MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA LA CADENA DE ABASTECIMIENTO AGROINDUSTRIAL FRUTÍCOLA DE COLOMBIA

LAURA VANESSA CASTAÑEDA LÓPEZ

CÓD. 20102015078

MIGUEL ANGEL CARDONA ROJAS

CÓD. 20102015102

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C. 2016

MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA LA CADENA DE ABASTECIMIENTO AGROINDUSTRIAL FRUTÍCOLA EN COLOMBIA

LAURA VANESSA CASTAÑEDA LÓPEZ

CÓD. 20102015078

MIGUEL ANGEL CARDONA ROJAS

CÓD. 20102015102

ANTEPROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

DIRECTOR

M.SC. Ing. JAVIER ORJUELA CASTRO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C. 2016

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 9
JUSTIFICACIÓN 10
OBJETIVOS 12
OBJETIVO GENERAL 12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12
1. CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL 13
1.1 OBJETO PRÁCTICO 13
1.1.1 GENERALIDADES DEL SECTOR FRUTÍCOLA EN EL MUNDO 13
1.1.1.1 Producción mundial de frutas 13
1.1.2 SECTOR FRUTÍCOLA EN COLOMBIA 17
1.1.3 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE MANGO 32
1.1.4 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE LA MORA 36
1.2 MARCO TEÓRICO 40
1.2.1 Definición de inventario 41
1.2.2 Gestión de inventarios 42
1.2.3 Componentes de un modelo de inventarios 42
1.2.4 Características de la Demanda 43
1.2.5 Costos asociados a la gestión de inventarios 44
1.2.5.1 Costo de ordenar 44
1.2.5.2 Costo de mantenimiento de inventario 44
1.2.5.3 Costo de escasez 45
1.2.6 Punto de reorden 45
1.2.7 Políticas de inventario 45
1.2.7.2 Revisión continua 46
1.3 REVISIÓN LITERARIA 46
1.3.1 Gestión de inventarios 46
1.3.2 Modelos clásicos de gestión de inventarios 47
1.3.3 Modelos de gestión de inventarios en productos perecederos 47
1.3.4 Modelos de gestión de inventarios en cadenas de suministro de productos perecederos 49
1.3.5 Gestión de inventarios en cadenas de suministro de alimentos 57
2. CAPÍTULO II: ASPECTOS METODOLÓGICOS 59

2.1 Estructura Metodológica De Investigación 59
2.2 Descripción de la metodología de investigación 60
2.2.1 Fase I: Selección de la cadena de suministro de estudio..... 60
2.2.2 Fase II: Revisión de literatura de modelos de gestión de inventarios para productos perecederos 65
2.2.3 Fase III: Recopilación de información secundaria..... 66
2.2.4 Fase IV: Priorización de frutas..... 67
2.2.5 Fase V: Parametrización del modelo 68
2.2.6 FASE VI: Planteamiento del modelo matemático..... 71
2.2.7 FASE VII: Verificación del modelo 71
2.2.8 Ejecución de actividades 71
3. CAPÍTULO III. MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO AGROINDUSTRIAL FRUTÍCOLA..... 73
3.1 Estructura de costo para agricultores (a) 76
3.2 Estructura de costos para el mayorista (m)..... 77
3.3 Estructura de costos para agroindustria (g) 78
3.4 Estructura de costos para el hipermercado y vivandero (h), (v) 79
3.5 Estructura de costos para el minorista (r) 80
3.6 Formulación del modelo de inventarios..... 81
3.6.1 Formulación para el modelo de inventarios push..... 82
3.6.2 Formulación para el modelo de inventarios pull..... 83
4. CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN Y DISCUSIONES..... 85
4.1 Análisis de sensibilidad..... 93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 96
REFERENCIAS 98
ANEXOS..... 110
Anexo 1. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN: ENCUESTAS.. 110
Anexo 2. CALENDARIO AGROLÓGICO FRUTAS EN COLOMBIA 111

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Producción mundial de frutas (incluyendo al melón) 14
Gráfico 2. Producción de frutas (excluido melón) en el mundo para el año 2013 14
Gráfico 3. Frutas de mayor consumo en el mundo 2009-2014 15
Gráfico 4. Área cosechada de frutas en Colombia en el periodo 2009-2013. 20
Gráfico 5. Producción de frutas en Colombia en el periodo 2010-2014..... 21
Gráfico 6. Principales frutas consumidas en Colombia 24
Gráfico 7. Tendencia de exportaciones frutícolas en Colombia durante 2010-2014 25
Gráfico 8. Principales países destino de exportación de Colombia en el 2015..... 26
Gráfico 9. Tendencia de importaciones frutícolas en Colombia durante 2010-2015 27
Gráfico 10. Países de origen de importaciones de fruta hacia Colombia para el año 2015 28
Gráfico 11. Principales frutas producidas en Cundinamarca en el año 2014 31
Gráfico 12. Diagnóstico nacional sector del mango Colombiano 2016 33
Gráfico 13. Tasa de respiración de $CO2$en función de los días de almacenamiento..... 34
Gráfico 14. Tendencias área cosechada y rendimiento del cultivo de mango 2014 35
Gráfico 15. Tasa de respiración de $CO2$en función de las horas de almacenamiento 37
Gráfico 16. Niveles establecidos a partir del proceso de jerarquización analítica..... 62
Gráfico 17. Tasa de respiración mango (19 ℃) (Lizana & Ochagavía, 1998) Gráfico 18. Tasa respiración mora (16 ℃) (Pulido, 2012)..... 86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mayores productores de fruta en el mundo para el año 2014 15
Tabla 2 Principales países importadores de Frutas comestibles; cortezas de agrios o de melones en 2015..... 16
Tabla 3. Principales países exportadores de frutas comestibles; cortezas de agrios o de melones 2015..... 17
Tabla 4. Área plantada según cultivo, 22 departamentos, 2014. 19
Tabla 5. Producción en toneladas de frutas en Colombia, años 2013-2014..... 22
Tabla 6. Producción de frutas en toneladas por departamentos en Colombia 2014 23
Tabla 7. Volumen de exportaciones por fruta, durante el periodo 2012-2015 25
Tabla 8. Volumen de importaciones por fruta, durante el periodo Enero 2010-Mayo 2014. 28
Tabla 9. Municipios con mayor área cosechada de frutales en el departamento de Cundinamarca durante 2013-2014..... 30
Tabla 10. Municipios con mayor producción de frutales en el departamento de Cundinamarca durante el periodo 2014 30
Tabla 11. Condiciones agroecológicas de la mora 37
Tabla 12. Características de los modelos de gestión de inventarios aplicados a cadenas de productos perecederos 52
Tabla 13. Variables de decisión de los modelos de inventarios aplicados a cadenas de productos perecederos 53
Tabla 14. Variables matemáticas de los modelos de gestión de inventarios aplicados a cadenas de productos perecederos 54
Tabla 15. Parámetros de modelos de inventarios aplicados a cadenas de productos perecederos 55
Tabla 16.Enfoque de modelado, función objetivo y método de solución 56
Tabla 17. Calificación para los criterios según intervalos 62
Tabla 18. Priorización d los criterios 63
Tabla 19. Matriz de prioridades 63
Tabla 20. Matriz normalizada..... 63
Tabla 21. Vector A*C..... 64
Tabla 22. Razón de consistencia RC 64
Tabla 23. Elección final cadena 64
Tabla 24. Revistas en las que se encuentran modelos de inventarios para productos perecederos65
Tabla 25. Ecuaciones de búsqueda usadas en la revisión 66
Tabla 26. Frutas seleccionadas para estudio 67
Tabla 27. Eslabones encuestados con instrumento de recolección de información 70
La tabla 30 evidencia las actividades ejecutadas en la realización de la presente investigación, juntas con los recursos utilizados en ello. Tabla 28. Tabla de actividades de la 71
Tabla 29. Actividades realizadas para el desarrollo de la investigación 72
Tabla 30. Notaciones de variables de decisión utilizadas en el modelo 74
Tabla 31. Notaciones de parámetros utilizados en el modelo..... 75
Tabla 32. Subíndices modelo de inventarios..... 81
Tabla 33. Parámetros de mango y mango fijados para el modelo 87

Tabla 34. Parámetros fijados modelo de pedido único 89
Tabla 35. Resultados numéricos inventario promedio de mora mantenido por eslabón 90
Tabla 36. Resultados numéricos óptimos para el sistema pull de la mora..... 90
Tabla 37. Resultados numéricos inventario promedio de mango mantenido en el sistema push... 91
Tabla 38. Resultados numéricos óptimos para el sistema push del mango (Alta Cosecha) 91
Tabla 39. Pérdidas asociadas al desequilibrio entre oferta y demanda 92
Tabla 40. Resultados numéricos inventario promedio de mango mantenido en el sistema pull..... 92
Tabla 41. Resultados numéricos óptimos para el sistema pull del mango (Baja cosecha)..... 92
Tabla 42. Efectos de la tasa de deterioro en el costo de la cadena de la mora como un sistema pull 93
Tabla 43. Efectos de la tasa de deterioro en el costo de la cadena del mango como un sistema push 94
Tabla 44. Efectos de la tasa de deterioro en el costo de la cadena del mango a como un sistema pull..... 95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Etapas de desarrollo del cultivo de mora 38
Figura 2.Clasificación de la demanda. 43
Figura 3.Políticas de gestión de inventarios 49
Figura 4. Estructura metodológica de la investigación 59
Figura 5. Diseño del instrumento de investigación 69
Figura 6. Configuración cadena agroindustrial frutícola 89

INTRODUCCIÓN

El presente documento fue desarrollado en el marco del Grupo de Investigación en Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad (GICALyT), en el cual se elaboró como fase inicial un proyecto de investigación denominado “Caracterización de la logística en Colombia”, que surgió con el fin de realizar caracterizaciones de la logística en las cadenas de abastecimiento y productivas en Colombia, y que pretende en su segunda fase, a partir de las caracterizaciones previamente realizadas, la identificación y solución de problemas específicos presentes en las cadenas de abastecimiento estudiadas.

La oferta de productos en fresco en Colombia sigue siendo un limitante, dado que no se suple la demanda generada por el mercado y por la industria de alimentos. A esto se le suma la calidad y el alto costo interno de materia prima, generando en muchos casos la importación de productos para poder sostener el mercado con la consecuente afectación para los productores nacionales y la estacionalidad de la producción; la costosa infraestructura de frío para garantizar la calidad de la materia prima, altos costos de energía y la falta de una integración estable en el sector primario (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014d).

Lograr fortalecer el subsector de frutas y elevar la productividad y competitividad de los eslabones que lo componen, es uno de los mayores retos que enfrenta Colombia actualmente. A pesar de grandes esfuerzos, aún se presentan enormes barreras logísticas y económicas para desarrollar altamente la agroindustria de frutas en el país. Por lo tanto, se identificó una oportunidad de mejora mediante una adecuada gestión de los inventarios a lo largo de la cadena agroindustrial frutícola en Colombia, con el objeto de aumentar la eficiencia del sistema con respecto a su operación logística.

Este proyecto presenta una actualización del estado y comportamiento del sector frutícola en Colombia y el mundo, denominada como objeto práctico y obtenida a partir de la caracterización de la logística de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia (Castañeda, Canal, & Orjuela, 2012) realizada en la primera fase del proyecto, adicionalmente, se presenta un enfoque en dos sentidos, el primero consiste en el objeto teórico de la investigación, en el que se tomó una posición teórica a partir de definiciones conceptuales, y el segundo contiene una revisión del estado del arte del manejo de inventarios en la cadena de suministro, haciendo énfasis en el tratamiento de productos perecederos, y posteriormente se centra en la cadena de suministro frutícola, finalmente se realizó una propuesta para la solución del problema identificado, a partir de la articulación entre el objeto teórico, práctico y marco conceptual.

JUSTIFICACIÓN

Pese a la creciente importancia en el mercado internacional, el sector hortifrutícola es uno de los subsectores más informales de la economía agropecuaria colombiana; que tiene la necesidad de crear mecanismos eficientes que articulen la oferta y la demanda para disminuir los niveles de intermediación e informalidad en el subsector (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014).

El sector frutícola en Colombia avanza para convertirse en uno de los principales generadores de desarrollo y fuente de empleo en el sector rural, dado que el país tiene grandes ventajas competitivas por su ubicación geográfica y condiciones de clima y suelo, que le permite tener una producción durante los 12 meses del año, lo que le facilita abastecer el mercado interno y proyectarse a nivel internacional, a mercados como Estados Unidos, Europa y Asia (Ministerio de Comercio Industria y Turismo y BANCOLDEX, 2014). Adicionalmente, las frutas pueden producirse en los diversos pisos térmicos que posee el país en su extensión.

Colombia se encuentra en un proceso de mayor internacionalización de su economía y, dentro de este marco, se ubican los diferentes Tratados de Libre Comercio (TLC) negociados por el Gobierno colombiano (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014a). El sector frutícola ha adquirido una creciente importancia en el ámbito mundial, lo que se evidencia en su desempeño en materia de comercio internacional, durante los últimos 6 años y lo corrido del 2015, el comportamiento de las exportaciones evidencia un crecimiento atractivo para el aprovechamiento de este mercado.

Los eslabones presentes en la cadena se enfrentan a un gran desafío en el establecimiento de la cantidad de la orden con respecto a la demanda variable. Dado que, la demanda es estocástica, se enfrentan al problema de decidir la cantidad exacta de pedido en función de los productos de temporada o el nivel exacto de inventario, maximizando así el costo generado, por lo tanto, estas son cuestiones clave que deben abordarse con el fin de obtener una cadena de suministro eficiente. Por ser bienes perecederos, en ocasiones los agentes de la cadena se ven obligados a aumentar los precios o generar descuentos debido al deterioro. Así, el rendimiento global de la cadena de suministro se ve muy afectado por la toma de decisiones en cada eslabón (Nagare, Dutta, & Kambli, 2013).

Las empresas del sector no cuentan con un plan de compras para respaldar los cambios repentinos en la demanda o pedidos extraordinarios, lo que ocasiona un aumento de la inversión en inventarios y pérdidas por perecibilidad o escasez (Castañeda et al., 2012). Por un lado, si se mantienen grandes inventarios, existe la probabilidad de deterioro debido a la descomposición, por el contrario, si se mantiene el inventario mínimo de artículos, hay posibilidades de escasez, cuando la demanda excede el inventario (Chande, Dhekane, Hemachandra, & Rangaraj, 2005).

Adicionalmente, no existe una tendencia clara en los métodos de revisión de inventarios utilizados por las empresas del sector, debido a que aproximadamente el 50% utiliza políticas de Revisión periódica y el restante hace uso de la Revisión Continua (Castañeda et al., 2012).

A partir del análisis de la tendencia de las publicaciones académicas en el campo de la gestión de inventarios para productos perecederos, se identificó un número reducido de artículos relacionados con la generación de modelos de gestión de inventarios para cadenas de abastecimiento alimenticias, específicamente un vacío existente en la cadena agroindustrial frutícola, ya que se reconoce como un campo complejo de abarcar debido al alto carácter perecedero del producto y la variabilidad de la calidad de este incluso en condiciones óptimas de almacenamiento y distribución. Adicionalmente, algunos modelos no abarcan la totalidad de la cadena de abastecimiento y se enfocan únicamente en uno o dos eslabones que hacen parte de esta.

Por lo tanto, es necesario promover la consolidación de la oferta a través de determinación de tamaños de orden óptimos, tiempos de reaprovisionamiento, herramientas de decisión ante la existencia de fluctuaciones de precio, medidas para la estacionalidad de las cosechas donde se presenta la necesidad de almacenamiento, es decir disposiciones de inventarios de materia prima, fruta fresca y procesada, y en general los costos asociados a dichos procesos; donde se mejore el desempeño logístico de los proveedores, productores, comercializadores mayoristas, comercializadores minoristas, agroindustria, y consumidores finales que hacen parte de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola.

La gestión de inventarios como proceso logístico es un aspecto crucial en el desarrollo de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola de Colombia y requiere de formulación de estrategias que permitan minimizar el impacto de los inventarios en los costos logísticos, generando así incidencia directa en el desempeño de la cadena. Para el desarrollo de la investigación, se hace necesario plantear las siguientes preguntas:

¿Cuál es el modelo para gestionar los inventarios en la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Cundinamarca que permite mejorar la eficiencia logística de esta?

¿Cómo se beneficiarían los pequeños productores con la gestión de inventarios en la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia?

¿Es pertinente la implementación de un modelo matemático en la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de gestión de inventarios para la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola de Colombia que permita mejorar el desempeño de este proceso logístico en la cadena.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión del estado del arte de los modelos para gestión de inventarios en cadenas agroindustriales que puedan presentar coincidencias con el sector frutícola de Colombia.
- Establecer el comportamiento de la gestión de los inventarios en los actores de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola de Colombia.
- Priorizar el conjunto de frutas de la cadena agroindustrial frutícola de Colombia que será objeto de investigación y sea de interés para la Asociación Hortifrutícola de Colombia (ASOHOFRUCOL).
- Establecer límites y cuantificar parámetros y variables que impactan en la gestión de inventarios de la cadena agroindustrial frutícola en Colombia.
- Detectar las restricciones que se presentan en el comportamiento de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia y que generan incidencia en la gestión de inventarios.
- Validar el modelo propuesto en términos de eficiencia logística para evaluar el impacto de la implementación de una política de gestión de inventarios en la cadena de abastecimiento frutícola en Colombia.

1. CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL

La realización de este proyecto, conjuga aspectos concernientes a la cadena de abastecimiento frutícola y el proceso logístico de gestión de inventarios y almacenes, en el siguiente apartado, se presenta una descripción de la situación actual del sector frutícola, teniendo en cuenta el comportamiento histórico de los últimos 10 años en la que se destacan aspectos como el producto interno bruto, condición de la balanza comercial e identificación de las frutas de mayor consumo en el mundo, Latinoamérica, Colombia y finalmente Bogotá-región, comprendiendo ésta última los departamentos y municipios que abastecen a la ciudad de Bogotá.

1.1 OBJETO PRÁCTICO

1.1.1 GENERALIDADES DEL SECTOR FRUTÍCOLA EN EL MUNDO

El comercio de frutas y hortalizas en el mundo presenta un crecimiento positivo a través de los últimos años, en gran medida, por el cambio en los hábitos de consumo de las personas, cuyas tendencias son cada vez más saludables. Sin embargo, el mercado crece a un ritmo mayor que el de la producción. Países como Chile, Perú y España, han aumentado sus cultivos de frutas y hortalizas, y potencian su desarrollo con programas de productividad y competitividad para abastecer la creciente demanda de alimentos a nivel mundial (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014a).

Según las cifras publicadas recientemente de la Sociedad Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbh (AMI), Bonn, en 2015 se produjeron en todo el mundo cerca de 1,05 millones de toneladas de hortalizas (sin melones) y unos 830 mil millones de toneladas de fruta (incluidos melones). Tanto la producción de frutas como la de hortalizas no han cesado de incrementarse en los últimos años. El comercio intrafronterizo ha movido en el apartado de productos frescos un nueve por ciento de la producción mundial de frutas y casi un cuatro por ciento de la producción mundial de verduras.

1.1.1.1 Producción mundial de frutas

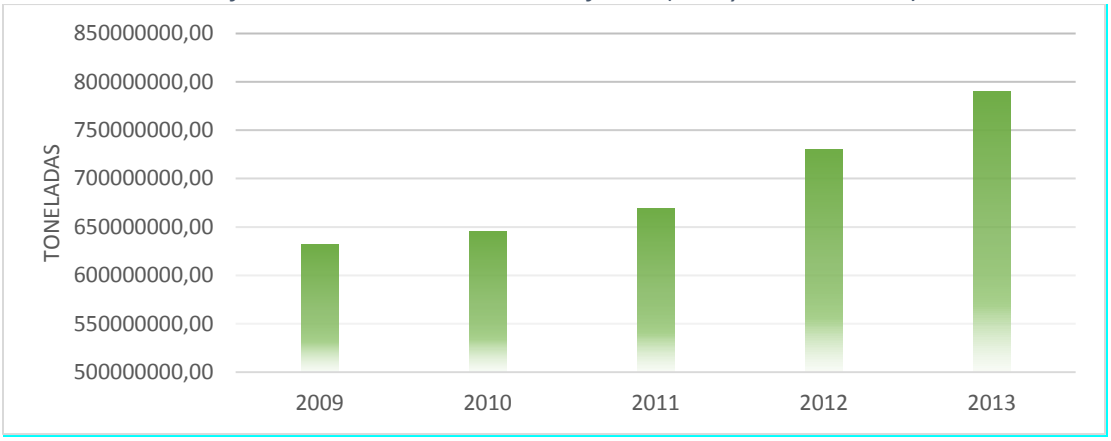
La producción mundial de frutas y hortalizas aumentó en el año 2013 un 9,4% con respecto al año anterior, el total producido en 2013 ascendió a 1.740 millones de toneladas, frente a los 1.590 millones de toneladas de 2012; del total de la producción, 950 millones de toneladas corresponden a las hortalizas y 790 millones a las frutas(FAO Agronoticias, 2014).

La producción mundial de frutas experimenta un patrón de notable crecimiento, como se muestra en el Gráfico 1, donde se observa la producción de frutas (incluyendo al melón)[1] en el mundo durante los últimos 5 años, crecimiento que pudo ser ocasionado por el

[1] La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) incluye la producción de melones junto con las hortalizas y no junto con las frutas.

aumento de la inversión en tecnología para transporte de frutas, el almacenamiento en atmósfera controlada y nuevas técnicas de envasado y la prioridad mundial al consumo de fruta y hortalizas; a pesar del comportamiento climático en Europa, en el que un mes de mayo pasado por agua y un verano tardío pero caluroso y seco se tradujo en pobres condiciones para los cultivos (Fruit Logistica, 2014a).

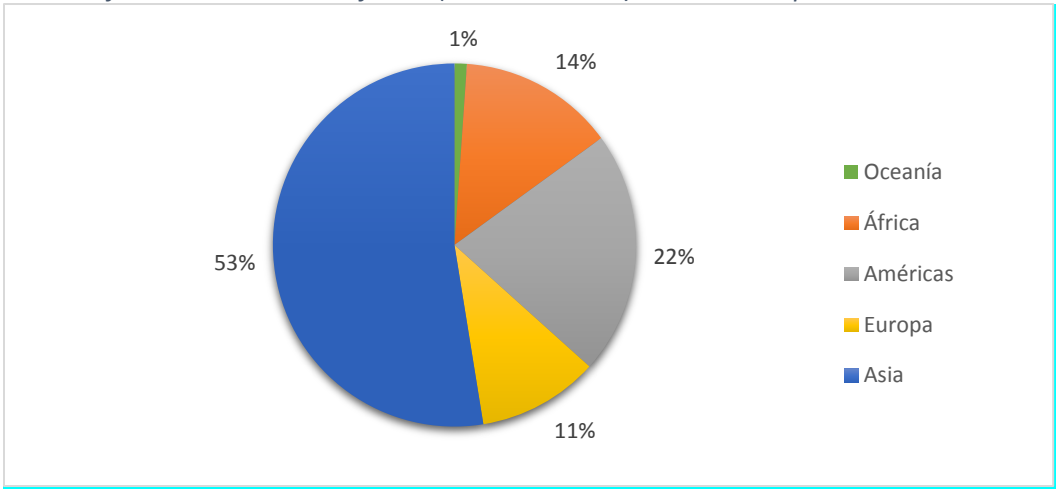
Gráfico 1. Producción mundial de frutas (incluyendo al melón)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (FAOSTAT, 2015).

El gráfico 2 evidencia la tendencia de producción de frutas distinguiendo el porcentaje de dicho indicador por continente; destacándose de manera evidente el continente de Asia con más de la mitad de la producción mundial de frutas (excluido el melón), América también presenta una alta participación con el 22% de la producción.

Gráfico 2. Producción de frutas (excluido melón) en el mundo para el año 2013



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Organización Mundial de la Salud, 2013)

En el mundo se produjeron 676.670.441,31 millones de toneladas de frutas (excluido melón) para el año 2013, respecto a su distribución por países; se destacan cinco, liderando la producción, se encuentra China, China Continental e India por Asía y Brasil y Estados Unidos por el continente de las Américas (Tabla 1).

Tabla 1. Mayores productores de fruta en el mundo para el año 2014

PAÍS	PRODUCCIÓN (Millones de Toneladas)
China	154.363.610
China Continental	151.838.310
India	82.632.300
Brasil	37.773.588
Estados Unidos de América	26.985.893

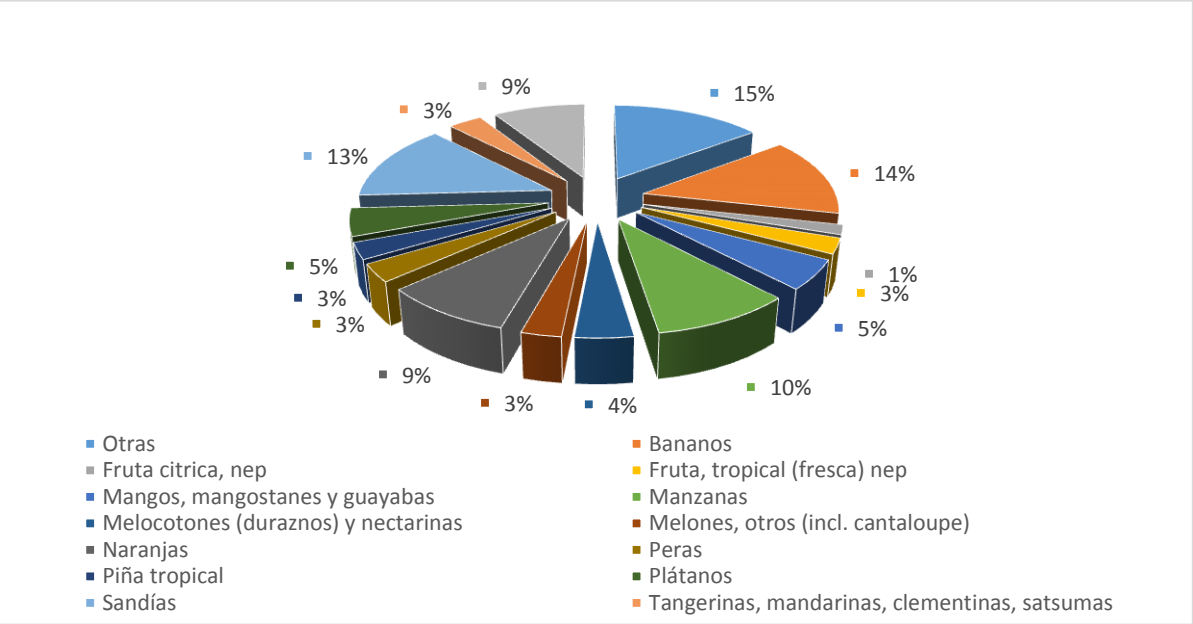
Fuente: Adaptado de (Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura-Dirección De Estadística, 2013).

Como se evidenció anteriormente, China está situada en el puesto número 1 del ranking mundial de producción de frutas frescas, sin embargo, es importante resaltar que sólo un pequeño porcentaje de la fruta producida es exportada, debido a que la mayor parte es destinada al consumo interno (Mendiola, 2013).

1.1.1.2 Consumo mundial por fruta

En el Gráfico 3, se observa el porcentaje de consumo de fruta en el mundo según su tipo, en el que se evidencia que la fruta más consumida en el periodo comprendido entre los años 2010-2014 fue el banano con un 14% del total, el cual es la principal fuente de carbohidratos para millones de personas en África, Asia, el Caribe, América Latina y el Pacífico, seguido de la sandía y finalmente las uvas y las naranjas entre los 4 de mayor consumo.

Gráfico 3. Frutas de mayor consumo en el mundo 2009-2014



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (FAOSTAT, 2015).

Para el año 2014, según (Fruit Logistica, 2014b), el consumo doméstico promedio (por familia) en términos de fruta fresca adquirió una media de: 18.7 kg de manzanas, 15.6 kg

de plátanos, 10.3 kg de naranjas, 6.4 kg de mandarinas, 5.3 kg de uvas, entre otras; grupo que reúne las frutas de mayor consumo para este año, con promedio de consumo doméstico en el mundo de 156 kg de fruta fresca. Con una media de 86.7 kg por vivienda en 2013, en Alemania, uno de los países que presenta mayores índices de importación de fruta fresca, se compraron cerca de un 1% menos de fruta fresca que el año anterior, pero gastaron al menos un 6% más. Manzanas, plátanos y naranjas son las frutas que el consumidor alemán adquiere en mayores cantidades (Fruit Logistica, 2014b).

En el comercio de frutas comestibles, para el caso de importaciones, según los últimos datos proporcionados por Trade Map en el 2016, como se muestra en la tabla 2, Estados Unidos se presentó como el país que realizó mayor valor en importaciones y se evidenció un gran porcentaje de participación en las importaciones por parte de la Unión Europea.

Tabla 2 Principales países importadores de Frutas comestibles; cortezas de agrios o de melones en 2015

País	Valor de Importación (1000 US$)
Estados Unidos de América	15423004
Alemania	10011090
Países Bajos	6602739
Reino Unido	6146441
China	6009606
Francia	5170291
Canadá	4506511
Rusia, Federación de	3843854
Hong Kong, China	3760421
Italia	3487482

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (International Trade Centre, 2016c).

Por lo tanto, Estados Unidos, Alemania y Países Bajos generan aproximadamente el 30% de las importaciones de frutas comestibles; cortezas de agrios o de melones para el año 2015. Es importante destacar que para el año 2013 y según informa AMI (Servicio de Información del Mercado Agrícola), la Unión Europea se consolida como el grupo que genera mayor importación de frutas frescas. Las importaciones alemanas de fruta fresca crecieron en 2013 tras la caída de los años anteriores, superando de nuevo los 5 millones de toneladas. España también es en este sector uno de los líderes. Otros países tienen un papel importante ya que el 44% de las importaciones de fruta fresca en Alemania proviene de los países no miembros de la Unión Europea (Fruit Logistica, 2014b).

Para el caso de las exportaciones de frutas comestibles; cortezas de agrios o de melones en 2013, se evidencia en la tabla 3 que Estados Unidos figura como primer exportador de dicho producto, sin embargo, China Continental se destaca no solo como el mayor productor de frutas, sino que se presenta como uno de los grandes exportadores, también es de gran importancia la participación de España, el cual es uno de los principales países proveedores de este producto dentro de la Unión Europea. Países como Chile, México y Ecuador, se acentuaron como potenciales exportadores de fruta en 2015 aportando la cuota de América Latina.

Tabla 3. Principales países exportadores de frutas comestibles; cortezas de agrios o de melones 2015

País	Valor de Exportación (1000 US$)
Estados Unidos de América	14472234
España	9032635
Países Bajos	5909693
Chile	5379500
China	5210495
México	4596899
Turquía	4357574
Italia	3790989
Vietnam	3015316
Ecuador	2935493

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (International Trade Centre, 2016b)

Por lo tanto, Estados Unidos presenta el 14% de la participación en la exportación de frutas en el mundo, seguido por España y Países Bajos que generan el 8,7% y 5,7% respectivamente, alcanzando aproximadamente el 30% de las exportaciones totales.

En el listado de los principales países exportadores de frutas comestibles, cortezas de agrios o melones, Colombia se encontró en el año 2013, en el puesto número 28, inmediatamente después de República Islámica de Irán, con una participación de 889.770 (1000 US$). Como la prosperidad general de los países latinoamericanos ha incrementado, la industria ha disfrutado de una tasa de crecimiento anual del 11.2% en los últimos diez años (Fruit Logistica, 2014a). Posterior a la descripción del comportamiento del sector frutícola en el mundo y la ubicación de Colombia en el mapa exportador, se hace necesaria una caracterización de dicho sector en Colombia, la cual se presenta a continuación.

1.1.2 SECTOR FRUTÍCOLA EN COLOMBIA

Colombia tiene un gran potencial para el desarrollo agrícola, cuenta con cerca de 14 millones de hectáreas aptas para la agricultura, condiciones edafoclimáticas[2] envidiables para la producción de alimentos y capital humano para trabajar la tierra (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014a), por lo tanto es oportuno explotar la ventaja competitiva presente.

Sin embargo, en la actualidad, el país enfrenta una época de sequía como consecuencia del fenómeno del Niño, la cual ha impactado de manera importante a la hortifruticultura, haciendo que se presenten niveles mínimos en varios afluentes de agua, acelerando la erosión e incrementando la incidencia de incendios, por lo tanto, ante estos efectos de variabilidad climática se ha decretado en varios departamentos de Colombia alerta roja, sin embargo, el comportamiento del subsector muestra una tendencia de recuperación generada por una variación positiva y creciente, que se debe a las medidas tomadas desde el MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural), donde se evidencia mayor acceso a crédito para los productores por parte las bancas de segundo piso como

[2] Perteneciente al suelo y al clima

Finagro, Bancoldex y los convenios con entidades como el Banco Agrario(Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016a).

Adicionalmente, en el periodo comprendido entre el 2010 y 2015 el subsector presenta una tasa de crecimiento promedio de 3,2% a precios reales, al igual que el sector agropecuario, aunque al inicio del quinquenio las cifras muestran un crecimiento negativo debido a que se está recuperando de los efectos de la crisis financiera que afecto a los sectores en 2009 y a la ola invernal que enfrentó el país en los años 2010 y 2011. Sin embargo, en 2015 fueron identificadas las zonas con mayor impacto por las afectaciones climáticas, concentradas en su mayoría en los departamentos situados en la costa colombiana, lo que refleja en el subsector hortofrutícola un impacto negativo comparado con otros años, debido a la acción del fenómeno del niño reinante en la región, afectando el desarrollo vegetativo y productivo de los cultivos y generando un comportamiento atípico en el manejo agronómico. Asimismo, el comportamiento agroclimático en la región no ha permitido la sincronización de la floración de frutas, en las cuales se encuentra en un mismo árbol, diferentes estados fenológicos, lo que produce detrimento para los ingresos de los productores, incidiendo en forma negativa en la cosecha esperada (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016b).

Por otro lado, referente a los recursos asignados por la nación, se evidencia un aumento del aporte de beneficios para programas de fomento productivo, lo cual desemboca en un mayor dinamismo y valor agregado al interior de los subsectores a fin de contribuir con el crecimiento y desarrollo de la economía nacional junto a los planes, programas y proyectos desarrollados al interior del subsector, orientados al fortalecimiento de las cadenas productivas, fomento de la asociatividad, asistencia técnica, transferencia de tecnología, entre otros (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016c).

En relación a los proyectos encaminados al crecimiento del subsector, se encuentra el PTP, donde fueron priorizadas siete líneas sobre las cuales se van a direccionar actividades en pro del incremento de las exportaciones de aguacate Hass, mango, fresa, piña, papaya, cebolla de bulbo y ají (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016d). Adicionalmente, se presentan nuevos planes de gobierno que se vienen desarrollando como el Plan Siembra que espera aumentar un millón de hectáreas sembradas en todo el sector agrícola a mediano plazo y por último, como parte de la reconversión para 2014 ASOHOFRUCOL (Asociación Hortifrutícola de Colombia), propuso cambiar el modelo productivo de los agricultores a partir de las Escuelas de Campo para Agricultores (ECA) en el marco del PNFH, aprovechando eficientemente las ventajas comparativas que poseen los 22 departamentos en los que tiene presencia (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014a).

Finalmente, las perspectivas de crecimiento del sector son bastante alentadoras, considerando las tendencias positivas en la producción, debido a la creciente demanda de productos hortofrutícolas a nivel internacional, como resultado de la mejora en los hábitos de consumo saludables. Así mismo, el auge de la firma y entrada en vigencia de tratados comerciales con otros países han logrado una reducción arancelaria significativa de los productos hortofrutícolas, que generarán un dinamismo importante para el sector, reflejado en nuevas y mejores oportunidades (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016d). A continuación se describirá el contexto actual de la situación del sector frutícola en Colombia, abarcando área sembrada, producción, tendencias de consumo, y comercio (importaciones y exportaciones).

1.1.2.1 Área plantada y cosechada de frutas

Según el tercer Censo Agropecuario realizado en 2014 y presentado en 2015 por el DANE y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, se identificó que los frutales, representaron el 13,9% de unidades productivas con una participación en área sembrada de 16,6% Por departamento, sobresalen Valle del Cauca, Antioquia, Nariño, Tolima, Cesar y Cauca con el 42% del área con cultivos de frutas. En cuanto a cítricos, los departamentos que concentran mayor producción son Tolima, Santander, Meta y Nariño con un 47 % del área sembrada, mientras que el aguacate tiene 53,2 % en Tolima, Valle del Cauca, Antioquia y Santander (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas-DANE, 2015b). Para el 2014, la extensión de tierras destinadas para cultivos hortifrutícolas ha crecido a una tasa de 2,5 %, en contraste con el total agrícola, que ha presentado una tasa del 1% (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014b). Las estadísticas proyectadas, basadas en la tendencia de crecimiento del DANE entre los años 2007 y 2012, apuntan a que en 2014 el sector hortifrutícola tenga un crecimiento en el área sembrada y la producción de 2,2 % y, en área cosechada de 1,7% (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014e).

En la tabla 4, se presenta el número de hectáreas de área plantada de las principales frutas producidas en Colombia durante el año 2013, en la que se destacan la naranja, el mango y el banano de consumo interno como cultivos permanentes, es decir, cultivos que tienen ciclos de producción de más de un año, y producen varias cosechas sin necesidad de volver a plantar después de la cosecha (Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Agricultura, IICA, 1998).

Tabla 4. Área plantada según cultivo, 22 departamentos[3], 2014.

	Área plantada (Ha)
Permanentes	
Naranja	36654
Banano de consumo interno	21254
Mango	26226
Frutales	
Aguacate	54788
Tomate de árbol	8107
Mora	8015
Papaya	8029
Piña	9340
Maracuyá	6742
Guanábana	5008
Lulo	11547
Demás frutales[4]	40278
TOTAL	**235988**

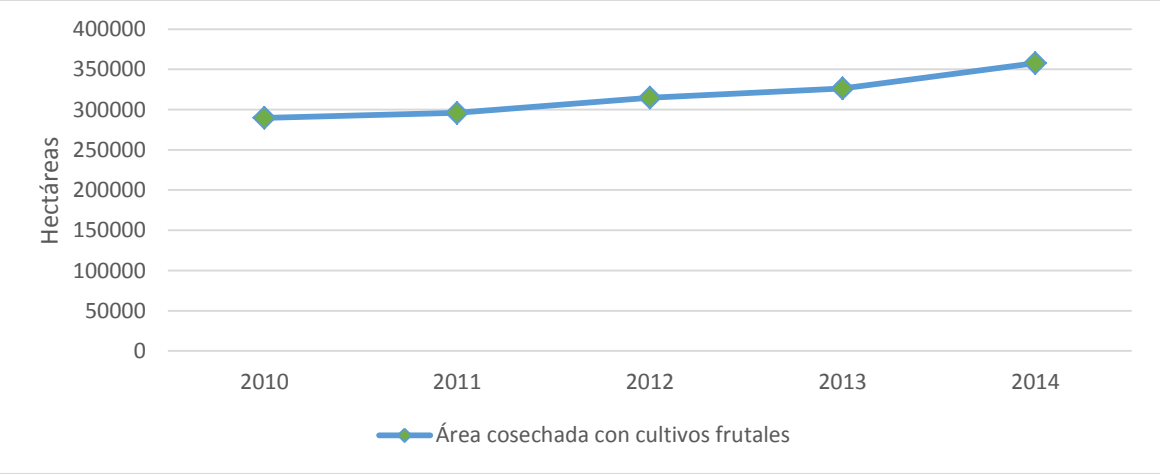
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE, (DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, 2015b).

[3] La ENA cubre los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Casanare, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima y Valle del Cauca.

[4] Mandarina, granadilla, guayaba, curuba, limón

Según el último censo agropecuario, en los cultivos frutales, el 70% del total del área agrícola cosechada con los principales cultivos frutales en el área rural dispersa censada correspondieron a banano común, piña y cítricos. Mientras que banano de exportación, piña y cítricos representaron cerca del 74% del total de la producción (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2015a). El incremento del área cosechada se sustenta principalmente en cultivos como los cítricos, y mango, debido a que, según la Encuesta de Decisión de Siembras y Productividad (EDSI), se evidenció una mejora en las prácticas de los cultivos, en el acceso a los factores productivos y una leve reducción en los costos de producción (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014b). El gráfico 4 presenta el área cosechada de frutales entre los años 2010 y 2014, donde se evidencia dicho crecimiento.

Gráfico 4. Área cosechada de frutas[5] en Colombia en el periodo 2009-2013.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Agronet. (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas-DANE, 2015a).

Para el año 2014, según el tercer Censo Nacional Agropecuario, del total del área sembrada de uso agrícola, el 63% correspondió a cultivos permanentes, grupo del cual hacen parte los frutales y frutales dispersos[6]. El área cosechada aumentó 31,342 hectáreas con respecto al año anterior.

1.1.2.2 Producción de frutas en Colombia

La producción estimada de 2015 no fue tan favorable como se venía presentando los 5 años precedentes, hay escepticismo en cuanto al año 2016, debido a que si bien el dólar

[5] Aguacate, anón, badea, banano, borojó, brevo, caducifolios, chirimoya, chontaduro, ciruela, cítricos, curuba, dátil, durazno, feijoa, fresa, granadilla, guanábana, guayaba, higo, lima, limón, lula, macadamia, mamoncilo, mandarina, mango, mangostino, manzana, manzano, maracuyá, marañón, melón, mora, moron, naranja, níspero, papaya, papayuela, patilla, pera, piña, pitahaya, tamarindo, tomate de árbol, toronja, uchuva, uva, zapote.

[6] Árboles hallados en forma aislada de tal manera que no es posible estimar para ellos la superficie plantada, es común encontrarlos alrededor de las viviendas, al borde de los campos de cultivos o sirviendo de linderos como cercas vivas.

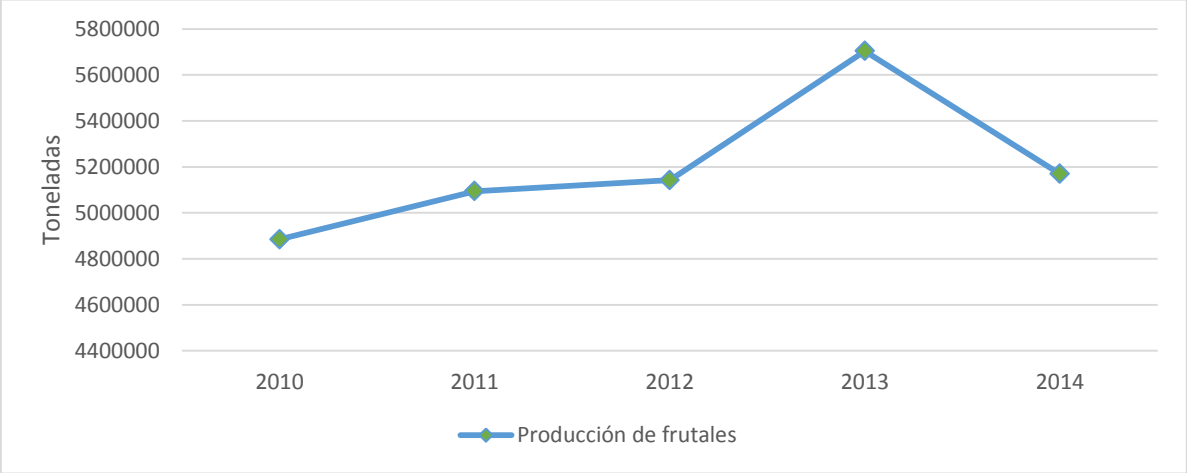
ha impulsado en gran cantidad productos de exportación, también ha sido un factor que afecta la producción por el incremento del valor en insumos y fertilizantes para el proceso de cosecha (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016b).

Sin embargo, la producción para el periodo 2010-2015, presenta un comportamiento de tendencia positiva, con un crecimiento promedio de 5,5% partiendo en el 2010 con una producción de 8,1 millones de toneladas, hasta 10,5 millones de toneladas estimadas para 2015. Las líneas productivas de mayor volumen fueron: plátano, tomate, piña, aguacate, ñame y mango; mientras que por regiones se presentan mayores niveles de producción en Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca, Santander, Boyacá, Meta y Quindío.

De acuerdo al área sembrada, ésta tendencia de crecimiento está relacionada directamente con los planes de acción a nivel nacional, articulada con las medidas de fomento promovidas por entes públicos y privados con convenios estratégicos, apostándole al subsector hortifrutícola y a cultivos promisorios, para alcanzar mejores niveles de competitividad y generar valor agregado(Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016e).

Es importante resaltar que en términos de volumen de producción, los indicadores de han sido favorables. Específicamente, el sector de frutas creció 6,8% durante el tercer trimestre del año 2015 (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2015b).

Gráfico 5. Producción de frutas en Colombia en el periodo 2010-2014.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Agronet. (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas-DANE, 2015a)**.**

Las variaciones porcentuales presentadas en el periodo de estudio, por la piña, el mango y el aguacate mostraron un aumento importante que pudo ser ocasionado por la elección de estas como prioritarias en el Programa de Transformación Productiva (PTP) del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, por su elevado potencial exportador y consumo mundial, entre otros y fueron seleccionadas para desarrollar un plan estratégico de negocio (Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA) (DANE), 2013).

Por otra parte, según la clasificación de frutales obtenida en la ENA y publicada por el DANE (Tabla 5), para el periodo 2013-2014 se observaron variaciones porcentuales significativas en la producción destacándose algunas frutas representativas como el banano de consumo interno (23,5%), aguacate (40,5%), piña (37,9%), papaya (-35,9%) y maracuyá (-40,1%).

Tabla 5. Producción en toneladas de frutas en Colombia, años 2013-2014

Producción Frutas (Toneladas)		
	2013	**2014**
Cultivos Permanentes		
Banano de consumo interno	106.460	162.073
Naranja	384.688	384.309
Mango	261.794	269.312
Frutales		
Aguacate	220.352	309.498
Tomate de árbol	50.404	36.611
Mora	58.923	61.380
Papaya	162.545	106.403
Piña	118.715	163.679
Maracuyá	102.088	51.922
Guanábana	27398	41.738
Lulo	34.635	33.522
Limón	336.080	373.756
TOTAL	**1.864.082**	**1.953.146**

Fuente: DANE-ENA-2013 (DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, 2015b)

El aumento de la producción de ciertas frutas, radica en la adopción de nuevas tecnologías de siembra, principalmente en piña, cítricos, sandía, granadilla y aguacate (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014e).

1.1.2.3 Producción de frutas por departamento en Colombia

Para el 2014, los departamentos con mayor participación en la producción frutícola fueron Antioquia con 26,34%, Valle del Cauca con 12,20%, Santander con 11,04%, Magdalena con 10,17% y Meta con 5,46%; dichos resultados muestran que Cundinamarca desciende en su participación con respecto al año anterior, de 6,02% al 2,63%, conformando aproximadamente el 66% de la producción total de frutas en Colombia para el 2014,

según el último censo agropecuario realizado por el DANE, la tabla 6 muestra la producción total para el año 2014 por departamentos.

Tabla 6. Producción de frutas en toneladas por departamentos en Colombia 2014

Departamento	Total producción con cultivos frutales
Total Nacional	**5.169.507**
Antioquia	1.361.650
Valle del Cauca	630.524
Santander	570.902
Magdalena	525.622
Meta	282.006
Quindío	219.053
Tolima	179.218
Nariño	178.155
Cundinamarca	135.885
Chocó	132.779
Norte de Santander	116.477
Cauca	102.804
La Guajira	83.955
Risaralda	72.830
Caldas	69.156
Vichada	63.740
Caquetá	59.859
Huila	51.898
Cesar	50.054
Casanare	49.635
Bolívar	42.335
Putumayo	38.773
Córdoba	29.647
Arauca	22.447
Guaviare	20.449
Sucre	19.506
Atlántico	17.749
Guainía	14.319
Amazonas	10.203
Boyacá	8.951
Vaupés	7.864
San Andrés, Providencia y Santa Catalina	1.062

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Agronet. (Sistema de Estadísticas Agropecuarias - SEA, 2015)

Las frutas de mayor producción en los departamentos destacados por su gran aporte frutícola, son banano, cítricos y tomate de árbol por el departamento de Antioquia, en Valle del Cauca cítricos, banano y piña, por Magdalena cítricos, banano y mango, en Santander piña, cítricos y guayaba, por Meta cítricos, maracuyá, papaya y piña y finalmente por Cundinamarca mango, cítricos y tomate de árbol, según su volumen de producción (Sistema de Estadísticas Agropecuarias -SEA, 2015).

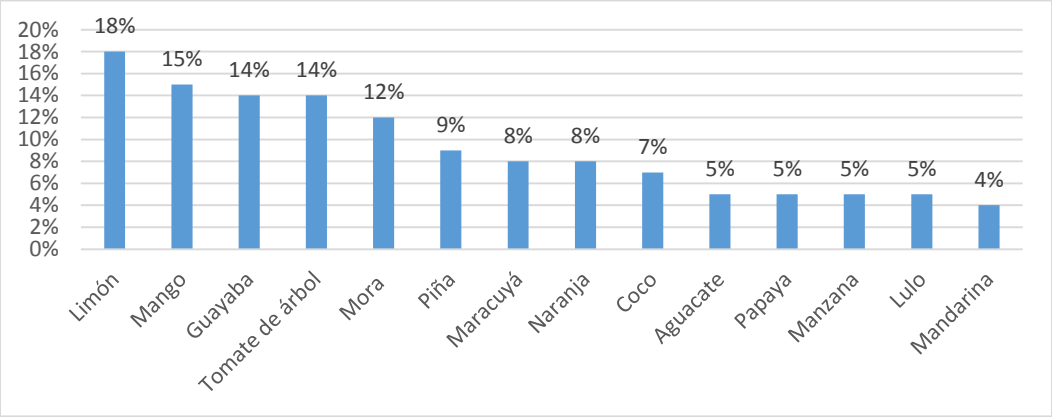
1.1.2.4 Tendencias de Consumo en Colombia

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, OMS, “una persona debe consumir aproximadamente 400 gramos de frutas diariamente para evitar enfermedades no

transmisibles como son la diabetes, la obesidad y problemas cardiovasculares", por otro lado, en Colombia el consumo de frutas y hortalizas, es inferior a 224.65 gr/persona/día, según Martha Orozco, directora de Gestión Económica y empresarial de ASOHOFRUCOL(Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016f).

Así mismo, según el Perfil Nacional de Consumo de Frutas y Verduras, elaborado por la FAO y Ministerio de Salud y Protección Social, los departamentos con mayores índices de consumo diario de productos frutícolas son San Andrés, Sucre, Bolívar, Quindío y Risaralda, adicionalmente, las frutas con mayor participación en el consumo nacional se destacan limón, mango, guayaba, tomate de árbol y mora, excluyendo banano (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016e)(Gráfico 6).

Gráfico 6. Principales frutas consumidas en Colombia



Fuente: Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016f)

Según la última Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia (ENSIN) 2010, las regiones con menor consumo diario de frutas son Amazonía, Orinoquía y región central. Uno de cada 3 colombianos entre 5 y 64 años no consume frutas diariamente.

El grupo de edad en la que se refiere menor frecuencia de consumo diario son los adultos de 31 a 64 años (38%), las mujeres tienen una frecuencia de consumo mayor de frutas que los hombres y la frecuencia diaria es mayor en el área urbana (urbana 69,5% frente a la rural 58,5%) (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), 2010).

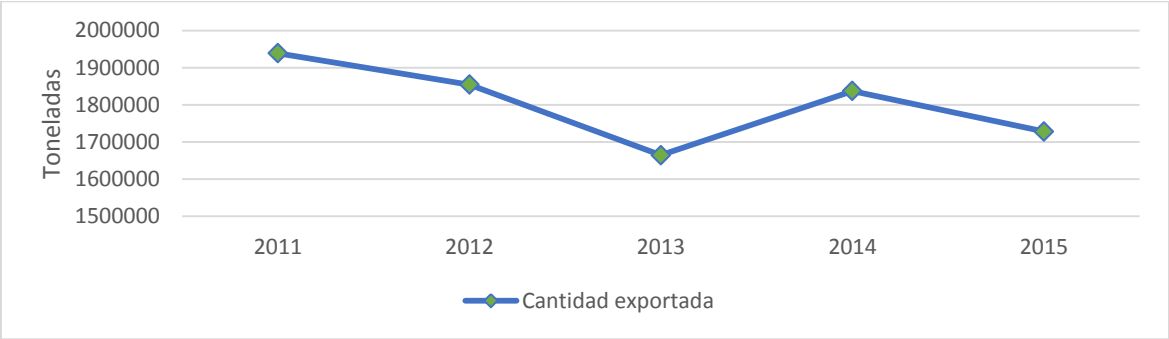
1.1.2.5 Comercio internacional de frutas en Colombia

1.1.2.5.1 Exportaciones

A diferencia de la producción frutícola obtenida a lo largo del periodo 2010-2015, las ventas al exterior de frutas frescas y secas, evidencian un comportamiento decreciente, con cierto grado de estabilidad en 2011-2012, obteniendo el mayor número de exportaciones en el 2011. Hasta el año 2014, se evidencio una recuperación en las exportaciones, sim embargo, estas decayeron nuevamente durante el 2015. El gráfico 7

ilustra el comportamiento de las exportaciones de los frutos comestibles, cortezas de agrios o melones que hacen parte del capítulo 08 de la partida arancelaria perteneciente al grupo de “Productos del reino vegetal”.

Gráfico 7. Tendencia de exportaciones frutícolas en Colombia durante 2010-2014



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (International Trade Centre, 2016d)

El volumen de exportaciones es influenciado en gran medida por el comportamiento de las ventas de banano fresco o seco (DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, 2015a).

El gráfico 7 evidencia una clara tendencia decreciente con una leve recuperación en el 2014 respecto a las toneladas exportadas de los frutos comestibles, cortezas de agrios o melones, sin embargo la variación a través de los años en el ingreso de dólares al país presenta una mayor estabilidad a pesar de la disminución en las cantidades.

Tabla 7. Volumen de exportaciones por fruta, durante el periodo 2012-2015

VOLUMEN DE EXPORTACIONES DE FRUTAS EN TONELADAS				
Fruta	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Bananas o plátanos, frescos o secos.	1834936	1643108	1799666	1684148
Agrios (cítricos) frescos o secos.	3760	8159	19170	17949
Las demás frutas u otros frutos, frescos.	10930	10747	11811	13476
Dátiles, higos, pinas (ananás), aguacates (paltas), guayabas, mangos y	1773	1434	5116	10779
Frutas y otros frutos, sin cocer o cocidos en agua o vapor, congelados	772	380	497	845
Frutas y otros frutos, secos	637	249	408	435
Manzanas, peras y membrillos, frescos.	459	81	275	268
Melones, sandias y papayas, frescos.	793	190	87	117
Chabacanos (damascos, albaricoques), cerezas, duraznos (melocotones),	44	42	18	54
Uvas, frescas o secas, incluidas las pasas.	26	49	115	51
Cocos, nueces del Brasil y nueces de marañón (merey, cajuil, anacardo,	14	10	13	9
Frutas y otros frutos, conservados provisionalmente (por ejemplo: con	0	0	1	8
Los demás frutos de cascara frescos o secos, incluso sin cascara	52	35	8	2

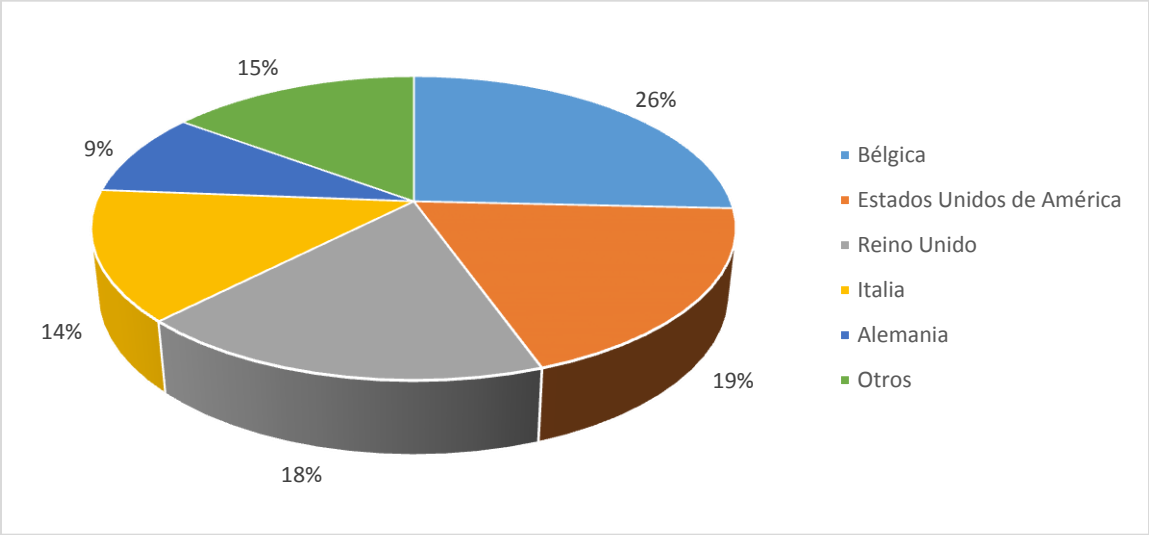
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (International Trade Centre, 2016d)

En la actualidad las principales frutas de exportación en Colombia, son: todas las variedades de banano, cítricos, uchuvas (*uvillas*) (*vhysalis peruviana*) frescas, gulupa (*maracuyá morado*), piñas tropicales (*ananás*) frescas o secas, granadilla (*passiflora ligularis*), pitahayas frescas, aguacates (paltas) frescos o secos, tomate de árbol (lima tomate, tamarillo) (cyphomandra betacea) frescos y mangos y mangostanes frescos o secos. Algunas frutas muestran un comportamiento ascendente en el mercado de exportaciones como el Kiwi, la chirimolla, guanábana y las demás anonas frescas, por el contrario otras muestran un comportamiento descendente, como el tomate de árbol, granadilla, o uchuvas (tabla 7). Se evidencia que el comercio exterior colombiano para el año 2015 mostró un comportamiento decreciente, el cual pudo ser ocasionado por las numerosas manifestaciones del gremio agrícola durante los paros agrarios en 2015 que respaldaron medidas proteccionistas como las Salvaguardias Especiales Agrícolas (SAE) y factores climáticos adversos.

1.1.2.5.2 Principales países destino de las exportaciones frutícolas

Dentro de la frutas exportadas destacadas en la tabla 7, los principales países de destino fueron para 2015 Bélgica, Estados Unidos, Reino Unido, Italia y Alemania (gráfico 8); los cuales representaron para Colombia una cantidad de $ 882.573 USD. Entrantes al mercado nacional.

Gráfico 8. Principales países destino de exportación de Colombia en el 2015



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (International Trade Centre, 2016a)

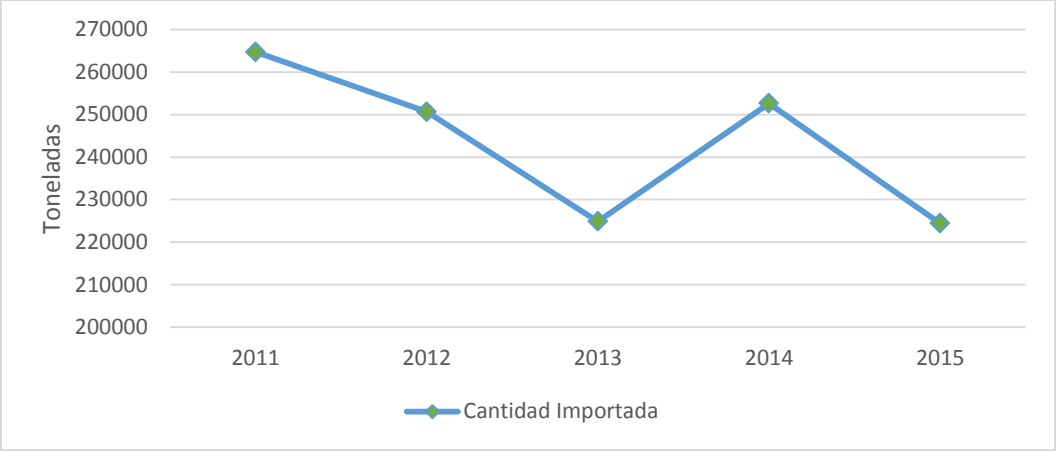
Las variaciones más representativas en las exportaciones para el año 2015 fueron generadas por un aumento del 133% en la exportación de Dátiles, higos, pinas (ananas), aguacates (paltas), guayabas, mangos y un descenso de 4% y 3% en Bananas y demás frutas u frutos frescos respectivamente.

1.1.2.6 Importaciones

En el año 2011 se dio el nivel máximo alcanzado de importaciones, y posteriormente se dio una tendencia a la baja hasta el año 2013, el descenso entre 2012 y 2013, fue ocasionado principalmente por las manifestaciones de agricultores inconformes con el ingreso de productos frutícolas de contrabando y de baja calidad, lo cual repercutió en la instauración de medidas comerciales para contrarrestar la importación de productos vulnerables para el sector en Colombia (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2014a).

Para octubre del 2014, se importaron 209.357 toneladas de frutos comestibles, cortezas de agrios o melones, una cifra que proyecta una tendencia constante de las importaciones con respecto al año inmediatamente anterior.

Gráfico 9. Tendencia de importaciones frutícolas en Colombia durante 2010-2015



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (International Trade Centre, 2016a)

El gráfico 9 presenta la tendencia de las importaciones frutícolas llevadas a cabo en Colombia durante el periodo 2010-2015.

Entre las frutas con mayor número de toneladas importadas a Colombia se destacan los mangos o mangostanes frescos o secos con un 27,92% del total de frutas destacadas, las naranjas frescas o secas (17,04), las mandarinas (tangerinas y satsumas) frescas o secas (16,96%) y los aguacates (paltas) frescos o secos con 15,45% de la partición.

La tabla 8 muestra el volumen en toneladas de la importaciones frutícolas más representativas registradas entre enero del año 2010 hasta mayo del 2014.

Tabla 8. Volumen de importaciones por fruta, durante el periodo Enero 2010-Mayo 2014.

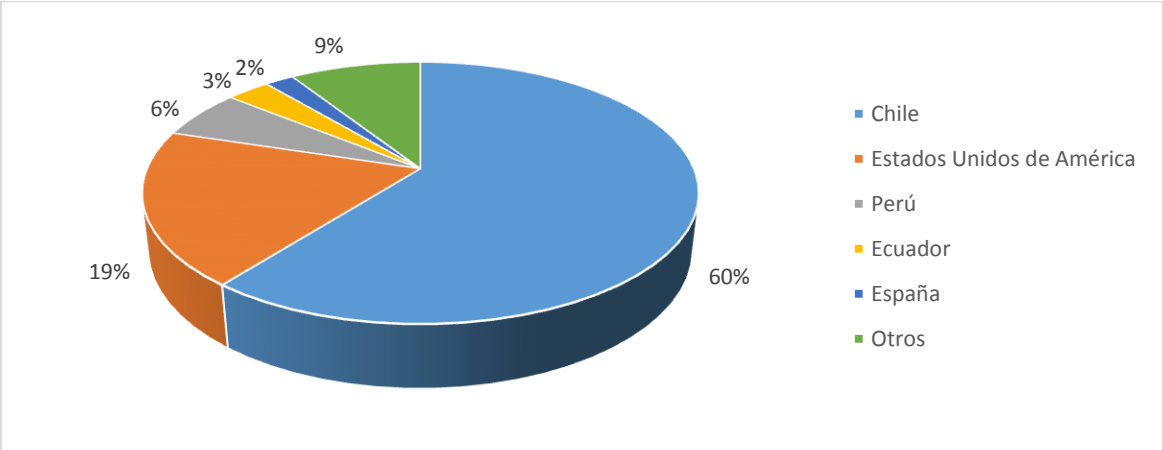
CANTIDAD DE FRUTA IMPORTADA EN TONELADAS				
Fruta	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Manzanas, peras y membrillos, frescos.	124683	129020	142332	127859
Bananas o plátanos, frescos o secos.	25835	21095	34921	44485
Uvas, frescas o secas, incluidas las pasas.	26215	25019	28340	21990
Chabacanos (damascos, albaricoques), cerezas, duraznos (melocotones),	10036	9467	8016	6831
Las demás frutas u otros frutos, frescos.	9056	4957	6000	5318
Dátiles, higos, pinas (ananás), aguacates (paltas), guayabas, mangos y	19306	15688	10124	4425
Cocos, nueces del Brasil y nueces de marañón (merey, cajuil, anacardo,	3354	7038	6863	4006
Agrios (citricos) frescos o secos.	26415	6578	9443	3522
Los demás frutos de cascara frescos o secos, incluso sin cascara	1147	1325	1742	1464
Frutas y otros frutos, secos, excepto los de las partidas nos 08.01 a	1479	1607	1455	1143
Frutas y otros frutos, conservados provisionalmente (por ejemplo: con	779	749	993	958
Frutas y otros frutos, sin cocer o cocidos en agua o vapor, congelados	65	218	172	376
Melones, sandias y papayas, frescos.	237	98	202	10

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (International Trade Centre, 2016a)

1.1.2.6.1 Principales países origen de las importaciones frutícolas

Los principales países origen de las importaciones frutícolas realizadas en el año 2015 fueron Chile, Estados Unidos, Perú y Ecuador y por otro lado España aporta la cuota Europea. Durante 2015 (gráfico 10).

Gráfico 10. Países de origen de importaciones de fruta hacia Colombia para el año 2015



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (International Trade Centre, 2016a)

Las importaciones de Colombia representan 0,25% de las importaciones mundiales para frutos comestibles; cortezas de agrios o de melones, su posición relativa en las importaciones mundiales es 51 (International Trade Centre, 2016a)

Con referencia a los productos frutícolas que se destacaron por el volumen de importación, los mangos y mangostanes frescos o secos son provenientes en su mayoría de Ecuador, Perú y Tailandia, las naranjas frescas o secas de Estados Unidos, España, Perú y Chile, las mandarinas (tangerinas y satsumas) frescas o secas de Ecuador, Perú y Chile y finalmente los aguacates (paltas) frescos o secos de Ecuador y Chile. Lo que convierte a América como el principal proveedor de frutas de Colombia.

1.1.2.7 Sector frutícola en Cundinamarca

Cundinamarca aporta al FNFH (Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola) el 12 % de los recaudos nacionales, por ser el departamento que mayor consumo presenta de frutas y hortalizas, ocasionado principalmente por el volumen de su población, que junto con Bogotá, es aproximadamente 11 millones de personas, equivalente al 24 % de la población nacional. Este departamento es uno de los principales productores nacionales. Posee aproximadamente 26 mil hectáreas sembradas en frutales.

Durante 2015, en el marco del PNFH se atendieron con asistencia técnica integral un total de 1.712 familias productoras de frutas y hortalizas de Cundinamarca, quienes conformaron 60 grupos de Escuelas de Campo para Agricultores (ECAS) a las que se les impartió 720 sesiones de formación, 3.495 visitas individuales de asistencia técnica y 325 fortalecimientos socio empresariales. Por otro lado, a través del proyecto hortifrutícola, impulsado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, fueron establecidos cultivos con productos biológicos, logrando mejorar la inocuidad de la producción y la competitividad, dada la reducción en la inversión de agroquímicos. Adicionalmente, se evidenció un incremento en la aplicación de prácticas de monitoreo y trazabilidad por parte de los productores. Con el objetivo de potenciar las oportunidades en los mercados, se creó una alianza de comercialización para surtir a comedores infantiles del distrito y del ICBF en Bogotá. En 2016, se buscará expandir la comercialización a nichos especiales como restaurantes y comedores infantiles del ICBF, teniendo como centros de acopio la Plaza Boyacá Real y Lucero Alto (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2015c).mA continuación se muestra el área cosechada, producción, y principales frutas cultivadas en el departamento de Cundinamarca.

1.1.2.7.1 Área Cosechada de frutales en Cundinamarca

La tabla 9, muestra los diez municipios con mayor área cosechada de frutales en Cundinamarca en el periodo 2013-2014, según el último Censo Nacional Agropecuario realizado en 2014 y publicado en 2015, en donde encabeza el municipio de La Mesa, seguido de San Bernando y para los cuales el área cosechada para 2014 fue de 3561 y 2060 hectáreas respectivamente, demostrando un cambio poco significativo con respecto

al año anterior, lo que evidencia un estancamiento en el área cosechada para frutos en Cundinamarca.

Tabla 9. Municipios con mayor área cosechada de frutales en el departamento de Cundinamarca durante 2013-2014

Área Cosechada (Ha)		
	2013	**2014**
La Mesa	3553,5	3561
San Bernardo	2060	2060
Anapoima	1955	1955
Tocaima	1851	1873
Cachipay	1743	1743
El colegio	1598	1608
San Juan de Rioseco	1480	1534
Viota	1405	1429
Quipile	909	918
Apulo	873	874

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015a)

1.1.2.8 Municipios con mayor producción de frutales en Cundinamarca

Por sus características de suelo, relieve y particularmente clima, Cundinamarca permite el establecimiento y explotación de un gran número de especies y variedades frutícolas para satisfacer las expectativas de los mercados de consumo fresco y procesado, tanto interno como de exportación. La tabla 10, muestra los municipios del departamento de Cundinamarca con mayor producción de frutales durante el periodo 2014, en el que La Mesa, adicional al municipio con mayor área cosechada, también registra la mayor producción frutícola.

Tabla 10. Municipios con mayor producción de frutales en el departamento de Cundinamarca durante el periodo 2014

Producción (Toneladas)	
La Mesa	30020
Cachipay	23562
Paratebueno	23030
San Bernardo	23166
Tocaima	22518
Anapoima	20696
San Juan de Rioseco	18672
Granada	15750
Apulo	10264
Sibate	10462

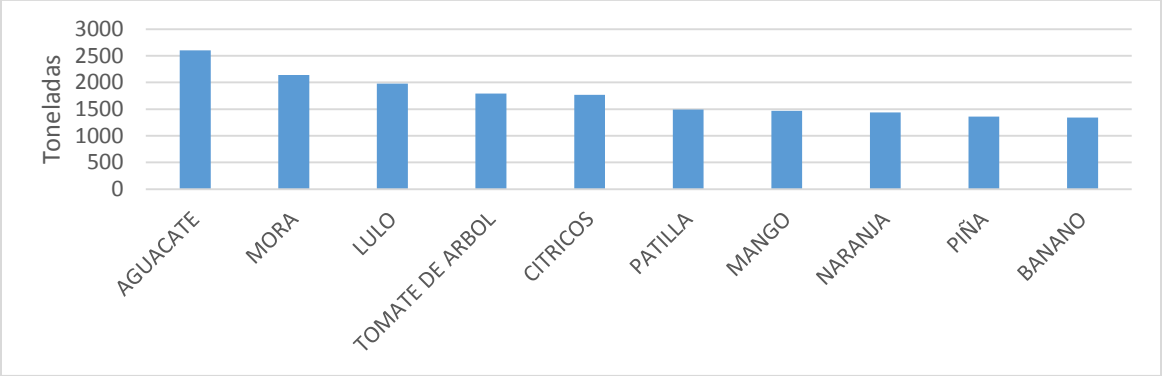
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (Ministerio De Agricultura y desarrollo Rural, 2015b)

En relación al aumento del área cosechada, la producción en toneladas se comporta de una forma similar, presentando un aumento moderado en algunos municipios y un comportamiento constante en otros. Por otro lado, la gran producción de frutales presentada en Cundinamarca conforma un cinturón que abastece la gran demanda de Bogotá.

1.1.2.9 Frutas producidas en el departamento de Cundinamarca

Debido a la variedad de pisos térmicos en el departamento de Cundinamarca es posible encontrar gran diversidad de frutas que se producen a gran escala, tales como el mango, cítricos, tomate de árbol, el 8,27% del total de frutas producidas, seguido por la mora que aportó un 6,81% y el lulo 6,30%, tomate de árbol (5,70%), y cítricos (5,62%) siendo estas cinco las responsables de aproximadamente el 33% de frutas del departamento, el restante está compuesto por frutas como la patilla, el mango, la naranja, la piña y el banano. El gráfico 11, ilustra la producción de las principales frutas cosechadas en Cundinamarca en el año 2014.

Gráfico 11. Principales frutas producidas en Cundinamarca en el año 2014



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2016d)

Los municipios de Cundinamarca que cultivan las frutas de mayor producción son Cachipai, Anapoima, Tocaima y La Mesa con el mango, La Mesa, Apulo y Tocaima con los cítricos, Granada y San Bernardo por el tomate de árbol, por el banano San Juan De Rioseco, Quipile y EL Colegio y finalmente San Bernardo, Silvania, Arbelaez con la mora.

Luego de un análisis del comportamiento del sector frutícola en el mundo, Colombia y Cundinamarca, se evidencia una ventaja comparativa en el país, que abarca desde la presencia de condiciones óptimas de clima y suelo hasta la participación en acuerdos comerciales que otorgan un fácil acceso a diversos mercados. No obstante, el beneficio de dicha ventaja comparativa, no se obtiene a totalidad, debido a la ausencia de políticas que permitan la expansión a través del fortalecimiento de una estructura logística para facilitar el mejoramiento de la competitividad en un entorno de productividad y comercio exterior.

Por lo tanto, es necesario promover la consolidación de la oferta a través de determinación de tamaños de orden óptimos, tiempos de reaprovisionamiento, herramientas de decisión ante la existencia de fluctuaciones de precio, medidas para la estacionalidad de las cosechas donde se presenta la necesidad de almacenamiento, es decir disposiciones de inventarios de materia prima, fruta fresca y procesada, y en general los costos asociados a dichos procesos; donde se mejore el desempeño logístico de los proveedores, productores, comercializadores mayoristas, comercializadores minoristas, agroindustria, y consumidores finales que hacen parte de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola.

A continuación, se presenta un análisis de los cultivos de mango y mora, los cuales han sido seleccionados de acuerdo a la metodología desarrollada dentro del marco del grupo de investigación GICALyT y descrita en el capítulo 2 del presente estudio.

1.1.3 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE MANGO

En la actualidad, la cadena de mango presenta problemas como la informalidad, la no contabilización en las centrales de abasto de las cantidades ingresadas, no se cuenta con sistemas para identificar el origen del producto y no se presenta facturación, adicionalmente, hay comercialización ilegal, situación que no permite un eficiente recaudo de la cuota parafiscal (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2012).

Según el gerente general de Asohofrucol, Álvaro Ernesto Palacio Peláez, a pesar de que Colombia cuenta con unas 23 mil hectáreas de mango, la producción es insuficiente y hay deficiencias en la calidad, lo cual no permite atender los mercados nacional e internacional, impidiendo el cumplimiento a la agroindustria nacional, que está desabastecida y tiende a desaparecer, lo que es debido a que el país carece de una infraestructura de poscosecha y de logística, y hay una escasa iniciativa empresarial.

Sin embargo, el plan decenal 2012-2022 ha seleccionado el mango como una de las frutas priorizadas, por sus posibilidades de producción competitiva y por las grandes oportunidades de comercialización internacional y nacional, en fresco y como producto procesado.

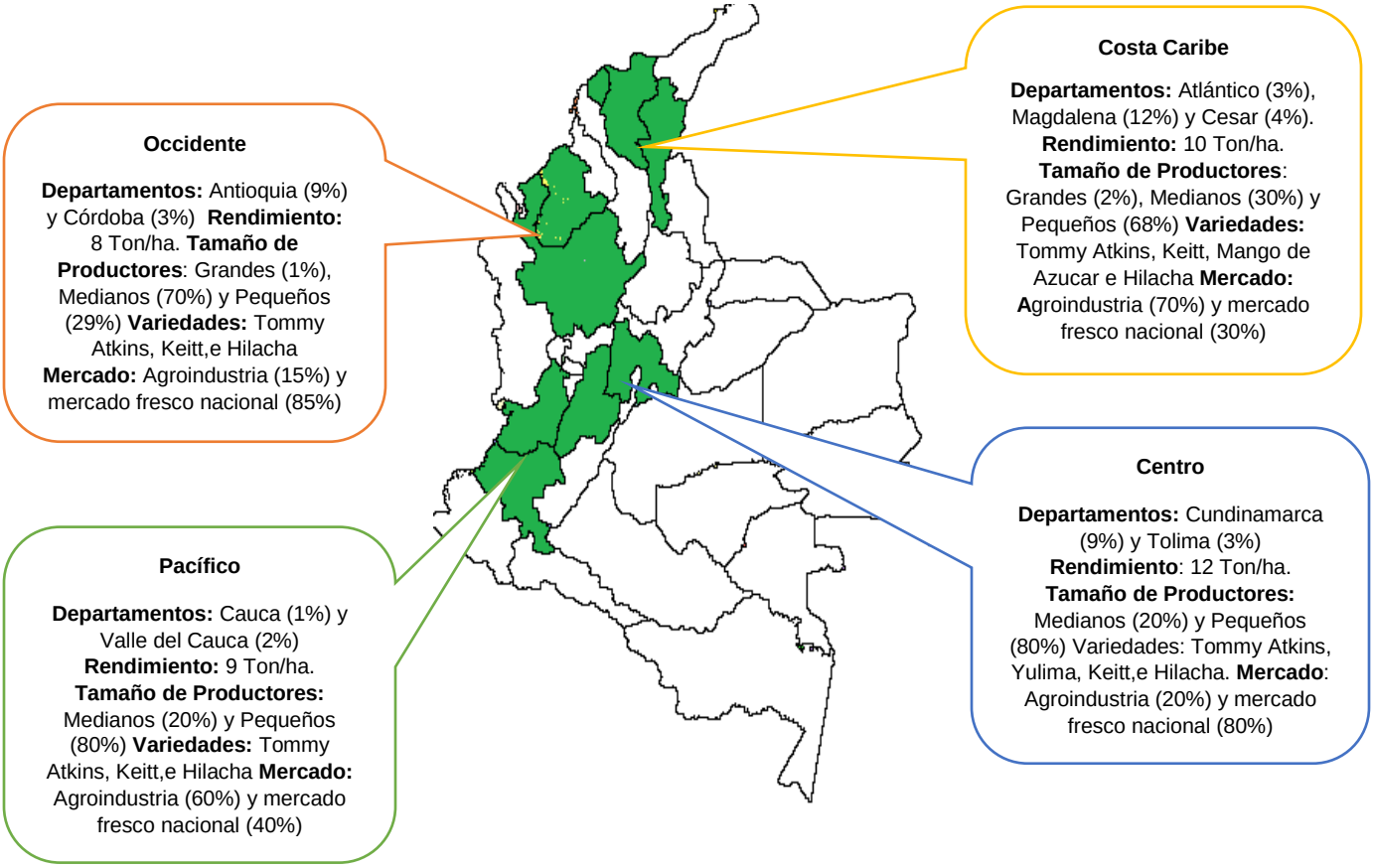
En el país, existen cerca de cien variedades de mango, cuyo único mercado hoy es la plaza local, y para algunas variedades tradicionales, la agroindustria. Eso permitió que el año precedente el precio interno en algunas variedades alcanzara, en época de escasez, valores cercanos a los $5 mil el kilogramo, sin embargo, se presentaron precios de $300 en pico de cosecha, lo que imposibilita la sostenibilidad (Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2012).

Así mismo, actualmente el sector agrícola, se encuentra en una coyuntura en donde la demanda internacional ha crecido y el país ha firmado tratados de libre comercio, lo cual ha generado un crecimiento en las áreas de siembra, que impulsan a las entidades de la cadena a actuar en pro de transferir un modelo productivo nuevo y mejorado.

La cadena del mango está constituida por los gremios de productores, proveedores de insumos, comercializadores, industrias, exportadores, centros de investigación y el sector

público (Sistema de Información de Gestión y Desempeño de organizaciones de cadenas, 2015). El gráfico 12 muestra el diagnóstico nacional del sector del mango para Colombia en el año 2016.

Gráfico 12. Diagnóstico nacional sector del mango Colombiano 2016



Fuente: Elaboración propia a partir de (Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural, 2016)

Se evidencia un pequeño porcentaje de productores de tamaño grande, es decir, los que poseen un área sembrada mayor a 51 hectáreas, una participación inferior al 50% de productores medianos (mayor a 11 ha y menos a 50 ha) y se observa que el mayor porcentaje de población de productores se concentra en el tamaño pequeño, por lo tanto, tienen un área sembrada de mango inferior a 11 hectáreas.

Por otro lado, en el mercado de mango fresco, de mango rojo (Tommy), se presenta dos picos de mercado que son aprovechados por quienes hacen desfase de cosechas: febrero-marzo-abril y julio-agosto-septiembre. Hay ejemplos claros de que el desfase de cosechas es una alternativa que nos ha abierto la posibilidad de llevar la oferta al momento deseado. Adicionalmente, el Tommy tiene cuatro meses de mal precio y ocho de buen precio.

1.1.3.1 Variedad de Mango Tommy Atkins

Es de buena calidad y regular de sabor; se considera de alta producción. Uno de los problemas del Tommy, tiene que ver son que está sujeto al rompimiento fisiológico del fruto antes de la madurez, debido a bajos niveles de calcio; alta vulnerabilidad a ataques de hongos; pudrición interna del fruto, y nariz blanda principalmente; resistente al manejo de la fruta en plantación y poscosecha; algo tolerante a la antracnosis y al ataque de trips; pero susceptible al a pudrición interna de la fruta; ataque de bacteria en el tronco y de producción muy irregular y alternante (Asohofrucol-Corpoica, 2013).

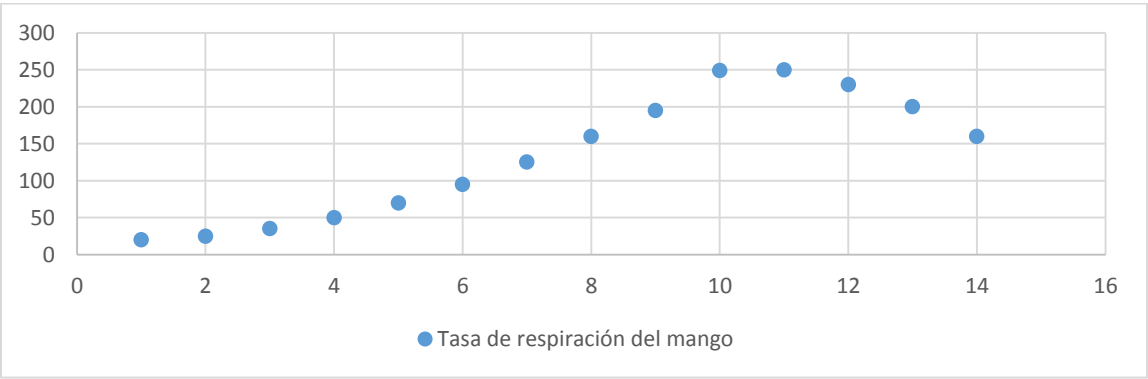
1.1.3.2 Tasa de respiración del fruto de mango

El mango es un fruto climatérico, es decir, muestra un aumento en la respiración al comienzo de su maduración, la cual se puede caracterizar en 4 etapas (Lizana & Ochagavía, 1998):

I. Pre-climatérica, que tiene una duración de hasta tres días (26°C y 45-65% H.R.) después de la o cosecha. Se caracteriza por una baja producción de CO_2 (70 mg. CO/Kg-h), fruta firme y piel de color verde.
II. Aumento del período climatérico con una duración de hasta el sexto día de postcosecha. Se produce un aumento repentino del CO_2, sin embargo los frutos permanecen verdes y firmes.
III. Máximo del climatérico, el cual ocurre al noveno día de postcosecha y en donde se produce la mayor liberación de CO_2 (250 mg. CO/Kg-h aprox.) en la fruta se produce un quiebre del color, aumento del jugo y del olor.
IV. Se produce después de los 10 días de cosecha, en donde los niveles de CO_2 disminuyen bruscamente y se produce el aroma característico del fruto.

El gráfico 13 ilustra cómo el fruto de mango alcanza su madurez fisiológica a partir del día 10 y su máximo climatérico aproximadamente a los 12 días de almacenamiento, llegando así a su senescencia a los 14 días de ser cosechado.

Gráfico 13. Tasa de respiración de CO_2 en función de los días de almacenamiento



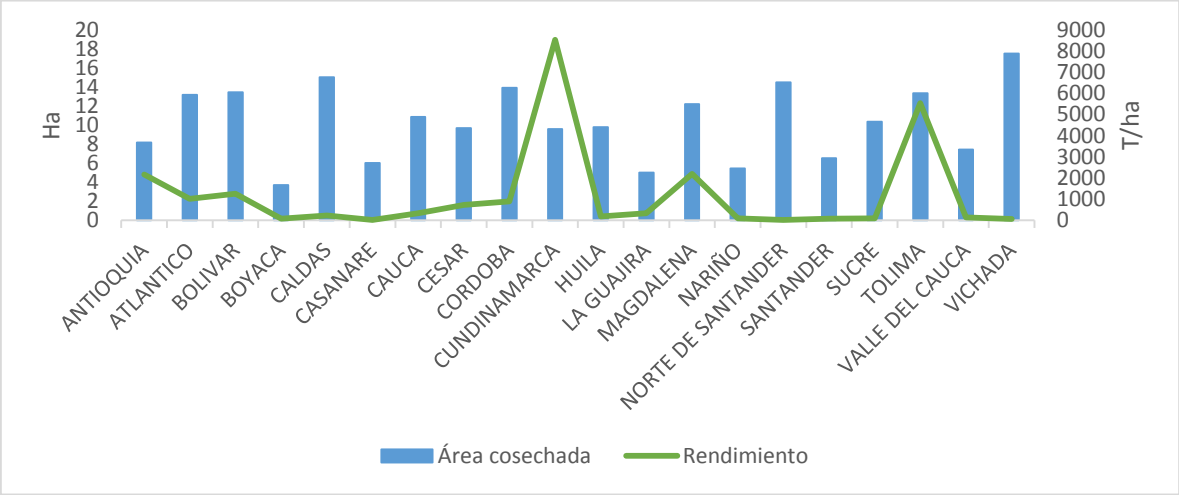
Fuente: Elaboración propia a partir de (Lizana & Ochagavía, 1998)

Se evidencia que después de alcanzado su máximo climatérico, la fruta empieza a perder calidad y la fruta comienza a ser susceptible a los microorganismos. A continuación se presentan los principales departamentos productores, así como la relación de las hectáreas cosechadas con el rendimiento del cultivo en los departamentos de Colombia.

1.1.3.3 Principales departamentos productores, área cosechada y rendimiento

Para el año 2014 en Colombia se produjeron 269.312 toneladas de mango, siendo Cundinamarca el principal departamento productor con 90.790 ton, seguido de Tolima ton 77.231 ton, Magdalena con 24.848 ton, Bolívar con 18.462 ton y Córdoba con 16.135 ton. Así, se evidencia con respecto al año 2013 un aumentó un 2.87% (Ministerio De Agricultura y desarrollo Rural, 2015c)

Gráfico 14. Tendencias área cosechada y rendimiento del cultivo de mango 2014



Fuente: Elaboración propia a partir de (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015b)

En el gráfico 14 se ilustran los departamentos que presentaron mayor rendimiento por hectárea respectivamente Cundinamarca, Tolima, Magdalena y Antioquia con un rendimiento promedio de 11.57 toneladas/ hectárea y con un área total cosechada de 23.273 de cultivo de mango en todo el país.

1.1.3.4 Agroindustria y generación de valor

Finalmente, es importante destacar la participación que presenta el mango en la agroindustria y su generación de valor, ya que existe la necesidad de crecer con una nueva fuerza productiva, con el fin de acrecentar el área sembrada en el país, que produzca excedentes de buena calidad para la agroindustria. A continuación se presenta la situación de los principales sectores que utilizan el mango como materia prima:

Despulpadoras: En la actualidad cuenta con una infraestructura de procesamiento de mango para la producción de Concentrado Aséptico. Ellos recolectan la fruta de árboles de patio y plantaciones silvestres. La variedad que más procesan es el mango común o hilacha. La capacidad instalada del país entre las 7 agroindustrias es de 92.000 toneladas/año.

Deshidratadores: Se cuenta con una agroindustria pequeña que compra pequeñas cantidades de mango a los mayoristas de las centrales de abastos, el producto final es mango deshidratado.
Mango en trozos congelado: Este nuevo segmento de procesamiento de mango se abre desde una fábrica en Palmira que se llama OLMUE, ellos compran mango bajo en fibra de variedades como el Keitt y el Kent. Lo procesan en trozos y lo congelan rápidamente.

En este sentido, es importante destacar, que no hay desarrollo del sector sin agroindustria y en el caso del mango, la agroindustria presenta el soporte para crecer en áreas, ofreciendo un precio por la producción, y con ello establece un "piso" para la comercialización, es decir, actuando como un sistema push o de presión, y por lo tanto el mercado en fresco tiene que adecuarse a ese "piso". La agroindustria estabiliza y regula el mercado, ya que es la única que sostiene el mercado en la abundancia. En consecuencia, para presentar un crecimiento en el mercado, la dimensión y estabilidad del mercado internacional es básicamente la única opción.

Por lo tanto, es necesario trabajar en generar estructuras productivas garanticen volumen y calidad, así como en la construcción de estructuras de comercialización e industrialización que permitan la introducción del mango al mercado internacional y el procesamiento del producto no exportable. Dichas conclusiones convergen en producir lo que el mercado compra, y en los volúmenes que permitan sostener dichos mercados.

1.1.4 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE LA MORA

La Mora es una fruta de las más representativas en cuanto a cobertura geográfica y hectáreas sembradas en el país, se produce en casi todo el territorio nacional pero principalmente en 20 departamentos del país, en 4 de ellos se concentran el 63% del área y 69% de la producción nacional. Sin embargo, su cultivo presenta las siguientes dificultades, identificadas por los directores de cadena, las cuales consisten en la dispersión de la producción, deficientes organizaciones de productores, excesiva intermediación, escasez de recurso humano capacitado (técnicos), falta de investigación, transferencia, capacitación y fomento, falta de oportunidades de mercados nacionales e internacionales, poco interés de procesadoras y almacenes de cadena en formalizar alianzas de mercado, y finalmente, dificultades para obtener crédito y asistencia técnica(Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, 2010).

El tipo de mora más cultivado es Rubus glaucus (Mora de Castilla). A continuación se presentan las condiciones agroecológicas para el crecimiento del cultivo de la mora.

1.1.4.1 Exigencias agroecológicas

La mora se adapta fácilmente a alturas entre los 1.200 y los 3.500 m.s.n.m, sin embargo, comercialmente es cultivada entre los 1.800 y 2.400 m.s.n.m. En cuanto a la temperatura, entre los 11 y 18 ° C se dan las mejores condiciones de producción. Las plantas requieren aproximadamente entre 1.200 y 1.600 horas de brillo solar al año y entre 1.500 y 2.500 mm de precipitación anual.

En Colombia los cultivos de mora se encuentran establecidos en pendientes suaves de 3% a 10% a fuertes de 20% a 30%; es esencial tener en cuenta que requiere una profundidad efectiva del suelo de 50 cm para el buen desarrollo de las raíces (tabla 11) (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015a).

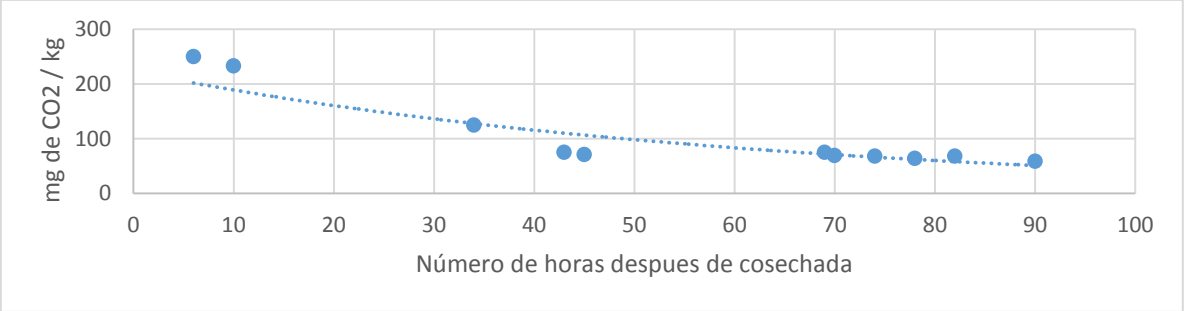
Tabla 11. Condiciones agroecológicas de la mora

Altura sobre el nivel del mar	1.800 a los 2.400 m.s.n.m.
Temperatura	Entre 11 y 18 °C
Humedad relativa	70 al 80%.
Requerimiento Hídrico	Precipitaciones entre 1.500 y 2.500 mm al año
Tipo de Suelo	Franco arcilloso
Rango de pH	Entre 5,2 y 6,7.

Fuente: Elaboración propia a partir de *(Cámara de Comercio de Bogotá, 2015a)*

La mora al ser una fruta no climatérica no incrementa su producción de etileno cuando maduran, es decir, debe ser recolectada cuando se encuentra madura ya que solo cambia su aspecto físico después de la cosecha pero no su maduración, Como se ilustra en el gráfico 15 la tasa de respiración disminuye paulatinamente hasta entrar en periodo de obsolescencia aproximadamente al 5 o 6 día de cosechada a condiciones ambientales no controladas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Organización Mundial de la Salud, 2011).

Gráfico 15. Tasa de respiración de CO_2 en función de las horas de almacenamiento



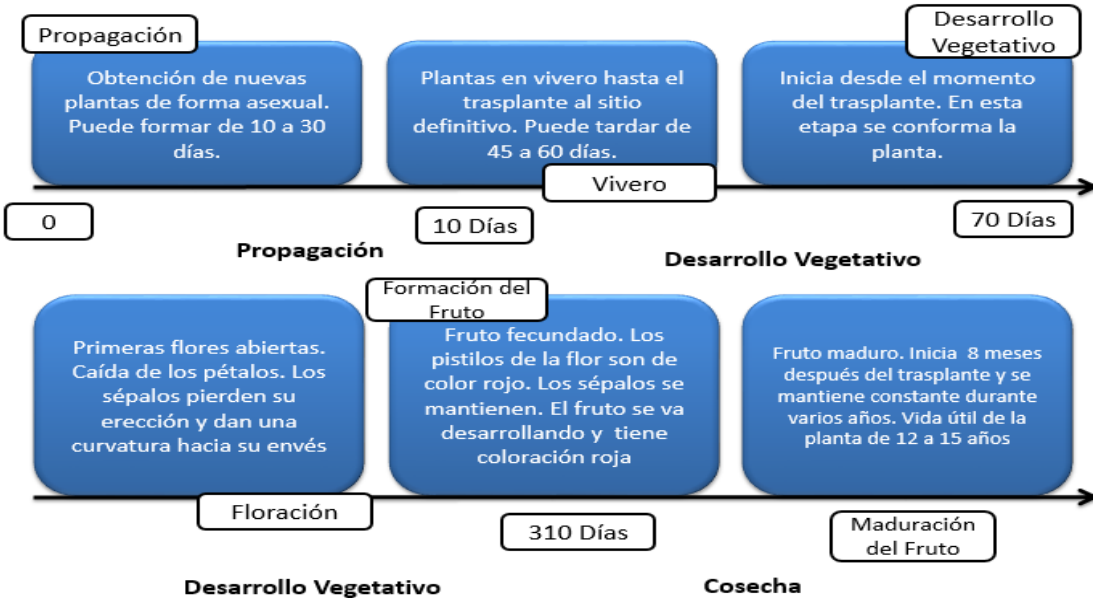
Fuente: Elaboración propia a partir de (Fischer, 2006)

Por lo tanto, la mora presenta una de las tasa de respiración más complejas para su manipulación a lo largo de una cadena de suministro.

1.1.4.2 Ciclo fenológico del cultivo

Una vez comienza la etapa de maduración, la planta incrementa su producción paulatinamente hasta los 18 meses, tiempo en el cual se estabiliza y continúa produciendo por aproximadamente 12 a 15 años (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015b). La figura 1 muestra las etapas del desarrollo del cultivo de mora, relacionando el tiempo aproximado transcurrido hasta el momento de su cosecha.

Figura 1.Etapas de desarrollo del cultivo de mora



Fuente: (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015b)

Después de la cosecha, el fruto debe ser entregado en los centros de acopio el mismo día, máximo 8 a 12 horas después de recolectada.

1.1.4.3 Prácticas de cosecha

La primera cosecha se obtiene entre los siete y nueve meses después del establecimiento del cultivo y llega a su plena producción a los 15 meses de edad. La fruta es recolecta halándola por su base, procurando no mantenerla mucho tiempo en la mano, sus frutos maduran de manera heterogénea por lo que durante la cosecha se requiere tener precaución, ya que se debe recolectar fruta madura cuando aún hay fruta verde. La recolección es realizada de manera permanente, aunque se presentan algunas épocas de mayor concentración de producción. Para su cosecha se recolecta la fruta que tenga el mismo estado de madurez, se debe evitar el exceso de manipulación de la fruta en campo y no se recomienda emplear recipientes. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR, en los meses de enero, febrero, julio, agosto y diciembre se presenta una alta oferta de producto, mientras que en los meses de marzo, junio y noviembre se presenta una oferta media; la oferta baja ocurre en los meses de abril, mayo, septiembre y octubre (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015b).

1.1.4.4 Postcosecha

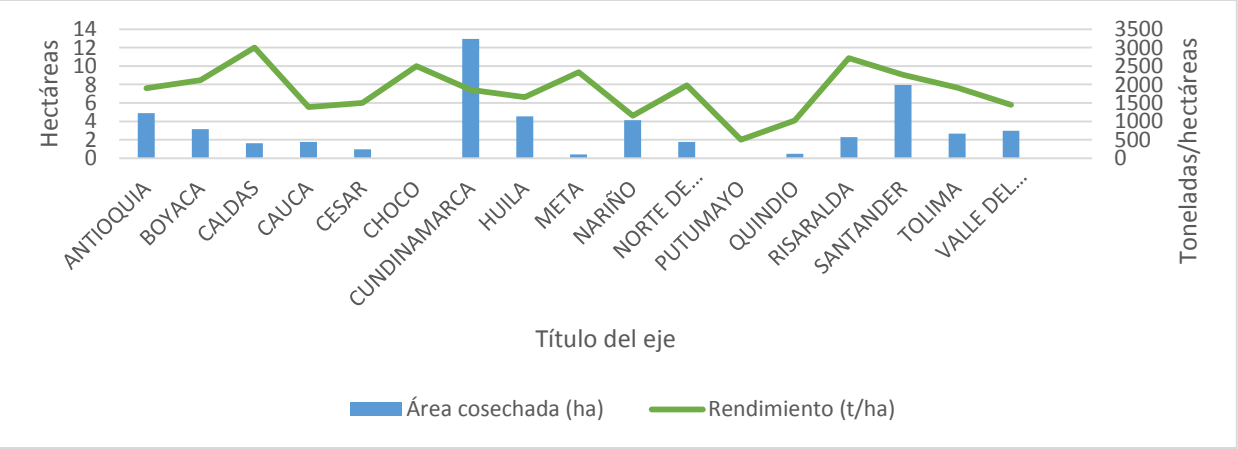
La fruta recolectada no debe ser expuesta a la intemperie, haciéndose necesario tener un centro de acopio para la postcosecha en donde se realizan las labores de selección, acondicionamiento, empaque y conservación. En la primera se realiza la selección del producto retirando frutos con daño mecánico, imperfecciones y afectado por insectos o enfermedades. Posteriormente se realiza la clasificación: separación y agrupación del producto de acuerdo con las calidades requeridas en cuanto a tamaño y grado de madurez. Es necesario realizar la entrega de la fruta en los centros de acopio el mismo día, máximo 8 a 12 horas después de recolectada.

El fruto de mora es altamente perecedero, tiene una vida de estante de 3 a 5 días, por lo cual el pre enfriamiento es necesario cuando se encuentra madura y sobremadura (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015c). Su carácter altamente perecedero, puede generar pérdidas poscosecha de hasta el 60-70%. Adicionalmente, la carencia de tecnología en las áreas de cosecha y acondicionamiento, origina elevadas pérdidas para productores, comercializadores, exportadores, agroindustriales y consumidores, por lo tanto, se hace necesario cuantificar estas pérdidas de manera que permitan identificar los puntos críticos del manejo poscosecha (Pulido, 2012).

1.1.4.5 Principales departamentos productores, área cosechada y rendimiento

Para el año 2014 en Colombia se produjeron 115.884 toneladas de mora, siendo Cundinamarca el principal departamento productor con 25437 ton, seguido de Santander con 22.770, Antioquia con 14.681, Huila con 7927 ton y Caldas con 7604 ton. Con respecto al año 2013, aumentó un 0,13%, sin embargo, no se presenta un crecimiento significativo (Ver gráfico 16). (Ministerio De Agricultura y desarrollo Rural, 2015c)

Gráfico 16. Tendencias área cosechada y rendimiento del cultivo de mora 2014



Fuente: Elaboración propia a partir de (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015a)

En este año, Colombia presentaba un área cosechada total de 13158,87885 destinada al cultivo de la mora, con un rendimiento promedio de 7,35 toneladas/ hectárea. Según las cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la producción de mora en Colombia ha mostrado un destacado desempeño durante los últimos años (Urueña, Jorge, & Chaverra, 2009).

1.2 MARCO TEÓRICO

La competitividad dentro de una economía cada vez más globalizada, hace necesaria la incorporación de la logística industrial como un mecanismo estratégico en organización. La logística industrial y la cadena de suministros absorben entre un 60% y 80% de cada dólar que vende una empresa, por lo tanto es esencial para su estrategia competitiva (Ballou, 2004a).

El consejo de dirección logística citado en (Ballou, 2004b) define a la **logística** como "la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes".

Para (Ballou, 2004c), el límite entre la logística y la cadena de suministros es confuso, por lo tanto hace uso de los términos indistintamente. La logística y la cadena de suministros consiste en un conjunto de actividades funcionales (control de inventarios, transporte, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo mediante las cuales la materia prima se convierte en producto terminado y se añade valor para el consumidor. Tiene como objetivo fijar el nivel de actividades logísticas a fin de hacer productos y servicios que estén disponibles para los clientes en el momento, el lugar, condiciones y formas deseadas, de la manera más ventajosa o efectiva en costos.

Por otra parte, (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009a) definen la logística como un término que se refiere a las funciones administrativas, las cuales apoyan el ciclo completo de flujos de materiales: de la compra y el control interno de las materias para producción, la planeación y control del trabajo, y la compra, embarque y distribución del producto terminado.

Para la presente investigación se construyó el siguiente concepto a partir de las definiciones mencionadas:

La logística es una disciplina que hace parte de la cadena de suministro, encargada de administrar el flujo de materiales, desde proveedores, hasta la entrega del producto final, así como la información relacionada, con el objetivo de hacer productos y servicios que estén disponibles para los clientes en el momento, el lugar, las condiciones y formas deseadas y a un costo justo.

El manejo de la **cadena de suministro** acentúa las relaciones de la logística que se llevan a cabo en las funciones de marketing, logística y producción en una empresa y las interacciones existentes entre empresas independientes dentro del canal de flujo de producción (Ballou, 2004b).

Adicional a la definición propuesta en (Ballou, 2004d), es posible encontrar una serie de definiciones propuestas por otros autores sobre la administración de la cadena suministros, entre las cuales se encuentran:

La cadena de suministros "abarca todas las actividades que comprenden flujo y transformación de bienes, desde la etapa de la materia prima, hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados"

“La administración de la cadena de suministros es la integración de estas actividades mediante mejoramiento de las relaciones de la cadena de suministros para alcanzar una ventaja competitiva sustentable”.

Para (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009b), el término cadena de suministro proviene de la manera en que las organizaciones están vinculadas, desde el punto de vista de una compañía en particular. El objetivo de la administración de la cadena de suministro es aplicar el enfoque de un sistema completo a la administración del flujo de información, materiales y servicios, provenientes de proveedores de materias primas, mientras pasan por las fábricas y los almacenes, hasta llegar al consumidor final. Para (Toomey, 2000), la cadena de suministros de un producto es el proceso desde la materia prima hasta que el producto final está disponible para el usuario y con vinculación de todos los proveedores-usuarios implicados en el proceso.

Según (Ballou, 2004e) es difícil separar la dirección de la logística industrial de la dirección de la cadena de suministros. Algunos autores plantean que la cadena de suministro es sólo otro calificativo para la dirección integrada de la logística industrial; otros, afirman que la logística hace parte de la dirección de la cadena de suministros, donde la administración de la cadena de suministros relaciona aspectos que abarcan más allá del flujo del producto.

Para esta investigación se adoptará como cierta la definición de administración de la cadena de suministros propuesta por (Chase et al., 2009b), así como su objetivo.

Dentro de los procesos logísticos llevados a cabo en la cadena de suministros se encuentran:

- Gestión de inventarios
- Gestión de almacenes
- Gestión de aprovisionamiento: Gestión de compras y gestión de proveedores
- Gestión de distribución
- Logística de servicio al cliente

La presente investigación hará énfasis en el proceso logístico de gestión de inventarios y almacenes.

1.2.1 Definición de inventario

(Ballou, 2004f) define los ***inventarios*** como “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; por lo tanto la gestión de inventarios se deriva de la importancia que tienen estas existencias para la empresa y de la necesidad de ejercer un control y administrarlas”. Por su parte, (Chase et al., 2009a) consideran que “los inventarios son las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización” y que por lo tanto un sistema de inventario es el conjunto de políticas y controles que vigilan los niveles del inventario y determinan aquellos a mantener, el momento en que es necesario reabastecerlo y qué tan grandes deben ser los pedidos.

1.2.2 Gestión de inventarios

La American Production and Inventory Society (APICS) define la gestión de inventarios como una rama de la gestión empresarial que se ocupa de la planeación y el control de los inventarios. El rol de la gestión de inventarios es mantener un nivel de inventario deseado para productos específicos. El sistema que planea y controla los inventarios debe estar basado en el producto, el cliente y el proceso (sea fabricado o adquirido) para tener el producto disponible. El costo de mantener el inventario a lo largo de todo el proceso es elevado, sin embargo se convierte en parte del costo del producto (Toomey, 2000).

Para realizar la ***gestión de inventarios*** existen diversos sistemas que pueden ser empleados en función de múltiples factores, como la periodicidad de la toma de decisiones, la naturaleza de la demanda, los costes de inventario o el tiempo de suministro, entre otros. Uno de estos sistemas es la Gestión Clásica de Inventarios, la cual agrupa un conjunto de modelos que resultan más adecuados cuando la demanda de los ítems a gestionar es continua (esto es, constante a lo largo del tiempo) e independiente (es decir, sujeta a las condiciones del mercado y no relacionada con la demanda de otros artículos) (Luque, Garcia, Garrido, Gonzalez, & Sacristán, 2008).

El propósito básico del análisis del inventario en la manufactura y los servicios es especificar 1) cuándo es necesario pedir más piezas, y 2) qué tan grandes deben ser los pedidos. Muchas empresas suelen establecer relaciones con los proveedores a más largo plazo para cubrir sus necesidades quizá de todo un año. Esto cambia las cuestiones de “cuándo” y “cuántos pedir” por “cuándo” y “cuántos entregar”(Chase et al., 2009a).

1.2.3 Componentes de un modelo de inventarios

Al formular una **política del inventario**, deben considerarse las relaciones específicas de éste. La administración debe comprender estas relaciones para determinar la política del inventario acerca de cuándo hacer y cuánto incluir en un pedido (Bowersox, Closs, & Cooper, 2007b), para tal fin, es necesario considerar los elementos que se presentan a continuación:

El tamaño de lote; cantidad que se producen o compra en una etapa de la cadena de suministro produce en un momento dado (Chopra & Meindl, 2008b), por otro lado, (Bowersox et al., 2007b) denomina a la cantidad de pedido como el monto solicitada para el reabastecimiento.

Existencias de seguridad, son aquellas que se conservan en un sistema logístico como protección contra la incertidumbre de la demanda; generalmente se utilizan cerca del punto de re abastecimiento, cuando la incertidumbre ha causado una demanda mayor que la esperada o el ciclo de desempeño es más largo de lo esperado (Bowersox, Closs, & Cooper, 2007a).

Según (Bowersox et al., 2007b), el inventario de ciclo o existencias básicas es la porción del inventario promedio resultado del re abasto, por otro lado, (Chopra & Meindl, 2008a) define el inventario de ciclo como el inventario promedio en una cadena debido a la producción o cantidades económicas de pedido más grandes que la demanda.

El objetivo del **inventario de ciclo** consiste en permitir que en las diferentes etapas de la cadena de suministro se compren productos en tamaños de lote que minimicen la suma de los costos de material, ordenar y mantener inventario. Si se considera sólo el costo de mantener inventario, esto reducirá el tamaño del lote y el inventario de ciclo. No obstante, las economías de escala motivan al incremento del tamaño del lote y el inventario de ciclo (Chopra & Meindl, 2008a).

Otro de los componentes de un modelo de inventario es el **tiempo de espera o lead time**, que es la cantidad de tiempo entre la colocación de un pedido para reponer inventario (ya sea a través de la compra o la producción) y la recepción de los bienes en el inventario (Hillier & Lieberman, 2001a).

Otros componentes esenciales en la gestión de inventarios son la demanda y la naturaleza de la misma, así como los costos asociados a dicho proceso logístico, por lo tanto en el siguiente apartado se dará desarrollo a dichos aspectos.

1.2.4 Características de la Demanda

(S K Goyal & Giri, 2001) presentan una clasificación de la naturaleza de la demanda, la cual es vital para el control de inventarios en la cadena de suministro (figura 2).

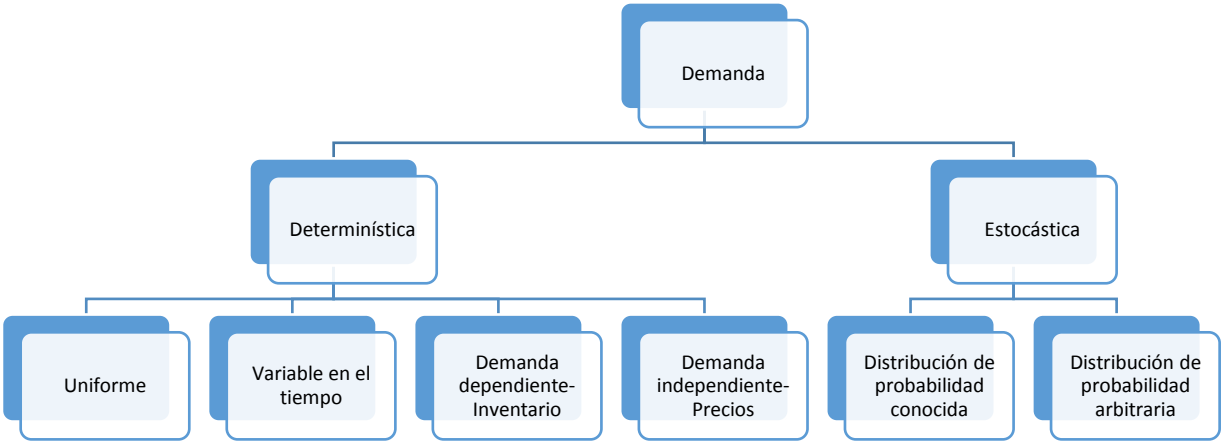


Figura 2.Clasificación de la demanda.

Fuente: Elaboración propia a partir de (S K Goyal & Giri, 2001)

Los modelos matemáticos de inventario pueden dividirse en dos grandes categorías modelos deterministas y modelos estocásticos. La demanda de un producto en el inventario es el número de unidades que tendrán que ser retiradas del inventario para un cierto uso (por ejemplo, ventas) durante un período específico. Si la demanda en periodos futuros puede ser pronosticada con una precisión considerable, es razonable usar una política de inventarios que asume que todos los pronósticos son correctos; este es el caso de la demanda conocida, donde son usados los modelos de inventario determinísticos. Sin embargo, cuando la demanda no se puede predecir con facilidad, se hace necesaria la utilización de un modelo de inventario estocástico donde la demanda a lo largo de los periodos es una variable aleatoria (Hillier & Lieberman, 2001b).

1.2.5 Costos asociados a la gestión de inventarios

Los costos involucrados en la gestión de inventarios son: (1) costo de ordenar, (2) costo de mantenimiento de inventario y (3) costo de escasez, a continuación se hace una breve descripción de cada uno.

1.2.5.1 Costo de ordenar

Una cantidad z (ya sea a través de la compra o la producción de esta), puede ser representada por una función $C\ (Z)$. La forma más simple de esta función es que es directamente proporcional a la cantidad ordenada, es decir $C * z$, donde C representa el precio unitario pagado. Otra suposición es que $C\ (Z)$se compone de dos partes: un término que es directamente proporcional a la cantidad ordenada y un término que es una constante k para z positiva y 0 para $Z = 0$, en este caso:

$C(z)\ es\ el\ costo\ de\ ordenar\ z\ unidades$:

$$= \begin{cases} 0 & si \quad z = 0 \\ k + cz & si \quad z > 0 \end{cases}$$

Donde k=costo de alistamiento y c = costo unitario.

La constante k incluye el costo administrativo de ordenar, o cuando se producen costos involucrados en la creación de una campaña de producción (Hillier & Lieberman, 2001b).

1.2.5.2 Costo de mantenimiento de inventario

El costo de mantener (a veces llamado el costo de almacenamiento) representa todos los costos asociados con el almacenamiento del inventario hasta que se vende o se usa. Se incluyen el costo de capital invertido, el espacio, los seguros, la protección, y los impuestos atribuidos al almacenamiento. El coste de tenencia se puede evaluar de forma continua o de forma periodo a periodo. En este último caso, el costo puede ser una

función de la cantidad máxima que tuvo lugar durante un período, el monto promedio, o la cantidad en inventario al final del período (Hillier & Lieberman, 2001c).

1.2.5.3 Costo de escasez

El costo escasez (a veces llamado el costo demanda insatisfecha) se incurre cuando la cantidad de la mercancía requerida (demanda) excede el inventario disponible.

Existe un primer caso, donde un exceso de demanda no se pierde, es decir se permite la escasez y la orden se lleva a cabo hasta que se pueda satisfacer en el próximo periodo. Cuando una organización incurre en una escasez temporal en el suministro de sus clientes, el costo de escasez se puede interpretar como la pérdida de la buena voluntad de los clientes y la posterior renuencia a hacer negocios con la empresa, el costo del retraso en los ingresos, y los costos administrativos adicionales. Para un fabricante, incurrir en una escasez temporal en los materiales necesarios para la producción, el costo escasez se convierte en el costo asociado con el retraso de la terminación del proceso de producción.

En el segundo caso, si se produce cualquier exceso de demanda sobre el inventario disponible, la empresa no puede satisfacer el exceso de demanda y realizar la entrega normal, puede ocurrir: (1) el exceso de demanda es satisfecha por un envío prioritario, o (2) no se cumple en absoluto, porque las órdenes se cancelan. Para la situación 1, el costo escasez puede ser visto como el coste del envío de prioridad. Para la situación 2, el costo escasez es la pérdida de los ingresos corrientes de no cumplir con la demanda más el costo de la pérdida de negocios futuros, debido a la perdida de voluntad (Hillier & Lieberman, 2001c).

1.2.6 Punto de reorden

Cuando el inventario se reduce hasta el punto en el que su nivel es igual o menor que una cantidad específica, se dice que ha llegado al punto de reorden, se coloca una cantidad económica de pedido Q* en el punto de suministro para reponer el inventario (Ballou, 2004a), es decir, consiste en el nivel de inventario en el que se coloca la orden (Hillier & Lieberman, 2001d).

1.2.7 Políticas de inventario

Una forma de clasificar las políticas de inventarios, puede ser por su frecuencia de revisión, la cual puede realizarse de manera continua o periódica:

1.2.7.1 Revisión periódica

El estatus del inventario es verificado a intervalos regulares periódicos y el pedido se coloca para incrementar el nivel del inventario a un límite específico (Hillier & Lieberman, 2001a).

1.2.7.2 Revisión continua

El inventario se supervisa continuamente y el pedido de un tamaño de lote Q se coloca cuando el inventario desciende hasta el punto de reorden (ROP, reorder point) (Hillier & Lieberman, 2001a).

1.3 REVISIÓN LITERARIA

1.3.1 Gestión de inventarios

La gestión de inventarios es una de las actividades más relevantes y desafiantes para cualquier organización manufacturera y debe ser ejecutada tan eficientemente como sea posible para garantizar el éxito en el competitivo mundo de los negocios de hoy (Cárdenas-Barrón, Chung, & Treviño-Garza, 2014). El desarrollo de modelos de inventario para la cadena de suministro es un área de investigación importante que ha sido explorada en los últimos años. Los resultados de estos esfuerzos de investigación han demostrado que las decisiones tomadas de manera integrada y de colaboración se traducen en un mayor beneficio para todos los miembros de la cadena de suministro, en comparación con los escenarios donde cada miembro toma decisiones de forma individual (Cárdenas-Barrón et al., 2014).

Por otro lado, el control de inventarios constituye una de las operaciones logísticas más importantes en este tipo de cadenas (Coelho & Laporte, 2014) (Qin, Wang, & Wei, 2014) (K.-J. Chung, Eduardo Cárdenas-Barrón, & Ting, 2014) (Lee & Chung, 2012) (Duan & Liao, 2013a) (Salin, 1998), especialmente en productos como frutas y verduras, ya que estos tienen una tasa de deterioro significativamente alta, generando que se degraden incluso cuando están en movimiento; adicionalmente presentan atributos de estacionalidad que relacionan una volatilidad entre la oferta y la demanda (Soto-Silva, Nadal-Roig, González-Araya, & Pla-Aragones, 2015), por lo que la elección del cliente se ve influenciada por la disponibilidad inmediata de los alimentos frescos y la calidad de los mismos (P.-C. Yang & Wee, 2003)(Akkerman, Farahani, & Grunow, 2010) (J. G. A. J. V. A. N. D. E. R. Vorst, 2006) (Duan & Liao, 2013).

Los inventarios de productos perecederos, implican ordenes sensibles al tiempo, los pedidos terminados a menudo se entregan a los clientes inmediatamente o poco tiempo después de la producción; en consecuencia, hay poco o ningún inventario de productos terminados en la cadena de suministro, de manera que la producción y distribución están íntimamente relacionadas y deben ser programadas conjuntamente para lograr el rendimiento deseado con la entrega a tiempo y a un costo total mínimo (Z.-L. Chen, 2009), adicionalmente, el alto carácter perecedero de los productos alimenticios conlleva a la generación de altos volúmenes de desperdicio (Duan & Liao, 2013). Por lo tanto, como se evidencia, existen grandes desafíos para la obtención de una cadena de suministro de productos perecederos eficiente; es por eso que cada vez más autores han estudiado el comportamiento de la gestión de inventarios en estas cadenas. A continuación, se establece el estado del arte de los modelos de inventarios aplicados a las cadenas de suministro de productos agrícolas con el objetivo de visualizar una posible

aplicación en el contexto colombiano. Este estudio señala diversas tendencias que servirán de base para futuras investigaciones en el campo.

1.3.2 Modelos clásicos de gestión de inventarios

La primera publicación sobre modelos de inventarios fue realizada en 1913 por el ingeniero Ford Whitman Harris, quien introdujo el modelo EOQ (Economic order quantity), el cual básicamente intenta relacionar los costos de mantener el inventario con los de realizar la orden de pedido, encontrando una cantidad económica de pedido que optimiza (minimiza) los costos generados (Harris, 1990), es decir, pretende precisar la cantidad a pedir y el periodo en el que debe ser suministrada con el fin de minimizar los costos, suponiendo inicialmente una demanda determinística y una ausencia de deterioro de los productos, entre otras cosas.

Desde la publicación del modelo de Harris, muchos autores han realizado contribuciones a este, tal es el caso de (Taft, 1918), quien extendió el modelo EOQ incorporando una tasa finita de producción, en donde las reposiciones no ocurren al instante, suponiendo una tasa de producción continua en el tiempo y generando así el modelo llamado *Economic Production Lot* (EPL), que ha sido también desarrollado por otros autores empleando el término *Production Order Quantity* (Buffa, 1969) y (Silver, Pyke, & Peterson, 1998) como *Economic Production Quantity.* Sin embargo, (G. Hadley & Whitin, 1964), señalan que los modelos EOQ y EPL solo permiten ser utilizados para estudiar cada artículo individualmente, mientras no haya interacciones entre los elementos, por tanto, los modelos EOQ y EPL, que sólo consideran un producto, son limitados desde un punto de vista práctico. (Wagner & Whitin, 1958), extendieron el modelo de tamaño de lote determinista clásico con la demanda estacionaria para dar cabida a la demanda conocida que fluctúa entre periodos. El enfoque dinámico del tamaño del lote fue finalmente reconocido como una versión determinista de un modelo de renovación. Como se mencionó, luego de la publicación del modelo EOQ, surgieron numerosas publicaciones que se dedicaron a generar un mayor desarrollo de este, entre los autores destacados se encuentran (Scarf, Gilford, & Shelly, 1963) (George Hadley & Whitin, 1963) (Covert & Philip, 1973) (Wagner, 1975), (Sachan, 1984) (Tersine, 1988) (Suresh K. Goyal & Gupta, 1989), (Cheng, 1991).

Sin embargo, en sistemas donde el deterioro de los productos es evidente y este hecho incide directamente en el aspecto económico, suponer que los productos no se deterioran, conlleva a la utilización de políticas de inventarios que arrojan resultados lejanos del óptimo. Por lo tanto, existe un gran desafío en la gestión de inventarios de productos que presentan altas tasas de deterioro, para la determinación de una política que disminuya las pérdidas por el vencimiento de dichos productos y reduzca costos de penalización relacionados con el deterioro de los mismos.

1.3.3 Modelos de gestión de inventarios en productos perecederos

Gran parte de los modelos de inventario encontrados en la revisión literaria suponen que los artículos pueden ser almacenados indefinidamente para satisfacer las demandas futuras; sin embargo, ciertos tipos de productos pueden deteriorarse o adquirir la

condición de obsoletos en el transcurso del tiempo. Los problemas de gestión de inventarios para productos perecederos, en general son difíciles de tratar (Abad, 2000) (Nahmias, 1982) (Duan & Liao, 2013b), esto se debe a su corto ciclo de vida, la variabilidad de la demanda, y los altos estándares exigidos por el cliente.

La primera revisión literaria es realizada por (Nahmias, 1982), en la que se examinan modelos que tienen en cuenta inventarios de productos perecederos con vida fija (con demanda tanto determinística como estocástica), productos con ciclo de vida variable o aleatoria (modelos con revisión periódica y decaimiento exponencial) y un sistema con impaciencia en los clientes. (Raafat, 1991) presenta una revisión de modelos de inventarios de productos con deterioro y considera el efecto de este como una función del nivel de inventario disponible. En la literatura se encuentran tres problemas principales de optimización para la gestión de inventarios; la política de orden, que hace referencia a la fijación de mecanismos para establecer una cantidad de orden óptima (S.K. Goyal & Gunasekaran, 1995), (Padmanabhan & Vrat, 1995), (Abad, 1996), (Giri & Chaudhuri, 1998), (Kar, Bhunia, & Maiti, 2001), (P.-C. Yang & Wee, 2003), (Dye & Ouyang, 2005), una de emisión, que establece el orden en el que los productos son retirados del almacén o sistema para la satisfacción de la demanda (Minner & Transchel, 2010a) (Duan & Liao, 2013a) y finalmente la política de disposición en la que se dispone de una cantidad de productos determinada que será eliminada o retirada del inventario debido a sus condiciones (Herbon, Levner, & Cheng, 2014), adicionalmente, también es posible encontrar dichas políticas integradas (Rene Haijema, 2014).

Diversos autores han tratado modificaciones de los modelos clásicos a partir de la determinación de un tamaño de lote óptimo adaptados a los productos con decaimiento exponencial. (S.K. Goyal & Gunasekaran, 1995) consideran el impacto de instrumentos de marketing, desarrollando un modelo integrado de producción-inventario-marketing para determinar la cantidad de producción económica (EPQ) y cantidad económica de pedido (EOQ) para las materias primas en un sistema productivo. (Abad, 1996) formuló un modelo de optimización de precios y tamaños de lote dinámicos para un distribuidor de bienes perecederos, en el cual retrasa la demanda con el fin de venderlo a un buen precio. (Giri & Chaudhuri, 1998) (Padmanabhan & Vrat, 1995) (Dye & Ouyang, 2005) proponen un modelo de inventario de tipo EOQ extendido para un producto perecedero, (Abad, 2000) asegura que el carácter perecedero y las ordenes atrasadas son condiciones complementarias.

(S K Goyal & Giri, 2001) realizan un resumen de la literatura encontrada acerca de las tendencias de modelos de gestión de inventario para productos con deterioro, considerando únicamente un productor. Autores como (Kar et al., 2001) proponen un modelo de inventario para varios artículos con deterioro continuo, bajo el limitante de espacio y capital, estos artículos se vende a partir de dos tiendas, en cada caso se evalúan las cantidades óptimas de orden que maximiza la función de beneficio medio. Otros investigadores como (Minner & Transchel, 2010b) desarrollan las políticas mencionadas presentando un método para determinar las cantidades de pedidos dinámicos para productos perecederos con vida útil limitada, políticas de emisión FIFO o LIFO y múltiples limitaciones de nivel de servicio. (René Haijema, 2014), realiza un modelo basado en un proceso de decisión de Markov, y plantea una política de inventario

integral, que tiene en cuenta el inventario dependiendo de la edad, políticas de orden y eliminación de inventarios perecederos simultáneamente.

Figura 3.Políticas de gestión de inventarios

Fuente: Elaboración propia a partir de (René Haijema, 2014).

Con respecto a la política de emisión (Duan & Liao, 2013b) proponen una reposición basada en la edad del producto, que tiene en cuenta no sólo los niveles de existencias, sino también la distribución por edades de los artículos, utiliza sólo información parcial de edad de la población y por lo tanto es fácil de implementar en la práctica. Por último, políticas de disposición, han sido abordadas por (Karaesmen et al., 2011) y (Herbon et al., 2014). En la literatura se encuentran tres problemas principales de optimización para la gestión de inventarios, los cuales se pueden consideran en la figura 3.

1.3.4 Modelos de gestión de inventarios en cadenas de suministro de productos perecederos

Un gran número de investigaciones en el área de la gestión de inventarios para productos perecederos han sido abordadas a partir de un único eslabón, es decir, pretenden generar modelos de optimización desde el punto de vista de un productor, mayorista o minorista. Sin embargo, en los últimos años, las investigaciones en el campo de gestión de inventarios en cadenas de suministro, tienden a tomar una perspectiva de gestión de la oferta, centrándose en estudios multi-eslabón y en la importancia de compartir información entre socios (Amorim, Meyr, Almeder, & Almada-Lobo, 2011).

Se considera que un producto que se mueve a través de más de un eslabón antes de llegar al cliente final forma un sistema de inventario “multi-eslabón”(Rau, Wu, & Wee, 2003). En la literatura identificada, un gran número de los modelos de inventarios que consideran más de un nivel dentro de la cadena de abastecimiento, se basan en dos o tres eslabones, representando la relación entre un proveedor o productor y uno o varios minoristas, o entre un proveedor, productor y distribuidor o cliente final.

Gran parte de los modelos de inventario para cadenas de suministro de productos perecederos, parten del punto de vista del comprador, sin embargo, la política óptima para el comprador no es la mejor decisión para el vendedor; por lo tanto, el número óptimo de entregas del comprador no es el óptimo para el vendedor. Por esto sea hace necesario, obtener una política óptima a lo largo de toda la cadena, que permita la mayor eficiencia

posible para todos los eslabones (Narges, Babak, Isa Nakhai, & Farughi, 2014). En consecuencia, si se realiza una comparación de los costos generados cuando se toma una política de decisión conjunta, frente a decisiones independientes entre eslabones, se evidencia una diferencia sustancial del costo total generado en la cadena cuando se opta por una política integrada (Yang & Wee, 2002) (Li & Huang, 2005), (P.-C. Yang & Wee, 2003), adicionalmente, tienen en cuenta la tasa deterioro tanto para materias primas como para producto terminado.

El primer artículo de revisión que estudia la gestión de inventarios de productos perecederos para la cadena de suministro es (Nahmias, 1982) donde en general se identifican autores que consideran un sistema de una instalación central que distribuye a otras dos, proponiendo políticas óptimas de orden y rotación, a través de las cuales las existencias pueden ser asignadas a los eslabones al inicio de cada período de planificación, minimizando los costos esperados de escasez y pérdidas por deterioro. (Yang & Wee, 2002) modelan sistemas de inventarios, con el objetivo de hallar el número óptimo de entregas. (Widodo, Nagasawa, Morizawa, & Ota, 2005) modela el crecimiento de plantas y el proceso de maduración y pérdida de éstas, teniendo en cuenta el nivel de inventario mantenido durante un periodo para satisfacer la demanda.

(Rau et al., 2003), (Law & Wee, 2006), (K. J. Chung & Huang, 2007), (Rong, Mahapatra, & Maiti, 2008), (Wang, Lin, & Yu, 2011), (Jia & Hu, 2011), (Lee & Chung, 2012) desarrollan sistemas de inventarios que tienen como objetivo fundamental hallar el tamaño de orden que minimiza los costos o maximiza los beneficios de la cadena, adicionalmente (Shastri, Singh, Yadav, & Gupta, 2013) desarrollan un modelo matemático con el objetivo de evidenciar un costo total menor aplicando una política integrada.

(Mahapatra, Das, & Maiti, 2007) formulan un modelo de inventario-producción, para un sistema de 1 provedor-1 comprador, comparando políticas de reposición conjuntas e independientes, con y sin escasez, determinan el tiempo de reposición, número de entregas óptimo y tiempo de escasez permitido. (Sazvar, Baboli, & Akbari Jokar, 2013) consideran un sistema de inventarios con costo de mantenimiento no lineal y lead time de aprovisionamiento desconocido, concluyendo que productos con bajas tasas de deterioro y altos costos de escasez, deben tener una estrategia para adquirir más inventarios en el punto de reorden y evitar los riesgos de escasez. (Ghiami & Williams, 2015) desarrollan un sistema de inventarios para un productor y varios compradores, con el objetivo de determinar el nivel promedio de inventario para el vendedor, el cual minimiza los costos generados en la cadena. (Duan & Liao, 2013b) **r**ealizan un modelo para productos con alto grado de perecibilidad, donde pretenden determinar el nivel de inventario en cada eslabón de la cadena, con restricciones de escasez máxima y minimización de pérdidas; Por otro lado, (Jia & Hu, 2011) tienen en cuenta no solo un sistema multi eslabón, sino que consideran una cadena multi producto, además (Chen & Chen, 2005)ofrecen perspectivas cualitativas para la coordinación y mecanismos de reposición conjunta.

Adicionalmente, es posible encontrar autores que integran la gestión de inventario junto con otros procesos logísticos, (Coelho & Laporte, 2014) abordan la gestión de inventarios y distribución conjunta de los productos perecederos, dando lugar al problema de inventario-enrutamiento de perecederos (PIRP).

Son diversos los modelos relacionados a la gestión de inventarios de productos perecederos en general, sin embargo, es menor la producción de estudios relacionados específicamente con productos de carácter alimenticio o derivados del agro, en este campo, (Y. Yu, Wang, & Liang, 2012) enfocan el problema de inventarios de productos alimenticios a partir de un sistema VMI donde tanto las materias primas como los productos terminados sufren deterioro. (L. Yang, Chen, & Ma, 2014) analizan la escasez y el deterioro de productos frescos agrícolas, obteniendo el beneficio máximo para el minorista, considerando descuento por volumen, un contrato de recompra y analizando los efectos de la coordinación, (Masini, Petracci, & Bandoni, 2003) generan una política óptima de inventario en frío para 4 plantas de almacenamiento de fruta ubicadas en Argentina, teniendo en cuenta los niveles máximos de producción y almacenamiento posibles, (Qin et al., 2014) desarrollan un modelo para hallar precios y tamaño de lote óptimos para productos frescos, donde la calidad y la cantidad disminuyen simultáneamente. (Taleizadeh, Noori-Daryan, & Cárdenas-Barrón, 2015) desarrollan un modelo VMI para una agroindustria y múltiples minoristas, obteniendo el precio que debe ser fijado por el minorista, la frecuencia de reposición de materia prima, el ciclo de reposición del producto y la tasa de producción, con el objetivo de optimizar el beneficio total de la cadena, aplicándolo en un caso de estudio en la industria alimenticia.

Respecto a enfoques estratégicos para la gestión de los inventarios en la cadena de productos alimenticios, autores como (Dreyer, Strandhagen, Thomassen, Romsdal, & Gran, 2014) recomiendan, la implementación de un sistema pull, basándose en las operaciones y pedido de los clientes, a partir de la demanda y sugiriendo la combinación de pull y push. Por otro lado, se habla de la aceptación de la reducción de la incertidumbre de la cadena a través de la transparencia del flujo de información estratégica y operativa, con el fin de aumentar la capacidad de respuesta a la demanda y reducir los costos de inventario. Adicionalmente, (Bahinipati, 2014) indica que las cadenas de suministro de frutas y verduras deben contar con información completa en el tiempo; a través de un intercambio efectivo de información, que conduce a una mejor coordinación, una respuesta rápida ante los cambios de la demanda y mayor flexibilidad. La presente investigación pretende realizar una revisión acerca de los modelos matemáticos de inventario y por tanto no aborda las técnicas de coordinación o integración relacionadas con esta gestión, sin embargo se considera importante resaltar su existencia en el campo actual de investigación.

La tabla 12 presenta un resumen de los principales modelos hallados en la literatura de gestión de inventarios en cadenas de productos perecederos, donde se observa una clasificación de acuerdo a factores como, número de eslabones considerados, tasa de deterioro, principales hallazgos del modelo, así como el enfoque de solución que presentan, entre otros, los cuales se consideran diferenciadores en el momento de realizar un modelo de inventarios para este tipo de cadenas. Adicionalmente, la tabla 3, presenta las variables consideradas en los modelos abordados; para la identificación de éstas, fue necesario el análisis de cada uno de los modelos desde una perspectiva global, sin hacer énfasis a qué eslabón de la cadena estaba orientado.

Tabla 12. Características de los modelos de gestión de inventarios aplicados a cadenas de productos perecederos

Autor	Cadena	# Eslabones	Demanda	Tasa de deterioro	Tasa de producción	Escasez	Ordenes atrasadas	Lead time	Descuento	# Artículos	Capacidad Almacén
(Yang & Wee, 2002)	Productos con deterioro	2	D	C	C					U	
(Rau, Wu, & Wee, 2003)	Alimentos perecederos	3	D	C	C			0		U	
(Widodo, Nagasawa, Morizawa, & Ota, 2005)	Productos agrícolas frescos	2	D	EX	-	X		C		U	
(J. . Chen & Chen, 2005)	Productos con deterioro	2	D	EX	C			0		M	
(Law & Wee, 2006)	Alimentos	2	D	W	C	X	X	0	X	U	
(Mahapatra, Das, & Maiti, 2007)	Productos con deterioro	2	D	C	C	X	X			U	
(K. J. Chung & Huang, 2007)	Productos con deterioro	2	D	EX				C		U	L
(Rong, Mahapatra, & Maiti, 2008)	Productos con deterioro	2	D	C		X	X	DF		U	L
(Wang, Lin, & Yu, 2011)	Productos con deterioro	3	D	EX	C					U	
(Jia & Hu, 2011)	Productos frescos	2	E	-						M	
(Lee & Chung, 2012)	Productos con deterioro continuo	3	D	C	C					U	
(Mahata, 2012)	Perecederos como frutas, pescado	2	D	E	C	-		0		U	
(Y. Yu, Wang, & Liang, 2012)	Alimentos	2	D	C	C					U	
(Ghiami, Williams, & Wu, 2013)	Productos con deterioro	2	D	C		X	X	0		U	L
(Shastri, Singh, Yadav, & Gupta, 2013)	Productos con deterioro	3	D	C	C	X	X			U	
(Sazvar, Baboli, & Akbari Jokar, 2013)	Productos perecederos	2E	D	C		X	X	E		U	
(Duan & Liao, 2013)	Plaquetas	2	E	C	C	X				U	
(L. Yang, Chen, & Ma, 2014)	Alimentos	2	E	C	-	X	-		X	U	
(Ghiami & Williams, 2015)	Productos con deterioro	2	E	C	C			0		U	

D: Determinística, E: Estocástica, C: Constante, DF: Difuso, DI: Dependiente inventario, DT: Dependiente tiempo, M: Múltiple, U: Único, I: Infinito, F: Finito, 2E: 2 eslabones, 3E: 3 eslabones, 0: Lead time 0, MC: Minimizar costo, MU: Maximizar utilidades, MD: Minimizar deterior IT: Instantánea, Ex: Exponencial, W: Weibull, DP: Dependiente precio, MP: Minimizar pérdidas, L: Limitada

La tabla 13 muestra las variables de decisión que tienen en cuenta los modelos de inventarios de cadenas de suministro de productos perecederos estudiados, donde se evidencia que una gran mayoría pretende optimizar el número de entregas y el tamaño de orden, y en segunda medida consideran adicionalmente el tiempo de ciclo de reposición

óptimo, finalmente se presentan otras como la optimización del nivel de inventarios, el tamaño de lote de producción y el ciclo de producción óptimo.

Tabla 13. Variables de decisión de los modelos de inventarios aplicados a cadenas de productos perecederos

Autor	N*	Q*	I*	T*	Qp*	Tp*	R	Te*	P	E
(Yang & Wee, 2002)	X									
(Rau, Wu, & Wee, 2003)	X	X								
(Widodo, Nagasawa, Morizawa, & Ota, 2005)			X		X					
(J. . Chen & Chen, 2005)				X						
(Law & Wee, 2006)	X	X		X	X	X				
(Mahapatra, Das, & Maiti, 2007)	X			X				X		
(K. J. Chung & Huang, 2007)		X		X						
(Rong, Mahapatra, & Maiti, 2008)	X	X		X						
(Wang, Lin, & Yu, 2011) IMPORTANTE	X	X		X						
(Jia & Hu, 2011)		X							X	
(Lee & Chung, 2012)	X	X								
(Mahata, 2012)		X		X						
(Y. Yu, Wang, & Liang, 2012)	X			X						
(Ghiami, Williams, & Wu, 2013)		X	X	X				X		
(Shastri, Singh, Yadav, & Gupta, 2013)	X									
(Sazvar, Baboli, & Akbari Jokar, 2013)		X					X			
(Duan & Liao, 2013)										X
(L. Yang, Chen, & Ma, 2014)					X					
(Ghiami & Williams, 2015)	X		X			X				

N*= Número óptimo de entregas, Q*= Tamaño óptimo de orden, I*: Nível de inventario óptimo, T*: Ciclo de reposición óptimo, Qp*: Tamaño de lote de producción óptimo, Tp*: Ciclo de producción óptimo, Te*: Tiempo de escasez permitido, R: Punto de reorden, P: Precio, E: Nivel de escasez

Por otro lado, la tabla 4 contiene las variables que no hacen parte del conjunto de variables de decisión, sin embargo conforman los modelos considerados, dentro de este grupo se destaca la variable que representa al nivel de inventario por eslabón, el ciclo de reposición, el tamaño de orden, el número de entregas, y el costo total de la cadena, adicionalmente, en los modelos estudiados, fueron identificadas variables propias de cada estudio y que no presentaban un patrón común, tales como la función de deterioro y función de maduración (Widodo, Nagasawa, Morizawa, & Ota, 2005), las cuales cobran gran importancia en la consideración de un modelo de inventarios para este tipo de productos, por otro lado, autores como (Jia & Hu, 2011) y (K. J. Chung & Huang, 2007) consideran variables económicas como interés ganado y cargado por retraso y el precio de venta.

Tabla 14. Variables matemáticas de los modelos de gestión de inventarios aplicados a cadenas de productos perecederos

Autor	$I(t)$	I_{max}	I_o	PR	Q	T	Tc	QP	E	CE	N	Tp	PNP	B	PCI	CT_e	CT_c
(Yang & Wee, 2002)	X	X							X			X	X				
(Rau, Wu, & Wee, 2003)	x							X	X		X						X
(Widodo, Nagasawa, Morizawa, & Ota, 2005)	X											X					
(J. . Chen & Chen, 2005)	X					X	X									X	X
(Law & Wee, 2006)	X	X			X	X		X	X			X	X				
(Mahapatra, Das, & Maiti, 2007)	X	X	X			X			X			X	X				X
(K. J. Chung & Huang, 2007)					X	X									X		
(Rong, Mahapatra, & Maiti, 2008)	X		X			X								X			
(Wang, Lin, & Yu, 2011)			X		X	X		X	X								X
(Jia & Hu, 2011)	X		X		X									X			
(Lee & Chung, 2012)	X	X		X		X		X	X	X		X					X
(Mahata, 2012)					X	X											X
(Y. Yu, Wang, & Liang, 2012)					X	X					X						
(Ghiami, Williams, & Wu, 2013)	X				X	X					X				X		
(Shastri, Singh, Yadav, & Gupta, 2013)	X	X				X			X	X			X		X	X	X
(Sazvar, Baboli, & Akbari Jokar, 2013)				X	X												
(Duan & Liao, 2013)					X			X									
(L. Yang, Chen, & Ma, 2014)	X				X									X			
(Ghiami & Williams, 2015)	X	X		X	X				X			X	X			X	X

I: Inventario (t), I_{max}: Inventario máximo, I_o: Inventario Inicial, PR: Punto de reorden, Q: Tamaño de orden, T: Ciclo de reposición, Tc: Ciclo común reposición, QP: Tamaño de lote productor, E: número de entregas, CE: Ciclo de entregas, N: Cantidad de ordenes en t, Tp: Ciclo de producción, PNP: Periodo de no producción, B: Beneficio, PCI: Periodo consumo inventario, CT_e: Costo total /eslabón, CT_c:Costo total cadena.

La tabla 15 presenta los parámetros considerados en los artículos estudiados, en los cuales predominan 5 costos básicos de mantener, ordenar, deterioro, de adquisición de materia prima y de alistar una línea de producción; parámetros como la demanda, la tasa de deterioro y la tasa de producción, son los presentados con mayor frecuencia. Por otro lado, se identificaron parámetros atípicos de autores como (K. J. Chung & Huang, 2007) (Mahata, 2012), los cuales tienen en cuenta valores de tipo económico, tales como el periodo de crédito y el interés ganado y perdido. (Sazvar, Baboli, & Akbari Jokar, 2013) y (Widodo, Nagasawa, Morizawa, & Ota, 2005), tienen en cuenta el lead time de aprovisionamiento y lead time de entrega respectivamente, finalmente, (Jia & Hu, 2011) considera un número determinado de productos en el modelo.

Tabla 15. Parámetros de modelos de inventarios aplicados a cadenas de productos perecederos

Autor	PARÁMETROS																				
	D	CA	CM	CO	CE	CEZ	CAL	CD	CPR	CO	CR	CP	CEN	CI	CIC	TD	PV	HP	OA	TP	C
(Yang & Wee, 2002)	X	X	X	X			X							X	X		X	X		X	
(Rau, Wu, & Wee, 2003)	X		X	X			X	X			X		X					X		X	
(Widodo, Nagasawa, Morizawa, & Ota, 2005)	X																				
(J. . Chen & Chen, 2005)	X	X	X				X													X	
(Law & Wee, 2006)		X	X	X	X		X			X								X	X	X	
(Mahapatra, Das, & Maiti, 2007)			X	X	X		X	X					X						X	X	
(K. J. Chung & Huang, 2007)	X	X	X	X												X	X				X
(Rong, Mahapatra, & Maiti, 2008)	X	X	X	X		X		X								X	X				X
(Wang, Lin, & Yu, 2011)	X	X	X	X				X								X				X	
(Jia & Hu, 2011)			X									X									
(Lee & Chung, 2012)		X	X	X			X	X			X		X		X					X	
(Mahata, 2012)	X	X	X	X												x	X	X		X	
(Y. Yu, Wang, & Liang, 2012)		X	X	X				X				X								X	
(Ghiami, Williams, & Wu, 2013)		X	X			X				X			X			X			X		X
(Shastri, Singh, Yadav, & Gupta, 2013)	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X		X	X				X	
(Sazvar, Baboli, & Akbari Jokar, 2013)	X		X	X						X						X					
(Duan & Liao, 2013)																		X			
(L. Yang, Chen, & Ma, 2014)		X	X	X												X	X	X			
(Ghiami & Williams, 2015)			X	X			X	X				X				X	X			X	

D: Demanda, CA: Costo de adquirir, CM: Costo de mantener una unidad de producto, CO: Costo de ordenar, CAL: Costo de alistamiento, CD: Costo de U deterioradas, CPR: Costo de pérdidas, COR: Costo de órdenes atrasadas, CR: Costo de recibir órdenes, CEN: Costo de entregar ordenes, CI: Costo de integración, TD: Tasa de deterioro, PV: Precio de venta, HP: Horizonte de planeación, TP: Tasa de producción, OA: Ordenes atrasadas , CP: Costo de producción, CIC: Costo integrado de la cadena, C: Capacidad del almacén

Finalmente, la tabla 16 evidencia el enfoque de modelado de los estudios considerados, en los cuales predomina el uso de métodos analíticos para la obtención del nivel de inventarios y los costos asociados al proceso logístico, sin embargo, se observa el uso de programación no lineal, lineal, entera y no lineal entera con baja frecuencia, adicionalmente los estudios consideran el uso de softwares matemáticos para la obtención de valores óptimos sin mencionar su enfoque de modelamiento.

Tabla 16.Enfoque de modelado, función objetivo y método de solución

	MODELADO					**FUNCIÓN OBJETIVO**					**SOLUCIÓN**			
Autor	PNL	PL	PNLE	PE	A	MC	MDS	MU	MD	MP	HE	A	ALG	MHE
(Yang & Wee, 2002)	X					X					X			
(Rau, Wu, & Wee, 2003)					X	X						X		
(Widodo, Nagasawa, Morizawa, & Ota, 2005)		X					X					X	X	
(J. . Chen & Chen, 2005)					X	X						X		
(Law & Wee, 2006)					X	X						X		
(Mahapatra, Das, & Maiti, 2007)	X					X							X	
(K. J. Chung & Huang, 2007)					X	X						X		
(Rong, Mahapatra, & Maiti, 2008)	X							X						
(Wang, Lin, & Yu, 2011) IMPORTANTE		X				X					X			
(Jia & Hu, 2011)					X			X				X		
(Lee & Chung, 2012)					X	X						X		
(Mahata, 2012)					X	X						X		
(Y. Yu, Wang, & Liang, 2012)			X			X			X				X	
(Ghiami, Williams, & Wu, 2013)					X	X					X			
(Shastri, Singh, Yadav, & Gupta, 2013)					X	X						X		
(Sazvar, Baboli, & Akbari Jokar, 2013)					X	X						X		
(Duan & Liao, 2013)				X						X				X
(L. Yang, Chen, & Ma, 2014)					X			X				X		
(Ghiami & Williams, 2015)	X					X					X			

MC: Minimizar costo MC: Minimizar costo, MU: Maximizar utilidades, MD: Minimizar deterioro, MDS: Maximizar demanda satisfecha, MP: Minimizar pérdidas, PNL: Programación no lineal, PL: Programación lineal, PNLE: Programación no lineal entera, PE: Programación entera, A: Analítico, HE: Heurística, Alg: Algoritmo, MHE: Metaheurística.

La función objetivo más comúnmente encontrada es la de minimizar los costos generados por la gestión de inventarios, seguida por la de maximizar utilidad. Los métodos de solución empleados, en su mayoría responden a un enfoque analítico, sucedido por métodos heurísticos y algoritmos en la misma frecuencia.

1.3.5 Gestión de inventarios en cadenas de suministro de alimentos

Las cadenas de suministro de alimentos son distintas de otras (Zanoni & Zavanella, 2012); la dificultad de las cadenas de suministro de productos agrícolas radica en que desde el momento de la cosecha hasta la entrega al consumidor final, existe una variabilidad de la calidad del producto, esta calidad varía incluso bajo condiciones óptimas de distribución, es decir, se presenta a lo largo de toda la cadena (Sloof, Tijskens, & Wilkinson, 1996). Sin embargo, el uso de enfoques y modelos de planificación integrados en cadenas de suministro de alimentos (Suppy Chain Food) sigue siendo muy limitado, especialmente para los productos frescos, ya que los modelos existentes en la literatura no incorporan características realistas, como las peculiaridades de vida útil (Manzini & Accorsi, 2013).

Las cadenas agroalimentarias de los productos agrícolas frescos como frutas, verduras y flores, en general, pueden comprender cultivadores, subastas, mayoristas, importadores y exportadores, minoristas y tiendas especializadas y sus proveedores de insumos y servicios (J. Van der Vorst, Da Silva, & Trienekens, 2007). Una estrecha relación entre la oferta y la demanda es la clave para aumentar la competitividad de este tipo de cadenas (Duan & Liao, 2013b). Para este caso, dentro de los productos alimenticios, se le dará atención a los productos agrícolas, debido a que actualmente, las cadenas de suministro de alimentos son redes complejas, globales, que abarcan la producción, el procesamiento, la distribución, e incluso la eliminación de los alimentos (M. Yu & Nagurney, 2013); haciendo que las operaciones de logística cobren gran importancia en la gestión de la agroindustria, ya que muchos productos se degradan mientras están en movimiento y el corto ciclo de vida útil hace de la gestión de inventarios algo crítico (Salin, 1998), además la elección del cliente se ve influenciada significativamente por la variedad y la disponibilidad inmediata de los alimentos frescos (Duan & Liao, 2013b).

La gestión de inventarios en cadenas agro alimentarias no es un tópico ampliamente estudiado, sin embargo, es posible encontrar algunos estudios relacionados; (Rai, Singh, & Vaish, 2013) obtienen un tiempo de reposición óptimo para el eslabón minorista, (Pauls-worm, Hendrix, Haijema, & Der, 2013) se enfocan un productor de alimentos que se enfrenta a una demanda no-estacionaria con restricciones de nivel de servicio y formula una política de reposición de desperdicios. (Law & Wee, 2006) desarrollan el problema en una cadena de abastecimiento basada en la transformación de animales como pollos, cerdos y pescado en comida, con una tasa de deterioro con distribución Weibull, consideran políticas de descuento, órdenes atrasadas y múltiples entregas.

Otros estudios, se centran en la determinación del momento de siembra, el tamaño de la cosecha y el área de sembrado, teniendo en cuenta una demanda estocástica que pretende semejarse a la realidad; autores como (Lodree & Uzochukwu, 2008) consideran además la temporada de ventas y la elección sobre el inventario por parte del consumidor; (Tan & Çömden, 2012) plantean el objetivo de hacer coincidir la oferta y la demanda de una cadena de frutas-verduras frescas; adicionalmente, comparan el desempeño del sistema con un proveedor y múltiples proveedores. Después de analizar la tendencia de las publicaciones académicas en el campo de la gestión de inventarios para productos perecederos, se identificó un número reducido de artículos relacionados con la generación

de modelos de gestión de inventarios para cadenas de abastecimiento alimenticias, específicamente un vacío existente en la cadena agroindustrial frutícola, ya que se reconoce como un campo complejo de abarcar debido al alto carácter perecedero del producto y la variabilidad de la calidad de éste, incluso en condiciones óptimas de almacenamiento y distribución. Adicionalmente, algunos modelos no abarcan la totalidad de la cadena de abastecimiento y se enfocan únicamente en uno o dos eslabones que hacen parte de esta.

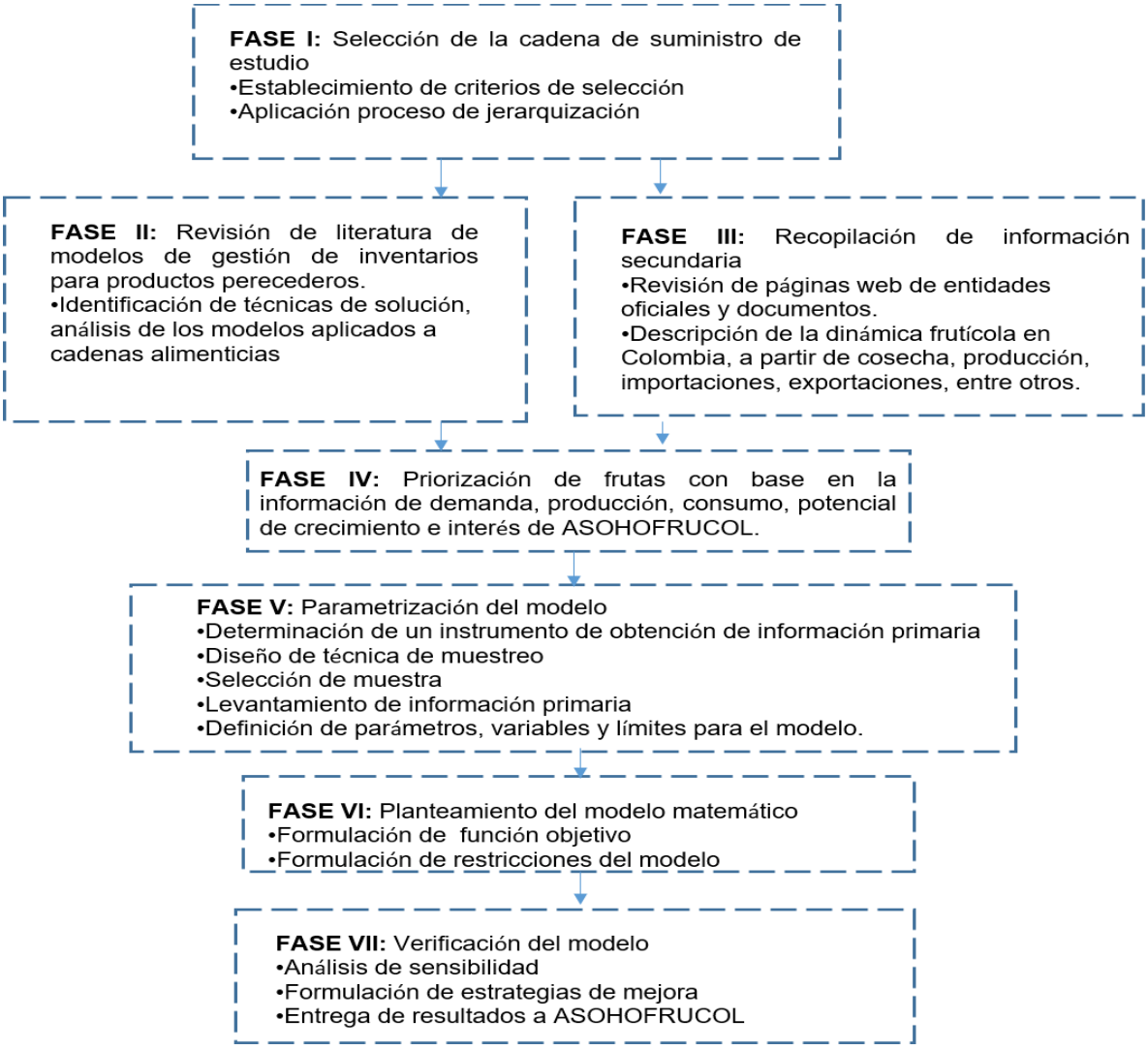
2. CAPÍTULO II: ASPECTOS METODOLÓGICOS

En el siguiente apartado se presenta la metodología empleada para el desarrollo de la investigación, la cual fue definida a través de siete etapas principales (figura 4). En la tabla de actividades se encuentra cada una de las acciones realizadas y encaminadas al cumplimiento de los objetivos, junto con los recursos empleados en dicha labor.

2.1 Estructura Metodológica De Investigación

La investigación fue planificada en siete fases, como se muestra a continuación:

Figura 4. Estructura metodológica de la investigación



A continuación se presenta la descripción de cada una de las fases presentadas.

2.2 Descripción de la metodología de investigación

2.2.1 Fase I: Selección de la cadena de suministro de estudio

Colombia cuenta con un gran número de cadenas productivas agropecuarias que podrían ser foco de investigación, sin embargo, se partió de las investigaciones realizadas dentro del marco del Grupo de Investigación en Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad (GICALYT), en cual, a partir del año 2009 se generó un proyecto de investigación denominado "Caracterización de la logística en Colombia", con el fin de realizar caracterizaciones de la logística en cadenas productivas y de abastecimiento de importancia en la economía colombiana, así como de recursos logísticos en diferentes sectores de la misma. Para delimitar el alcance de este proyecto se seleccionaron seis cadenas de suministro pertenecientes al sector agrícola y pecuario en Colombia, dos de ellas de abastecimiento (frutícola y hortícola) y 4 productivas (Láctea, bovina, porcina y avícola). Para la elección de una de las cadenas fue necesario realizar un minucioso proceso de selección, en el que se establecieron los siguientes criterios: (1) estado de la balanza comercial, (2) participación en la producción mundial, (3) participación en la producción nacional, (4) consumo per cápita en Colombia, (5) número de municipios de producción en Cundinamarca y (6) generación de empleos. Para cada uno de los criterios se estableció una escala de valoración, la cual permitió definir cuál sería la cadena con la que se trabajaría. Los criterios, así como su descripción se relacionan en a continuación:

1) **Estado de la balanza comercial de la cadena**: Es importante para cualquier país tener una balanza comercial positiva; de esta forma entran más recursos al país a través de las ganancias de las exportaciones que los recursos que salen por el pago de las importaciones, ya que los productores nacionales y la economía en general tienen mayores recursos para realizar sus actividades y desarrollar otras nuevas y, así, incentivar y desarrollar la economía nacional (Banca de la República de Colombia, 2015). Las exportaciones juegan un papel importante en la logística internacional, ya que debe tenerse en cuenta aspectos legales, comerciales y otros ligados al producto para mejorar la competitividad de las empresas en otros mercados. Ejemplo de estos aspectos son el tipo de producto a exportar, el peso, el volumen, los puntos de origen y destino, requerimientos en los modos de transporte, entre otros (Castañeda et al., 2012). Colombia está inserta en un nuevo escenario comercial, que promete una ampliación a largo plazo, esto se convierte en un interés para el presente proyecto, ya que se enmarcan las oportunidades de exportación hacia nuevos mercados, especialmente los del sector agrícola, por lo tanto en esta investigación se la dará mayor importancia a las cadenas de suministro que arrojen una balanza comercial positiva.
2) **Participación en la producción mundial**: El comercio mundial de agroalimentos presenta un dinamismo notorio, por lo que es de vital importancia contar con un panorama del posicionamiento actual de la agroindustria colombiana en el plano internacional y de las posibilidades de mejorar la inserción en las cadenas globales, a través de la identificación de posibles ventajas competitivas. El porcentaje de

participación de la cadena a nivel mundial refleja qué tan significativa es la producción de esta cadena con respecto al mundo y permite conocer qué tan competitiva puede llegar a ser la cadena a nivel global.

3) **Participación en la producción nacional:** A través de este criterio se pretende conocer qué porcentaje del PIB nacional 2 (Producto Interno Bruto) aporta cada una de las cadenas seleccionadas del sector agropecuario, asociándolo con factores como satisfacción de la demanda alimentaria de la nación, potencial para generación de empleos; por lo que para esta investigación la participación, las cadenas con mayor volumen de producción incidirán de forma vital en la planeación en todos los procesos logísticos analizados.
4) **Consumo per cápita en Colombia:** Los sistemas agroalimentarios han experimentado profundos cambios los cuales han sido ocasionados por la fuerza del consumidor, lo que hace que esta investigación tenga en cuenta como un criterio de selección la oferta de aquellos alimentos. Los productos agroindustriales hacen necesaria la realización de procesos de acondicionamiento (almacenamiento, transporte, embalaje, etc) que hacen parte de la logística e inciden directamente en las preferencias del consumidor, las cuales se enfocan a productos frescos que conserven sus cualidades en materia de nutrición, salud y aptitud para su consumo.
5) **Número de municipios de producción en Cundinamarca:** La presente investigación enfoca su atención en las cadenas que concentren su presencia en el área de Bogotá- Cundinamarca, con el fin de examinar potencialidad, competitividad, proyecciones y perspectivas municipales y generar un análisis para la cadena de abastecimiento entre Bogotá y Cundinamarca.

6) **Generación de empleo:** el crecimiento de las cadenas productivas y de abastamiento junto con los tratados de libre comercio en los que se encuentra inscrito nuestro país afectan directamente los empleos en cada uno de los sectores, algunos aspectos inciden positivamente como la generación de nuevas industrias, rutas de comercialización, y tercerización de servicios, así mismo otros factores impactan negativamente ya sea por la baja competitividad de la cadena o la desaparición de la misma en el mercado nacional, en esta investigación se presenta la generación de empleos en cada una de las cadenas seleccionadas, analizando su impacto en los habitantes de cada región.

En el momento en que se realizó la selección de la cadena, fueron obtenidos datos promedio de los años 2007 a 2012, teniendo en cuenta que un año no proporciona información veraz del comportamiento de la cadena, puesto que un crecimiento o descenso importante pudo deberse a causas externas a esta como factores climáticos, económicos, sociales, etc. Para cada criterio seleccionado, se generaron intervalos que permitieran asignar una calificación de 1 a 5. Fue asignada mayor importancia a las cadenas que tuvieran una balanza comercial positiva, puesto que es de gran interés para la investigación proyectar la cadena seleccionada hacia el comercio exterior, sin dejar al lado la cobertura de la demanda nacional. Se estipuló una calificación superior a las cadenas con mayor participación mundial y nacional, de la misma forma al mayor consumo per cápita. Se asignó un mayor puntaje a las cadenas que evidenciaron mayor presencia en los municipios de Cundinamarca, es decir que pudieran aportar una mayor concentración como Bogotá- Cundinamarca, ya que es una relación central en la

investigación. Finalmente se le dio prevalencia a las cadenas con mayor generación de empleos.

Después de establecer los intervalos, se le asignó una calificación de 1 a 5 por cada criterio, de manera ascendente, es decir, al menor valor se le asignó 1 y al mayor valor una calificación de 5, en la tabla 18, se observan los valores 5 obtenidos.

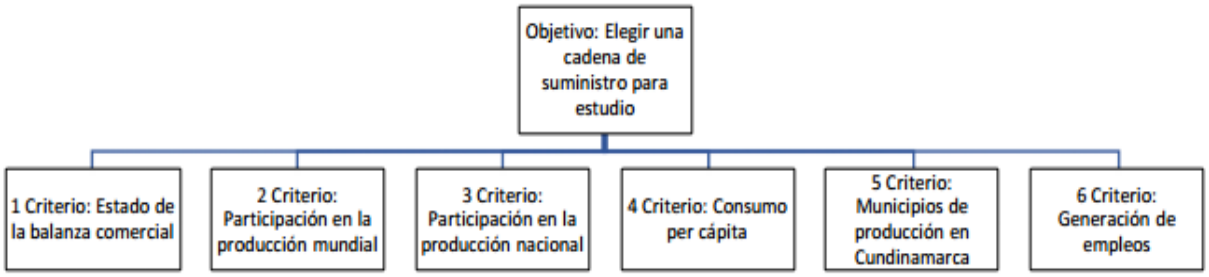
Alternativas	Balanza Comercial	Participación en la producción mundial	Participación en la producción nacional	Consumo Per Cápita Colombia	Municipios de producción en Cundinamarca	Empleos
Cadena frutícola	5	1	0	5	5	4
Cadena Porcina	1	0	0	0	0	0
Cadena Bovina	5	0	0	0	0	0
Cadena Avícola	1	5	5	0	1	5
Cadena Láctea	1	0	0	0	0	0

Tabla 17. Calificación para los criterios según intervalos

Fuente: Investigación grupo GICALyT

Para la elección de la cadena a investigar, se hizo uso de la teoría correspondiente al Proceso De Análisis Jerárquico (AHP) para determinar el porcentaje de importancia de cada criterio seleccionado. El objetivo (nivel 0) al emplear este método fue seleccionar la cadenas de mayor interés de acuerdo con los criterios establecidos (nivel 1). De esta manera, se obtuvo un árbol de decisión de dos niveles (Ver Gráfico 16).

Gráfico 16. Niveles establecidos a partir del proceso de jerarquización analítica



Fuente: Investigación grupo GICALyT

La tabla 18, muestra la priorización establecida para los criterios; se definió una escala que representa el nivel de importancia de un criterio frente a otro de acuerdo a los intereses de la investigación. A partir de esta escala, se elaboró la matriz de prioridades (ver tabla 19) a través de la cual se obtiene la suma de las calificaciones resultantes por cada criterio.

Tabla 18. Priorización d los criterios

1	Si i es igualmente importante que j
3	Si i es algo más importante que j
5	Si i es mucho más importante que j
7	Si i es supremamente más importante que j
9	Si i es totalmente importante que j

Tabla 19. Matriz de prioridades

	Balanza Comercial	**Participación producción mundial**	**Participación producción nacional**	**Consumo Per Cápita Colombia**	**Municipios de producción en Cundinamarca**	**Empleos**
Balanza Comercial	1,00	7,00	5,00	7,00	3,00	3,00
Participación producción mundial	0,14	1,00	0,33	0,33	0,14	0,14
Participación producción nacional	0,20	3,00	1,00	3,00	0,20	0,33
Consumo Per Cápita Colombia	0,14	3,00	0,33	1,00	0,14	0,20
Municipios producción en Cundinamarca	0,33	7,00	5,00	7,00	1,00	3,00
Empleos	0,33	7,00	3,00	5,00	0,33	1,00
TOTAL	1,00	7,00	5,00	7,00	3,00	3,00

Fuente: Investigación grupo GICALyT

Las tablas 19 y 20 muestran la matriz de prioridades obtenida y la matriz normalizada, la cual se obtuvo dividiendo cada calificación de la relación de los criterios en el total resultante por columna. Se realizó un promedio de los valores por fila y se obtuvo el vector principal que indica la prioridad que se asignó a cada criterio en la elección de las cadenas seleccionadas.

Tabla 20. Matriz normalizada

Matriz normalizada						**Promedio**
0,465	0,250	0,341	0,300	0,623	**Balanza Comercial**	0,4048
0,066	0,036	0,023	0,014	0,030	**Participación en la producción mundial**	0,03196
0,093	0,107	0,068	0,129	0,042	**Participación en la producción nacional**	0,10931
0,066	0,107	0,023	0,043	0,030	**Consumo Per Cápita en Colombia**	0,05595
0,155	0,250	0,341	0,300	0,208	**Municipios de producción en Cundinamarca**	0,21231
0,155	0,250	0,205	0,214	0,069	**Empleos**	0,1857

Fuente: Investigación grupo GICALyT

Con el fin de determinar la validez del método se elaboró la matriz A*c que se muestra en la tabla 21, resultante del producto entre la matriz de prioridades y el vector columna de ponderaciones (obtenido en la matriz normalizada).

*Tabla 21. Vector A*C*

Balanza Comercial	2,7341
Participación producción mundial	0,1987
Participación producción nacional	0,5389
Consumo Per Cápita en Colombia	0,3123
Municipios producción en Cundinamarca	1,9690
Empleos	1,1619

Fuente: Investigación grupo GICALyT

La suma de los valores del vector resultante es utilizada para calcular la razón de consistencia (RC) (tabla 22) que para este caso fue 0,08.

Tabla 22. Razón de consistencia RC

IA	1,32
IC	0,10698464
IC/IA	0,08104897

Tabla 23. Elección final cadena

Cadena	Balanza Comercial	Participación producción mundial	Participación producción nacional	Consumo Per Cápita en Colombia	Municipios producción en Cundinamarca	Empleos	Total
Frutícola	1,978	0,169	0,088	0,269	1,253	0,536	4,292
Porcina	0,396	0,034	0,351	0,054	1,003	0,179	2,015
Hortícola	0,396	0,034	0,088	0,107	0,251	0,179	1,054
Bovina	1,978	0,169	0,351	0,054	0,752	0,893	4,196
Avícola	0,396	0,135	0,088	0,000	1,253	0,536	2,407
Láctea	0,396	0,034	0,438	0,269	0,251	0,536	1,923
Selección	4,292						
	Cadena frutícola						

Fuente: Investigación grupo GICALyT

Finalmente y una vez comprobada la consistencia del método, se utilizaron las ponderaciones resultantes en la selección de la cadena que será sometida a estudio. De las 6 cadenas agropecuarias seleccionadas, y a través de los resultados arrojados por el proceso de análisis jerárquico, se eligió la cadena de abastecimiento frutícola por obtener la mayor calificación, la tabla 23 muestra los resultados finales donde fue seleccionada la cadena frutícola para el estudio.

2.2.2 Fase II: Revisión de literatura de modelos de gestión de inventarios para productos perecederos

En la primera fase se elaboró un marco conceptual a partir de publicaciones literarias que se concentran en el área de logística e investigación de operaciones, con el fin de sustentar de manera teórica la investigación a realizar; así mismo, se estableció una búsqueda de información en bases de datos que contienen revistas especializadas, con el objetivo de realizar una revisión de la literatura de los modelos de gestión de inventarios aplicados a productos perecederos, haciendo énfasis en alimentos o productos agrícolas; y de esta manera evidenciar los modelos generados hasta la actualidad, técnicas de solución empleadas y alcances.

Los recursos a empleados en el desarrollo de esta fase son:

- Libros: Introducción a la investigación de operaciones (Hillier & Lieberman, 2001c), Administración de la cadena de suministro: Estrategia, planeación y operación (Chopra & Meindl, 2008b), Administración y logística en la cadena de suministros (Bowersox et al., 2007b), Logística: Administración de la cadena de suministro (Ballou, 2004c), entre otros.
- Bases de datos: Science Direct, Scopus, Springer link, JStor.
- Revistas científicas: Lo artículos hallados en las diferentes bases de datos utilizadas, son procedentes de revistas con diversos enfoques como optimización, económico, modelamiento de sistemas, entre otros, la tabla 24, presenta el número de artículos pertenecientes a las revistas encargadas de publicar el estudio, y se evidencia la cantidad de éstos para enfoques de un único eslabón y multi-eslabón.

Tabla 24. Revistas en las que se encuentran modelos de inventarios para productos perecederos

REVISTA	ESLABÓN	MULTI-ESLABÓN
European Journal of Operational Research	3	5
International Journal of Production Economics	2	7
Journal of the Operational Research Society	7	15
Mathematical and Computer Modelling		1
Optimization and Engineering		1
Procedia - Social and Behavioral Sciences		1
Expert Systems with Applications		9
Procedia Technology		1
Computers & Industrial Engineering	6	4
Computers & Operations Research	3	
Management Science	1	
A I I E Transactions	4	
OR Spectrum	2	
Journal of Purchasing and Supply Management	1	

Fuente: Esta investigación

Para la obtención de información en las revistas, se aplicó una búsqueda minuciosa de los estudios relacionados con modelos de gestión de inventarios aplicados a cadenas de abastecimiento de artículos perecederos, con las palabras clave relacionadas en la tabla 25.

En el estudio realizado, fueron tenidos en cuenta ciertos criterios de búsqueda: (1) Los artículos que trataban otro tipo de perecibilidad fueron excluidos, es decir, los referentes a un tipo de deterioro distinto al presentado en los alimentos, como productos de moda o artículos tecnológicos, (2) Solo se consideraron los modelos matemáticos que incluían variables de decisión relacionadas con la gestión de inventarios, (3) Fueron incluidos casos de artículos que abordaban productos perecederos para la producción de otro bien.

Tabla 25. Ecuaciones de búsqueda usadas en la revisión

Categoría	Palabras Clave
Campo de aplicación	Agri business, Agri food supply chain, Perishable supply chain, Fruit supply chain, deteriorating items
Palabras relacionadas con gestión de inventarios	Management inventory, Inventory policy, Optimal lot size, optimal ordering
Ecuaciones de búsqueda de inventarios en cadenas de abastecimiento de productos perecederos	Deteriorating items inventory model, Multiechelon inventory model perishable, Supply chain inventory model perishable, Management inventory policy supply chain perishable, Optimal lot size perishable supply chain
Ecuaciones de búsqueda de inventarios en cadenas de abastecimiento agroindustriales	Agri food inventory model, Multiechelon inventory model agri food, Inventory model fruit supply chain,optimal ordering food supply chain, optimal lot size agri food supply chain

Fuente: Esta investigación

Adicionalmente, diversos estudios fueron hallados a través de una búsqueda de retroceso, en la que se inició con un artículo fuente de referencia para llegar a otros.

2.2.3 Fase III: Recopilación de información secundaria

Se realizó una recopilación de información secundaria con el fin de describir el comportamiento del sector frutícola en el mundo, Colombia y Cundinamarca; a partir de información de páginas oficiales para caracterizar los datos de temporada de cosechas, áreas cosechadas, producción, comercio nacional e internacional, entre otros, que permitieran identificar áreas en las cuales la gestión de inventarios pueda aumentar la eficiencia de la cadena agroindustrial frutícola en Colombia. Adicionalmente, dicha identificación permite contrastar los modelos de inventarios frente a la problemática presentada en Colombia, es decir, permitió realizar una comparación de la teoría con la realidad.

Los recursos a utilizar en esta etapa fueron:

- Tesis de grado “Caracterización de la logística de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola de Colombia” realizada dentro del marco del grupo de investigación en Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad (GICALyT).
- Publicaciones de organizaciones oficiales nacionales e internacionales: Sistema De Información De Precios (SIPSA), Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Agronet, Ministerio de agricultura, Revista Asohofrucol, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

2.2.4 Fase IV: Priorización de frutas

Con el fin de delimitar el alcance de la investigación, se seleccionó un grupo de frutas representativas para Colombia, con base en criterios económicos, que inciden directamente en la logística, y que adicionalmente concordaran con la prospección de la situación del sector frutícola en el país, según la Asociación Hortifrutícola de Colombia (ASOHOFRUCOL).

Los criterios tenidos en cuenta para la selección de las frutas objeto de estudio, fueron, balanza comercial, porcentaje de participación en la producción mundial, porcentaje de participación en la producción nacional, consumo per cápita en Colombia, número de municipios de producción en Cundinamarca, y finalmente, cantidad de empleos generados; sin embargo, la participación de ASOHOFRUCOl, fue preponderante para la realización de esta investigación, por tanto, después de un encuentro con el ingeniero Jesús Rivera, Director técnico y operativo de la organización, fueron priorizadas las siguientes frutas para su estudio:

Tabla 26. Frutas seleccionadas para estudio

FRUTA
Mango
Mora
Uchuva
Gulupa

Sin embargo, debido al objeto de esta investigación y los propósitos específicos de un modelo de gestión de inventarios en una cadena agropecuaria fueron seleccionados la mora y el mango para la aplicación del programa.

El mango y la mora, son dos frutas que se presentan altos volúmenes de producción en Cundinamarca, y gran capacidad de ser suministrados a la central de abastos de Bogotá, adicionalmente la mora se caracteriza por ser una fruta no climatérica y presenta un alto carácter perecedero, dicha particularidad la convierte en un excelente elemento para el análisis del mantenimiento de inventarios en la agro cadena de la mora, por otro lado, el mango es una fruta climatérica, que puede permanecer mayor tiempo en la cadena, sin

embargo presenta picos de estacionalidad marcados a lo largo del año, en los que el productor se debe enfrentar a cambios en el precio y el volumen de fruta manejado. Por lo tanto, para esta fase del estudio, fue de gran importancia la participación de ASOHOFRUCOL, organización que a través de un encuentro llevado a cabo en sus instalaciones, manifestó el potencial de investigación de los procesos logísticos en la cadena frutícola de Colombia y acordó la importancia de la selección de las frutas mencionadas anteriormente.

2.2.5 Fase V: Parametrización del modelo

Posterior al proceso de contrastar la posición teórica frente a los problemas presentes en la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola y su situación actual, se identificó la necesidad de adquirir información primaria que permitiera obtener los parámetros para el modelo de inventarios propuesto.

Por lo tanto, teniendo en cuenta las particularidades de la información a recopilar a partir de fuentes primarias, se estableció la encuesta como la técnica de investigación apropiada para ello. Las preguntas de dicha encuesta, fueron realizadas de manera conjunta con los integrantes del grupo de investigación GICALyT, mediante las cuáles se enfocó el interés particular de cada proceso logístico.

En primer lugar, se realizó una prueba piloto para identificar la población de esta investigación, la cual está conformada por los agricultores de las frutas seleccionadas, intermediarios de comercio, comerciantes mayoristas y minoristas, y finalmente, organizaciones que procesan y transforman productos que cuya materia prima es la fruta Colombia; por lo tanto, para la identificación de dichos actores fue necesario utilizar fuentes como la Superintendencia de Sociedades, directorios publicados en la web y la base de datos que la organización ASOHOFRUCOL, donde figuraran los miembros de las principales agremiaciones de las frutas objeto de estudio.

En el interior del grupo de investigación, se determinó que la dinámica de acción para establecer la muestra sería de carácter no probabilístico, por lo tanto, el muestreo sería llevado a cado de la siguiente forma:

1. Contacto con un miembro del gremio de la fruta objeto de estudio, quien proporcionaría la información de la ubicación de agricultores, transportistas, mayoristas, minoristas y organizaciones significativas para el sector.

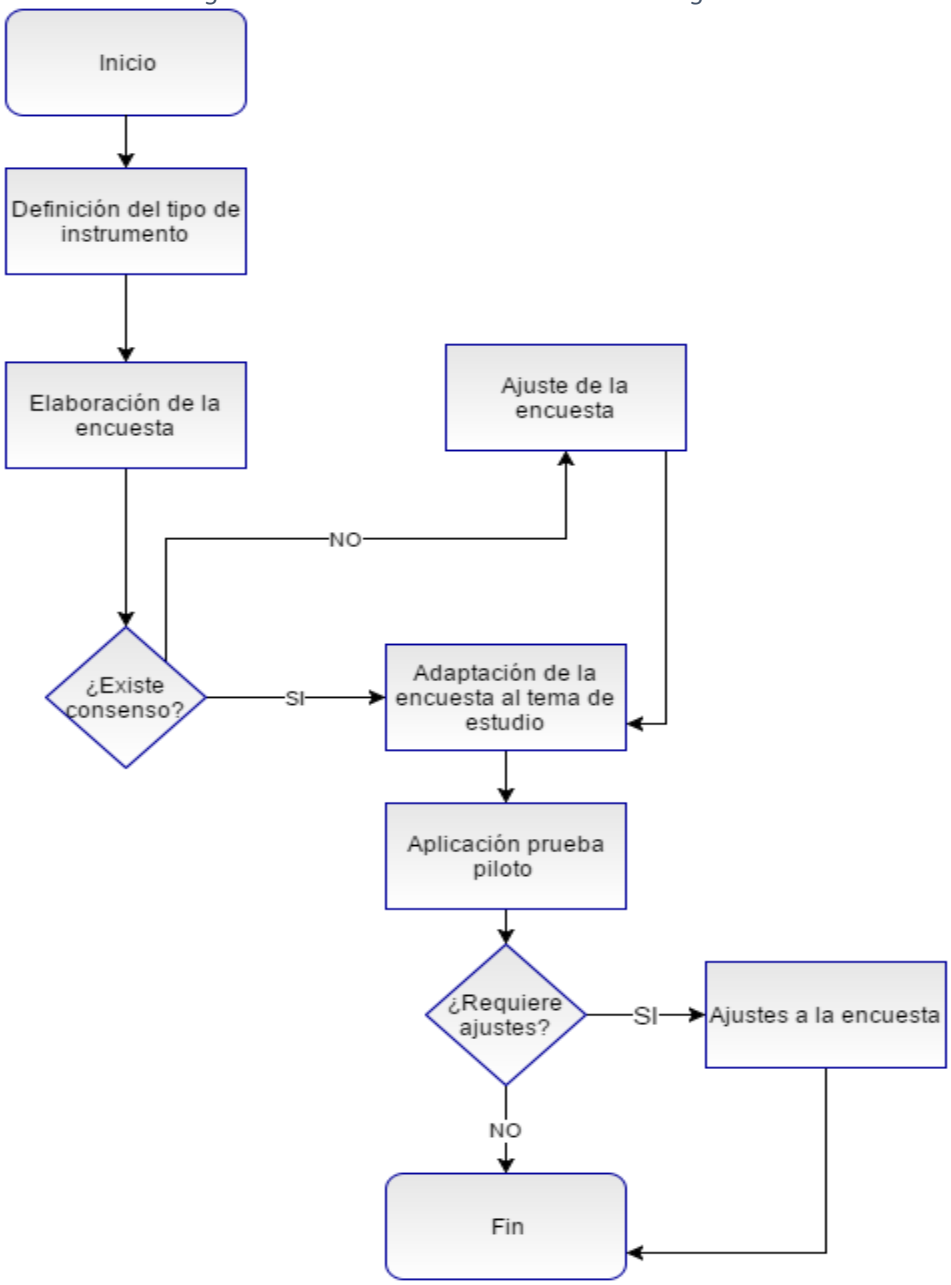
2. Una vez contactado un actor perteneciente a un eslabón de la cadena, se aplicaría el método “Bola de nieve”, el cual facilitaría la localización de los demás actores de la cadena, por medio de una referencia, es decir, se pretendía realizar un muestreo en cadena.

Sin embargo, a través de la investigación, fue posible concluir que la información necesaria para describir el comportamiento del eslabón agrícola, es decir los agricultores, podría ser obtenida a través de fuentes oficiales como el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, las páginas oficiales de las cadenas agrícolas de las frutas de estudio seleccionadas y finalmente el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, el cual presentó en el año 2015 los resultados definitivos del último Censo Nacional

Agropecuario, adicionalmente, el Plan de Transformación Productiva (PTP), elaborado por el Ministerio de Comercio Industria y Turismo, presenta información actualizada del mango, como producto potencial de exportación. Por lo tanto, las encuestas fueron realizadas encuestas al eslabón mayorista, minorista, transportista y vivanderos.

Para la elaboración del instrumento de recolección de información primaria, fue tomado como base el procedimiento seguido por el grupo de investigación GICALyT en (Castañeda et al., 2012), el cual se evidencia a continuación (figura 5):

Figura 5. Diseño del instrumento de investigación



Fuente: Caracterización de la logística de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia (Castañeda et al., 2012)

La tabla 28 evidencia los eslabones encuestados, juntos con las organizaciones que participaron en la encuesta, así como la ubicación de estas en la ciudad de Bogotá y el mes en que fue realizada, para conocer el instrumento y los resultados de la aplicación de este ver anexo 1.

Tabla 27. Eslabones encuestados con instrumento de recolección de información

Eslabón	Organización encuestada	Ubicación	Mes (2015-2016)
Mayoristas	Frutas Latorre Independientes	Corabastos	Diciembre
Minoristas	Fruver Nathy, Surtisanchez, Fruver Emely, Rugido de León Jose Paez, Frutas y verduras mi Tolima, Maxifruver la Montana, Frutas y verduras El Rohi, Asunfruver, Plaza de Ferias, La universal, La plazita,Minimercado Costa Rica,Surtifruver la rebaja, Plaza ferias, Plaza las Ferias, Frutas y Verduras, entre otras.	San Cristóbal, Suba, Engativá, Kennedy Usme, Usaquén	Octubre-Enero
Transportistas	Prestan servicio en: Bogotá, Alto Magdalena, Magdalena Medio, Sabana Centro, Sabana Occidente, Sumapaz, Soacha		Octubre-Enero
Vivanderos	Pulparuby, Carlos, La piña madura, Plaza Las Ferias, Plaza de las ferias Plaza de Mercado de Kennedy modulos 6869, Plaza de Mercado 12 de Octubre	Plaza la perseverancia Plaza del 20 de Julio Local 2, Plaza 20 de Julio, Plaza del 20 de Julio Local 1, Plaza de mercado de Kennedy, Engativá, Ferias	Octubre-Diciembre

Fuente: Investigación grupo GICALyT

Fue necesario realizar una prueba piloto del instrumento, con el objetivo de efectuar ajustes a preguntas que no arrojaran información requerida o que por su formulación o redacción no fueran entendidas por los eslabones a los cuales se generaría la aplicación. La prueba piloto de aplicación, fue llevada a cabo por los integrantes del grupo de investigación GICALyT, a través de la plataforma virtual “E-encuesta”, dicho intento consistió en dar respuesta a las encuestas partiendo del punto de vista del eslabón evaluado; de manera paralela, se destacaban aspectos incongruentes en la pregunta realizada o en las opciones de respuesta sugeridas y se notificaba al grupo de investigación. Posterior a la aplicación piloto, fueron realizadas las modificaciones pertinentes para la ejecución final.

Finalmente, los datos recopilados fueron tabulados y analizados con el objeto de obtener parámetros, variables y límites del modelo de gestión de inventarios propuesto.

2.2.6 FASE VI: Planteamiento del modelo matemático

Una vez obtenida la información primaria y secundaria, junto la revisión del estado del arte, se procedió a plantear el modelo matemático, el cual pretendió abstraer el mayor número posible de variables y parámetros que influyen en el sistema para representar la realidad de la cadena de abastecimiento frutícola de la mora y el mango. Por lo tanto, fue necesario fijar diversas suposiciones que conservan los factores o variables calificados vitales e incidentes en el sistema y obtener el conjunto de ecuaciones después de identificar las variables que influían en éste.

El modelo matemático propuesto es el resultado del estudio riguroso del estado del arte elaborado de manera previa, por lo tanto, fueron tomados como base los artículos científicos de (Rau et al., 2003) y (Wang et al., 2011), por considerar que poseían elementos esenciales para elaboración de un modelo de gestión de inventarios en una cadena de abastecimiento agrícola.

2.2.7 FASE VII: Verificación del modelo

Esta fase de la investigación consistió en la identificación del impacto que presentaba en los resultados del modelo, diversas variaciones en los parámetros, variables o restricciones. Adicionalmente, se analizó que los resultados obtenidos concordaran de manera lógica con el posible comportamiento del modelo en las condiciones planteadas.

Adicionalmente, en la etapa inicial de esta fase, fue elaborado un modelo con las condiciones y restricciones más básicas del sistema, para luego introducir variaciones como la tasa de deterioro de los distintos tipos de fruta (climatérica y no climatérica), estacionalidad de cosechas y precios. Es decir, se procuró abordar aquellos procesos lógicos más complicados o características que no habían sido incluidas y experimentar con el modelo. Adicionalmente, el programa fue ejecutado con grandes variaciones en los datos para poder detectar posibles errores.

Posterior a la verificación lógica de los resultados del modelo, se realizó un análisis comparando los costos actuales del sistema, y se verificó si el modelo si logra mejorar los costos relevantes de la operación. Este análisis estuvo apoyado en la comparación de la situación actual con los resultados obtenidos, con el objetivo de examinar si era viable o no la estructuración de la nueva configuración.

Así mismo, fueron formuladas estrategias de mejora para las cadenas evaluadas, que fueran congruentes con los resultados obtenidos en el modelo propuesto y proporcionara beneficios dichas agro cadenas. Finalmente, se realizará la entrega de resultados a la organización ASOHOFRUCOL, con el objetivo de plantear una posible ejecución del modelo propuesto.

2.2.8 Ejecución de actividades

La tabla 30 evidencia las actividades ejecutadas en la realización de la presente investigación, juntas con los recursos utilizados en ello. Tabla 28. Tabla de actividades de la

Tabla 29. Actividades realizadas para el desarrollo de la investigación

	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RECURSOS EMPLEADOS
1	Realizar una revisión del estado del arte de los modelos para gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento de productos perecederos.	1.1	Acceso a bases de datos con el objetivo de conocer los estudios realizados en materia de gestión de inventarios para cadenas de abastecimiento alimenticias	Bases de datos: Spirnglinger, Scopus, Science direct, J stor, Springer Link,
2	Establecer el comportamiento de la gestión de los inventarios en los actores de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola de Colombia.	2.1	Revisión de la caracterización realizada en la primera etapa del proyecto elaborado dentro del marco del grupo de Investigación en Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad (GICALyT).	Tesis de grado Caracterización de la logística de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia
		2.2	Identificación de problemas relacionados con la gestión de inventarios en la cadena de abastecimiento estudiada.	Publicaciones de entes Nacionales (SISPA, DANE, Agronet, Ministerio de agricultura, revista Asohofrucol), FAO, Tesis de grado Caracterización de la logística de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia
		2.3	Consulta de páginas oficiales y entidades con el fin de actualizar información como producción, rendimiento y balanza comercial, entre otra.	DANE, AGRONET, FAO
3	Definir el conjunto de frutas que será objeto de investigación.	3.1	Realización de la matriz de priorización para las frutas y su región de acuerdo a los parámetros establecidos con ASOHOFRUCOL y orientados al aumento del desempeño del proceso logístico a estudiar.	Recurso humano: Directivos de ASOHOFRUCOL, integrantes del grupo de Investigación en Cadenas de Abastecimiento, Logística y Trazabilidad (GICALyT). Excel Herramientas de investigación de operaciones
		3.2	Reunión con ASOHOFRUCOL con el fin de concretar las frutas de mayor impacto para el crecimiento y desarrollo del país.	Recurso humano: Directivos de ASOHOFRUCOL Planta física de ASOHOFRUCOL
4	Establecer parámetros, variables y límites para el modelo matemático.	4.1	Identificación de los parámetros, variables y límites presentes en modelos de gestión de inventarios	Recurso humano Información obtenida a partir de los objetivos 1 y 2
		4.2	Establecimiento y creación de un instrumento de recolección de información	Recurso humano Herramientas estadísticas Excel
		4.3	Levantamiento de información primaria	Recurso humano: ASOHOFRUCOL Información proveniente de plazas de mercado, agricultores, empresas,etc. Recursos financieros
		4.4	Análisis y depuración de la información	Herramientas estadísticas Excel: Tablas dinámicas
5	Plantear la función objetivo y restricciones del modelo	5.1	Determinación de la función como un objetivo de maximización o minimización	Información obtenida a partir del objetivo 4
		5.2	Establecimiento del conjunto de variables y parámetros que formarán la función objetivo	Información obtenida a partir del objetivo 4
		5.2	Definición de las restricciones de acuerdo al comportamiento del sistema	Información obtenida a través del objetivo 4 Excel
6	Verificar el modelo propuesto de gestión de inventarios	6.1	Programación del modelo propuesto	Modelo matemático obtenido a través del objetivo 5 Software de solución
		6.2	Análisis de sensibilidad y resultados arrojados por el modelo	Excel, herramientas estadísticas
		6.3	Establecimiento de políticas de mejora coherentes con los resultados del modelo matemático	Recurso humano
		6.4	Entrega de resultados a ASOHOFRUCOL	Recurso humano: Directivos de ASOHOFRUCOL Planta física de ASOHOFRUCOL Papelería

3. CAPÍTULO III. MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO AGROINDUSTRIAL FRUTÍCOLA

La presente investigación consideró una cadena de suministro de 6 eslabones, conformada por un agricultor, una empresa agroindustrial, un mayorista, un hipermercado, un vivandero y finalmente un minorista. La política de orden es empleada a lo largo de toda la cadena de suministro y el objetivo del modelo es minimizar el costo logístico integrado de los eslabones, obteniendo el tamaño de orden y ciclo de reposición óptimos para agroindustria, mayorista, hipermercado, vivandero y minorista, y el tamaño de lote y ciclo de producción óptimos para el agricultor.

Con el fin de incluir el efecto de la estacionalidad de la cosecha de la fruta, fueron planteados dos modelos con enfoques diferentes. El primero, consiste en un sistema push o de empuje, donde la capacidad de producción a través del año es limitada y se encuentra condicionada al máximo rendimiento de los cultivos del agricultor, se caracteriza por presentar una tasa de producción con restricción y precios dependientes de la oferta-demanda. El otro enfoque de modelado fue un sistema pull o de hallar, donde no se presentan restricciones de capacidad en el agricultor, ya que es posible tener cosecha de manera permanente a través del año, y en consecuencia la demanda del fruto se convierte en el mayor limitante. La estructura del costo total fue calculada de manera independiente para cada eslabón, así como el costo total generado por la cadena de suministro, con el objetivo de visualizar sus efectos.

Dada la situación de las cadenas de mango y mora se evidenció la necesidad de incorporar un modelo de gestión de inventarios que relacionara la tasa de deterioro de un producto que considerara el tipo de producto tratado, es decir, la condición de ser climatérico o no y su paso por cada eslabón de la cadena a través del tiempo, dicha situación fue observada en gran medida en el estudio realizado por (2011), donde se analiza la tasa de deterioro a través de su paso por cada eslabón y se determina un valor distinto para cada uno de ellos, por lo tanto, generó las bases para crear una estructura que considerara el cambio de esta tasa en el tiempo y su diferencia en cada eslabón.

Así mismo, debido al desequilibrio existente entre el producto que se ofrece y el que se consume, fue necesario hallar cantidades de pedido óptimas y tiempos de ciclo que minimizaran los costos logísticos asociados a la CS, lo cual fue presentado en los modelos de los tres estudios previamente mencionados.

Por otro lado, se identificó que pocos estudios analizan la interacción presente entre más de 2 eslabones de la cadena, donde la gran mayoría estudia la relación entre un minorista y su cliente, en consecuencia, se evidenció utilidad en los estudios de los modelos mencionados, ya que estos suponen cadenas de suministro de productos perecederos compuestas por 3 eslabones como productor, mayorista, minorista o transformador, mayorista y minorista, a los cuales, para los cuales fue hallado una cantidad optima de pedido o producción y un tiempo de ciclo. Adicionalmente, (RAU 2003) realiza un estudio con productos alimenticios y modela la tasa de deterioro en función de un producto específico.

Finalmente es importante destacar la perspectiva de costo conjunto para la cadena de suministro abordada por los autores.

Para la formulación de los modelos fue necesario realizar los siguientes supuestos:

(1) Un solo producto es comercializado a través de la cadena
(2) Un solo ciclo de reposición es considerado
(3) La tasa de deterioro del producto es dependiente del eslabón, constante y conocida. Esta es determinada a través de convergencia según la etapa de vida y la propiedad climatérica o no climatérica del fruto. Es decir, a través del estudio de la tasa de respiración promedio de las frutas, tomadas de (Pulido, 2012) y (Lizana & Ochagavía, 1998) para la mora y el mango respectivamente, se estimó el tiempo promedio de duración de las mismas, para cada eslabón, a partir de un tiempo de vida máximo y mínimo de permanencia, con los cuales se efectuaron iteraciones hasta alcanzar un valor que convergiera a la tasa de deterioro promedio de la fruta.
(4) No se permite la reposición de producto deteriorado
(5) La tasa de reposición es instantánea
(6) La escasez no es permitida
(7) Las tasa de demanda es determinística
(8) El horizonte de planeación se encuentra determinado por el tiempo de vida del fruto
(9) La capacidad de recepción y de envío del producto es ilimitada

Adicionalmente, para el sistema push se considera:

(10) La tasa de producción es finita y mayor que la suma de todas las demandas de los compradores
(11) Cada eslabón debe satisfacer una demanda mínima por ciclo

Las siguientes notaciones son usadas para las variables de decisión (tabla 30) y parámetros (tala 31) considerados en el modelo:

Tabla 30. Notaciones de variables de decisión utilizadas en el modelo

Símbolo	Notación
Para el agricultor (a)	
$\boldsymbol{t_a}$	Tiempo de ciclo de producción
$\boldsymbol{Q_a}$	Tamaño de cosecha para el agricultor durante t_a
Para el mayorista (m)	
$\boldsymbol{t_m}$	Tiempo de ciclo de reposición para el mayorista
$\boldsymbol{Q_m}$	Tamaño de orden de fruta fresca durante t_m
Para la agroindustria (g)	
$\boldsymbol{t_g}$	Tiempo de ciclo de reposición para la agroindustria
$\boldsymbol{Q_g}$	Tamaño de orden de fruta fresca durante t_g
Para hipermercado (h)	
$\boldsymbol{t_h}$	Tiempo de ciclo de reposición para el hipermercado
$\boldsymbol{Q_h}$	Tamaño de orden de fruta fresca durante t_h
Para minorista (r)	
$\boldsymbol{t_r}$	Tiempo de ciclo de reposición para el minorista

$\boldsymbol{Q_r}$	Tamaño de orden de fruta fresca durante t_r
Para vivandero (v)	
$\boldsymbol{Q_v}$	Tamaño de orden de fruta fresca durante t_v
Cadena frutícola	
CT	Costo total logístico generado por la cadena frutícola

Tabla 31. Notaciones de parámetros utilizados en el modelo

Símbolo	Notación
Para el agricultor (a)	
$\boldsymbol{\theta_a}$	Tasa de deterioro de la fruta en el eslabón agricultor
$\boldsymbol{B_{am}}$	Tasa de pérdida por envío (agricultor a mayorista),%
$\boldsymbol{B_{ag}}$	Tasa de pérdida por envío (agricultor a agroindustria),%
$\boldsymbol{B_{ah}}$	Tasa de pérdida por envío (agricultor a hipermercado), %
$\boldsymbol{I\ (t)_a}$	Inventario mantenido por el agricultor en el tiempo t_a, kg de fruta/día
$\boldsymbol{P_a}$	Tasa de producción de agricultor, kg de fruta/Unidad de tiempo
$\boldsymbol{C_{ua}}$	Costo unitario de producción para el agricultor en $/kg para agricultor
$\boldsymbol{C_{ma}}$	Costo de mantenimiento del inventario de frutas en $*Kg/día
$\boldsymbol{C_{da}}$	Costo de deterioro del inventario de frutas en $/kg para agricultor
$\boldsymbol{C_{aa}}$	Costo de cosecha de frutas para agricultor
$\boldsymbol{C_{Ta}}$	Costo total para el agricultor
Para el mayorista (m)	
$\boldsymbol{\theta_m}$	Tasa de deterioro de la fruta en el eslabón mayorista
$\boldsymbol{B_{mg}}$	Tasa de pérdida por envío (mayorista a agroindustria), %
$\boldsymbol{B_{mh}}$	Tasa de pérdida por envío (mayorista a hipermercado) , %
$\boldsymbol{B_{mv}}$	Tasa de pérdida por envío (mayorista- a vivandero) , %
$\boldsymbol{B_{mr}}$	Tasa de pérdida por envío (mayorista- a minorista) , %
$\boldsymbol{I\ (t)_m}$	Inventario mantenido por el agricultor en el tiempo t_m
$\boldsymbol{D_a}$	Demanda de fruta para el mayorista desde otros eslabones en el periodo t
$\boldsymbol{C_{mm}}$	Costo de mantenimiento del inventario de frutas en $*Kg/día
$\boldsymbol{C_{dm}}$	Costo de deterioro del inventario de frutas en $/kg para el mayorista
$\boldsymbol{C_{om}}$	Costo de ordenar frutas para el mayorista en $/orden
$\boldsymbol{C_{Tm}}$	Costo total para el mayorista
Para la agroindustria (g)	
$\boldsymbol{\theta_g}$	Tasa de deterioro de la fruta en el eslabón agroindustria
$\boldsymbol{I\ (t)_g}$	Inventario de fruta fresca mantenido por la agroindustria en el tiempo t_g
$\boldsymbol{D_g}$	Tasa de consumo de fruta fresca presentada por la agroindustria (kg/día)
$\boldsymbol{C_{mg}}$	Costo de mantenimiento del inventario de frutas en $*Kg/día
$\boldsymbol{C_{dg}}$	Costo de deterioro del inventario de frutas en $/kg para la agroindustria
$\boldsymbol{C_{og}}$	Costo de ordenar frutas para la agroindustria en $/orden
$\boldsymbol{C_{Tg}}$	Costo total para la agroindustria
Para hipermercado (h)	
$\boldsymbol{\theta_h}$	Tasa de deterioro de la fruta en el eslabón hipermercado

$\boldsymbol{I\ (t)_h}$	Inventario de fruta fresca mantenido por el hipermercado en el tiempo t_m
$\boldsymbol{D_h}$	Demanda de fruta presentada para el hipermercado desde el consumidor
$\boldsymbol{C_{mh}}$	Costo de mantenimiento del inventario de frutas en $*Kg/día
$\boldsymbol{C_{dh}}$	Costo de deterioro del inventario de frutas en $/kg para el hipermercado
$\boldsymbol{C_{oh}}$	Costo de ordenar frutas para el hipermercado en $/orden
$\boldsymbol{C_{Th}}$	Costo total para el hipermercado
Para minorista (r)	
$\boldsymbol{\theta_r}$	Tasa de deterioro de la fruta en el eslabón minorista
$\boldsymbol{I\ (t)_r}$	Inventario de fruta fresca mantenido por el minorista en el tiempo t_r
$\boldsymbol{D_r}$	Demanda de fruta presentada para el minorista desde el consumidor
$\boldsymbol{C_{mr}}$	Costo de mantenimiento del inventario de frutas en $*Kg/día
$\boldsymbol{C_{dr}}$	Costo de deterioro del inventario de frutas en $/kg para el minorista
$\boldsymbol{C_{or}}$	Costo de ordenar frutas para el minorista en $/orden
$\boldsymbol{C_u}$	Costo unitario por escasez de fruta fresca ($/kg faltante)
$\boldsymbol{C_o}$	Costo de pérdida por fruta deteriorada ($/kg perdido)
$\boldsymbol{C_{Tr}}$	Costo total para el minorista
Para vivandero (v)	
$\boldsymbol{\theta_v}$	Tasa de deterioro de la fruta en el eslabón vivandero
$\boldsymbol{I\ (t)_v}$	Inventario de fruta fresca mantenido por el vivandero en el tiempo t_v
$\boldsymbol{D_v}$	Demanda de fruta presentada para el vivandero desde el consumidor
$\boldsymbol{C_{mv}}$	Costo de mantenimiento del inventario de frutas en $*Kg/día
$\boldsymbol{C_{dv}}$	Costo de deterioro del inventario de frutas en $/kg para el vivandero
$\boldsymbol{C_{ov}}$	Costo de ordenar frutas para el vivandero en $/orden
$\boldsymbol{C_{Tr}}$	Costo total para el minorista

3.1 Estructura de costo para agricultores (a)

El nivel de inventario de productos terminados para el agricultor, es la fruta fresca producida, menos la cantidad perdida debido al deterioro, está situación puede ser representada por la siguiente ecuación diferencial según y (Shastri et al., 2013):

$$\frac{dI_a(t)}{dt} = P_{a-}\Theta_a I_a(t) \qquad 0 \leq t \leq\ t \qquad (1)$$

Con las siguientes restricciones:

$$I_a(0) = 0, \qquad I_a(ta) = Qa \qquad (2)$$

A partir de la solución de la ecuación 1, la cantidad de inventario defruta fresca a mantener para el agricultor, dewde un tiempo 0 a ta, es:

$$I_a = \frac{P_a * t_a - Q_a}{\theta_a} \qquad (3)$$

Por lo tanto, se obtiene el tamaño de lote de producción para el agricultor:

$$I_a(ta) = Qa = \frac{P}{\theta_a}\left[1 - e^{(-\theta_a ta)}\right] \qquad (4)$$

Por otro lado, a partir de (Wang et al., 2011) y (Shastri et al., 2013), se obtienen las ecuaciones (5), (6) y (7), las cuales definen los costos logísticos generados. Por consiguiente, el costo de mantener para el agricultor será:

$$CM_a = \int_0^{ta} c_{ma} I_a(t)dt = c_{ma} * \frac{P * ta - Qa}{\theta_a} \qquad (5)$$

El costo de deterioro puede expresarse matemáticamente como:

$$CD_a = \int_0^{ta} c_{da}\, \theta_a I_a(t)dt = c_{da}\,(P * ta - Qa) \qquad (6)$$

Por lo tanto el costo total para el agricultor por unidad de tiempo será expresado como la suma del costo de mantener la fruta fresca, costo de deterioro, alistamiento y costo unitario de producción:

$$\boldsymbol{CT_a(ta) = CM_a + CD_a + CA_a + CU_a} \qquad (7)$$

3.2 Estructura de costos para el mayorista (m)

Un tamaño de lote Q_m es entregado desde el mayorista a los hipermercados, vivanderos y minoristas según corresponda, en cada tiempo de ciclo de reposición t_m . Los cambios en el nivel de inventario de frutas del distribuidor, durante un tiempo infinitesimal t, son una función de la tasa de deterioro y el nivel de inventario, por lo tanto, según (Rau et al., 2003) y (Shastri et al., 2013), es posible expresar el inventario en el tiempo para el mayorista como:

$$\frac{dI_m(t)}{dt} = -D_{m-}\Theta_m I_m(t) \qquad 0 \leq t \leq t_m \qquad (8)$$

Con la siguiente restricción:

$$I_m(t_m) = 0 \qquad (9)$$

Por lo tanto, resolviendo la ecuación (8) y usando las restricción $I_m(t_m) = 0$, se tiene:

$$\frac{D_m}{\theta_m}\left[e^{(\theta_m tm)} - 1\right] \qquad (10)$$

Por consiguiente, la cantidad de inventario de fruta fresca, para el mayorista, desde un tiempo 0 a t_m es:

$$I_m = \frac{Q_m - (D_m * t_m)}{\theta_m} \qquad (11)$$

A partir del modelo construido por (Wang et al., 2011) y (Shastri et al., 2013), resolviendo las ecuaciones anteriores y teniendo en cuenta que $I_m(0) = Q_m$, se obtiene el costo de mantener para es eslabón mayorista de la cadena frutícola, el cual estará representado por:

$$CM_m = \int_0^{tm} cm_m I_m(t)dt = Cm_m * \frac{Q_m - D_m t_m}{\theta_m} \qquad (12)$$

El costo de deterioro puede expresarse matemáticamente como:

$$CD_m = \int_0^{tm} cd_m\, \theta_m I_m(t)dt = cd_m \left(Q_m - D_m * t_m\right) \qquad (13)$$

Por lo tanto el costo total para el mayorista por unidad de tiempo será expresado como la suma del costo de mantener la fruta fresca, costo de deterioro y el costo de ordenar respectivamente:

$$\boldsymbol{CT_m(tm) = CM_m + CD_m + Co_m} \qquad (14)$$

3.3 Estructura de costos para agroindustria (g)

El nivel de inventario de materia prima para la agroindustria, es la fruta fresca, menos la cantidad perdida debido al deterioro, está situación puede ser representada por la siguiente ecuación diferencial según (Wang et al., 2011) y (Shastri et al., 2013):

$$\frac{dI_g(t)}{dt} = -D_{g-}\Theta_g I_g(t) \qquad 0 \leq t \leq t_g \qquad (15)$$

Con la siguiente restricción:

$$I_g(t_g) = 0 \qquad (16)$$

Por lo tanto, resolviendo la ecuación (15) y usando las restricción $I_m(t_m) = 0$, se tiene:

$$\frac{D_g}{\theta_g}\left[e^{(\theta_g tg)} - 1\right] \qquad (17)$$

Por consiguiente, la cantidad de inventario de fruta fresca, para la agroindustria, desde un tiempo 0 a t_g es:

$$I_g = \frac{Q_g - (D_g * t_g)}{\theta_g} \qquad (18)$$

A partir del modelo construido por (Wang et al., 2011) y (Shastri et al., 2013), resolviendo las ecuaciones anteriores y teniendo en cuenta que $I_g(0) = Q_g$, se obtiene el costo de mantener para es eslabón transformador de la cadena frutícola, el cual estará representado por:

$$CM_g = \int_0^{tg} cm_g I_g(t)dt = Cm_g * \frac{Q_g - D_g t_g}{\theta_g} \qquad (19)$$

El costo de deterioro puede expresarse matemáticamente como:

$$CD_g = \int_0^{tg} cd_g\, \theta_g I_g(t)dt = cd_g \left(Q_g - D_g * t_g\right) \qquad (20)$$

Por lo tanto el costo total para la agroindustria por unidad de tiempo será expresado como la suma del costo de mantener la fruta fresca, costo de deterioro y el costo de ordenar respectivamente:

$$\boldsymbol{CT_g(tg) = CM_g + CD_g + Co_g} \qquad (21)$$

Para el caso del eslabón agroindustrial, donde se lleva a cabo la transformación del producto frutícola, no se determinará el nivel de inventario del producto resultante del proceso de manufactura, ya que se considera que pierde el carácter perecedero objeto de este estudio; es el caso de subproductos como las pulpas o mermelada de frutos, donde el tiempo de vida puede llegar a alcanzar 1 año, puede implementarse un modelo de inventarios que no considere la tasa de deterioro; por lo tanto, la fruta fresca es considerada como materia prima y se determinará el tamaño de orden óptimo para este eslabón.

3.4 Estructura de costos para el hipermercado y vivandero (h), (v)

Los eslabones que representan el hipermercado y el vivandero, poseen características similares con el mayorista, ya que actúan como un distribuidor a lo largo de la cadena, sin embargo su demanda proviene del consumidor final y por tanto los volúmenes de fruta fresca manejados en este eslabón son menores, dicha condición permite ajustar la estructura de costos construida para el eslabón mayoristas, por tanto, el costo logístico total incurrido por el hipermercado y el vivandero podrá ser representado por la suma del costo de mantener la fruta fresca, costo de deterioro y el costo de ordenar respectivamente:

$$\boldsymbol{CT_h(t_h) = CM_h + CD_h + Co_h} \qquad (22)$$

Y

$$\boldsymbol{CT_v(t_v) = CM_v + CD_v + Co_v} \qquad (23)$$

3.5 Estructura de costos para el minorista (r)

Es eslabón minorista de una cadena frutícola presenta la condición especial de recibir la fruta después de su paso por más de un eslabón, ocasionando que la vida útil del producto sea menor y aumente la probabilidad de deterioro, en consecuencia, la decisión de la cantidad de pedido del minorista, debe considerar dos situaciones: (1) perder el producto por poseer excedentes o (2) presentar escasez de fruta, lo que ocasiona pérdida de clientes por producto faltante. Por lo tanto, se establecerá un modelo de pedido único, debido a que la fruta fresca comercializada por el minorista se consume en un solo periodo. El tamaño de orden de fruta fresca estará determinado por la ecuación (24):

$$F(Q^*) = P(D_r < Q_r) = \frac{C_u}{C_u + C_o} \qquad (24)$$

Donde:

C_u Representa al costo unitario por escasez de fruta fresca

C_0 Representa el costo de pérdida por fruta deteriorada

A través del uso de simulación de Montecarlo, se obtuvo el valor de la demanda, cuyo comportamiento obedece a una distribución uniforme continua, por lo tanto el tamaño de orden de fruta fresca óptimo para el minorista corresponde a la ecuación (25), adionalmente, es posible obtener el inventario mantenido a través del tiempo como el promedio de los excedentes con respecto a las cantidades q ordenadas.

$$F(Q^*) = P(D_r < Q_r) = \frac{C_u}{C_u + C_o} \qquad (25)$$

En consecuencia, el costo asociado al mantenimiento de los inventarios de fruta para el eslabón minorista está representado por la ecuación 26:

$$\boldsymbol{CT_m(q) = C_{am} * Q_r + C_u(\mu - Q_r) + (C_u + C_o)\int_a^b F_q\, dq} \qquad (26)$$

Donde:

a: Valor mínimo que puede tomar la demanda de fruta

b: Valor máximo que puede tomar la demanda de fruta

μ: Valor promedio entre el valor máximo y mínimo de la distribución uniforme (a, b)

F_q: Función de densidad de probabilidad, $F_q = \frac{1}{b-a}$

Los supuestos clave para la aplicación de este modelo son:

(1) Función de demanda homogénea para todo el periodo de planeación

- No se presentan rachas

- No hay influencia de factores de temporada

(2) El minorista no es técnico (no sabe del negocio)
(3) Parámetros constantes durante el periodo de planeación
(4) Presupuesto para comprar el tamaño de orden óptimo es ilimitado

De tal manera que manera que el punto óptimo consista en ordenar unidades hasta el momento en que la última unidad pedida tenga una probabilidad de $P(D_r < Q_r)$ de generar pérdidas. El modelo de pedido único será empleado en el sistema constituido como pull, debido a que en este la demanda e determinante para la generación de órdenes de producción.

Debido a la naturaleza de la producción es necesario identificar los parámetros que alimentaran el modelo pull y push. Un modelo pull se encuentra dictaminado por la demanda de los clientes los cuales establecen las cantidades de fruta que serán enviadas por el productor a través de la cadena para suplir sus demandas, por lo tanto, se definió como un parámetro las demandas de los eslabones que generaban ventas a los consumidores finales , por otro lado, el modelo push está limitado a la tasa de producción o cantidad de productos que serán enviados mediante la cadena de abastecimiento y demandados gradualmente por los clientes, es decir, serán asumidas como constantes las tasas de producción de los agricultores y la agroindustria.

3.6 Formulación del modelo de inventarios

Basados en las ecuaciones planteadas en los numerales anteriores, es posible formular un modelo, cuyo objetivo sea minimizar el costo total de la cadena frutícola, a través de las variables de decisión: t_i y Q_i.

El costo total generado por cada ciclo de reposición,$CT,$ corresponde a la suma de $CT_m(q), CT_v(t_v)$, $C\,T_h(t_h)$, $CT_g(tg)$, $CT_m(tm)$, $CT_a(ta)$. Para determinar la política integrada de inventario puede ser formulada como un problema de NLP (Optimización no lineal).

El modelo de denotará así:

Subíndices (ver tabla 33):
$i: Eslabón\ de\ origen$
$j: Eslabón\ de\ destino$

Tabla 32. Subíndices modelo de inventarios

Eslabón	Notación
Agricultor	1
Mayorista	2
Agroindustria	3
Hipermercado	4
Minorista	5
Vivandero	6
Consumidor	7

3.6.1 Formulación para el modelo de inventarios push

El sistema push para una cadena de abastecimiento frutícola, presenta la siguiente estructura:

El costo total de la cadena es representado por la ecuación (27), el cual corresponde a la suma de los costos logísticos generados por cada eslabón:

$$Minimizar\ TC = \sum_{i=1}^{6} CT_i\,(t_i) \quad (27)$$

$Sujeto\ a$:

$$Q_i = \frac{D_i}{\theta_i} * \left(e^{\theta_i t_i} - 1\right) \qquad (28)$$

$$Q_i \geq D_i \qquad (29)$$

La ecuación (28) describe la cantidad de pedido óptima que cada eslabón debe ordenar a su o sus proveedores, así mismo, la ecuación (29) garantiza que el tamaño de orden de fruta sea mayor a la demanda presentada para que este pueda satisfacerla.

Las ecuaciones (30) y (31) representan el costo total para el agricultor y demás eslabones respectivamente, correspondiente a la suma del costo de mantener, deterioro, ordenar y de pérdidas relacionadas al desequilibrio entre oferta y demanda (para el caso del agricultor se adiciona el costo de cosechar, producir y no presenta costo de realizar ordenes)

$$CT_a(t_a) = CM_a * P_a + (CD_a * P_a * \theta_a) + Ca + Cu * Q_a + L_a * PV \qquad (30)$$

$$CT_i(t_i) = CM_i * \frac{(Q_i - (D_i * t_i))}{\theta_i} + CD_i * \left(Q_i - (D_i * t_i)\right) + Co_i + L_i * PV$$

$$\nabla \text{ desde i} = 2, \dots, 6 \quad (31)$$

Las ecuaciones (32) y (33) representan las demandas que deben satisfacer el agricultor y el mayorista para cada uno de los eslabones a los que suministran fruta.

$$D_1 = 1.22 * \sum_{2}^{4} Q_{i1} \qquad (32)$$

$$D_2 = 1.12 * \sum_{3}^{6} Q_{i2} \qquad (33)$$

$$T \geq \sum_{1}^{6} t_i * X_i \qquad (34)$$

$$donde: \begin{cases} x = 1 & cuando\ \ hay\ flujo\ de\ fruta \\ x = 0 & cuando\ no \end{cases}$$

La ecuación (34) representa el tiempo máximo que puede permanecer la fruta en cada eslabón, para que no supere el tiempo en el que la fruta puede ser consumida. Adicionalmente, la ecuación (35) considera que este debe ser mayor a cero.

$$t_i \geq 0 \qquad (35)$$

$$L_i = \sum_{i=1}^{2} \sum_{i=2}^{6} Q_i - Q_j \qquad (36)$$

La ecuación (36) muestra las pérdidas ocasionadas en cada eslabón, debidas a la diferencia presentada entre la oferta y la demanda.

3.6.2 Formulación para el modelo de inventarios pull

A continuación se formula un sistema pull para una cadena de abastecimiento frutícola.

El costo total de la cadena es representado por la ecuación (37), el cual corresponde a la suma de los costos logísticos generados por cada eslabón:

$$Minimizar\ TC = \sum_{i=1}^{6} CT_i\,(t_i) \qquad (37)$$

$Sujeto\ a:$

$$Q_i = \frac{D_i}{\theta_i} * (e^{\theta_i t_i} - 1)\ \nabla\ \mathrm{i} = 2,3,4,6^{7} \qquad (38)$$

La ecuación (38) representa la cantidad a ordenar por cada eslabón, necesaria para satisfacer la demanda de acuerdo a su tasa de deterioro.

[7] $i = 5$, representa la demanda del minorista, por lo tanto se considera un parámetro para el modelo pull, este fue establecido a partir de un modelo de pedido único, mencionado en el capítulo 3 de la presente investigación.

$$Q_1 = \frac{P_1}{\theta_1} * \left(1 - e^{-\theta_1 t_1}\right) \qquad (39)$$

Para el caso del agricultor, se establece la ecuación (39), la cual constituye la cantidad a cosechar por periodo. Así mismo, la ecuación (40), considera que la cantidad a enviar por parte del agricultor, debe ser mayor o igual al tiempo necesario para generar la producción por la tasa a la que es producida.

$$Q_a \geq P_a * t_a \qquad (40)$$

Para los eslabones restantes, la ecuación (41) establece que la cantidad a ordenar debe ser mayor o igual a la demanda que debe ser satisfecha

$$Q_i \geq D_i \qquad (41)$$

Las ecuaciones (42) y (43) representan el costo total para el agricultor y demás eslabones respectivamente, correspondiente a la suma del costo de mantener, deterioro y ordenar, (para el caso del agricultor se adiciona el costo de cosechar y producir y no presenta costo de realizar ordenes)

$$CT_a(t_a) = CM_a * \frac{\left((D_a * t_a) - Q_a\right)}{\theta_a} + CD_a * \left((D_a * t_a) - Q_a\right) + Ca + Cu * Q_a \qquad (42)$$

$$CT_i(t_i) = CM_i * \frac{\left(Q_i - (D_i * t_i)\right)}{\theta_i} + CD_i * \left(Q_i - (D_i * t_i)\right) + Co_i \quad \nabla \text{ desde i} = 2, \dots 6 \quad (43)$$

Las ecuaciones (44) y (45) representan las demandas que deben satisfacer el agricultor y el mayorista para cada uno de los eslabones a los que suministran fruta.

$$D_1 = 1.22 * \sum_{2}^{4} Q_{i1} \qquad (44)$$

$$D_2 = 1.12 * \sum_{3}^{6} Q_{i2} \qquad (45)$$

La ecuación (46) representa el tiempo máximo que puede permanecer la fruta en cada eslabón, para que no supere el tiempo en el que la fruta puede ser consumida. Adicionalmente, la ecuación (47) considera que este debe ser mayor a cero.

$$T \geq \sum_{1}^{6} t_i * X_i \qquad (46)$$

$$donde: \begin{cases} x = 1 & cuando\ \ hay\ flujo\ de\ fruta \\ x = 0 & cuando\ no \end{cases}$$

$$t_i \geq 0 \qquad (47)$$

A continuación el capítulo 4 muestra la aplicación y discusión de dos cadenas de abastecimiento frutícolas seleccionadas evidenciando el efecto de las tasas de deterioro y su incidencia en los costos logísticos de la cadena.

4. CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN Y DISCUSIONES

La presente investigación, pretender examinar cómo afectan las tasas de deterioro típicas de un producto agrícola como la fruta, en la decisión de tamaño de orden que debe ser pedido por un eslabón, teniendo en cuenta la demanda del producto, así como el tiempo asociado a dicha orden; incidiendo finalmente en el comportamiento y desempeño logístico de la cadena. A través del estudio de las publicaciones realizadas por (Rau et al., 2003) y (Wang et al., 2011), se justifica el modelo de gestión de inventarios propuesto.

Con el fin de realizar una aplicación al modelo presentado, se analizará el caso de la mora y el mango, cuyo comportamiento corresponde a frutos no climatéricos y climatéricos respectivamente, adicionalmente la mora es un fruto de cosecha permanente a lo largo del año, en contraste con el mango, que presenta estacionalidad, por lo tanto, el objetivo radica en examinar el comportamiento de los inventarios y las decisiones de orden que deben llevar a cabos los eslabones de la cadena de los frutos seleccionados en Colombia, centrándose en el caso de Cundinamarca.

Las tasas de deterioro del inventario fueron fijadas a través del análisis del efecto de la tasa de respiración de un producto agrícola[8], mediante la cual se calcula una aproximación de la vida comercial del fruto, por lo tanto, la tasa de deterioro de los productos cosechados será proporcional a la tasa de respiración. Para tal fin, se efectuaron distintas iteraciones con valores aproximados de la tasa de deterioro, realizando una determinación de ésta a través del método de convergencia, considerando la etapa de vida del producto en la cual se encontraba en cada eslabón y el tiempo que permanece en este. Los gráficos 17 y 18 presentan la tasa de respiración[9] de la mora y el mango respectivamente.

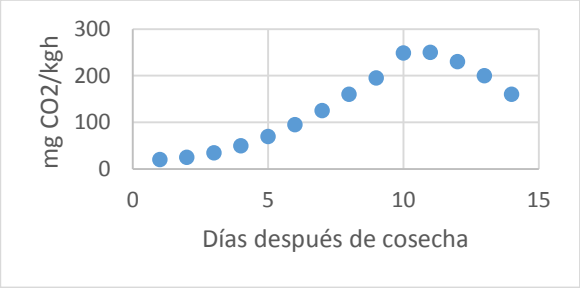


Gráfico 17. Tasa de respiración mango (19 ℃) (Lizana & Ochagavía, 1998)

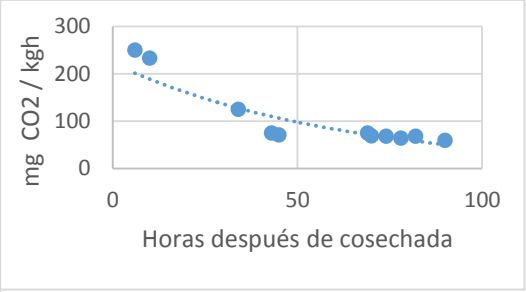


Gráfico 18. Tasa respiración mora (16 ℃) (Pulido, 2012)

[8] La oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe describe la respiración como el mecanismo por el cual las frutas frescas producen energía mediante la transformación de las reservas propias de almidón, azúcares y metabolitos. Sin embargo, considerando que después de la cosecha los productos siguen respirando, la pérdida se traduce en la duración de la vida poscosecha del producto.

[9] La tasa de respiración del mango y la mora varían de acuerdo a las temperaturas de almacenamiento, por lo tanto se consideró condición de medio ambiente en el lugar de cosecha (Cundinamarca) y Silvania (Cundinamarca) respectivamente.

Tabla 33. Parámetros de mango y mango fijados para el modelo

Parámetro	**Mora L**[10]	**Mango S**[11]	**Mango L**	**Unidad**
Para el agricultor (a)				
θ_a ***(1)***	5	5	5	%
B_{am} ***(2)***	22	22	22	%
B_{ag}***(2)***	22	22	22	%
B_{ah}***(2)***	22	22	22	%
P_a ***(3)***	40,50	33,33	8,33	Kg/día
C_{ua} ***(8)***	949,00	721,74	1762	$/kg
C_{ma}***(5)***	77,72	36,09	88,10	$*Kg/día
C_{da}***(6)***	1246,55	834,75	1464,69	$/kg
C_{aa} ***(7)***	210,68	12,50	50,52	$/ha
Para el mayorista (m)				
θ_m ***(1)***	18	10	10	%
B_{mg}***(2)***	12	12	12	%
$B_{mh}(2)$	12	12	12	%
B_{mv}***(2)***	12	12	12	%
B_{mr}***(2)***	12	12	12	%
C_{mm} ***(5)***	199,29	113,20	207,84	$*Kg/día
C_{dm}***(6)***	2366,00	1681,75	3086,40	$/kg
C_{om} ***(7)***	1279,61	1279,61	1279,61	$/orden
Para la agroindustria (g)				
θ_g***(1)***	15	8	8	%
D_g ***(4)***	12,09	6,67	6,67	Kg/día
C_{mm}***(5)***	104,55	77,82	142,89	$*Kg/día
C_{dm} ***(6)***	2091,00	1415,00	2857,81	$/kg
C_{oa} ***(7)***	1279,61	1279,61	1279,61	$/orden
Para hipermercado (h)				
θ_h***(1)***	24	15	15	%
D_h***(4)***	15,31	13,33	3,33	Kg/día
C_{mh}***(5)***	439,11	325,45	657,30	$*Kg/día
C_{dh}***(6)***	2140,66	1220,44	2420,02	$/kg
C_{oh} ***(7)***	1279,61	1279,61	1279,61	$/orden
Para minorista (r)				
θ_r***(1)***	30	18	18	%
D_r***(4)***	4,29	10,71	2,68	Kg/día
C_{mr}***(5)***	118,30	84,09	166,66	$*Kg/día
C_{dr}***(6)***	2306,85	1639,71	3249,94	$/kg
C_{or} ***(7)***	1279,61	1279,61	1279,61	$/orden
Para vivandero (v)				
θ_v ***(1)***	20	16	16	%
D_v***(4)***	8,93	12,5	3,12	Kg/día
C_{mv}***(5)***	112,67	80,08	158,80	$*Kg/día
C_{dv}***(6)***	2197,00	1561,62	3096,56	$/kg
C_{ov} ***(7)***	1279,61	1279,61	1279,61	$/orden

[10] L:Sistema pull
[11] S:Sistema push

La tabla 33, evidencia los parámetros fijados para la aplicación del modelo en las cadenas de abastecimiento agroindustrial frutícola de la mora y el mango en Colombia, basados en actores pertenecientes a las agro cadenas de Cundinamarca. A continuación, se detalla la fuente de obtención de dichos parámetros:

(1) A partir de (Lizana & Ochagavía, 1998) y (Pulido, 2012) y a través del método de convergencia descrito con anterioridad en el capítulo 3 de esta investigación. (2) Fueron tenidas en cuenta la tasas de pérdida por manipulación, almacenamiento en poscosecha y distribución, para países de Latinoamérica según la Fao (FAO, 2011). (3) A patir del estudio realizado en el departamento de Cundinamarca específicamente en el municipio de Silvania por (Pulido, 2012) en el que identifican el área del terreno de siembra y el (Ministerio De Agricultura y desarrollo Rural, 2015c) donde se encuentra la producción anual de mora dicho municipio, por otro lado, para el mango, (Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural, 2016) tomando como base la producción de un agricultor en Cundinamarca de tamaño "pequeño", ya que el mayor porcentaje de pertenecía a esta categoría.

(4) En este caso se obtuvo un porcentaje de demanda de fruta por parte del sector industrial, el cual es representado por la tasa de consumo a partir de (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015d) y (Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural, 2016) para la mora y el mango respectivamente; por otro lado, en el caso del hipermercado y vivandero, fue empleado el instrumento de recolección de información primaria elaborado por el grupo GICALyT (GICALyt, 2015), finalmente, la demanda del minorista fue obtenida a partir del modelo de pedido único descrito en el capítulo 3 de la presente investigación.

EL costo de mantener el inventario (5) para cada eslabón fue asumido como un costo de oportunidad considerando el dinero que deja de ganar el actor por no realizar la inversión en una opción que genere rentabilidad, en el caso de Colombia, el valor rentable en un año para un Certificado de Depósito a Término (CDT) es aproximadamente un 5% (Grupo Bancolombia, 2016), adicionalmente, este costo fue incrementado para el caso de eslabones que conservaban las frutas refrigeradas, tales como agroindustria e hipermercados.

Por otro lado, el costo de deterioro (6) fue determinado como el dinero que deja de percibir el actor a causa de la pérdida de cada kilogramo de fruta que no puede vender o transformar, por lo tanto, para el agricultor, mayorista y agroindustria éste corresponderá al precio de venta y al costo de adquisición respectivamente, sin embargo, los eslabones hipermercado, minorista y vivandero en el contexto del mercado colombiano, tienen la posibilidad de ofrecer sus productos a un precio menor cuando la calidad del fruta ha descendido, en consecuencia, se asume su comercialización con un 33% del precio inicial del producto, como una forma de amortizar el costo generado por el deterioro. Adicionalmente, se consideró el mismo costo de ordenar (7) para cada eslabón, ya que está determinado por el tiempo empleado en realizar una orden de frutas y el costo asociado al medio empleado para dicha acción; el cual según manifestaron los actores encuestados es el telefónico, por otro lado, en el caso del agricultor, se presenta un costo de cosecha, que considera la recolección, pesada, limpieza, empaque, clasificación y transporte interno, obtenido a través de (Departamento del Valle del Cauca, 2012) para mora y (Secretaria de Agricultura-Departamento de Cundinamarca, 2010) en el caso del

mango. (8) Finalmente, el costo unitario de producción para el agricultor se obtiene de (Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural, 2016) y (Ministerio De Agricultura y desarrollo Rural, 2015a) para el mango y la mora respectivamente.

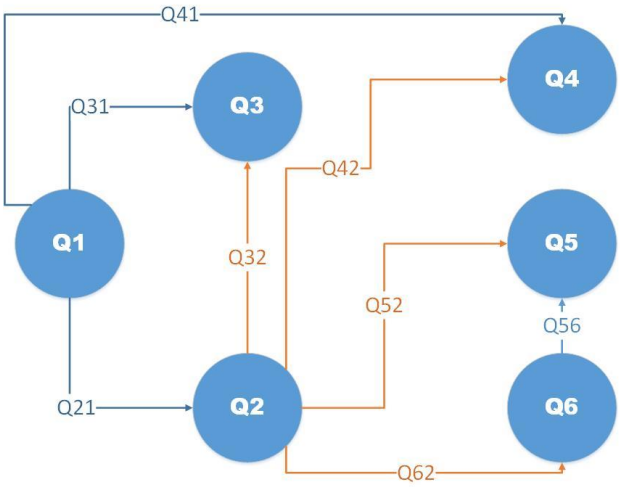
Los parámetros utilizados para determinar el tamaño de orden óptimo en el eslabón minorista a través de un modelo de pedido único en el caso del sistema push, se observan en la tabla 34.

Tabla 34. Parámetros fijados modelo de pedido único

Parámetros	Mora L	Mango L	Unidad
Q^*	3,74	2,29	Kg
C_o	2366,00	3333,27	$/kg
C_u	946,40	833,31	$/kg
Costo compra	2366,00	3333,27	$/kg
Precio venta	3312,40	4166,60	$/kg
Salvamento	1100,00	1400,00	$/kg
Demanda (Distribución uniforme continua)			
a	1,42	1,43	Kg/día
b	7,14	4,27	Kg/día

Con el objetivo de determinar las cantidades óptimas que son necesarias para satisfacer la demanda de los consumidores fue necesario construir la configuración y distribución de la cadena agroindustrial frutícola de mango y mora a partir de estudios previos realizados por el grupo de investigación y las encuestas realizadas a los diferentes eslabones, la figura 6 muestra las relaciones existentes tenidas en cuenta para la realización de los modelos.

Figura 6. Configuración cadena agroindustrial frutícola



La configuración de la cadena permite generar las órdenes para los distintos actores de la cadena el Agricultor (Q1) puede enviar la fruta fresca al Mayorista (Q2), la Agroindustria

(Q3), o el Hipermercado (Q4); quienes a su vez distribuirán la fruta a otros eslabones como es el caso del Mayorista que es el proveedor de la Agroindustria (Q3), los Hipermercados (Q4), los Minoristas (Q5) y los vivanderos (Q6) o la venta directa con el cliente final como es el caso de Q4, Q5 y Q6.

Fue realizado un análisis de la cadena de abastecimiento de la mora y el mango, teniendo en cuenta la capacidad de producción del agricultor, bajo este enfoque es considerado el problema asociado a los desequilibrios entre la demanda pull generada por el cliente al minorista, hipermercado o vivandero para la cadena de la mora, y un sistema de suministro push propio del productor agrícola en las cadenas colombianas, en el que el agricultor envía cantidades de producción sin tener en cuenta las demandas presentadas por los eslabones aguas abajo, como es el caso del mango. Las tablas 35 y 36 muestran los resultados matemáticos obtenidos a través de la caracterización de la cadena de la mora, tomando como referente las condiciones de cosecha en el municipio de Silvania (Cundinamarca).

Tabla 35. Resultados numéricos inventario promedio de mora mantenido por eslabón

Eslabón	$I_i(t)\ (kg/t_i)$
Agricultor (a)	27,47
Mayorista (m)	7,54
Agroindustria (g)	5,50
Hipermercado (h)	4,44
Minorista (r)	0,83
Vivandero (v)	3,95

La tabla 35 muestra el inventario promedio de fruta fresca que mantiene cada eslabón de la cadena desde un tiempo 0 hasta que se completa su ciclo de cosecha o reposición de inventarios. Los eslabones agricultor, mayorista e hipermercado presentan mayor necesidad de mantenimiento de sus inventarios. Por otro lado, la tabla 36 indica los valores óptimos de las variables de decisión que minimizan el costo logístico de la cadena, en donde se obtuvo un mayor tamaño de orden para el mayorista, con un ciclo de reposición de la fruta diario, así mismo, el hipermercado, presenta un tamaño de orden de gran volumen, con tiempo de reposición menor a los demás eslabones, debido a la alta demanda de producto.

Tabla 36. Resultados numéricos óptimos para el sistema pull de la mora

Eslabón	Q_i^*	t_i^*	CT_i^*	D_i	CT^*
Agricultor (a)	46,26	1,18	47957,66	-	
Mayorista (m)	15,55	1	5191,02	14,19	
Agroindustria (g)	12,09	0,93	3579,85	-	69973,84
Hipermercado (h)	10,28	0,90	4986,13	10,28	
Minorista (r)	3,74	1[12]	2800	-	
Vivandero (v)	8,93	0,91	5459,18	-	

[12] Obtenido a través del modelo de pedido único. Minoristas en Bogotá, ordenan mora diariamente

En el sistema pull, el agricultor comienza con una capacidad inicial, la cual afecta directamente la producción de éste y por lo tanto la cantidad de fruta que puede enviar; sin embargo, a través del establecimiento de una cantidad de fruta fresca de envío, se considera que el volumen de fruta enviado no será el mismo que llega al inventario del eslabón receptor (debido a la tasa de desperdicio asociada al transporte y la manipulación de este tipo de productos) y que la demanda del consumidor final afecta directamente al inventario del minorista, el hipermercado y vivandero; el agricultor puede satisfacer las necesidades de los eslabones, sin incurrir en costo de pérdida y re dirigiendo su demanda a otros mercados. Los resultados muestran un costo total para la cadena de aproximadamente $69974.

Por otra parte, debido a que el mango es un fruto de producción estacional, fue necesario representar las etapas de cosecha (alta) y no cosecha (baja) [13]a través de un sistema push y pull respectivamente. La tabla 37, indica los resultados del inventario promedio a mantener por cada eslabón, donde el mayorista presenta las mayores necesidades de almacenamiento, ya sea en tránsito o en bodega.

Tabla 37. Resultados numéricos inventario promedio de mango mantenido en el sistema push

Eslabón	$I_i(t)\ (kg/t_i)$
Agricultor (a)	
Mayorista (m)	13,44
Agroindustria (g)	4,76
Hipermercado (h)	6,07
Minorista (r)	4,79
Vivandero (v)	5,65

En el caso del sistema push, se presenta una alta producción por parte del agricultor, ya que se encuentra en época de alta cosecha, por lo tanto se obtiene un tamaño de lote de cosecha de 54.23 kg de mango, con un costo de $31226.61, por otro lado, se evidencia que el minorista tiene el mínimo tiempo de reposición de los inventarios, ya que ordena el menor tamaño de lote. En este sistema se presentan pérdidas ocasionadas al desequilibrio entre oferta y demanda, ya que el agricultor envía un tamaño de cosecha a los eslabones aguas abajo esperando que toda la fruta sea recibida, sin embargo el tamaño de orden de dichos eslabones es distinto al esperado, por lo tanto, se generan mermas en el envío, que son soportadas por el agricultor y el mayorista (tabla 39)

Tabla 38. Resultados numéricos óptimos para el sistema push del mango (Alta Cosecha)

Eslabón	Q_i^*	t_i^*	CT_i^*	D_i	CT^*
Agricultor (a)	54,23	-	31226,61	-	
Mayorista (m)	27,34	1	12006,44	26	
Agroindustria (g)	8,13	1,16	2170,05		56007,79
Hipermercado (h)	13,33	0,93	4364,01	13,33	
Minorista (r)	10,71	0,92	3095,51	10,71	
Vivandero (v)	12,5	0,93	3145,18	12,50	

[13] Ver anexo 2

Tabla 39. Pérdidas asociadas al desequilibrio entre oferta y demanda

Eslabón	Parámetro	Pérdida
	θ_a =7.5%	5.52
Agricultor (a)	θ_a =5%	5.42
	$\theta_a = 2.5\%$	5.33
	$\theta_m = 15\%$	4.84
Mayorista (m)	$\theta_m = 10\%$	4.13
	θ_m =5%	3.45

En consecuencia, con una tasa de deterioro del 5%, se perderán 5.42 y 4.13 kg ocasionados por el desconocimiento de la demanda, para el caso del agricultor y el mayorista respectivamente.

Por otro lado, se formuló un sistema pull para el periodo de baja cosecha de mango, en el cual, la producción es baja, y el agricultor se ve obligado a aumentar el precio, generándose un cambio en la demanda y por lo tanto es el cliente final quien hala el sistema, generando una demanda esperada. La tabla 40 presenta el inventario promedio mantenido por los actores de la cadena, en cada ciclo de reposición $\boldsymbol{t_i}$, indicado en la tabla 41, donde el costo logístico total generado por la cadena, en temporada de baja cosecha es aproximadamente de $38265, y se observa un ciclo de recolección de cosecha para el agricultor de 2.62 días, adicionalmente, se muestra un costo alto para el minorista, debido a las tasas de deterioro que presenta el producto cuando llega a este eslabón.

Tabla 40. Resultados numéricos inventario promedio de mango mantenido en el sistema pull

Eslabón	$\boldsymbol{I_i(t)\ (kg/t_i)}$
Agricultor (a)	27,39
Mayorista (m)	3,14
Agroindustria (g)	3,17
Hipermercado (h)	1,70
Minorista (r)	0,05
Vivandero (v)	1,41

Tabla 41. Resultados numéricos óptimos para el sistema pull del mango (Baja cosecha)

Eslabón	$\boldsymbol{Q_i^*}$	$\boldsymbol{t_i^*}$	$\boldsymbol{CT_i^*}$	$\boldsymbol{D_i}$	$\boldsymbol{CT^*}$
Agricultor (a)	20,46	2,62	18758,39	-	
Mayorista (m)	6,37	1	2897,83	6,06	
Agroindustria (g)	6,67	0,96	2455,55	-	38264,86
Hipermercado (h)	3,73	0,93	3011,11	3,73	
Minorista (r)	2,29	2,5[14]	8939,01		
Vivandero (v)	3,12	0,93	2202,96		

[14] Obtenido a través del modelo de pedido único. Minoristas en Bogotá, ordenan mango de 2 a 3 veces/semana, por lo tanto se asume un promedio de 2,5 órdenes semanales

Así mismo, se evidencia una diferencia en los ciclos de reposición del sistema pull frente al push, basada en los tiempos de reaprovisionamiento empleados para el modelo de pedido único en el eslabón minorista, donde el actor manifiesta que realiza una orden cada 2,5 días, lo que ocasiona que al disminuir la frecuencia de los pedidos en el sistema pull, se genere un equilibrio determinado por la decisión del tamaño de lote de cosecha de fruta fresca con la demanda real de los eslabones aguas abajo, es decir, el modelo describe una flexibilidad en la capacidad de producción de la tierra, sin embargo, ante un aumento en la demanda el agricultor debería reaccionar incrementando el tamaño de lote de cosecha del mango.

4.1 Análisis de sensibilidad

Con el objetivo de analizar el efecto de las tasas de deterioro, fue desarrollado un análisis de sensibilidad considerando variaciones positivas y negativas del 50% sobre esta tasa, calculada a partir de la respiración de la fruta.

La tabla 42, evidencia que cuando las tasas de deterioro del producto aumentan, el costo de la gestión de los inventarios de la cadena presenta un incremento, así mismo, si esta tasa presenta una disminución, el costo se verá reducido, adicionalmente, se observa que en gran parte de los actores, se sufre una mayor variación en el costo total de manejo de inventarios cuando la tasa de deterioro es llevada a su punto mínimo, lo que evidenciaría el impacto de políticas de control como refrigeración o atmósferas modificadas para la reducción de la tasa respiratoria de la mora en un sistema pull .

Tabla 42. Efectos de la tasa de deterioro en el costo de la cadena de la mora como un sistema pull

Eslabón	Parámetro	Q_i^*	t_i^*	CT_i^*	I_i	D_i	CT^*
	$\theta_a = 7.5\%$	47.16	1.22	49966.21	29.18		75291.12
Agricultor (a)	$\theta_a = 5\%$	46.26	1.4	47957.66	27.47		69973.84
	$\theta_a = 2.5\%$	45.41	1.14	46125.47	25.94		64691.17
	$\theta_m = 27\%$	16.29	1	6557.13	7.78	14.19	75291.12
Mayorista (m)	$\theta_m = 18\%$	15.55	1	5191.02	7.54	14.19	69973.84
	$\theta_m = 9\%$	14.85	1	3904.92	7.31	14.19	64691.17
	$\theta_g = 22.5\%$	12.09	0.90	4308.37	5.27		75291.12
Agroindustria (g)	$\theta_g = 15\%$	12.09	0.93	3579.85	5.50		69973.84
	$\boldsymbol{\theta}_g = 7.5\ \%$	12.09	0.96	2784.57	5.76		64691.17
	$\theta_h = 36\ \%$	10.28	0.85	5578.76	4.17	10.28	75291.12
Hipermercado (h)	$\theta_h = 24\%$	10.28	0.9	4986.13	4.44	10.28	69973.84
	$\theta_h = 12\%$	10.28	0.94	4312.46	4.76	10.28	64691.17
	$\theta_r = 45\%$	3.74	1	2800	0.83		75291.12
Minorista (r)	$\theta_r = 30\%$	3.74	1	2800	0.83		69973.84
	$\theta_r = 15\%$	3.74	1	2800	0.83		64691.17
	$\theta_v = 30\%$	8.93	0.88	6080.65	3.73		75291.12
Vivandero (v)	$\theta_v = 20\%$	8.93	0.91	5459.18	3.947		69973.84
	$\theta_v = 10\%$	8.93	0.95	4763.75	4.19		64691.17

Adicionalmente, se puede observar que para los eslabones agroindustria, hipermercado, minorista y vivandero, el tamaño de lote optimo a ordenar no presenta modificaciones a pesar del cambio en la tasa deterioro, sin embargo, si se sugiere una variación en el tiempo de reposición de dichos inventarios, cuando se presenta una tasa de deterioro menor, la fruta fresca debe ser ordenada en intervalos de tiempo mayores a los necesarios cuando se tiene una alta tasa de deterioro de fruta.

Para la cadena del mango, en sistema push, la tabla 43, muestra un cambio en el tamaño de orden óptimo cuando se modifica la tasa de deterioro de la fruta, es decir, cuando ésta disminuye, el tamaño de lote debe ser menor para los eslabones agricultor y mayorista debido a las mermas por el deterioro de la fruta, así mismo, se evidencia que entre menor sea la tasa de deterioro los tiempos de reposición de la fruta serán mayores, lo que conlleva a que se pueda mantener la fruta por más tiempo aumentando el inventario promedio por eslabón.

Tabla 43. Efectos de la tasa de deterioro en el costo de la cadena del mango como un sistema push

Eslabón	Parámetro	Q_i^*	t_i^*	CT_i^*	I_i	D_i	CT^*
	θ_a =7.5%	55.17		32082.00			61027.08
Agricultor (a)	θ_a =5%	56.36		31226.61			56007,79
	$\theta_a = 2.5\%$	53.31		30455.00			50916.16
	$\theta_m = 15\%$	28.05	1	14409.53	13.67	26	61027.08
Mayorista (m)	$\theta_m = 10\%$	27.34	1	12006.44	13,44	26	56007,79
	θ_m =5%	26.66	1	9682.55	13.22	26	50916.16
	θ_g =12%	8.27	1.16	2437.81	4.68		61027.08
Agroindustria (g)	θ_g =8%	8.13	1.16	2170.05	4,76		56007,79
	$\theta_g = 4\%$	8.00	1.17	1904.53	4.65		50916.16
	$\theta_h = 22.5\%$	13.33	0.90	4764.92	5.81	13.33	61027.08
Hipermercado (h)	θ_h =15%	13.33	0.93	4364.01	6,07	13.33	56007,79
	$\theta_h = 7.5\%$	13.33	0.96	3927.22	6.35	13.33	50916.16
	θ_r =27%	10.71	0.88	3677.57	4.55	10.71	61027.08
Minorista (r)	$\theta_r = 18\%$	10.71	0.92	3095.51	4,79	10.71	56007,79
	$\theta_r = 9\%$	10.71	0.96	2450.43	5.05	10.71	50916.16
	$\theta_v = 24\%$	12.5	0.90	3736.44	5.40	12.5	61027.08
Vivandero (v)	θ_v =16%	12.5	0.93	3145.18	5,65	12.5	56007,79
	$\theta_v = 8\%$	12.5	0.96	2496.44	5.93	12.5	50916.16

Análogamente para el sistema pull de la cadena agroindustrial de mango la tabla 44, permite evidenciar los ligeros cambios en los tamaños de orden y tiempos de ciclo, ya que en épocas de no cosecha las cantidades a ofrecer de mango son considerablemente menores y se ve mayormente afectado por su alto costo de adquisición.

Tabla 44. Efectos de la tasa de deterioro en el costo de la cadena del mango a como un sistema pull

Eslabón	Parámetro	Q_i^*	t_i^*	CT_i^*	I_i	D_i	CT^*
	θ_a =7.5%	20.65	2.74	20254.26	29.31		41104.71
Agricultor (a)	θ_a =5%	20.46	2.62	18758.39	27.39		38264,86
	$\theta_a = 2.5\%$	20.26	2.51	17433.42	12.85		35534.04
	$\theta_m = 15\%$	6.53	1	3417.40	3.19	6.05	41104.71
Mayorista (m)	$\theta_m = 10\%$	6.37	1	2897.82	3.14	6.05	38264,86
	θ_m =5%	6.21	1	2395.33	1.54	6.05	35534.04
	θ_g =12%	6.66	0.94	2779.97	3.09		41104.71
Agroindustria (g)	θ_g =8%	6.66	0.96	2455.55	3.17		38264,86
	$\theta_g = 4\%$	6.66	0.98	2114.67	1.62		35534.04
	$\theta_h = 22.5\%$	3.73	0.9	3218.46	1.59	3.73	41104.71
Hipermercado (h)	θ_h =15%	3.73	0.93	3011.11	1.70	3.73	38264,86
	$\theta_h = 7.5\%$	3.73	0.96	2769.73	0.89	3.73	35534.04
	θ_r =27%	2.29	2.5	8939.01	0.05		41104.71
Minorista (r)	$\theta_r = 18\%$	2.29	2.5	8939.01	0.05		38264,86
	$\theta_r = 9\%$	2.29	2.5	8939.01	0.05		35534.04
	$\theta_v = 24\%$	3.12	0.89	2495.59	1.35	3.12	41104.71
Vivandero (v)	θ_v =16%	3.12	0.92	2202.96	1.41	3.12	38264,86
	$\theta_v = 8\%$	3.12	0.96	1881.87	0.74	3.12	35534.04

La totalidad de análisis realizados con menores tasas de deterioro mostraron un mejor comportamiento en los costos, tiempos de ciclo y cantidades de reaprovisionamiento, lo que sugiere que con buenas prácticas agrícolas, cadenas de frio y atmósferas modificadas que permitan disminuir la tasa de respiración de las frutas, se obtendrán cadenas más eficientes, consiguiendo ventajas para todo el sistema y disminuyendo los costos de los actores participantes en cada etapa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través del modelamiento del sistema de gestión de inventarios para la mora y el mango, dos frutos con condiciones de perecibilidad y cosecha diferentes, se obtuvieron resultados óptimos de tiempos de reposición, tamaño de lote de cosecha y orden, que permitieron mejorar el desempeño logístico de las cadenas de abastecimiento agroindustriales estudiadas.

Los modelos presentados, fueron formulados con el objetivo de minimizar el costo total de la cadena frutícola, teniendo en cuenta cambios en la oferta y la demanda, y las condiciones de cosecha, por lo tanto fue generados dos modelos con política pull cuando se considera una alta oferta y push cuando se presenta una cosecha baja, integrando los costos de inventario de un eslabón agricultor, mayorista, agroindustria, hipermercado, minorista y vivandero de las cadenas de abastecimiento de mora y mango de Cundinamarca, obteniendo como resultado una reducción en los costos logísticos de mantenimiento de inventarios, pérdidas por deterioro, costo de ordenar y de cosecha para el agricultor de fruta fresca.

Adicionalmente, fue estudiado el impacto de las tasas de deterioro de un fruto climatérico frente a otro no climatérico, en las diferentes etapas de la cadena de abastecimiento, y a través del método de convergencia; se midió el efecto sobre las decisiones de orden, evidenciando que con menores tasas de deterioro, se presenta un mejor comportamiento en los costos, tiempos de ciclo y cantidades de reaprovisionamiento, lo que sugiere que con buenas prácticas agrícolas, cadenas de frio y atmósferas modificadas que permitan disminuir la tasa de respiración de las frutas, se obtendrán cadenas más eficientes, consiguiendo ventajas para todo el sistema y disminuyendo los costos de los actores participantes en cada etapa.

Para el desarrollo del modelo propuesto, fueron tomados como base los elementos de los las publicaciones realizadas por (Rau et al., 2003), (Wang et al., 2011) y (Shastri et al., 2013), quienes analizaron el efecto de la política integrada en el control de inventarios de cadenas de suministro de productos con carácter perecedero, sin embargo, fueron agregados factores como las tasas de deterioro dependientes del tipo de fruto, la existencia de relaciones no exclusivas entre los eslabones de la cadena, es decir, la posibilidad de recepción de producto a través de más de un eslabón, así mismo, fueron considerados escenarios de alta y baja oferta del producto perecedero, y finalmente, el cálculo de las pérdidas presentadas en el sistema. Por otro lado, en el presente estudio no fue verificado que la política de inventarios analizada de manera independiente frente a la que considera una decisión integrada de la cadena genera un costo óptimo, debido a que es analizado y demostrado por diversos autores como (Rau et al., 2003),(Bai, Burke, & Kendall, 2008), (Wang et al., 2011), (Shastri et al., 2013) .

Para futuras investigaciones se sugiere la realización de un modelo dinámico que considere el número de órdenes a realizar durante un horizonte de planeación finito, asi mismo, considerar los modelos clásicos de inventarios para completar el modelo con los productos procesados de la agroindustria y el abastecimiento de materias primas e insumos para el agricultor.

Por otro lado, en un contexto económico, es posible analizar el impacto de las demandas presentadas para eslabones como el hipermercado, minorista y vivandero, a través del efecto que genera el precio del producto en esta (en el caso de ser un fruto que no posee una producción continua a lo largo del año) y adicionalmente es importante considerar otros elementos aleatorios. Así mismo, se sugiere la realización de modelos de problemas interrelacionados, es decir, que hacen referencia al análisis de más de un proceso logístico simultáneamente tales como inventarios-transporte, localización-inventarios, así como problemas de ruteo de inventarios para su aplicación en el contexto colombiano, ya que los tiempo de reaprovisionamiento no fueron tenidos en cuenta y este se presenta como un factor determinante en las condiciones de la infraestructura vial y centros de acopio de fruta que posee la región.

REFERENCIAS

Abad, P. L. (1996). Optimal Pricing and Lot-Sizing Under Conditions of Perishability and Partial Backordering. *Management Science*, *42*(8), 1093–1104. doi:10.1287/mnsc.42.8.1093

Abad, P. L. (2000). Optimal lot size for a perishable good under conditions of ® nite production and partial backordering and lost sale. *Computers & Industrial Engineering*, *38*.

Akkerman, R., Farahani, P., & Grunow, M. (2010). *Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges*. *OR Spectrum* (Vol. 32, pp. 863–904). doi:10.1007/s00291-010-0223-2

Amorim, P., Meyr, H., Almeder, C., & Almada-Lobo, B. (2011). Managing perishability in production-distribution planning: a discussion and review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, *25*(3), 389–413. doi:10.1007/s10696-011-9122-3

Asohofrucol-Corpoica. (2013). *Modelo Tecnológico para el cultivo del mango en el Valle del alto Magdalena en el Departamento del Tolima Asohofrucol*.

Bahinipati, B. K. (2014). The Procurement Perspectives of Fruits and Vegetables Supply Chain Planning. *International Journal of Supply Chain Management*, *3*(2), 111–131. Retrieved from http://www.ojs.excelingtech.co.uk/index.php/IJSCM/article/viewFile/933/pdf

Bai, R., Burke, E. K., & Kendall, G. (2008). Heuristic, meta-heuristic and hyper-heuristic approaches for fresh produce inventory control and shelf space allocation. *Journal of the Operational Research Society*, *59*(10), 1387–1397. doi:10.1057/palgrave.jors.2602463

Ballou, R. H. (2004a). Logística: Administración de la cadena de suministro. In E. Quintanar Duarte (Ed.), *Prefacio* (Pearson Ed., p. XXI). México D.F.

Ballou, R. H. (2004b). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. (E. Quintanar Duarte, Ed.) (Pearson Ed., p. 4). México D.F.

Ballou, R. H. (2004c). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. (E. Quintanar Duarte, Ed.) (Pearson Ed., p. 7). México D.F.

Ballou, R. H. (2004d). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. (E. Quintanar Duarte, Ed.) (Pearson Ed., p. 5). México D.F.

Ballou, R. H. (2004e). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. (E. Quintanar Duarte, Ed.) (Pearson Ed., p. 6). México D.F.

Ballou, R. H. (2004f). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. (E. Quintanar Duarte, Ed.) (Pearson Ed., p. 326). México D.F.

Banca de la República de Colombia. (2015). La balanza comercial. Retrieved from http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/economia/balanza_comercial

Bowersox, D., Closs, D., & Cooper, M. B. (2007a). *Administración y logística en la cadena de suministro*. (J. Mares, Ed.) (Segunda., p. 134). México D.F.

Bowersox, D., Closs, D., & Cooper, M. B. (2007b). *Administración y logística en la cadena de suministros*. (J. Mares, Ed.) (Segunda., p. 133). México D.F.

Buffa, E. S. (1969). *Modern Production Management*. (J. W. & Sons, Ed.) (3rd ed.). New York.

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015a). *Manual de la mora* (pp. 1–54).

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015b). *Manual de la mora* (p. 13).

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015c). *Manual de la mora* (p. 30).

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015d). *Manual de la mora* (p. 23).

Cárdenas-Barrón, L. E., Chung, K.-J., & Treviño-Garza, G. (2014). Celebrating a century of the economic order quantity model in honor of Ford Whitman Harris. *International Journal of Production Economics*, *155*, 1–7. doi:10.1016/j.ijpe.2014.07.002

Castañeda, I., Canal, J., & Orjuela, J. (2012). *Caracterización de la logística de la cadena de abastecimiento agroindustrial frutícola en Colombia*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.

Chande, A., Dhekane, S., Hemachandra, N., & Rangaraj, N. (2005). Perishable inventory management and dynamic pricing using RFID technology. *Sadhana*, *30*(2-3), 445–462. doi:10.1007/BF02706255

Chase, R. B., Jacobs, R. F., & Aquilano, N. J. (2009a). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros* (McGraw-Hil., p. 366). México D.F.

Chase, R. B., Jacobs, R. F., & Aquilano, N. J. (2009b). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros* (McGraw-Hil., p. 17). México D.F.

Chen, J. ., & Chen, T. H. (2005). Effects of joint replenishment and channel coordination for managing multiple deteriorating products in a supply chain. *Journal of the Operational Research Society*, *56*(10), 1224–1234. doi:10.1057/palgrave.jors.2601921

Cheng, T. C. E. (1991). An Economic Order Quantity Model with Demand-Dependent Unit Production Cost and Imperfect Production Processes. *IIE Transactions*, *23*(1), 23–28. doi:10.1080/07408179108963838

Chopra, S., & Meindl, P. (2008a). *Administación de la cadena de suministro* (p. 264). México D.F.

Chopra, S., & Meindl, P. (2008b). *Administración de la cadena de suministro*. (L. Cruz, Ed.) (Tercera., p. 261). México D.F: Pearson Educación.

Chung, K. J., & Huang, T. S. (2007). The optimal retailer's ordering policies for deteriorating items with limited storage capacity under trade credit financing. *International Journal of Production Economics*, *106*, 127–145. doi:10.1016/j.ijpe.2006.05.008

Chung, K.-J., Eduardo Cárdenas-Barrón, L., & Ting, P.-S. (2014). An inventory model with non-instantaneous receipt and exponentially deteriorating items for an integrated three layer supply chain system under two levels of trade credit. *International Journal of Production Economics*, *155*, 310–317. doi:10.1016/j.ijpe.2013.12.033

Coelho, L. C., & Laporte, G. (2014). Optimal joint replenishment, delivery and inventory management policies for perishable products. *Computers & Operations Research*, *47*, 42–52. doi:10.1016/j.cor.2014.01.013

Covert, R. P., & Philip, G. C. (1973). An EOQ Model for Items with Weibull Distribution Deterioration. *A I I E Transactions*, *5*(4), 323–326. doi:10.1080/05695557308974918

DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2015a). *Comunicado de prensa En los primeros once meses de 2014* (p. 3).

DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2015b). Encuesta Nacional Agropecuaria Año 2013. Retrieved July 30, 2013, from http://moodle-agricultura.ifxnetworks.com:8080/jspui/bitstream/123456789/4814/1/boletin_ena_2013 (2).pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas-DANE. (2015a). 10ma entrega Censo Nacional Agropecuario 2014. Retrieved from http://www.dane.gov.co/index.php/Censo-Nacional-Agropecuario-2014

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas-DANE. (2015b). *Comunicado de prensa 10ma entrega, Entrega de Resultados del 3er Censo Nacional Agropecuario*.

Departamento del Valle del Cauca. (2012). *Evaluación municipal de costos de producción por hectárea, cultivos semipermanentes* (p. 1).

Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Agricultura, IICA. (1998). *Estudio sobre calidad de vida y eficiencia en las unidades de producción agropecuaria según tamaño, Manual de Encuesta* (p. 50). Bogotá.

Dreyer, H. C., Strandhagen, J. O., Thomassen, M. K., Romsdal, A., & Gran, E. (2014). Supply Chain Control Principles in Local Food Production : A Norwegian Case Study. *International Journal on Food System Dynamics*, *5*, 53–68.

Duan, Q., & Liao, T. W. (2013a). A new age-based replenishment policy for supply chain inventory optimization of highly perishable products. *International Journal of Production Economics*, *145*(2), 658–671. doi:10.1016/j.ijpe.2013.05.020

Duan, Q., & Liao, T. W. (2013b). A new age-based replenishment policy for supply chain inventory optimization of highly perishable products. *International Journal of Production Economics*, *145*(2), 658–671. doi:10.1016/j.ijpe.2013.05.020

Dye, C.-Y., & Ouyang, L.-Y. (2005). An EOQ model for perishable items under stock-dependent selling rate and time-dependent partial backlogging. *European Journal of Operational Research*, *163*(3), 776–783. doi:10.1016/j.ejor.2003.09.027

FAO Agronoticias, A. L. y el C. (2014). FAO Web site. Retrieved from http://www.fao.org/agronoticias/agro-noticias/detalle/es/c/213583/

FAO, O. de la N. U. para la A. y la A. (2011). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo*.

FAOSTAT, P. de trabajo estadístico de la F. (2015). Datos de producción mundial, frutas excluido el melón, frutas y melón. Retrieved January 01, 2014, from http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S

Fischer, G. (2006). Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (Rubus glaucus Benth .) en empaques con atmósfera modificada *, *24*(2), 306–316.

Fruit Logistica. (2014a). Fruit Logistica 2014. Retrieved from http://www.fruitlogistica.de/en/PressService/PressReleases/index.jsp?lang=es&id=484032#skiplinks

Fruit Logistica, W. site. (2014b). Fruit Logistica 2014. Retrieved from http://www.fruitlogistica.de/de/Presse/Pressemitteilungen/News_3770.html

Ghiami, Y., & Williams, T. (2015). A two-echelon production-inventory model for deteriorating items with multiple buyers. *International Journal of Production Economics*, *159*, 233–240. doi:10.1016/j.ijpe.2014.09.017

GICALyt. (2015). *Informe encuesta a hipermecados y vivanderos*. Bogotá.

Giri, B. C., & Chaudhuri, K. S. (1998). Deterministic models of perishable inventory with stock-dependent demand rate and nonlinear holding cost, *2217*(97).

Goyal, S. K., & Giri, B. C. (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research*, *134*, 1–16.

Goyal, S. K., & Gunasekaran, A. (1995). An integrated production-inventory-marketing model for deteriorating items. *Computers & Industrial Engineering*, *28*(4), 755–762. doi:10.1016/0360-8352(95)00016-T

Goyal, S. K., & Gupta, Y. P. (1989). Integrated inventory models: The buyer-vendor coordination. *European Journal of Operational Research*, *41*(3), 261–269. doi:10.1016/0377-2217(89)90247-6

Grupo Bancolombia. (2016). Tasas Certificado de Depósito a Término CDT. Retrieved from Certificado de Depósito a Término CDT

Hadley, G., & Whitin, T. M. (1963). Analysis of inventory systems. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. Retrieved from http://catalog.hathitrust.org/Record/001321455

Hadley, G., & Whitin, T. M. (1964). Analysis of inventory systems. *Journal of the American Statistical Association*, *59*, pp. 283–285.

Haijema, R. (2014). Optimal ordering, issuance and disposal policies for inventory management of perishable products. *International Journal of Production Economics*. doi:10.1016/j.ijpe.2014.06.014

Haijema, R. (2014). Optimal ordering, issuance and disposal policies for inventory management of perishable products. *International Journal of Production Economics*. doi:10.1016/j.ijpe.2014.06.014

Harris, F. W. (1990). HOW MANY PARTS TO MAKE AT ONCE, *38*(2), 135–136.

Herbon, A., Levner, E., & Cheng, T. C. E. (2014). Perishable inventory management with dynamic pricing using time–temperature indicators linked to automatic detecting devices. *International Journal of Production Economics*, *147*, 605–613. doi:10.1016/j.ijpe.2013.07.021

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001a). Inventory Theory. In *Introduction to Operations Research* (Seven., p. 940). New York.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001b). Inventory Theory. In M.-H. Companies (Ed.), *Introduction to Operations Research* (Seven., p. 938). New York.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001c). Inventory Theory. In *Introduction to Operations Research* (Seven., p. 939). New York.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001d). Inventory Theory. In Seven (Ed.), *Introduction to Operations Research* (p. 942). New York.

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2010). *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2010, ENSIN.* (pp. 13–14). Retrieved from http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/NormatividadC/ENSIN1

International Trade Centre, T. M. (2016a). Lista de los mercados importadores para un producto exportado por Colombia. Retrieved from http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx

International Trade Centre, T. M. (2016b). Lista de los países exportadores para Frutos comestibles; cortezas de agrios o de melones en 2015. Retrieved from http://www.trademap.org/Country_SelProduct.aspx

International Trade Centre, T. M. (2016c). Lista de los países importadores para Frutos comestibles; cortezas de agrios o de melones en 2015. Retrieved from http://www.trademap.org/Product_SelCountry_TS.aspx

International Trade Centre, T. M. (2016d). Lista de los productos exportados por ColombiaMetadata detailed products in the following category: 08 Frutos comestibles; cortezas de agrios o de melones. Retrieved from http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/excepcionesNuke/cargaNet/netcarga99.aspx?cod=99&submit=Ver Reporte&reporte=Exportaciones agregadas de productos de origen agropecuario y agroindustrial &file=2006616151810_ReportComercioAgro_ExpoAnual.rpt&codigo=99&exce

Jia, J., & Hu, Q. Dynamic ordering and pricing for a perishable goods supply chain, 60 Computers and Industrial Engineering 302–309 (2011). doi:10.1016/j.cie.2010.11.013

Kar, S., Bhunia, A. K., & Maiti, M. (2001). Inventory of multi-deteriorating items sold from two shops under single management with constraints on space and investment. *Computers & Operations Research*, *28*(12), 1203–1221. doi:10.1016/S0305-0548(00)00034-4

Law, S. T., & Wee, H. M. (2006). An integrated production-inventory model for ameliorating and deteriorating items taking account of time discounting. *Mathematical and Computer Modelling*, *43*, 673–685. doi:10.1016/j.mcm.2005.12.012

Lee, C.-F., & Chung, C.-P. (2012). An Inventory Model for Deteriorating Items in a Supply Chain with System Dynamics Analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *40*, 41–51. doi:10.1016/j.sbspro.2012.03.159

Li, L.-F., & Huang, P.-Q. (2005). Study of production-inventory cooperation for deteriorating items on supply chain. *Shanghai Jiaotong Daxue Xuebao/Journal of Shanghai Jiaotong University*, *39*(3), 464–467. Retrieved from http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-18744412373&partnerID=40&md5=9024e78172820881423d344958fcf5da

Lizana, A., & Ochagavía, A. (1998). *Maduración, temperaturas de almacenaje y atmósfera controlada en mangos* (Vol. 15, pp. 77–83).

Lodree, E. J., & Uzochukwu, B. M. (2008). Production planning for a deteriorating item with stochastic demand and consumer choice. *International Journal of Production Economics*, *116*, 219–232. doi:10.1016/j.ijpe.2008.09.010

Luque, R., Garcia, R., Garrido, P., Gonzalez, M., & Sacristán, M. (2008). *Introducción a la dirección de operaciones táctico-operativa: un enfoque práctico*. (D. Publicaciones, Ed.). Madrid.

Mahapatra, N. K., Das, K., & Maiti, M. (2007). Production-inventory policy for a deteriorating item with a single vendor-buyer system. *Optimization and Engineering*, *8*, 431–448. doi:10.1007/s11081-007-9012-4

Manzini, R., & Accorsi, R. (2013). The new conceptual framework for food supply chain assessment. *Journal of Food Engineering*, *115*(2), 251–263. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.10.026

Masini, G., Petracci, N., & Bandoni, a. (2003). Supply chain planning optimization in the fruit industry, (8300). Retrieved from http://cepac.cheme.cmu.edu/pasilectures/bandoni/FOCAPO 2003 Paper Sam-4 .pdf

Mendiola, J. (2013). China 1º productor de fruta fresca y hortalizas. Retrieved February 06, 2015, from http://mundoexportar.com/2013/11/09/0911-china-1o-productor-de-fruta-fresca-y-hortalizas/

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015a). *Área cosechada frutales Cundinamarca Base Agrícola EVA 2014* (p. 2).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015b). *Área cosechada y rendimiento mango, Base Agrícola EVA 2014* (p. 3).

Ministerio De Agricultura y desarrollo Rural. (2015a). *Bullets mora julio 2015* (p. 5).

Ministerio De Agricultura y desarrollo Rural. (2015b). *Producción de frutales Cundinamarca,Base Agrícola EVA 2014* (p. 2).

Ministerio De Agricultura y desarrollo Rural. (2015c). *Producción de mora, Base Agríol EVA 2014*.

Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural. (2016). *Sector del mango colombiano 2015* (p. 4).

Ministerio de Comercio Industria y Turismo y BANCOLDEX. (2014). Plan de transformación productiva: Gracias a sus suelos y climas, Colombia será una despensa de frutas y hortalizas con empresarios competitivos del campo. Retrieved from https://www.ptp.com.co/categoria/sectorhortofruticola.aspx

Minner, S., & Transchel, S. (2010a). Periodic review inventory-control for perishable products under service-level constraints. *OR Spectrum*, *32*(4), 979–996. doi:10.1007/s00291-010-0196-1

Minner, S., & Transchel, S. (2010b). Periodic review inventory-control for perishable products under service-level constraints. *OR Spectrum*, *32*(4), 979–996. doi:10.1007/s00291-010-0196-1

Nagare, M., Dutta, P., & Kambli, A. (2013). Retail Inventory Management for Perishable Products with Two Bins Strategy, 223–228.

Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: a review. *Operations Research*, *30*(4), 680–708. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10298625

Narges, K., Babak, Y., Isa Nakhai, K., & Farughi, H. (2014). Inventory control with deteriorating items: A state of the art literature review.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Organización Mundial de la Salud. (2011). *Justificación del uso de etileno para la maduración d la fruta* (Vol. 5, pp. 5–8).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Organización Mundial de la Salud. (2013). Cantidades de producción de fruta por país 2013. Retrieved February 06, 2015, from http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S

Padmanabhan, G., & Vrat, P. (1995). EOQ models for perishable items under stock dependent selling rate. *European Journal of Operational Research*, *2217*(94).

Pauls-worm, K. G. J., Hendrix, E. M. T., Haijema, R., & Der, J. G. A. J. Van. (2013). Inventory control for a perishable product with non-stationary demand and service level constraints, 1–22.

Pulido, C. G. (2012). *ELABORACIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA PRODUCTORES, EN MANEJO COSECHA Y POSCOSECHA DE MORA (Rubus Glaucus Benth) APLICANDO INGENIERÍA DE CALIDAD Y DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NUTRACÉUTICAS DE LA FRUTA EN PRECOSECHA, EN EL MUNICIPIO DE SILVANI*.

Qin, Y., Wang, J., & Wei, C. (2014). Joint pricing and inventory control for fresh produce and foods with quality and physical quantity deteriorating simultaneously. *International Journal of Production Economics*, *152*, 42–48. doi:10.1016/j.ijpe.2014.01.005

Raafat, F. (1991). Survey of Literature on Continuously Deteriorating Inventory Models. *J Oper Res Soc*, *42*(1), 27–37. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1057/jors.1991.4

Rai, S. K., Singh, V., & Vaish, A. (2013). PERISHABLE FOOD INVENTORY MANAGEMENT : A RETAILER' S PERSPECTIVE, *2*(2), 1–10.

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. doi:10.1016/S0925-5273(03)00048-3

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2010). Asohofrucol, con ISO 9001, (14).

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2012). El mango, rico en desafíos. *Revista de La Asociación Hortifruticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, (25), 15.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2014a). Balance y perspectivas del sector hortifrutícola. *Frutas & Hortalizas, Revista de La Asociación Hortifurticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, *33*, 5. Retrieved from http://www.fondohortifruticola.com.co/RevistaFyH.php

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2014b). Balance y perspectivas del sector hortifrutícola. *Frutas & Hortalizas, Revista de La Asociación Hortifurticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, *33*, 11.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2014c). Frutas y Hortalizas. *Nuestra Bandera Es La Competitividad*, *36*(Julio-Agosto), 5.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2014d). Producción con valor agregado. *Revista de La Asociación Hortifruticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, *34*, 5.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2014e). Se amplía la frontera hortifrutícola. *Se Amplía La Frontera Hortifrutícola*, (38), 9.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2015a). Finalizamos 2015 con más oportunidades para el sector hortifrutícola, 6.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2015b). Finalizamos 2015 con más oportunidades para el sector hortifrutícola. *Revista de La Asociación Hortifruticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, (44), 5.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2015c). Finalizamos 2015 con más oportunidades para el sector hortifrutícola. *Finalizamos 2015 Con Más Oportunidades Para El Sector Hortifrutícola*, (44), 30.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2016a). Variabilidad Climática y Cambio Climático , una realidad que obliga a adaptar los sistemas productivos agrícolas, sociales y económicos, *45*, 5.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2016b). Variabilidad Climática y Cambio Climático , una realidad que obliga a adaptar los sistemas productivos agrícolas, sociales y económicos. *Revista de La Asociación Hortifruticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, (45), 9.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2016c). Variabilidad Climática y Cambio Climático , una realidad que obliga a adaptar los sistemas productivos agrícolas, sociales y económicos. *Revista de La Asociación Hortifruticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, (45), 8.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2016d). Variabilidad Climática y Cambio Climático , una realidad que obliga a adaptar los sistemas productivos agrícolas, sociales y económicos. *Revista de La Asociación Hortifruticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, (45), 21.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2016e). Variabilidad Climática y Cambio Climático , una realidad que obliga a adaptar los sistemas productivos agrícolas, sociales y económicos. *Revista de La Asociación Hortifruticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, (45), 10.

Revista de la Asociación Hortifruticola de Colombia, A. (2016f). Variabilidad Climática y Cambio Climático , una realidad que obliga a adaptar los sistemas productivos agrícolas, sociales y económicos. *Revista de La Asociación Hortifruticola de Colombia, ASOHOFRUCOL*, (45), 23.

Rong, M., Mahapatra, N. K., & Maiti, M. (2008). A two warehouse inventory model for a deteriorating item with partially/fully backlogged shortage and fuzzy lead time. *European Journal of Operational Research*, *189*, 59–75. doi:10.1016/j.ejor.2007.05.017

Sachan, R. S. (1984). On (T, Si) Policy Inventory Model for Deteriorating Items with Time Proportional Demand. *Journal of the Operational Research Society*, *35*(11), 1013–1019. doi:10.1057/jors.1984.197

Salin, V. (1998). Information technology in agri-food supply chains. *The International Food and Agribusiness Management Review*, *1*(3), 329–334. doi:10.1016/S1096-7508(99)80003-2

Sazvar, Z., Baboli, A., & Akbari Jokar, M. R. (2013). A replenishment policy for perishable products with non-linear holding cost under stochastic supply lead time. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *64*, 1087–1098. doi:10.1007/s00170-012-4042-2

Scarf, H. E., Gilford, D. M., & Shelly, M. W. (1963). *Multistage inventory models and techniques*. (T. B. of T. of the L. S. J. University, Ed.) (pp. 1–100). California.

Secretaria de Agricultura-Departamento de Cundinamarca. (2010). COSTOS DE PRODUCCION DE CULTIVOS 2010 Mango.

Shastri, A., Singh, S. R., Yadav, D., & Gupta, S. (2013). Multi-Echelon Supply Chain Management for Deteriorating items with Partial Backordering under Inflationary Environment. *Procedia Technology*, *10*, 320–329. doi:10.1016/j.protcy.2013.12.367

Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. (J. Wiley, Ed.) (pp. 1–784). New York.

Sistema de Estadísticas Agropecuarias -SEA. (2015). TERCER CENSO NACIONAL AGROPECUARIO DE COLOMBIA, 2013 - 2014. Retrieved from http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estadísticas.aspx

Sistema de Información de Gestión y Desempeño de organizaciones de cadenas. (2015). Agrocadena del mango. Retrieved from http://sioc.minagricultura.gov.co/index.php/art-inicio-cadena-mango/?ide=31

Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA) (DANE). (2013). *Boletín Semanal Precios Mayoristas* (p. 1). Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Semana_16mar_22mar_2013.pdf

Sloof, M., Tijskens, L. M. M., & Wilkinson, E. C. (1996). the quality of perishable products, *71*(May).

Soto-Silva, W. E., Nadal-Roig, E., González-Araya, M. C., & Pla-Aragones, L. M. (2015). Operational research models applied to the fresh fruit supply chain. *European Journal of Operational Research*, *000*, 1–11. doi:10.1016/j.ejor.2015.08.046

Taft, E. W. (1918). The most economical production lot. *Iron Age*, *101*, 1410–1412.

Taleizadeh, A. A., Noori-Daryan, M., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2015). Joint optimization of price, replenishment frequency, replenishment cycle and production rate in vendor managed inventory system with deteriorating items. *International Journal of Production Economics*, *159*, 285–295. doi:10.1016/j.ijpe.2014.09.009

Tan, B., & Çömden, N. (2012). Agricultural planning of annual plants under demand, maturation, harvest, and yield risk. *European Journal of Operational Research*, *220*, 539–549. doi:10.1016/j.ejor.2012.02.005

Tersine, R. J. (1988). *Principles of inventory and materials management*. (I. Elsevier Science Publishing Co., Ed.) (p. 142). New York.

Toomey, J. W. (2000). *Inventory Management: Principles, Concepts and Techniques* (illustrate., pp. 1–2). Springer US, 2000.

Urueña, A., Jorge, D., & Chaverra, M. (2009). Situación Actual y Perspectivas del Mercado de la Mora, (50), 1–16.

Van der Vorst, J., Da Silva, C., & Trienekens, J. (2007). Agro-industrial supply chain management: Concepts and application. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*.

Vorst, J. G. A. J. V. A. N. D. E. R. (2006). Performance Measurement in AgriI-food supply chain networks: An overview. *Logistics and Operations Research Group*, 15–26.

Wagner, H. M. (1975). *Principles of operations research: with applications to managerial decisions* (Prentice-H., p. 813). Englewood Cliffs, NJ: Phi Learning Pvt Ltd.

Wagner, H. M., & Whitin, T. M. (1958). Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. *Management Science*, *5*(1), 89–96.

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. doi:10.1016/j.ijpe.2010.11.009

Widodo, K. H., Nagasawa, H., Morizawa, K., & Ota, M. (2005). A periodical flowering-harvesting model for delivering agricultural fresh products. *European Journal of Operational Research*, *170*, 24–43. doi:10.1016/j.ejor.2004.05.024

Yang, L., Chen, K., & Ma, G. (2014). Optimal Decisions and Coordination Mechanisms for a Fresh Agricultural Product. *International Journal of U and E-Services, Science and Technology*, *7*(5), 63–78.

Yang, P.-C., & Wee, H.-M. (2003). An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating item. *Computers & Operations Research*, *30*(5), 671–682. doi:10.1016/S0305-0548(02)00032-1

Yang, & Wee, H. (2002). A single-vendor and multiple-buyers production–inventory policy for a deteriorating item. *European Journal of Operational Research*, *143*(3), 570–581. doi:10.1016/S0377-2217(01)00345-9

Yu, M., & Nagurney, A. (2013). Competitive food supply chain networks with application to fresh produce. *European Journal of Operational Research*, *224*(2), 273–282. doi:10.1016/j.ejor.2012.07.033

Yu, Y., Wang, Z., & Liang, L. (2012). A vendor managed inventory supply chain with deteriorating raw materials and products. *International Journal of Production Economics*, *136*(2), 266–274. doi:10.1016/j.ijpe.2011.11.029

Zanoni, S., & Zavanella, L. (2012). Chilled or frozen? Decision strategies for sustainable food supply chains. *International Journal of Production Economics*, *140*(2), 732. doi:10.1016/j.ijpe.2011.04.028

ANEXOS

Anexo 1. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN: ENCUESTAS

Anexo 2. CALENDARIO AGROLÓGICO FRUTAS EN COLOMBIA

PRODUCTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROCEDENCIA (En Orden Alfabético)	PRECIO PROMEDIO KILOGRAMO 2004 - 2005	Altura m.s.n.m.	Temp. °C. Ideal
FRUTAS																
AGUACATE (*Persea americana* Mill.)													CESAR, COSTA ATLÁNTICA, GUAJIRA. SANTANDER, TOLIMA,	2.594 2.607	500 - 2.000	17 a 25
BANANO CRIOLLO (*Musa balbisiana* Colla.)													ANTIOQUIA, CALDAS, CUNDINAMARCA, MAGDALENA, QUINDIO, TOLIMA, ECUADOR	391 414	0 - 2.000	17 a 28
BREVA (*Ficus carica* L.)													ANTIOQUIA, BOYACÁ, CUNDINAMARCA	1.872 1.789	Mayor a 2500	10 a 18
COCO (*Cocos nucifera* L.)													ANTIOQUIA, CAUCA, CÓRDOBA, NARIÑO, MAGDALENA	1.006 882	0 - 2.000	17 a 30
CURUBA (*Passiflora mollissima* (Kunth) L.H. Bailey.)													BOYACÁ, CUNDINAMARCA, NORTE DE SANTANDER CAUCA, TOLIMA Y CALDAS	867 649	1.800 -3.000	10 a 18
DURAZNO (*Prunus persica* (L.) Batsch.)													BOYACÁ, CUNDINAMARCA, CHILE	3.640 4.616	1.800 - 3.000	10 a 18
FEIJOA (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret.)													BOYACÁ	3.500 3.700	2.200 - 3.000	12 a 16
FRESA (*Fragaria vesca* L.)													ANTIOQUIA, BOYACÁ, CUNDINAMARCA	3.497 3.635	1.800 - 3.300	10 a 18
GRANADILLA (*Passiflora ligularis* Juss.)													ANTIOQUIA, CALDAS, CUNDINAMARCA, HUILA, QUINDIO,VALLE	2.052 2.251	1.500 - 2.600	14 a 20
GUANABANA (*Annona muricata* L.)													ANTIOQUIA, CALDAS, CÓRDOBA, HUILA, SANTANDER RISARALDA, TOLIMA, VALLE	2.616 2.497	0 - 1.800	18 a 28
GUAYABA (*Psidium guajava* L.)													BOYACÁ, CALDAS, CUNDINAMARCA, HUILA, NARIÑO, RISARALDA, SANTANDER, TOLIMA	551 551	500 - 2.000	17 a 25
LIMÓN (*Citrus limon* (L.) Burm.)													BOYACÁ, CUNDINAMARCA, META, SANTANDER, TOLIMA, VALLE	681 577	0 - 2.000	17 a 28
LIMÓN TAHITI (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle.)													ANTIOQUIA, ATLÁNTICO, BOYACÁ, CALDAS, CUNDINAMARCA, HUILA, MAGDALENA, META, QUINDIO, SANTANDER, TOLIMA, VALLE	662 569	0 - 2.000	17 a 28
LULO (*Solanum quitoense* Lam.)													ANTIOQUIA, BOYACÁ, CUNDINAMARCA, HUILA, NARIÑO, TOLIMA, VALLE	2.435 2.358	1.500 - 2.600	14 a 20
MANDARINA (*Citrus reticulata* Blanco.)													CALDAS, CUNDINAMARCA, META, QUINDIO, SANTANDER	987 854	700 - 2.000	17 a 24
MANGO COMÚN (*Mangifera indica* L.)													ANTIOQUIA, ATLANTICO, BOLIVAR, CESAR, C/MARCA, CÓRDOBA, MAGDALENA, SANTANDER, SUCRE, TOLIMA, META	624 542	700 - 2.000	17 a 24
MANZANA NACIONAL (*Pyrus malus* L.)													ANTIOQUIA, BOYACÁ, CUNDINAMARCA, HUILA, SANTANDER, VALLE	1.490 1.975	1.500 - 2.600	14 a 20
MANZANA ROJA (IMPORTADA) (*Pyrus malus* L.)													ARGENTINA, CANADA, CHILE, U.S.A.	2.072 2.611	IMPORTADA	IMPORTADA
MARACUYA (*Passiflora edulis* Sims.)													CUNDINAMARCA, CAUCA, CÓRDOBA, GUAJIRA, HUILA, MAGDALENA, META, SANTANDER, VALLE,	970 773	1.000 - 2.000	17 a 22
MELÓN (*Cucumis melo* L.)													MAGDALENA, TOLIMA, VALLE	1.024 1.068	1.000 - 2.000	17 a 22
MORA (*Rubus glaucus* Benth.)													ANTIOQUIA, CALDAS, CAUCA, C/MARCA, HUILA, QUINDIO, RISARALDA, SANTANDER, TOLIMA, VALLE	1.602 1.596	1.400 - 3.200	11 a 21
NARANJA (*Citrus sinensis* (L.) Osb.)													ANTIOQUIA, CALDAS, CUNDINAMARCA, HUILA, META, QUINDIO, RISARALDA, TOLIMA	393 377	0 - 2.000	17 a 28
PAPAYA (*Carica papaya* L.)													ARAUCA, CAQUETA, CASANARE, CÓRDOBA, HUILA, META, SANTANDER.	1.052 1.058	500 - 2.000	17 a 25
PATILLA (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum.& Nakai.)													META, TOLIMA.	407 444	0 - 1.500	20 a 28
PITAHAYA (*Hylocereus triangularis* Britt. & Rose.)													BOYACÁ, CUNDINAMARCA, SANTANDER, VALLE.	5.829 6.852	500 - 1.800	10 a 25
PIÑA (*Ananas comosus* (L.) Merrill.)													META, RISARALDA, SANTANDER, VALLE.	677 696	500 - 2.000	17 a 25
TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum Betaceum* Cav.)													ANTIOQUIA, BOYACÁ, CALDAS, CUNDINAMARCA, CAUCA, HUILA, NARIÑO, QUINDIO, TOLIMA,	1.387 1.000	1.800 - 3.300	10 - 18
UVA (*Vitis vinifera* L.)													CHILE, VALLE	2.052 2.251	700 - 1.800	18 a 24

OFERTA ALTA

OFERTA MEDIA

OFERTA BAJA