{n}{T} \end{aligned} \quad (9)$$

### 12.3 Nivel de inventario de materias primas del almacén del productor

El nivel de inventario de materias primas del almacén del productor en un tiempo  $t'$  se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{dI_{PW}(t')}{dt'} = -P - \theta_{PW} I_{PW}(t'), \quad 0 \leq t' \leq t \quad (10)$$

En los puntos extremos de la ecuación (9), el inventario estará expresado por las siguientes ecuaciones:

$$q_{PW} = \frac{P}{\theta_{PW}} (e^{\theta_{PW} t} - 1) \quad (11)$$

$$q_{nPW} = \frac{P}{\theta_{nPW}} (e^{\theta_{nPW} t_3} - 1) \quad (12)$$

Integrando las expresiones (11) y (12) desde 0 hasta  $t$  y desde 0 hasta  $t_3$  respectivamente, de la misma manera como se hizo en el modelo del detallista, se obtienen las cantidades de inventario de materias primas en espera en un tiempo  $t$  y  $t'$ , así:

$$\int_0^t I_{PW}(t') dt' = \frac{P}{\theta_{PW}^2} e^{\theta_{PW}t} - \frac{P + P\theta_{PW}t}{\theta_{PW}^2} \quad (13)$$

$$\int_0^{t_3} I_{nPW}(t') dt' = \frac{P}{\theta_{PW}^2} e^{\theta_{PW}t_3} - \frac{P + P\theta_{PW}t_3}{\theta_{PW}^2} \quad (14)$$

Por tanto, de acuerdo con Hsin Rau, et al. (2003), el costo total para el almacén de materias primas del productor por ciclo T puede expresarse como la suma del costo de recibir, el costo de mantenimiento y el costo de deterioro, así:

$$\begin{aligned} TC_{PW} = & F_{PW}(n_p + 1) \frac{1}{T} + \left[ \frac{Pe^{\theta_{PW}t}}{\theta_{PW}^2} - \frac{P + P\theta_{PW}t}{\theta_{PW}^2} \right] H_{PW}n_p \frac{1}{T} + \\ & \left[ \frac{Pe^{\theta_{PW}t_3}}{\theta_{PW}^2} - \frac{P + P\theta_{PW}t_3}{\theta_{PW}^2} \right] * H_{PW} * \frac{1}{T} + \\ & \left[ \frac{P}{\theta_{PW}} (e^{\theta_{PW}t} - 1) - P * t \right] * P_{PW} * n_p * \frac{1}{T} + \\ & \left[ \frac{P}{\theta_{PW}} (e^{\theta_{PW}t_3} - 1) - P * t_3 \right] * P_{PW} * \frac{1}{T} \end{aligned} \quad (15)$$

#### 12.4 Nivel de inventario de productos terminados del productor

Cuando el detallista ordena una cantidad de producto terminado al productor en el periodo T, el productor empieza la producción y entrega de los mismos en el tiempo t.

En el primer período, el productor realiza la producción de una cantidad de producto terminado  $q_p$  en el período t. El nivel de inventario de productos terminados del productor en el primer período puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{dI_p(t')}{dt'} = -P - \theta_p I_p(t'), \quad 0 \leq t' \leq t \quad (16)$$

Al resolver la ecuación (16), de forma análoga a la ecuación diferencial que representa el modelo para el detallista con el método del factor integrante, el nivel de inventario para los puntos extremos será:

$$q_p = \frac{P}{\theta_p} [1 - e^{-\theta_p t}] \quad (17)$$

El nivel de inventario de productos terminados para la  $i$ -ésima entrega después de realizada la primera se obtiene, según Hsin Rau, et al. (2003) con la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dI_{P_i}(t')}{dt'} = -P - \theta_p I_{P_i}(t'), \quad 0 \leq t' \leq t, \quad 0 \leq i \leq n_p + 1 \quad (18)$$

El inventario de productos terminados antes de la  $i$ -entrega es  $I_{P_i}(0) = Q_{i-1}$ . Resolviendo la ecuación (18) con  $I_{P_i}(0) = Q_{i-1}$  como condición inicial se puede determinar el nivel de inventario para la  $i$ -ésima entrega, así:

$$I_{P_i}(t') = \frac{P}{\theta_p} [1 - e^{-\theta_p t'}] + Q_{i-1} e^{-\theta_p t'}, \quad 0 \leq t' \leq t, \quad 0 \leq i \leq n_p + 1 \quad (19)$$

De acuerdo con Hsin Rau, et al. (2003), de la expresión anterior (19) se puede obtener el tamaño del lote para el periodo de no producción:

$$Q_{\text{non-prod}(1)} = \frac{P}{\theta_p} + \frac{q_B e^{3\theta_p t}}{e^{\theta_p(t+t_{np}+2t)}(e^{\theta_p t}-1)} - \frac{q_B e^{3\theta_p t}}{e^{\theta_p(t+2t)}(e^{\theta_p t}-1)} - \frac{P}{\theta_p e^{\theta_p(t_{np}+t')}} \quad (20)$$

Según el modelo de Hsin Rau, et al. (2003), apenas el productor alcanza la cantidad de producto terminado que el detallista necesita por orden en el ciclo  $T$ , se para la producción. El tiempo de producción está definido en  $(n_p t + t_3)$ . Sin embargo, el productor sigue entregando una cantidad constante  $q_B$  de mercancías, hasta que toda la cantidad de producción de productos terminados haya sido entregada al detallista. Esto ocurre en el instante  $T$ ; cuando el nivel de inventario de productos terminados del productor es igual a cero.

Según Ghare y Schrader (1963), bajo consideración de una tasa constante de deterioro, el inventario final después del tiempo  $t$  puede expresarse como:

$$\text{Ending Inventory} = \text{Opening Inventory}(1 - \theta)^t \quad (21)$$

En el tiempo  $(n_p t + t_3)$ , el productor para su producción. La cantidad de inventario de bienes terminados es  $Q_{\text{non-prod}}$ , después del tiempo  $(t - t_3)$ , el inventario se convierte en  $Q_{n_p+1}$  y que de acuerdo con la expresión de Ghare y Schrader (1963), se tiene que:

$$Q_{n_p+1} = Q_{\text{non-prod}(1)}(1 - \theta_p)^{t-t_3} \quad (22)$$

Se puede derivar la cantidad final de inventario de productos terminados para el tiempo  $(n_p + 1)$ , así:

$$Q_{n_p+i} = (Q_{n_p+i-1} - q_B)(1 - \theta_p)^t, \quad n_p + 1 \leq i \leq n \quad (23)$$

La cantidad de inventario de productos terminados del productor para la  $n$ ésima vez es igual al tamaño del lote por entrega. De (23), se puede obtener el tamaño del lote de los productos terminados durante el periodo de no producción en  $t = t_3$  como:

$$Q_{\text{non-prod}(2)} = \frac{q_B[(1 - \theta_p)^{t'-nt+n_p t-t} - (1 - \theta_p)^{t'-t}]}{(1 - \theta_p)^{-t} - 1} \quad (24)$$

Con las expresiones de  $Q_{\text{non-prod}(1)}$  y  $Q_{\text{non-prod}(2)}$  se pueden obtener los valores de  $n_p$  y  $t_3$ . Para determinar los valores de  $n_p$ , se sigue el algoritmo propuesto por de Hsin Rau, et al. (2003), el cual consiste en partir del supuesto de que  $Q_{\text{non-prod}(1)} \geq Q_{\text{non-prod}(2)}$ . De esta manera, se iguala a cero la ecuación y se reemplaza  $t'$  por  $t$ . Posteriormente, se despeja el valor de  $n_p$  para cada valor de  $n$  y se utilizan los parámetros necesarios para la solución de la ecuación como lo son la tasa de producción del productor, la tasa de deterioro y el tamaño de lote de productos terminados por entrega del productor al detallista.

Para hallar los valores de  $t_3$ , se realiza un procedimiento similar, en donde se reemplazó primeramente  $t'$  por  $t_3$ . Después, se igualan  $Q_{\text{non-prod}(1)}$  y  $Q_{\text{non-prod}(2)}$  y se procede a despejar  $t_3$  para cada valor de  $n_p$ .

El deterioro de la calidad de bienes terminados durante el ciclo T es la suma de las cantidades de bienes terminados deteriorados del periodo 1 hasta n y se escribe de la siguiente manera:

$$P(\text{tn}_p + t_3) - nq_B = (A_1 + A_2 \dots + A_n)\theta_p = A_p\theta_p \quad (25)$$

El coste de deterioro y el costo de mantenimiento de los productos terminados por tiempo de ciclo de pedido T pueden obtenerse de la siguiente forma:

$$A_p H_p = \left[ \frac{(P(\text{tn}_p + t_3) - nq_B)}{\theta_p} \right] H_p \quad (26)$$

El costo total bienes terminados para el productor por período T puede expresarse como la suma del costo de instalar, el costo de entregar, el costo de mantener y el costo de deterioro, así:

$$\text{TC}_p = \frac{S_p}{T} + \frac{F_p}{T} n + \left[ \frac{(P(\text{tn}_p + t_3) - nq_B)}{\theta_p} \right] H_p + [P(\text{tn}_p + t_3) - nq_B] \frac{P_p}{T} \quad (27)$$

### 12.5 Modelo de Inventario del Proveedor

Según Ghare y Schrader (1963), considerando que el inventario de apertura del proveedor se designa como  $Q_{PW}$ , se puede denotar la cantidad de materias primas por entrega desde el proveedor hasta el almacén de los productores, así como la última cantidad suministrada por el proveedor, de la siguiente manera:

$$q_{PW} = Q_{PW}(1 - \theta_S)^t \quad (28)$$

$$q_{nPW} = Q_{nPW}(1 - \theta_S)^t \quad (29)$$

Si se integran las expresiones (28) y (29) desde 0 hasta t, se puede obtener el inventario final de materias primas, como:

$$\begin{aligned}
\int_0^t q_{PW}(t') dt' &= \int_0^t Q_{PW}(1 - \theta_S)^t dt' \\
&= \left[ \frac{Q_{PW}(1 - \theta_S)^{t'}}{\ln(1 - \theta_S)} \right]_0^t \\
&= \frac{Q_{PW}(1 - \theta_S)^t}{\ln(1 - \theta_S)} - \frac{Q_{PW}(1 - \theta_S)^0}{\ln(1 - \theta_S)} \\
&= \frac{Q_{PW}(1 - \theta_S)^t}{\ln(1 - \theta_S)} - \frac{Q_{PW}}{\ln(1 - \theta_S)} \\
&= \frac{Q_{PW}(1 - \theta_S)^t - Q_{PW}}{\ln(1 - \theta_S)}
\end{aligned}$$

$$\int_0^t q_{PW}(t') dt' = \frac{Q_{PW}(1 - \theta_S)^t - Q_{PW}}{\ln(1 - \theta_S)} \quad (30)$$

De la misma forma para:

$$\begin{aligned}
\int_0^t q_{nPW}(t') dt' &= \int_0^t Q_{nPW}(1 - \theta_S)^t dt' \\
&= \left[ \frac{Q_{nPW}(1 - \theta_S)^{t'}}{\ln(1 - \theta_S)} \right]_0^t \\
&= \frac{Q_{nPW}(1 - \theta_S)^t}{\ln(1 - \theta_S)} - \frac{Q_{nPW}(1 - \theta_S)^0}{\ln(1 - \theta_S)} \\
&= \frac{Q_{nPW}(1 - \theta_S)^t}{\ln(1 - \theta_S)} - \frac{Q_{nPW}}{\ln(1 - \theta_S)}
\end{aligned}$$

$$= \frac{Q_{nPW}(1 - \theta_S)^t - Q_{nPW}}{\text{Ln}(1 - \theta_S)}$$

$$\int_0^t q_{nPW}(t') dt' = \frac{Q_{nPW}(1 - \theta_S)^t - Q_{nPW}}{\text{Ln}[1 - \theta_S]} \quad (31)$$

Se tiene también que la cantidad de pedido de materia prima del proveedor que satisface la demanda del almacén de los productores desde el tiempo 0 a t, se define como:

$$Q_S = n_P Q_{PW} + Q_{nPW} \quad (32)$$

Por último, se tiene que el costo total para el proveedor, de acuerdo con Ghare y Schrader (1963), se puede expresar como la suma del costo de instalación, el costo de entrega, el costo de mantenimiento y el deterioro del costo:

$$TC_S = \frac{S}{T} + F_S(n_P + 1) \frac{1}{T} + H_S \left[ \frac{n_P(q_{PW} - Q_{PW}) + (q_{nPW} - Q_{nPW})}{\text{Log}[1 - \theta_S]} \right] \frac{1}{T} + P_S [n_P(Q_{PW} - q_{PW}) + (Q_{nPW} - q_{nPW})] \frac{1}{T} \quad (33)$$

Finalmente, el costo total del modelo integrado de inventario se puede expresar como la suma del costo del detallista, productor y proveedor, así:

$$TC = TC_B + TC_{PW} + TC_P + TC_S \quad (34)$$

### **12.6 Definición de parámetros para la cadena citrícola estudiada**

Las encuestas realizadas a los diferentes eslabones, así como la información histórica de algunos de los actores, permitieron determinar cada una de los parámetros requeridos por el modelo seleccionado. Respecto a las características y consideraciones del modelo, en el capítulo de *análisis de demanda*, se demostró que la demanda es perpetua y constante, por lo tanto, se realiza el pronóstico y se considera determinística la tasa de demanda del período de planeación. De igual forma, la tasa de producción (Entrada de limón virgen y salida de limón selecto en mallas de 1 Kg) es mayor que la tasa de demanda, según los datos recopilados del productor y la determinación de capacidad productiva del proceso. En la tabla 21 se sintetiza los parámetros requeridos, el método usado para calcularlos, el valor que asume cada parámetro y las unidades del mismo.

**Tabla 21.**  
Parámetros empleados en la ejecución del modelo.

TABLA DE PARÁMETROS EMPLEADOS EN LA EJECUCIÓN DEL MODELO			
DETALLISTA - SUPERMERCADO			
Parámetro	Método de cálculo	Valor	Unidades
D	Pronóstico de series de tiempo para demanda constante	3.718	Unid/mes
A	Plan de celular, papelería de las ordenes	1.067	\$/Orden
FB	Costo de cargue y descargue por cotero para un camión	30.000	\$/recepción
HB	Costo de arrendamiento de la bodega, área ocupada por los cítricos, rotación del inventario	1.043	\$/Unid*mes
PB	Ventas a menos del costo, estaría dispuesto a dejar de percibir 65% en relación al precio de venta. En otras palabras, lo vendería a 35% del precio original, por lo tanto el costo sería lo que deja de percibir (1-35%)	1.842	\$/unidad
THB	Porcentaje de limones dañados por deterioro	0,08	
PRODUCTOR - INTERMEDIARIO			
P	Capacidad de seleccionar limón de buena calidad y empacarlo en mallas de 1kg, con un tiempo disponible de 480 minutos por jornada, durante 28 días al mes	6.240	Mallas de 1kg/mes
SP	Empleando la capacidad de producción, calculamos cuantos jornales son requeridos para satisfacer la demanda durante el horizonte de planeación (1 mes) y multiplicamos por el valor del jornal (\$25.000/jornal)	464.232	\$/preparación de la orden
FP	Valor del transporte hasta el detallista más el costo de cargue	170.000	\$/entrega
HP	Se prorratea el costo de arrendo de la bodega entre el área del PT y la de MP. En cada parte de la bodega se puede almacenar 1/10 de la capacidad de producción.	240,4	\$/Kg*mes
Pp	En este caso, se podría vender hasta en 70% del precio original, por lo tanto, lo que dejaría de percibir si se deteriora el producto es el 30% del precio de venta	850	\$/Kg
ThP	Porcentaje de limones dañados por deterioro	0,10	-
Fpw	Costo de cargue y descargue por cotero para un camión	30.000	\$/recepción
Hpw	Se prorratea el costo de arrendo de la bodega entre el área del PT y las MP. En cada parte de la bodega se puede almacenar 1/10 de la capacidad de producción.	240	\$/Kg*mes
Ppw	Lo que deja de percibir si lo vendiera sin empacar pero a precio del mercado CABAZA. Precio de venta a granel: 150.000, Costo: 120.000, Utilidad a granel: 30.000, Costo de deterioro/kg: 30.000/60	500	\$/kg
Thpw	Porcentaje de limones dañados por deterioro	0,10	-
PROVEEDOR - CAMPESINO			
Hs	Cálculo de los costos de mantenimiento mensuales de una hectárea, producción estimada de cada árbol/mes,	520	\$/Kg*mes
Ps	Probabilidad de que un árbol sembrado no se desarrolle de manera correcta multiplicada por el costo del árbol	100	\$/unidad
S	En la encuesta se brinda la estimación del costo anual de la recepción, dado que S es por el horizonte de planeación, se divide en 12	250.000	\$/pedido
Fs	Costo de recolección y flete de 20000 por el transporte desde el proveedor hasta el almacén del productor o intermediario	40.833	\$/entrega (recolección)
ThS	Porcentaje de limones dañados por deterioro	0,15	-

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

## 13. Resultados

### 13.1 Cantidades de entrega entre eslabones

El modelo matemático planteado fue resuelto en el Software Matlab utilizando los parámetros definidos en la tabla 21. Los resultados obtenidos fueron presentados en una matriz, posteriormente se procesaron los datos de la matriz obtenida en Microsoft Excel con el propósito de expresar claramente los resultados.

**Tabla 22.**

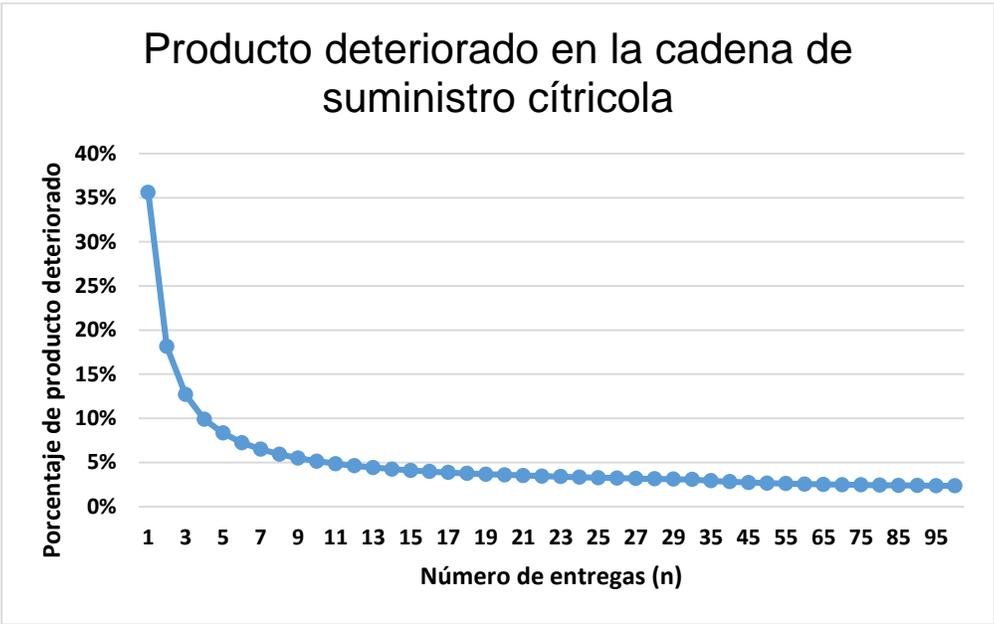
Cantidades entregadas por los eslabones y porcentaje de producto deteriorado en la cadena para diferentes frecuencias de entregas

$n$	$n_p$	$q_B$	$Q_B$	$q_P$	$q_{PW}$	$Q_{PW}$	$q_{nPW}$	$Q_{nPW}$	$Q_S$	Porcentaje deteriorado
1	-	3.871	3.871	5.938	6.563	7.721	4.286	5.042	5.042	36%
2	1	1.897	3.793	3.043	3.199	3.470	851	923	4.393	18%
3	1	1.256	3.768	2.046	2.115	2.233	1.854	1.958	4.190	13%
4	2	939	3.755	1.541	1.580	1.645	764	795	4.086	10%
5	3	750	3.748	1.236	1.261	1.302	118	122	4.028	8%
6	3	624	3.743	1.031	1.049	1.078	735	755	3.987	7%
7	4	534	3.739	885	898	919	277	284	3.959	6%
8	4	467	3.737	775	785	801	720	735	3.939	6%
9	5	415	3.735	690	697	710	366	373	3.922	5%
10	6	373	3.733	621	627	637	84	85	3.910	5%
15	9	249	3.728	415	417	422	73	73	3.871	4%
20	12	186	3.725	311	313	315	67	68	3.852	4%
25	15	149	3.724	249	250	252	64	64	3.840	3%
30	18	124	3.723	208	208	209	61	62	3.832	3%
35	21	106	3.722	178	179	179	60	60	3.827	3%
40	24	93	3.722	156	156	157	59	59	3.823	3%
45	27	83	3.721	139	139	139	58	58	3.820	3%
50	30	74	3.721	125	125	125	57	57	3.817	3%
55	33	68	3.721	113	114	114	56	56	3.815	3%
60	36	62	3.720	104	104	104	56	56	3.813	3%
65	39	57	3.720	96	96	96	55	56	3.812	3%
70	42	53	3.720	89	89	89	55	55	3.811	2%
75	45	50	3.720	83	83	83	55	55	3.809	2%
80	48	47	3.720	78	78	78	54	55	3.808	2%
85	51	44	3.720	73	73	74	54	54	3.808	2%
90	54	41	3.720	69	69	70	54	54	3.807	2%
100	60	37	3.719	62	62	63	54	54	3.806	2%

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

En la tabla resumen 22 se muestran las cantidades de entrega que debe realizar cada eslabón a lo largo de la cadena. Puede observarse claramente que al aumentar el número de entregas la cantidad de producto que se deteriora a lo largo de la cadena es menor.

Al aumentar la frecuencia de entrega en el período de tiempo de planeación T, existirá cada vez un intervalo de tiempo menor entre entregas, por tanto, la tasa de deterioro tiene consecuencias bajas por el poco tiempo que permanece el producto antes de llegar al consumidor.



**Figura 10. Porcentaje de producto deteriorado para diferente número de entregas.**

Fuente: Elaboración propia

La figura 10 permite observar el comportamiento de la cantidad de producto deteriorado frente a diferentes números de entregas realizadas en un mes. El porcentaje de producto deteriorado en la cadena cítrica estudiada es de 36% si se realiza una sola entrega durante todo el mes, cuando se realizan más de 40 entregas en el período de planeación T, es decir, en el caso hipotético de realizar más de una entrega por día, la cantidad de producto que pierde sus propiedades organolépticas (producto deteriorado) tiende a cero.

Al analizar los resultados podría considerarse aumentar la frecuencia de entrega con el propósito principal de evitar la pérdida de limones, sin embargo, el costo de realizar entregas en la cadena estudiada es muy alto en relación con el costo de

deterioro, por este motivo se considera económicamente inviable realizar más de una entrega por día.

### 13.2 Costos óptimos independientes y costo óptimo de la cadena integrada

En la tabla 23 es posible determinar el costo global más bajo o costo total óptimo de la cadena de abastecimiento cítrica estudiada, también se logra establecer cuál es el costo óptimo para cada eslabón independiente y las condiciones de entrega para cada situación específica. El costo total más bajo es \$3.348.671/mes para la cadena, éste se logra cuando el número de entregas en el período de planeación (un mes) es igual a cinco.

**Tabla 23.**  
Costos locales y globales para varias frecuencias de entrega

COSTOS LOCALES Y GLOBALES PARA VARIAS FRECUENCIAS DE ENTREGA						
$n$	$n_p$	$TC_B$	$TC_{PT}$	$TC_S$	$TC$	Eslabón óptimo
1	-	2.306.065	1.963.052	2.786.242	7.055.360	
2	1	1.183.350	1.670.288	1.463.076	4.316.714	
3	1	835.919	1.667.256	1.060.752	3.563.928	Productor
4	2	678.461	1.762.967	909.316	3.350.745	
5	3	596.387	1.913.827	838.457	3.348.671	Cadena integrada
6	3	551.836	2.041.926	764.876	3.358.638	
7	4	528.667	2.215.046	754.004	3.497.717	
8	4	518.834	2.366.803	715.464	3.601.102	Proveedor
9	5	517.880	2.548.807	726.535	3.793.222	Detallista
10	6	523.133	2.737.387	743.875	4.004.395	
15	9	598.979	3.638.704	796.060	5.033.743	
20	12	711.952	4.559.661	883.584	6.155.197	
25	15	839.751	5.487.830	985.395	7.312.977	
30	18	974.957	6.420.167	1.094.037	8.489.161	
35	21	1.114.393	7.354.813	1.206.770	9.675.976	
40	24	1.256.472	8.291.084	1.321.516	10.869.072	
45	27	1.400.313	9.226.866	1.438.538	12.065.717	
50	30	1.545.385	10.164.858	1.557.013	13.267.256	
55	33	1.691.355	11.102.698	1.674.827	14.468.880	
60	36	1.837.996	12.040.709	1.794.589	15.673.294	
65	39	1.985.154	12.978.614	1.914.680	16.878.448	
70	42	2.132.718	13.919.418	2.033.979	18.086.116	
75	45	2.280.607	14.857.212	2.155.456	19.293.276	
80	48	2.428.760	15.795.851	2.276.537	20.501.149	
85	51	2.577.131	16.735.949	2.398.938	21.712.019	
90	54	2.725.683	17.674.557	2.519.294	22.919.533	
100	60	3.023.220	19.555.016	2.760.928	25.339.165	

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Analizando los costos óptimos independientes, desde la perspectiva del proveedor se tiene que las entregas a realizar durante el tiempo T son ocho, de esta forma el costo total de la cadena sería \$3.601.102/mes, sin embargo, el costo local del proveedor es el más bajo de todos los escenarios. Desde la perspectiva del productor, sólo se debería realizar tres entregas, generando un mayor costo total en la cadena en relación al óptimo global, en este escenario el costo total de la cadena es \$3.563.928/mes. La causa para que el número de entregas óptimo del productor sea tan bajo es que el costo de entregar por cada ocasión es elevado ya que se debe transportar el producto hasta la bodega del cliente (detallista), ubicada en la ciudad de Cali. El costo de realizar cada entrega es \$170.000, motivo por el cual es más benéfico para el productor almacenar materia prima y producto terminado asumiendo los costos de mantenimiento y deterioro, generando efectos en el incremento de los costos de los demás eslabones. Finalmente, desde el enfoque del detallista, las entregas deben realizarse cada 3 días, en otras palabras, para lograr el costo óptimo del eslabón detallista se deben realizar 9 entregas en el período de planeación de un mes, en este caso, el costo total de la cadena sería \$3.793.222/mes.

### **13.3 Política de control de inventarios de los eslabones en la cadena de suministros de limón**

Tomando los resultados presentados en la sección 13.1, y considerando el horizonte de planeación definido (un mes) es posible formular la política de control de inventarios para cada eslabón perteneciente a la cadena de suministro, dando respuesta a las tres preguntas fundamentales: Frecuencia de revisión, cuando debe realizarse una orden y que cantidad debe ordenarse en cada requisición.

**13.3.1 Política de gestión de inventarios para el Detallista:** Revisar el nivel de inventario continuamente; cuando el nivel del inventario en bodega llegue a cero, ordenar una cantidad igual a 750 unidades de limón selecto en malla de 1 kilogramo.

**13.3.2 Política de gestión de inventarios para el Productor:** Revisar el nivel de inventario continuamente; cuando el nivel de inventario de limón virgen en la bodega de materia prima llegue a cero, ordenar una cantidad igual a 1261 Kilogramos de limón virgen.

**13.3.3 Política de gestión de inventarios para el Proveedor:** Revisar el nivel de inventario continuamente; cuando el nivel de inventario de limón virgen en bodega llegue a cero, cosechar una cantidad igual a 1302 Kilogramos de limón virgen durante las primeras 3 entregas, en la última entrega cosechar sólo 122 kilogramos de limón virgen para enviar al productor.

### 13.4 Costeo de la cadena de abastecimiento actual

Con el fin de determinar los costos de la cadena de suministro cítrica actual, se definen las entregas realizadas en un período de planeación con la información brindada por los eslabones a través de las encuestas realizadas, el cronograma de entregas se puede observar en la tabla 24. Excluyendo los días domingo, se realizan 14 entregas durante un mes, este será el insumo utilizado para la determinación del costo de la cadena actual.

**Tabla 24.**

Cronograma de entregas actual: Período de planeación de un mes

CRONOGRAMA DE ENTREGAS ACTUAL						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Lunes	Martes	Miércoles				

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Teniendo el número de entregas actual, se procede a calcular el coste de cada componente del costo total relevante con el propósito de costear la cadena de suministro en las condiciones actuales, como se presenta en la tabla 25. Posteriormente, se realiza la comparación con los resultados de los costos obtenidos con el modelo planteado.

**Tabla 25.**

Costos de la cadena de suministro cítrica actual

Detallista		
Costo de recepción descargue/mes	420.000	\$/mes
Costo de ordenar/mes	1.043	\$/mes
Costo de Mantenimiento	93.889	\$/mes
<b>Costo mensual buyer</b>	<b>514.932</b>	

Productor		
Entregas	2.380.000	\$/mes
Preparación	464.232	\$/preparación de la orden al mes
Costo de Mantenimiento	100.000	\$/mes
<b>Costo mensual productor</b>	<b>2.944.232</b>	

Almacén del productor		
Recepción de MP	420.000	\$/mes
Costo de Mantenimiento MP	100.000	\$/mes
<b>Costo mensual Almacenamiento producto</b>	<b>520.000</b>	

Proveedor		
Entrega	40.833	\$/mes
Mantenimiento	883.333	\$/mes
Recepción de insumos	250.000	\$/mes
<b>Costo mensual proveedor</b>	<b>1.174.167</b>	

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el costo óptimo del sistema de control de inventarios con el modelo formulado, y después de definir cada uno de los costos operacionales relacionados al manejo de inventarios de la cadena de abastecimiento en las condiciones actuales, es posible realizar un comparativo entre ambos escenarios, estos resultados se presentan en la tabla 26.

El costo total mensual relacionado a la gestión de inventarios en la cadena de abastecimiento actual es de \$5.153.331, mientras en el modelo propuesto el costo óptimo es de \$3.348.671/mes. Una reducción del 35% es alcanzada con las especificaciones de las políticas planteadas por el modelo matemático desarrollado.

**Tabla 26.**

Comparación del costo actual y el costo óptimo obtenido con el modelo

COSTO TOTAL MENSUAL DE LA CADENA ACTUAL	5.153.331
COSTO TOTAL MENSUAL DE LA CADENA PROPUESTA	3.348.671
<b>MEJORA</b>	<b>35%</b>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar la validación que se realiza con el modelo respecto a la dominancia que tiene el eslabón detallista sobre los demás. En la actualidad, la frecuencia de entregas es definida por él, los demás eslabones deben adaptarse a las órdenes realizadas por éste eslabón, sin emitir juicio alguno. El modelo sugiere, desde el punto de vista del detallista, aumentar la frecuencia de recepciones alcanzando nueve entregas por mes, la mayor frecuencia sugerida en el análisis de óptimos locales. La elevada frecuencia sugerida por el modelo para el eslabón detallista, valida el funcionamiento actual de la cadena, donde se realiza un gran número de entregas según lo requiera el detallista.

## 13.5 Análisis de sensibilidad

### 13.5.1 Variación en tasas de deterioro

Como se mencionó con anterioridad, la recolección de información primaria permitió evidenciar la deficiencia en el manejo del limón en la etapa de poscosecha en la cadena de abastecimiento citrícola de pequeños productores. Un aspecto clave es la ausencia de cadena de frío en los tres eslabones, la falta de ambientes controlados para la cadena de suministros del limón es un factor relevante que debe ser abordado ya que afecta el comportamiento de la tasa de deterioro de los diferentes eslabones presentados en el modelo. Tomando como referencia la información brindada por el ministerio de agricultura (MINAGRICULTURA, 2017), un limón en condiciones no controladas puede conservar sus propiedades hasta 5 días. Sin embargo, según la información presentada en la sección de “Deterioro de productos cítricos”, organizaciones especializadas afirman que, al controlar las condiciones de temperatura, humedad relativa, entre otras, la vida útil del limón se extiende de 2 a 6 semanas. Por esta razón, se decide realizar variaciones en los parámetros de deterioro de cada uno de los eslabones. Los costos independientes de cada eslabón y el costo total de la cadena de abastecimiento óptimo para cada escenario planteado se presentan en la tabla 27.

**Tabla 27.**

Costos de la cadena para diferentes tasas de deterioro

Reducción tasa de deterioro	$\theta_S$	$\theta_P$	$\theta_{PW}$	$\theta_B$	$n$	$np$	$TC_B$	$TC_{PT}$	$TC_S$	TC	Reducción del TC
N/A	0,1500	0,1000	0,1000	0,0800	5	3	\$596.387	\$1.913.827	\$838.457	\$3.348.671	N/A
50%	0,0750	0,0500	0,0500	0,0400	4	2	\$642.245	\$1.694.117	\$881.465	\$3.217.827	-3,91%
30%	0,0450	0,0300	0,0300	0,0240	4	2	\$624.226	\$1.660.028	\$868.210	\$3.152.464	-5,86%
20%	0,0300	0,0200	0,0200	0,0160	4	2	\$620.629	\$1.653.463	\$865.680	\$3.139.772	-6,24%

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de sensibilidad, se tomaron los valores de las tasas de deterioro reales utilizados para el caso estándar de la cadena de abastecimiento citrícola, seguido a ello, se redujeron dichos valores a 50%, 25% y 20% de la tasa de deterioro real.

El resultado de mayor relevancia tras la realización de las variaciones en las tasas de deterioro de los diferentes eslabones es que la reducción del costo total de la cadena es baja en relación con las tasas de deterioro analizadas. En el último escenario estudiado, las tasas empleadas en el modelo son el 20% de las tasas reales, es decir, una reducción del 80% del valor real; no obstante, la reducción del costo total en la cadena de suministro es de sólo 6.24%. Este resultado refleja la gran importancia que representan los costos de entrega y mantenimiento en la

cadena estudiada, pues, aunque la cantidad de producto deteriorado se redujo significativamente, el costo total relevante de la cadena sufrió una variación mínima.

### 13.5.2 Variación de costos

Un escenario interesante que debe ser planteado considera el establecimiento de vínculos comerciales con un detallista de la zona centro del Valle del Cauca, esto reduciría considerablemente el costo de entrega del productor ya que no debe transportarse el producto a lo largo de grandes distancias como se realiza actualmente (existiría una menor cantidad de peajes, menor tiempo del conductor, menor consumo de combustible, etc. En conclusión, el costo de entrega del productor se vería reducido). Adicionalmente, es importante considerar la variación de los demás costos ya que al realizar el análisis de la información recolectada los resultados no ofrecen claridad. Alrededor de la mitad de la población considera que los costos son muy variables mes a mes, mientras la otra mitad considera que no lo son. Por esta razón se aumentan los costos de mantenimiento de los inventarios y el costo de entrega del productor es reducido, como se mencionó con anterioridad. Los resultados pueden observarse en la tabla 28, donde se presentan las variaciones de los parámetros de costo, el número de entregas óptimo y el costo total en cada escenario planteado.

**Tabla 28.**

Costo Total de la cadena y número de entregas variando los costos

Escenario	Reducción	$F_P$	Incremento	$H_B$	Incremento	$H_{PW}$	Incremento	$H_P$	Incremento	$H_S$	$n$	$n_P$	TC
Real	0%	170000	0%	1044	0%	240	0%	240	0%	520	5	3	3.348.671
1	-30%	119000	30%	1357	30%	312	30%	312	30%	676	6	3	3.351.703
2	-40%	102000	40%	1462	40%	336	40%	336	40%	728	6	3	3.349.516
3	-50%	85000	50%	1566	50%	360	50%	360	50%	780	8	4	3.181.509
4	-60%	68000	60%	1670	60%	384	60%	384	60%	832	8	4	3.260.931
5	-70%	51000	70%	1775	70%	408	70%	408	70%	884	8	4	3.204.119

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Al realizar una reducción gradual del costo de entrega del productor, considerando la apertura de nuevos vínculos comerciales con detallistas ubicados más cerca geográficamente, y al aumentar los costos de mantenimiento del inventario en cada eslabón puede evidenciarse que varía el número de entregas a realizar durante el período de planeación T de un mes. Para el escenario en que el costo de transporte se reduce a la mitad y los demás costos incrementan en proporción semejante, es posible analizar que, si bien la cantidad de entregas a realizar en el mes son 8, la variación del costo total de la gestión de inventarios en la cadena de abastecimiento es mínima. Sin embargo, si se lograra establecer un vínculo comercial con detallistas más cercanos y los costos no aumentaran de forma abrupta, la reducción del coste del sistema de gestión de inventarios en la cadena se vería reducido en un 15% del costo óptimo arrojado por el modelo en condiciones actuales.

## 14. Conclusiones

Una eficiente gestión de la cadena de suministro trae consigo la optimización de la misma en términos globales. Ya que las cadenas de suministro funcionan bajo diferentes condiciones debido a su naturaleza, se hace necesario la implementación de un sistema de control de inventario adecuado que tenga como principio fundamental la integración de cada uno de sus eslabones, de manera que se maximice el valor total generado por la misma. Una cadena de suministro integrada debe buscar que sus miembros compartan información en tiempo real con el objetivo de generar una sinergia tal, que se logre el mayor rendimiento posible.

A través del análisis llevado a cabo mediante la matriz PESAGE y la macrocaracterización de la cadena se pudo evidenciar la necesidad de una estrategia de integración de la cadena de suministro cítrica para lograr obtener los beneficios que presenta el plan nacional de desarrollo (materializados mediante los programas de Finagro), en cuanto a la prestación de servicios de apoyo para la conformación o fortalecimiento de asociaciones agrícolas en la región. Además, la forma en que operan las relaciones entre los eslabones de la cadena permitió identificar las diferentes estrategias para lograr mejores resultados en la gestión de esta. Adicionalmente se identificaron las variables determinantes en la operación que permitieron hacer supuestos válidos en la formulación del modelo propuesto en esta investigación.

Se validó la pertinencia de la cadena de abastecimiento de tres niveles propuesta en este trabajo, planteada como proveedor, productor y detallista. Se obtuvieron datos de costos relacionados a la gestión de los inventarios en cada eslabón, que se convirtieron en insumo importante para el estudio propuesto. Se logró identificar la estructura organizacional en el ámbito nacional de la cadena, que permitió visualizar adicionalmente el potencial éxito y la pertinencia que puede tener una propuesta de un modelo que presuponga la integración como modelo de organización de los pequeños productores.

Finalmente, se evidencia las grandes fluctuaciones que existen en el precio de los cítricos y los altos costos de aprovisionamiento de la cadena objeto de estudio. En épocas de excesiva oferta, donde la caída del precio es significativa, se observa la necesidad de minimizar los costos logísticos a lo largo de la cadena a través de un modelo con enfoque de integración.

Esta investigación ha demostrado que la cadena de suministro óptima funciona desde un enfoque de integración y no desde un punto de vista en particular. El modelo matemático utilizado permitió determinar la cantidad óptima de pedido, el momento de ordenar y la frecuencia de revisión del inventario de la cadena cítrica caso de estudio en la zona rural de Tuluá - Andalucía, Valle del Cauca, Colombia.

La integración de la cadena de suministro mediante el intercambio de información, como lo plantea el arquetipo de cadena de suministro sincronizada donde se comparte información de la demanda y el nivel de inventario, posibilita un adecuado funcionamiento del desempeño global de la cadena, permitiendo que el productor adapte su producción a la información que le suministra el siguiente eslabón de la cadena de suministro, reduciendo así sus costos logísticos.

Con el fin de validar y probar el modelo matemático con los datos recopilados de la cadena de abastecimiento objeto de estudio y determinar la cantidad óptima de pedido, el momento de ordenar y la frecuencia de revisión del inventario, se determinó el costo total de la cadena actual por mes (teniendo en cuenta que para la cadena estudiada una hectárea es suficiente para satisfacer la demanda), como la suma del costo en el que incurre cada eslabón desde un enfoque individualista. Para eso, se tuvo en cuenta el cronograma de entregas usado en la actualidad, los costos de recepción, entrega, mantenimiento, carga, descarga y de la orden. Esta información fue obtenida mediante el análisis de los diferentes factores obtenidos a través de la matriz FOCAT y la matriz de hallazgos en la microcaracterización de la cadena objeto de estudio. El costo total actual fue comparado con el costo óptimo obtenido mediante el modelo matemático y se encontró que bajo un enfoque de integración el costo total de la gestión de inventarios en la cadena citrícola estudiada se reduce en 35%.

Se realizaron variaciones en las tasas de deterioro reales utilizadas para el caso estándar de la cadena de abastecimiento citrícola, reduciendo dichos valores significativamente en relación con las tasas actuales, considerando la información brindada por la FAO y el GRUPO PM. Se encontró que la reducción del costo total de la cadena es baja en relación con las tasas de deterioro analizadas. En el último escenario estudiado, las tasas empleadas en el modelo son el 20% de las tasas reales, es decir, una reducción del 80% del valor real; no obstante, la reducción del costo total en la cadena de suministro es de sólo 6.24%. Este resultado refleja la gran importancia que representan los costos de entrega y mantenimiento en la cadena estudiada, pues, aunque la cantidad de producto deteriorado se redujo significativamente, el costo total relevante de la cadena sufrió una variación mínima.

Este trabajo puede servir de base para posibles investigaciones futuras que consideren algunas condiciones adicionales en que opera actualmente la cadena citrícola, se considera pertinente estudiar el modelo en una cadena integrada de tres niveles, pero aumentando la base de proveedores, considerar un número de proveedores mayor a 1. Además, el modelo no contempla la capacidad de los camiones que transportan el limón y por tanto se recomienda plantear la restricción de capacidad para asemejar el modelo aún más a la realidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahumada, O. & Villalobos, J. (2009). Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. *European Journal Of Operational Research*, 196(1), 1-20.
- Bakker, Monique, Riezebos, Jan, Teunter, Ruud H., 2012. *Review of inventory systems with deterioration since 2001*. Eur. J. Oper. Res. 221 (September (2)), p. 275–284.
- Ballou, R., 2004. Logística: administración de la cadena de suministro 5{487} ed. ed., México: Pearson Educación.
- Bowersox, D., Closs, D., & Cooper, M. (2007). Administración y logística en la cadena de suministros (1st ed., pp. 27-30). México: McGraw-Hill.
- Cannella S, Ciancimino E, & Disney S. (2010). Los cuatro arquetipos de cadenas de suministro. *Universia Business Review*, p. 1698-5117.
- Carmona, M (1999). La cadena como estrategia de competitividad en la industria del vestido. Los casos de Monterrey (México) y de Medellín (Colombia) (México: El Colegio de la Frontera Norte), Tesis inédita de doctorado en Ciencias Sociales.
- Chopra, S., Meindl, P., Fernandez Molina, A., & Carril Villarreal, M. (2008). Administración de la cadena de suministro (1st ed., pp. 3-58). Mexico: Pearson Education.
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2014). Optimal joint replenishment, delivery and inventory management policies for perishable products. *Computers and Operations Research*, 47, 42–52.
- Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños, (2016). Plan de acción de la CELAC. (pp. 1-5). Quito, Ecuador.
- DANE. (2016). Comunicado de prensa censada.
- Departamento Nacional de Planeación, (2015). Plan Nacional de Desarrollo 2014 - 2018. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Fletes Ocón, Héctor B. (2000) Coordinación territorial en las cadenas de producción de la agroindustria de mango en dos regiones de Colima: 1990-1999. Tesis de Maestría de Desarrollo Regional de El Colegio de la Frontera Norte, San Antonio del Mar, Baja California.

- Haijema, R. (2013). A new class of stock-level dependent ordering policies for perishables with a short maximum shelf life. *International Journal Of Production Economics*, 143(2), 434-439.
- Hambre y seguridad alimentaria - Desarrollo Sostenible. (2017). Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
- Harris, F.W. (1914). How many parts to make at once. *Factory, The Magazine of Management Science*, 135–136.
- Jia, J. and Hu, Q. (2011). Dynamic ordering and pricing for a perishable goods supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 60(2), pp.302-309.
- Kader, A. (2013). Postharvest Technology of Horticultural Crops - An Overview from Farm to Fork. *Ethiopian Journal Of Science And Technology*, (1), 1-8.
- Kai Wang, 2013. The research of inventory management modes based on supply chain management. *International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2012) Proceedings*, 2013, pp. 1319–1329.
- La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, (2009). Paso a paso se construyen grandes historias. Quito, Ecuador.
- Lambert, D. & Stock, J. (1993). *Strategic logistics management* (1st Ed.). Homewood, IL: Irwin.
- Lowe, T. and Preckel, P. (2004). Decision Technologies for Agribusiness Problems: A Brief Review of Selected Literature and a Call for Research. *Manufacturing & Service Operations Management*, 6(3), pp.201-208.
- Ministerio de Agricultura, (2017). Cítricos (pp. 1-17). Tuluá.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, (2017). Plan de acción. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Agricultura. (2018). Portafolio de servicios 2018. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de salud, (2008). Declaración del Encuentro Nacional: Crisis Alimentaria en Colombia, Acciones Sociales para la Defensa de la Soberanía y Autonomía Alimentaria.
- Ministerio de Agricultura. (2018). FINAGRO: Portafolio de servicios 2018. Bogotá.

- Montoya Restrepo, L. A., Martínez Vianchá, L., & Peralta Ballesteros, J. (2005). Análisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. *Innovar*, p 1–17.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2014). Plan para la seguridad alimentaria, nutrición y erradicación del hambre de la CELAC 2025 (pp. 1-17). Santiago, Chile: FAO.
- Orjuela, J. & Herrera, M. (2014). Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas: un enfoque desde la dinámica de sistemas. *Ingeniería*, 19(2).
- Peña, D., et al. (2017). *Macrocaracterización de la Cadena de Abastecimiento. Recopilación Teórica*. Manuscrito no publicado.
- Procolombia, (2014). Logística de perecederos y cadena de frío en Colombia. *Procolombia*, 5, 1-112.
- Raafat, Fred, 1991. Survey of literature on continuously deteriorating inventory models. *Journal of the Operational Research Society*. 42 (January (1)), 27–37.
- Ramadhan, A. & Simatupang, T. (2012). Determining Inventory Management Policy for Perishable Materials in Roemah Keboen Restaurant. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 65, 992-999.
- Rau, H., Wu, M. Y., & Wee, H. M. (2003). Integrated inventory model for deteriorating items under a multi-echelon supply chain environment. *International Journal of Production Economics*, 86(2), 155–168.
- Salcedo, O., & Guzman, L. (2014). AGRICULTURA FAMILIAR EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: Recomendaciones de Política.
- Salin, V. (1998). Information technology in agri-food supply chains. *International Food and Agribusiness Management Review*, vol. 1, n.º 3, pp. 329-334.
- Seuring, S. & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal Of Cleaner Production*, 16(15), 1699-1710.
- Shukla, M. & Jharkharia, S. (2013). Agri-fresh produce supply chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal Of Operations & Production Management*, 33(2), 114-158.
- Silver, Edward A., 1981. Operations research in inventory management: a review and critique. *Operations Research*, 24 (August (4)), 628–645

United Nations, (2014). The Road to Dignity by 2030 (pp. 3-32). New York, Estados Unidos.

Universidad Nacional De Colombia. (s.f.). Estudio Estado Actual de Cadena de Frío en Colombia. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Viancha, Z. (2016). Modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos, 32(1), 1–8.

Vidal Holguín, C. (2010). Fundamentos de control y gestión de inventarios (1st ed.). Santiago de Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.

Wang, K. J., Lin, Y. S., & Yu, J. C. P. (2011). Optimizing inventory policy for products with time-sensitive deteriorating rates in a multi-echelon supply chain. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 66–76.

## ANEXOS

### ENCUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO FRUTÍCOLA EN EL CENTRO DEL VALLE

CIUDAD:

1. ¿Qué factores tiene en cuenta para la localización del cultivo y qué importancia le da de 1 a 5? (valore de 1 a 5 cada factor, siendo 1 lo menos importante y 5 lo más importante)

Factor	Valoración				
	1	2	3	4	5
Clima					
Demanda					
Facilidad para el uso de tierras					

Otro, ¿Cuál?	1	2	3	4	5

2. ¿Cuáles son los costos de operación que considera en la parte de cultivo, cosecha y poscosecha?

Costos de operación	Marque con una X	Costo
Materias primas		
Siembra		
Sistemas de riego		
Tratamiento y cuidado		
Recolección		
Mano de Obra		
Transporte		
Otro, ¿cuál?		

3. ¿Actualmente existe un control de los costos de producción y operación?

<b>Marque con una X</b>	Si	
	No	

4. ¿Qué insumos y/o recursos maneja?

#	Insumo
1	
2	
3	
4	

#	Insumo
5	
6	
7	
8	

5. ¿Qué fruta o grupo de frutas produce?

#	Fruta
1	
2	
3	
4	
5	

#	Fruta
6	
7	
8	
9	
10	

6. ¿Cuánto tiempo tarda en producir cada fruta, desde el momento en que realiza la siembra hasta la cosecha del producto?

#	Tiempo	Unidad
1		
2		
3		
4		
5		

#	Tiempo	Unidad
6		
7		
8		
9		
10		

7. ¿Cuál es la demanda o ventas promedio de cada producto en kilogramos?

#	Demanda	Unidad de tiempo
1		
2		
3		
4		
5		

#	Demanda	Unidad de tiempo
6		
7		
8		
9		
10		

8. ¿Cuál es el precio promedio en el que vende el producto a sus clientes? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Precio promedio
1	
2	
3	
4	
5	

#	Precio promedio
6	
7	
8	
9	
10	

9. ¿Cuánto tiempo en promedio dura cada producto antes de dañarse? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Tiempo	Unidad
1		
2		
3		
4		
5		

#	Tiempo	Unidad
6		
7		
8		
9		
10		

10. ¿Qué cantidad de producto se cosecha al mes? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Cantidad	Unidad
1		
2		
3		
4		
5		

#	Cantidad	Unidad
6		
7		
8		
9		
10		

11. ¿Cuál es el tiempo máximo que almacena la fruta antes de pasarla al intermediario? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Tiempo	Unidad
1		
2		
3		
4		
5		

#	Tiempo	Unidad
6		
7		
8		
9		
10		

12. ¿Cuántas horas a la semana (en promedio) dedica a su cultivo? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Tiempo	Unidad
1		
2		
3		
4		
5		

#	Tiempo	Unidad
6		
7		
8		
9		
10		

13. ¿El producto presenta alguna tipo de daño en el transporte?

<b>Marque con una X</b>	Si	
	No	

**Si la respuesta anterior fue "Si", siga con la pregunta 14. De lo contrario pase a la pregunta 15.**

14. ¿Tiene una idea de qué cantidad de producto se pierde en el transporte? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Cantidad	Unidad
1		
2		
3		
4		
5		

#	Cantidad	Unidad
6		
7		
8		
9		
10		

15. ¿Cuál es el costo promedio de producción de cada fruta? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Costo promedio
1	
2	
3	
4	
5	

#	Costo promedio
6	
7	
8	
9	
10	

16. ¿Cuál es el precio de transferencia de cada fruta entre usted y su intermediario? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Precio promedio
1	
2	
3	
4	
5	

#	Precio promedio
6	
7	
8	
9	
10	

**\*\*Si usted paga un precio de transferencia global (por todas las frutas que vende), detállelo a continuación**

17. ¿Cuál es el valor de salvamento de su producto? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Precio promedio
1	
2	
3	
4	
5	

#	Precio promedio
6	
7	
8	
9	
10	

18. ¿Quiénes son sus proveedores? **\*\*Tenga en cuenta la numeración de la pregunta 5**

#	Proveedor
1	
2	
3	
4	
5	

#	Proveedor
6	
7	
8	
9	
10	

19. ¿Quiénes son sus clientes?

#	Cliente
1	
2	
3	
4	
5	

#	Cliente
6	
7	
8	
9	
10	

20. ¿Qué elementos consideran más importante en el ciclo productivo? (valore de 1 a 5 cada factor, siendo 1 lo menos importante y 5 lo más importante)

Factor	Valoración				
	1	2	3	4	5
Tiempo					
Cantidad de producto					
Distancia					
Precio de venta					
Costos					
Demanda					
Oferta					

21. Describa cómo almacena la fruta

---

---

---

---

---

---

22. ¿Qué porcentaje de cosecha pierde en el almacenamiento?

Rango	Marque con una X
Menos del 30%	
Entre 30% y 60%	
Más del 60%	

23. Indique porcentualmente el destino de su producción (la suma total debe dar 100%)

Destino	Porcentaje
Intermediario	
Almacén detallista	
Consumidor final	

24. ¿Usted traslada el producto hasta su cliente?

Marque con una X	Si	
	No	

Si la respuesta anterior fue "Si", siga con la pregunta 25. De lo contrario pase a la pregunta 26.

25. ¿Cuál es el medio de transporte que usa para trasladar sus productos?

Sistema de transporte	Marque con una X
Vehículo propio	
Vehículo contratado	
Trasporte público	

Otro, ¿cuál?	Selección

26. ¿Qué criterios toma en cuenta para cultivar y qué importancia le da de 1 a 5? (valore de 1 a 5 cada factor, siendo 1 lo menos importante y 5 lo más importante)

Factor	Valoración				
	1	2	3	4	5
Clima					
Demanda					
Nivel de inventario					

Otro, ¿Cuál?	1	2	3	4	5

27. ¿Qué criterios se tienen en cuenta para determinar el precio de los productos y qué importancia le da de 1 a 5? (valore de 1 a 5 cada factor, siendo 1 lo menos importante y 5 lo más importante).

Factor	Valoración				
	1	2	3	4	5
Oferta del mercado					
Demanda					
Periodo del año					
Tipo de cliente					

Otro, ¿Cuál?	1	2	3	4	5

28. ¿Qué factores hacen que se produzca las mayores pérdidas económicas en la cosecha y qué importancia le da de 1 a 5? (valore de 1 a 5 cada factor, siendo 1 lo menos importante y 5 lo más importante).

Factor	Valoración				
	1	2	3	4	5
Lluvia					
Mal estado de la tierra					
Materias primas defectuosas					
Errores en el proceso de tratamiento					

Otro, ¿Cuál?	1	2	3	4	5

29. ¿En qué mes o meses del año se obtiene la mayor ganancia?

Mes	Seleccione con una X
Enero	
Febrero	
Marzo	
Abril	
Mayo	
Junio	
Julio	
Agosto	
Septiembre	
Octubre	
Noviembre	
Diciembre	

30. En una escala de 1 a 5 califique las condiciones en las que se encuentran los siguientes componentes del transporte de productos:

Componentes	Valoración				
	1	2	3	4	5
Vehículos					
Vías					

31. ¿A qué medios de información tiene acceso sobre: precios, demanda y compradores?

Medios de información	Seleccione con una X
Prensa	
Reportes del sector	
Datos históricos propios	
Otros productores	

Otro, ¿cuál?	Selección

32. ¿El precio de las materias primas es muy variable mes a mes?

<b>Marque con una X</b>	Si	
	No	

33. Cada vez que realiza una venta, la fijación del precio es realizada por:

<b>Decisión</b>	<b>Seleccione con una X</b>
Usted	
El comprador	
Depende de la competencia pero usted define	
Depende de la competencia pero el comprador define	

34. ¿Cuál es el criterio que más tiene en cuenta para determinar las cantidades de compra por parte de su cliente?

<b>Criterio</b>	<b>Seleccione con una X</b>
Precio de su proveedor	
Cantidad esperada de venta	

35. ¿Cómo determinan la demanda o cantidad de ventas futuras dentro de la cadena de suministro?

<b>Método</b>	<b>Seleccione con una X</b>
De acuerdo al mes anterior	
Sistema de pronósticos	
De acuerdo a su experiencia	

<b>Otro, ¿cuál?</b>	<b>Selección</b>

36. ¿Maneja inventario de productos?

<b>Marque con una X</b>	Si	
	No	

---

**Si la respuesta anterior es "Si", responda la pregunta 37. De lo contrario continúe con la pregunta 38.**

37. ¿Cómo determina el nivel (cantidad) de inventario?

<b>Método</b>	<b>Seleccione con una X</b>
Por la rotación	
Sistema de inventarios	
De acuerdo a su experiencia	

<b>Otro, ¿cuál?</b>	<b>Selección</b>

38. ¿Cuánto paga mensual y/o semanalmente por almacenar sus productos?

<b>Mensual</b>	<b>Semanal</b>

39. ¿Cuánta cantidad de sus productos almacena en promedio mensual y/o semanalmente?

<b>Mensual</b>	<b>Semanal</b>

40. ¿Cuál es el producto más vendido?

41. ¿Cuál es el producto que le genera mayores beneficios?

42. ¿Cuál es el producto que representa mayores pérdidas?

43. Eliminando el intermediario, ¿usted cree que podría obtener mayor rentabilidad?

<b>Marque con una X</b>	Si	<input type="checkbox"/>
	No	<input type="checkbox"/>

44. ¿Considera que integrar los eslabones de su cadena de suministro podría representar mayores beneficios?

<b>Marque con una X</b>	Si	<input type="checkbox"/>
	No	<input type="checkbox"/>

45. ¿Existen recomendaciones o guías voluntarias de trazabilidad del producto?

<b>Marque con una X</b>	Si	<input type="checkbox"/>
	No	<input type="checkbox"/>

46. ¿Tiene usted implantado un sistema de trazabilidad?

<b>Marque con una X</b>	Si	<input type="checkbox"/>
	No	<input type="checkbox"/>

47. ¿Tiene identificados cada uno de los procesos de producción y comercialización de sus productos?

<b>Marque con una X</b>	Si	<input type="checkbox"/>
	No	<input type="checkbox"/>

48. ¿Existen libros de registro o de sistemas APPCC (análisis de peligros y puntos de control)?

<b>Marque con una X</b>	Si	<input type="checkbox"/>
	No	<input type="checkbox"/>

**Si la respuesta es "Si", siga con la pregunta 49. De lo contrario continúe con la pregunta 50.**

49. ¿Con cuáles de los siguientes objetivos de trazabilidad está cumpliendo?

<b>Objetivos</b>	<b>Marque con una X</b>
Control de la calidad	
Inocuidad	
Diferenciación para el mercado	
Mejorar los procesos de producción	
Control sobre la cronología del producto final	
Establecer estrategias de erradicación de posibles riesgos	

50. ¿Actualmente tiene implantada la normatividad ISO 9000:2015?

<b>Marque con una X</b>	Si	
	No	

51. ¿Actualmente tiene implementada la normatividad ISO 22000:2005?

<b>Marque con una X</b>	Si	
	No	

52. ¿Tiene implementada la normatividad BPA (buenas prácticas agrícolas)?

<b>Marque con una X</b>	Si	
	No	

53. ¿Tiene implementada la normatividad FSSC: 2010?

<b>Marque con una X</b>	Si	
	No	

54. En caso de contaminación alimentaria, ¿qué sistema usa para retirar el producto defectuoso o contaminado?

---

---

---

55. ¿Actualmente cuenta con algún sistema que le permita identificar el conjunto de unidades que produce o tiene algún sistema de agrupación?

<b>Marque con una X</b>	Si	
	No	

**Si la respuesta es "Si", siga con la pregunta 56. De lo contrario continúe con la pregunta 57.**

56. ¿Cuáles son los criterios de agrupación que usa?

<b>Método</b>	<b>Seleccione con una X</b>
Por fecha de cosecha	
Por parcela cosechada	
Por tamaño de lote	
Por tipo de producto o línea de producción	

<b>Otro, ¿cuál?</b>	<b>Selección</b>

57. Se dice que un producto tiene demanda constante cuando usted siempre tiene los mismos niveles de demanda para su producto; tiene demanda por épocas cuando usted tiene demanda en ciclos iguales de tiempo y tiene demanda impredecible cuando usted no tiene la certeza de si su producto será vendido y en qué cantidad.

En ese sentido, ¿qué tipo de demanda presentan sus productos?

<b>Demanda</b>	<b>Seleccione con una X</b>
Constante	
Por épocas	
Impredecible	

58. ¿Puede identificar qué aspectos ambientales se encuentran involucrados en su operación? (Marque con una X, si el impacto respectivo es positivo o negativo)

<b>Tipo de impacto</b>	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
Flora y fauna		
Reservas naturales		
Recursos estéticos		
Contaminación visual		
Suelos, geología, topografía		
Recursos hídricos superficiales y subterráneos		
Calidad del agua		
Calidad del aire		
Clima		
Actividad productiva		
Medio de transporte		
Población		

59. ¿Cuál considera que es el mayor impacto ambiental que genera?

<b>Tipo de impacto</b>	<b>Marque con una X</b>
Flora y fauna	
Reservas naturales	
Recursos estéticos	
Contaminación visual	
Suelos, geología, topografía	
Recursos hídricos superficiales y subterráneos	
Calidad del agua	
Calidad del aire	
Clima	
Medio de transporte	
Población	

60. La inversión es el acto mediante el cual se usan ciertos bienes con el ánimo de obtener unos ingresos o rentas a lo largo del tiempo. En otras palabras, se refiere al empleo de un capital en algún tipo de actividad económica o negocio, con el objetivo de incrementarlo.

Por otro lado, la utilidad neta es la resultante después de restar y sumar de la utilidad operacional, los gastos e Ingresos no operacionales respectivamente, los impuestos y la Reserva legal. Es la utilidad que efectivamente se distribuye a los socios.

Una relación directa entre variables implica que una variable depende exclusivamente del comportamiento de la otra; por su parte una relación indirecta implica que una variable depende de otros factores que no son propios de la otra variable. A manera de ejemplo si se tiene X y Y, hay una relación directa cuando X depende del comportamiento exclusivo de Y; hay una relación indirecta cuando X depende de otros factores que no dependen exclusivamente de Y.

**En términos monetarios, ¿cómo es la relación: inversión - utilidad neta?**

Relación	Seleccione con una X
Directa	
Indirecta	

61. ¿Cuál es el periodo de duración de las actividades productivas y cuantos colaboradores necesita?

Horas en el día laborados	
# de días a la semana laborados	
# de empleados en el proceso	

62. ¿De qué depende la contratación de empleados realizar las actividades?

Aspecto	Seleccione

Aspecto	Seleccione

63. Que condiciones de la tierra son necesaria para el cultivo de cítricos y cuál es el área en m2 que dispone para el desarrollo de esta actividad productiva

Condiciones de la tierra

Altitud	Textura del suelo (liviana y media)	PH del suelo (5,5 y 6,5)
Profundidad del suelo	Velocidad de infiltración del suelo	Otro: ¿Cuál?
Otro:		
Otro:		

Área disponible(m2 o Hectárea)

64. ¿Tiene algún sistema de riego? ¿Cuál es el sistema de riego que utiliza y Porque lo utiliza?

Si   
No

SISTEMA DE RIEGO	Selección
Zanja de Riego	
Por aspersion	
Riego por goteo	
Riego subterráneo	
Riego con Manguera	
Otros: ¿Cuál?	

¿Porque usa este tipo de riego? \_\_\_\_\_

65. En cuanto al recurso hídrico (Agua), como acceden a él, cada cuanto y en qué cantidad es utiliza en el sistema de riego:

Acceso al recurso	
Consumo promedio día en mm/ hectárea	
Otra característica:	

--	--

66. ¿Cuál es el destino que se le da a los desperdicios que se generan durante la producción y cosecha?

<b>Recurso</b>	<b>Disposición final</b>
Insumos agrícolas	
Residuos peligrosos	
Fruta en mal estado	
Otro:	

67. ¿Cómo es la medida de las aplicaciones que se realizan y durante qué periodo de producción?

<b>Insumos agrícolas</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad (Kg, lts.)</b>	<b>Aplicado a: (ha, m2, surco)</b>

Anexo 1. Encuesta para la caracterización de la cadena de abastecimiento cítrícola en el centro del valle

```
tic
clear,clc;
syms np
syms z
T=1;
S=250000;
Ps=100;
D=3718;
A=1067;
Fs=40833.333;
Hs=520;
FB=30000;
HB= 1044;
PB= 1842;

%Parametros del productor
P= 6240;
ThS=0.15;
ThPW=0.1;
ThP=0.1;
ThB=0.08;

Sp= 464232;
```

Fp= 170000;

Hp= 240;

Pp=850;

Fpw=30000;

Hpw= 240;

Ppw=500;

for i=1:100

t=1/i;

qB = D/ThB\*(exp(ThB\*t)-1);

QB= i\*qB;

Qnonprod = P/(ThP) + qB\*exp(3\*ThP\*t)/(exp((ThP)\*(t+np\*t+2\*t))\*(exp(ThP\*t) - 1))-qB\*exp(3\*ThP\*t)/(exp(ThP\*(t+2\*t))\*(exp (ThP\*t) - 1))-  
P/((ThP)\*exp((ThP)\*(t\*np+ t)))-(qB\*((1 - (ThP))^(t- i\*t + np\*t-t)-(1-ThP)^(t- t)))/((1 - (ThP))^(t) - 1));

s=solve(Qnonprod==0,np);

s=ceil(s);

Que = P/(ThP) + qB\*exp(3\*ThP\*t)/(exp((ThP)\*(z+s\*t+2\*t))\*(exp(ThP\*t) - 1))-  
(qB\*exp(3\*ThP\*t)/(exp(ThP\*(z+2\*t))\*(exp (ThP\*t) - 1)))-  
P/((ThP)\*exp((ThP)\*(t\*s+ z)))-(qB\*((1 - (ThP))^(z- i\*t + s\*t-t)-(1-ThP)^(z- t)))/((1 - (ThP))^(t) - 1));

t3=solve(Que==0,z);

qP=P/ThP\*(1-(exp(-ThP\*t)));

$$qPW = P / ThPW * (\exp(ThPW * t) - 1);$$

$$QPW = qPW / (1 - ThS)^t;$$

$$qnPW = (P / (ThPW)) * (\exp(ThPW * t3) - 1);$$

$$QnPW = qnPW / (1 - ThS)^t;$$

$$QS = s * QPW + QnPW;$$

$$\begin{aligned} \%TCB2 = & A/T + FB * i/T + (((D * (2 + ThB * T/i)) / (ThB^2 * (2 - ThB * T/i)) - \\ & \dots (D + D * ThB * t) / (ThB^2))) * HB * i/T + (D / ThB * (((2 + ThB * T/i) / (2 - ThB * T/i)) - 1) - \\ & D * T/i) * PB * i/T; \% (5) \end{aligned}$$

$$qB = vpa(qB);$$

$$QB = vpa(QB);$$

$$qP = vpa(qP);$$

$$qPW = vpa(qPW);$$

$$QPW = vpa(QPW);$$

$$qnPW = vpa(qnPW);$$

$$QnPW = vpa(QnPW);$$

$$QS = vpa(QS);$$

$$qB = vpa(\text{round}(qB * 100) / 100);$$

$$QB = vpa(\text{round}(QB * 100) / 100);$$

$$qP = \text{vpa}(\text{round}(qP*100)/100);$$

$$qPW = \text{vpa}(\text{round}(qPW*100)/100);$$

$$QPW = \text{vpa}(\text{round}(QPW*100)/100);$$

$$qnPW = \text{vpa}(\text{round}(qnPW*100)/100);$$

$$QnPW = \text{vpa}(\text{round}(QnPW*100)/100);$$

$$QS = \text{vpa}(\text{round}(QS*100)/100);$$

$$\begin{aligned} TCB = & A/T + FB*i/T + ((D*\exp(\text{Th}B*t))/(\text{Th}B^2)) - \\ & (D+D*\text{Th}B*t)/(\text{Th}B^2))*HB*i/T + (D/\text{Th}B*(\exp(\text{Th}B*t)-1)-D*t)*PB*i/T; \end{aligned}$$

$$TCP = Sp/T + Fp/T*i + ((P*(t*s + t3)-i*qB)/(\text{Th}P))*Hp + (P*(t*s+t3) - i*qB)*Pp/T;$$

$$\begin{aligned} TCPW = & Fpw*(s+1)*1/T + ((P*\exp(\text{Th}PW*t))/(\text{Th}PW)^2 - ((P + P \\ & *(\text{Th}PW)*t)/(\text{Th}PW)^2))*Hpw*s*1/T + ... \end{aligned}$$

$$((P*\exp(\text{Th}PW*t3))/(\text{Th}PW)^2 - ((P + P*(\text{Th}PW)*t3)/(\text{Th}PW)^2))*Hpw*1/T + ...$$

$$(P/\text{Th}PW*(\exp(\text{Th}PW*t) - 1) - P*t)*Ppw*s*1/T + (P/\text{Th}PW*(\exp((\text{Th}PW)*t3) - 1) - P*t3)*Ppw*1/T;$$

$$TCS = S/T + Fs*(s+1)*1/T + Hs*((s*(qPW-QPW) + ...$$

$$(qnPW-QnPW))/\log(1 - (\text{Th}S))*1/T + Ps*(s*(QPW - qPW) + (QnPW-qnPW))*1/T;$$

$$TCPT = TCP + TCPW;$$

$$TC = TCB + TCPT + TCS;$$

$$TCB = \text{vpa}(TCB);$$

```
TCP=vpa(TCP);
```

```
TCPW=vpa(TCPW);
```

```
TCPT=vpa(TCPT);
```

```
TCS=vpa(TCS);
```

```
TC=vpa(TC);
```

```
TCB=vpa(round(TCB*100)/100);
```

```
TCP=vpa(round(TCP*100)/100);
```

```
TCPW=vpa(round(TCPW*100)/100);
```

```
TCS=vpa(round(TCS*100)/100);
```

```
TCPT=vpa(round(TCPT*100)/100);
```

```
TC=vpa(round(TC*100)/100);
```

```
M(i,:) = [i,s,qB,QB,qP,qPW,QPW,qnPW,QnPW,QS,TCB,TCPT,TCS,TC];
```

```
%N(i,:)=[i,s,TCB,TCPT,TCS,TC];
```

```
end
```

```
M
```

```
%N
```

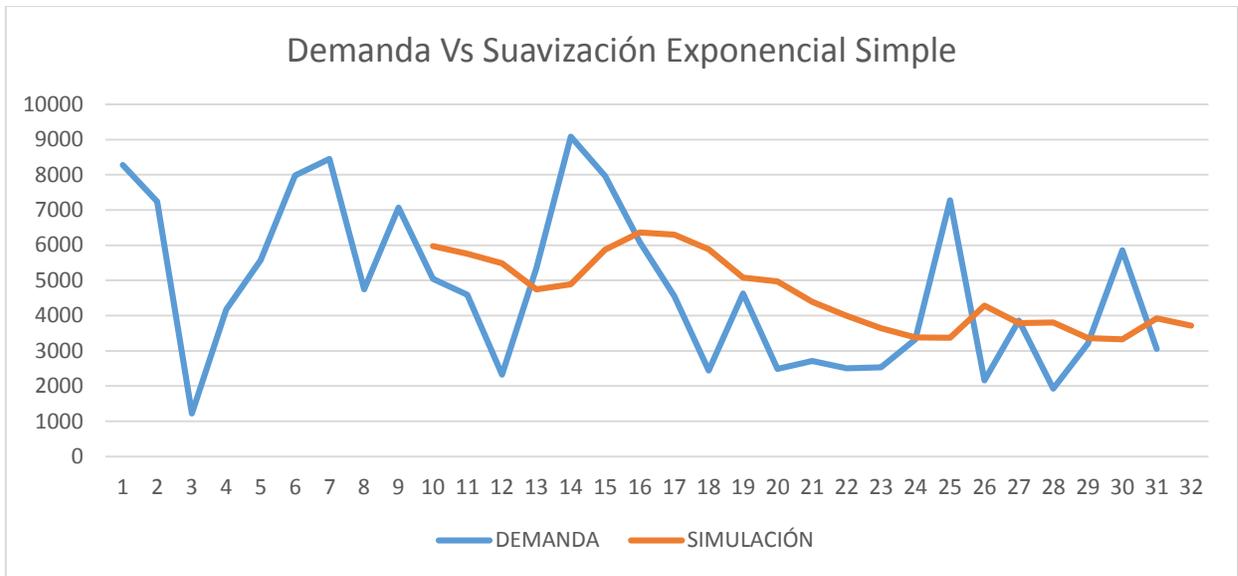
```
timerVal=toc
```

## Anexo 2. Código en MATLAB

<b>Alpha</b>	0,2344566
--------------	-----------

<b>INICIALIZACIÓN</b>	1	8281		
	2	7243		
	3	1220		
	4	4173		
	5	5575		
	6	7983		
	7	8450,5		
	8	4747,5		
	9	7068		
	10	5048	5978,9	<b>ECM</b>
<b>SIMLUACIÓN</b>	11	4589,5	5761	1371579
	12	2328	5486	9973355
	13	5355	4746	371328
	14	9085,5	4889	17614780
	15	7960,5	5873	4359673
	16	6081	6362	78994
	17	4555	6296	3031646
	18	2439	5888	11895155
	19	4626	5079	205490
	20	2492	4973	6155501
	21	2718	4391	2800049
	22	2502	3999	2241040
	23	2532	3648	1245515
	24	3329	3386	3291
	25	7280,1	3373	15266081
	26	2162	4289	4524051
	27	3864	3790	5432
	28	1925	3808	3544096
	29	3206	3366	25662
	30	5855	3329	6382516
	31	3057	3921	746424
		3718		
		<b>PROM ECM</b>	4373412	

Anexo 3. Tabla de Suavización Exponencial Simple



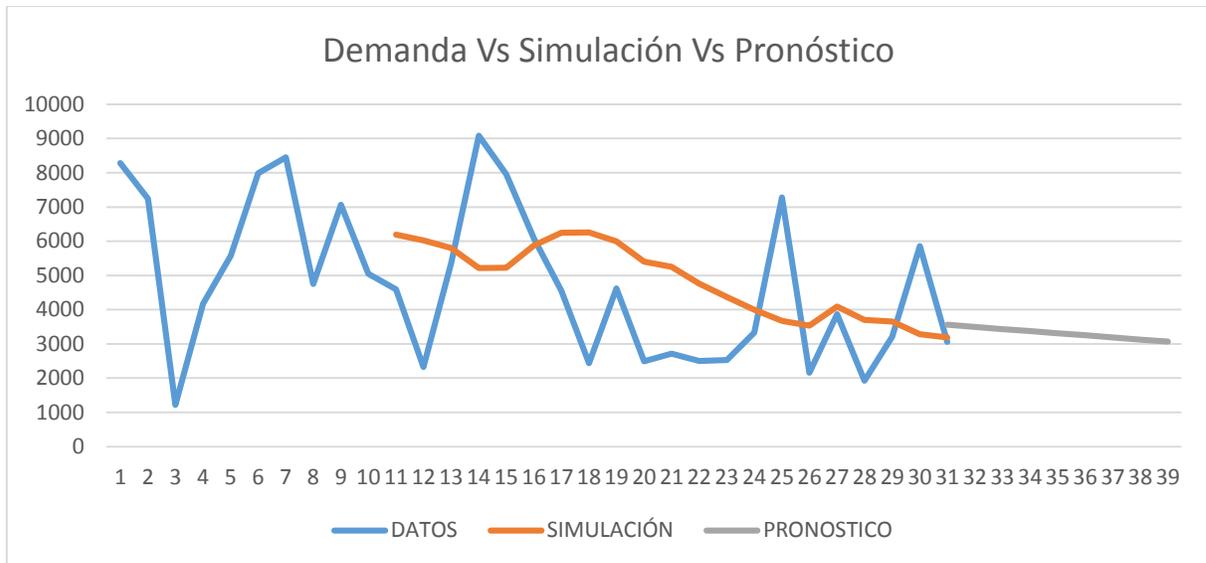
Anexo 4. Demanda Vs Suavización Exponencial Simple

<b>a1(0)</b>	5707,34375
<b>b2(0)</b>	30,1729167
<b>b1(0)</b>	6159,9375

<b>Alpha</b>	0,08244142
<b>Tau</b>	1

		INICIALIZACIÓN					
		St	St[2]	Pronóstico	ECM		
INICIALIZACIÓN	1	8281					
	2	7243					
	3	1220					
	9	4173					
	10	5575					
	11	7983					
	12	8450,5					
	13	4747,5					
	14	7068	St	St[2]	Pronóstico	ECM	
	15	5048	5824,1182	5488,2989			
	SIMULACIÓN	16	4589,5	5760,13392	5515,98432	6190,11042	2561953,71
		17	2328	5663,6252	5536,11236	6026,22003	13676831,4
		18	5355	5388,63153	5546,6247	5802,5949	200341,193
19		9085,5	5385,8589	5533,59952	5216,44289	14969602,9	
20		7960,5	5690,86255	5521,41957	5224,84399	7483813,8	
21		6081	5877,97468	5535,38869	5875,52976	42218,0185	
22		4555	5894,71237	5563,63196	6251,34156	2877574,7	
23		2439	5784,26459	5590,9267	6255,53992	14565976,9	
24		4626	5508,47624	5606,86575	5994,97363	1874088,79	
25		2492	5435,72365	5598,75438	5401,24656	8463715,54	
26		2718	5193,0389	5585,3139	5258,04482	6451827,69	
27		2502	4988,99319	5552,97419	4765,51852	5123516,09	
28		2532	4783,96195	5506,4788	4374,33925	3394213,9	
29		3329	4598,30702	5446,91349	3996,52792	445593,528	
30		7280,1	4493,66355	5376,95317	3673,45439	13007892,6	
31		2162	4723,38132	5304,13352	3531,01153	1874192,58	
32		3864	4512,21741	5256,25548	4090,4493	51279,2854	
33		1925	4458,77745	5194,91593	3701,32851	3155342,98	
34		3206	4249,88925	5134,22763	3656,49791	202948,364	
35		5855	4163,82954	5061,32152	3286,09424	6599276,81	
36		3057	4303,25203	4987,33101	3185,6991	16563,4581	
PRONÓSTICO	1			3557,70946	5097084,01	ECM PROM	
	2			3496,24587			
	3			3434,78229			
	4			3373,3187			
	5			3311,85512			
	6			3250,39153			
	7			3188,92795			
	8			3127,46436			
	9			3066,00077			
	10			3004,53719			

Anexo 5. Tabla de Suavización Exponencial Doble.



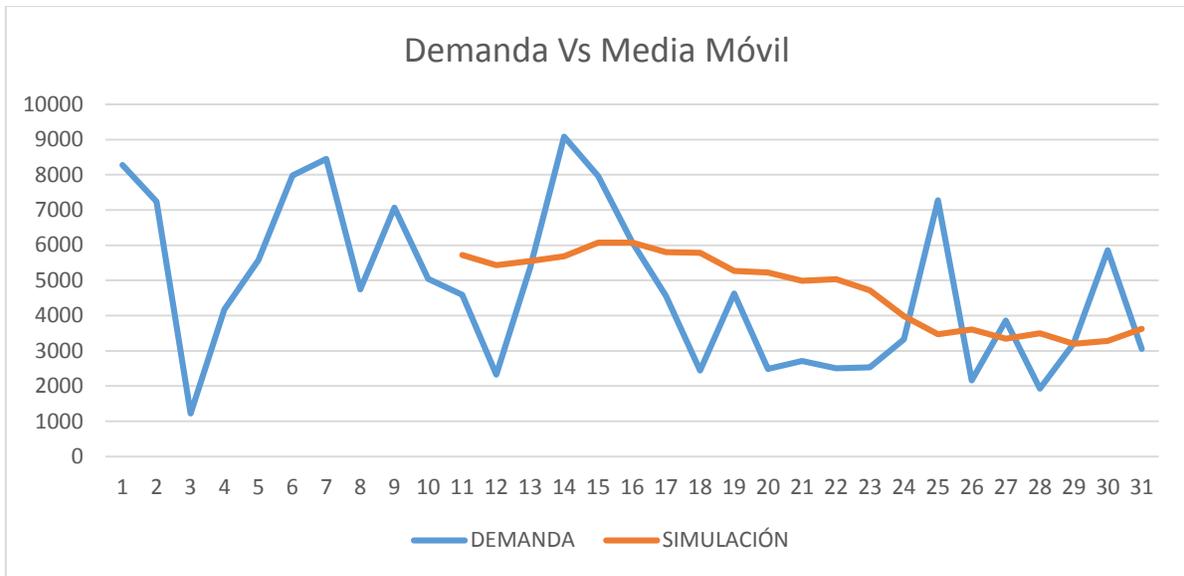
Anexo 6. Demanda Vs Suavización Exponencial Doble

n	PROM ECM	n	DE MENOR A MAYOR
2	5137051,87	9	4276528
3	5417091,56	10	4300831,1
4	5397196,33	8	4489216
5	5072800,96	7	4898119,5
6	4979991,38	6	4979991,4
7	4898119,49	5	5072801
8	4489216,03	2	5137051,9
9	4276527,97	4	5397196,3
10	4300831,1	3	5417091,6

Anexo 7. Error Cuadrático Medio-Media Móvil

	DEMANDA	SIMULACIÓN
1	8281	
2	7243	
3	1220	
4	4173	
5	5575	
6	7983	
7	8450,5	
8	4747,5	
9	7068	
10	5048	
11	4589,5	5723,111
12	2328	5428,278
13	5355	5551,389
14	9085,5	5682,722
15	7960,5	6072,778
16	6081	6070,278
17	4555	5807,000
18	2439	5785,611
19	4626	5271,278
20	2492	5224,389
21	2718	4991,333
22	2502	5034,667
23	2532	4717,667
24	3329	3989,500
25	7280,1	3474,889
26	2162	3608,122
27	3864	3342,233
28	1925	3500,567
29	3206	3200,456
30	5855	3279,789
31	3057	3628,344

Anexo 8. Simulación de demanda con Media Móvil



Anexo 9. Demanda Vs Media Móvil