



**DISEÑO DE LA CADENA DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIA DE LA  
BERENJENA EN CÓRDOBA-COLOMBIA MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DEL  
MODELO SCOR Y EL ENFOQUE DE OPTIMIZACIÓN**

**REALIZADO POR:**

**Lina María Tapia Barrera**

**DIRIGIDO POR:**

**Ing. MSc. German Herrera Vidal**

**Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
CARTAGENA DE INDIAS, 2016**

*A mis compañeros de vida:  
Santiago  
y Luis Fernando.*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios siempre gracias. Dejó llegar las personas, información y recursos necesarios para desarrollar este proyecto en su tiempo perfecto. Gracias porque con realización de la maestría me recordó que lo importante es soñar y perseverar... No declinar!*

*Gracias a Luis Fernando y Santiago, a mis padres, hermanas y demás familiares que estuvieron pendientes.*

*Gracias a los Ingenieros Germán Herrera y Arcelio Pérez por sus valiosos aportes.*

*A Jackeline, la amiga de este pedazo del camino y al grupo Montería-Sincelejo de la Maestría en Ingeniería-Cohorte 2012.... Agradecimientos! Porque sin compañía, hubiera sido más dura la travesía.*

*Al PhD. Hermes Aramendiz Tatis, también gracias porque con su trabajo comencé a comprender y dimensionar el potencial de los cultivos de Córdoba. Investigador y maestro incansable...*

*De manera especial mis agradecimientos son para los productores que me abrieron las puertas de sus predios. A HORTYFRU y VERDE LIMPIO, por permitirme conocer un poco de su valiente labor como asociaciones y dejarme ver lo mucho que tenemos por hacer en el agro colombiano.*

*Al señor Cergio Simanca por la colaboración en la aplicación de encuestas y disposición para entregarme información referente al cultivo y comercialización de la berenjena.*

*A tod@s los que estuvieron dispuestos a conversar sobre el tema, Gracias!*

## CONTENIDO

	<b>Pág</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b>	3
<b>1 CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y MARCO DE REFERENCIA</b>	8
1.1 LAS CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS	8
1.2 <i>SUPPLY CHAIN OPERATIONS REFERENCE MODEL</i> O MODELO SCOR	11
1.3 EL MODELO SCOR EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS	16
1.4 INTEGRACIÓN DEL MODELO SCOR CON OTROS ENFOQUES	17
1.5 REQUERIMIENTOS DE LA MODELACIÓN DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS	19
<b>2 CAPÍTULO II. CARACTERIZACION DE LA CADENA DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIA DE LA BERENJENA (<i>Solanum melongena L.</i>) EN CÓRDOBA</b>	22
2.1 GENERALIDADES DE BERENJENA ( <i>Solanum melongena L.</i> )	22
2.1.1 Retos de la producción y manejo agronómico de la berenjena	23
2.2 ANÁLISIS DEL MERCADO DE LA BERENJENA	24
2.2.1 Demanda mundial de la berenjena como producto fresco	25
2.2.2 Oferta de la berenjena como producto fresco	26
2.2.3 Precios de la berenjena	28
2.2.4 Canales de comercialización internacionales	28
2.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS ETAPAS PRODUCTIVAS DE LA CADENA DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIA DE LA BERENJENA EN CÓRDOBA	29
2.3.1 Análisis eslabón productores	30
2.3.2 Análisis eslabón proveedores de agroinsumos	34
2.3.3 Análisis eslabón comercializadores	36
2.3.4 Análisis instituciones soporte	39
<b>3 CAPÍTULO III. DESPLIEGUE DEL MODELO SCOR (<i>SUPPLY CHAIN OPERATIONS REFERENCE MODEL</i>) EN LA CADENA DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIA DE LA BERENJENA EN CÓRDOBA</b>	44
3.1 NIVEL 1 DEL MODELO SCOR APLICADO EN LA CSABC: OBJETIVOS METAS E INDICADORES	45

3.2	NIVEL 2 DEL MODELO SCOR: DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE PROCESOS EN LA CSABC ACTUAL Y FUTURA	54
3.2.1	Flujo actual del producto terminado en la CSABC	54
3.2.2	Flujo de producto fresco y procesado de la CSABC futura	56
3.3	BUENAS PRÁCTICAS RECOMENDADAS A LOS ACTORES DE LA CSABC	62
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV. MODELO DE OPTIMIZACIÓN MULTIESCENARIOS DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA PROPUESTA PARA LA CSABC</b>	<b>66</b>
4.1	OPTIMIZACIÓN Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIOS EN CSABC	66
4.2	CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO PARA LA CSABC	67
4.3	FORMULACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTO FRESCO Y PROCESADO EN LA CSABC	70
4.3.1	Conjuntos	70
4.3.2	Parámetros	71
4.3.3	Variables	72
4.3.4	Función objetivo	72
4.3.5	Restricciones	73
4.3.6	Análisis de las restricciones	75
4.3.7	Escenarios de prueba	77
4.4	INFORMACION UTILIZADA EN EL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CSABC	81
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO V. VALIDACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CSABC Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>86</b>
5.1	ESCENARIO 1: SOLUCION ÓPTIMA	86
5.2	ESCENARIO 2: ACUERDOS ENTRE LOS PRODUCTORES Y COMERCIALIZADORES	89
5.3	ESCENARIO 3: AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS SIN ACUERDOS CON LOS COMERCIALIZADORES	91
5.4	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ESCENARIOS	94
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>96</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>100</b>

## LISTA DE TABLAS

### CAPÍTULO II

**Tabla 2.1** Importaciones de berenjena a nivel mundial año 2011

**Tabla 2.2** Exportaciones de berenjena a nivel mundial año 2011

**Tabla 2.3** Exportaciones de berenjena realizadas por Colombia

**Tabla 2.4** Cantidad de variables e individuos evaluados por eslabón de la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena en Córdoba

### CAPÍTULO III

**Tabla 3.1** Despliegue indicadores Nivel 1 de la CSABC

**Tabla 3.2** La formulación de indicadores Nivel 1 de la CSABC

### CAPÍTULO IV

**Tabla 4.1** Descripción de conjuntos

**Tabla 4.2** Descripción de parámetros y tablas

**Tabla 4.3** Descripción de variables de decisión

**Tabla 4.4** Costos por Tn transportada de cultivos a centros de distribución

**Tabla 4.5** Costos por Tn transportada de centros de distribución a fábricas

**Tabla 4.6** Costos por Tn transportada de centros de distribución a centros de abastos

**Tabla 4.7** Costos por Tn transportada de fábricas a centros de abastos

**Tabla 4.8** Distancia en Km de cultivos a centros de distribución

**Tabla 4.9** Distancia en Km de centros de distribución a fábricas

**Tabla 4.10** Distancia en Km de centros de distribución a centros de abastos

**Tabla 4.11** Distancia en Km de fábricas a centros de abastos

**Tabla 4.12** Capacidad de oferta por centros de cultivos en Tn

### CAPÍTULO V

**Tabla 5.1** Tn de berenjena a transportar de cultivos a centros de distribución y relación de vehículo (Escenario 1)

**Tabla 5.2** Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a fábricas y relación de vehículos (Escenario 1)

**Tabla 5.3** Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 1)

**Tabla 5.4** Tn de berenjena a transportar de fábricas a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 1)

**Tabla 5.5** Cantidad de viajes a programar de cultivos a centros de distribución (Escenario1)

**Tabla 5.6** Cantidad de viajes a programar de centros de distribución a fábricas (Escenario1)

**Tabla 5.7** Cantidad de viajes a programar de centros de distribución a centros de abastos (Escenario 1)

**Tabla 5.8** Cantidad de viajes a programar de las fábricas a centros de abastos (Escenario 1)

**Tabla 5.9** Tn de berenjena a transportar de cultivos a centros de distribución y relación de vehículos (Escenario 2)

**Tabla 5.10** Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a fábricas y relación de vehículos (Escenario 2)

**Tabla 5.11** Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 2)

**Tabla 5.12** Tn de berenjena a transportar de fábricas a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 2)

**Tabla 5.13** Promedio de los costos logísticos de transporte del escenario 2

**Tabla 5.14** Tn de berenjena a transportar de cultivos a centros de distribución y relación de vehículos (Escenario 3)

**Tabla 5.15** Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a fábricas y relación de vehículos (Escenario 3)

**Tabla 5.16** Tn de berenjena a transportar de fábricas a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 3)

**Tabla 5.17** Tn de berenjena a transportar de fábricas a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 3)

**Tabla 5.18** Promedio de los costos logísticos de transporte del escenario 3

**Tabla 5.19** Comparación de escenarios de la red de distribución de productos programada para la CSABC

## **LISTA DE FIGURAS**

### **CAPITULO I**

**Figura 1.1** Modelo conceptual de una cadena de suministro agroalimentaria

**Figura 1.2** Modelo SCOR

**Figura 1.3** Notación de las categorías de procesos del Modelo SCOR

**Figura 1.4** Nivel 2 SCOR: Categorías de procesos

**Figura 1.5** Proceso de toma de decisiones uniendo objetivos estratégicos y operaciones

### **CAPÍTULO II**

**Figura 2.1** Variedades de berenjena apetecidas a nivel mundial

**Figura 2.2** Precio/bulto de berenjena en Córdoba 2012-2014

**Figura 2.3** Árbol del problema de la cadena productiva de la berenjena en Córdoba desde la perspectiva de marco lógico

### **CAPÍTULO III**

**Figura 3.1** Diagrama de la CSABC

**Figura 3.2** Modelo de la CSABC bajo el enfoque SCOR

**Figura 3.3** Atributos de desempeño y métricas para cadenas de suministro agroalimentarias

**Figura 3.4** Mapa estratégico de los KPI's Nivel 1 de la CSABC

**Figura 3.5** Relación de objetivos y mapa estratégico de los KPI's Nivel 1 de la CSABC

**Figura 3.6** Mapa geográfico actual de la CSABC

**Figura 3.7** Diagrama de ruta actual para producto terminado en la CSABC

**Figura 3.8** Mapa geográfico para producto terminado de la CSABC futura

**Figura 3.9** Diagrama de ruta para producto fresco y procesado de la CSABC futura

**Figura 3.10** Diagrama de la CSABC que articula instituciones soporte y servicios especializados

### **CAPÍTULO IV**

**Figura 4.1** Conceptualización del modelo de optimización propuesto para la CSABC

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A.** Bioshort expertos

**Anexo B.** Formato de validación de instrumentos de diagnóstico

**Anexo C.** Relación y agrupación de variables utilizadas en los instrumentos de diagnóstico por eslabón

**Anexo D.** Tratamiento estadístico realizado por eslabón en el software R

**Anexo E.** Código del modelo de programación lineal entera mixta (MILP) para la solución de la red de distribución de producto fresco y procesado programado en el software Gams®.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una apuesta al reto que implica la explotación sostenible de la tierra y la seguridad alimentaria, dada la fuerte presión que se ejerce sobre la agricultura para aumentar la producción de alimentos, bienes industriales y biocombustibles, debido a que desarrolla principios del Supply Chain Management (SCM) en el diseño de cadenas de suministro agroalimentarias.

El diseño de las cadenas de suministro agroalimentarias (Agrifood Supply Chain) se define principalmente por los intereses de los agentes que las conforman, y en este sentido, los intereses deben dirigirse hacia la distribución equitativa y justa de los rendimientos que deja el flujo eficiente de materias primas agropecuarias, productos procesados e información a lo largo de la cadena de valor. Sin embargo, en los países vía de desarrollo esta condición no se cumple, puesto que los eslabones encargados de la comercialización y transformación, generalmente son los más beneficiados, mientras que los pequeños productores agrícolas, asumiendo los mayores riesgos, perciben menos utilidades.

Colombia no es la excepción y a esto se suma la situación de rezago del agro colombiano cuya estructura social es débil. En 2015 el 40,3% de la población rural del país estaba en condiciones de pobreza y el 18% en pobreza extrema (DANE 2015). De todos los hogares rurales sólo el 36% cuenta con tierra, y cabe aclarar que esta tenencia se da en cantidades insuficientes para alcanzar un nivel de producción sostenible y de vida adecuado. Mientras el 69,9% de las Unidades Productivas Agropecuarias (UPA) tiene menos de 5 ha y ocupa el 4,8% del área censada, el 0,4% de las UPA tiene 500 ha o más y representa el 40,1% del total del área, según la Encuesta de Calidad de Vida. Lo cual explica la alta concentración de la propiedad en el campo, donde el coeficiente de Gini se mueve entre 0,8 y 0,9 (DNP, 2015).

Para aportar al cierre de las brechas existentes entre el agro colombiano y la competitividad esperada en este sector, el estudio a continuación concilia la necesidad de producir más alimentos saludables y de calidad, y el interés de empoderar económica y socialmente a los sistemas productivos agroindustriales. Esto se logra a través del desarrollo de una herramienta de gestión a nivel estratégico y operativo que facilita el diseño y planificación de cadenas de suministro agroalimentarias, dada la oportunidad que se encontró en el estado del arte de integrar enfoques cuantitativos o matemáticos, tales como la programación lineal entera mixta y el modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference Model*).

El estudio se propuso diseñar la Cadena de Suministro Agroalimentaria de la Berenjena en el Departamento de Córdoba-Colombia, articulando el modelo SCOR y las técnicas de optimización matemática con el fin de configurar las relaciones y el flujo más eficiente

entre eslabones, de tal manera que se minimicen los costos de manejo de información, transporte de productos y se cumpla con indicadores de gestión logística en los principales procesos de la red de valor.

Ahora bien, para mostrar cómo se logró este objetivo el documento se estructura en 5 capítulos. El capítulo 1 contiene el marco teórico del diseño propuesto a la cadena productiva de la berenjena actual, que se construye a partir de la revisión de antecedentes del modelo SCOR aplicado en cadenas de suministro agroalimentarias, análisis de los problemas logísticos de estas cadenas e identificación de los retos en la articulación del modelo SCOR y la optimización matemática. Seguidamente, el capítulo 2 hace una revisión y análisis de las oportunidades que representa la comercialización de berenjena y derivados de esta hortaliza en el mercado nacional e internacional. Esta sección se constituye en una radiografía del sistema actual de producción y comercialización de la berenjena en Córdoba, que en realidad es una réplica de lo que sucede en el agro colombiano para la mayoría de los productos de la canasta agrícola.

El capítulo 3 presenta el despliegue del modelo SCOR. Aquí se definen metas relacionadas con la generación de utilidades, vía reducción de costos y aumento de la satisfacción de los clientes, sujetas a un despliegue de indicadores que enlazan los procesos básicos (planeación, aprovisionamiento, producción, entrega, devoluciones y apoyo) a nivel estratégico y operacional del flujo de productos para una cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena futura o deseada en el departamento de Córdoba.

El capítulo 4 corresponde a la modelación matemática del problema de asignación de producto fresco y procesado entre cultivos, centros de distribución, comercializadores mayoristas y fábricas, que se resuelve vía técnicas de optimización y resulta una de las apuestas innovadoras de la investigación, pues el modelo de programación lineal entera mixta (MILP) que se formula, incluye la modelación de 2 escenarios donde juegan consideraciones de asociación entre los pequeños productores y demás eslabones.

Con la parametrización realizada a partir de la información recolectada de la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena, en el capítulo 5 se corre el MILP formulado en los escenarios programados y se evalúa la gestión logística propuesta a la cadena, resultado de la aplicación del modelo SCOR. Finalmente, el capítulo demuestra que la integración pretendida entre el enfoque SCOR y la optimización es un desarrollo metodológico innovador que ofrece soluciones factibles a los problemas de diseño de cadenas de suministros agroalimentarias.

## ASPECTOS METODOLÓGICOS

### 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el país el Producto Interno Bruto Agropecuario aportó el 7,7 al PIB nacional de 2010 a 2014 y en la última década creció 2,2% en promedio, mientras que la economía en general lo hizo a 4,6% el mismo periodo (SAC, 2015). Durante 2011-2015 las exportaciones de productos agropecuarios aumentaron 2,1% en volumen y disminuyeron 0,3 en valor; en tanto que las importaciones aumentaron 7,4% en volumen y 2% en valor, lo que significa que casi el 30% de lo consumido en el país es importado (SAC, 2016).

Tales cifras revelan el bajo desempeño productivo y la urgencia manifiesta de implementar acciones que mejoren su competitividad. Por tanto, para la pequeña y gran agricultura se destaca el fomento del encadenamiento, aumento de las capacidades empresariales y enfoques de cooperativismo como estrategias de solución a los problemas de estos sistemas de producción (Diario El Tiempo, 2013).

Córdoba es reconocida como una región de tradición agropecuaria. El 13,7% del PIB departamental corresponde al sector agropecuario (MinCIT, 2016). Sin embargo, este sector se basa en sistemas de producción de materias primas sin valor agregado, que dependen en gran medida de capital humano poco desarrollado y escasa visión empresarial (Colciencias et al., 2012). Es un departamento que reporta niveles muy bajos de competitividad en cadenas productivas agrícolas, pues tiene desventajas en técnicas de producción, fortalecimiento tecnológico, cumplimiento de normas sanitarias y de calidad, conocimiento de mercados potenciales, formación técnica y desarrollo del empresariado agrícola (DNP, 2007) y adicional a esto, ocupa el quinto lugar en la lista de los departamentos del caribe colombiano con más conflictos en el uso del suelo. El 62% del territorio con potencial agrícola, forestal y ganadero, es decir 1.551.308 ha, presenta conflicto de uso del suelo, debido a que el 34% es subutilizado y el 28% sobreutilizado por exceso de agricultura o ganadería (IGAC, 2014).

Dentro de los cultivos permanentes se identifican: yuca, plátano, ñame, papaya, coco y mango. Mientras que el maíz, arroz, algodón y hortalizas son los cultivos estacionarios más destacados (MinCIT, 2016).

Entre tanto, la Agenda Interna para la Competitividad y Productividad de Córdoba, se propone convertir al departamento en líder de la producción limpia de frutas y hortalizas frescas y procesadas con fines de exportación, entre estas la berenjena, y lo mismo hace el Plan Nacional de Fomento Hortifrutícola 2012-2022 al priorizar la producción de esta hortaliza (DNP, 2007; ASOHOFRUCOL, 2012). Pero la escasa organización y visión empresarial de los productores y el sistema de producción-comercialización actual

representan un obstáculo para aprovechar los tratados de libre comercio y el logro de estos propósitos (Correa et al., 2010).

Se estima que más del 70% de la producción nacional de berenjena proviene de la Costa Atlántica y el departamento de Córdoba ha sido uno de los principales productores con participaciones mayores al 50% de la producción nacional durante las dos últimas décadas. Con 103 ha cosechadas y 213 Ton reportadas en el 2014, se ubica como el primer departamento del país en área cosechada y el tercero en producción nacional, después de Bolívar (Aramendiz et al., 2010; AGRONET, 2016)

La producción de berenjena en Córdoba se realiza artesanalmente y esto se traduce en pérdida de competitividad, pues con los actuales métodos de cultivo y comercialización se deja de atender por ejemplo, requerimientos de grandes compradores como Canadá y Estados Unidos, los cuales importan desde México, Honduras y República Dominicana casi el 90% de su producción (Aramendiz et al., 2006; Correa et al., 2010). A esto se suma que las iniciativas de asociación de productores en Córdoba son muy débiles, pues en la actualidad sólo se registran 2 asociaciones de pequeños productores de berenjena según ASOHOFrucol- Seccional Córdoba.

De esta manera, el sistema de producción-comercialización de la berenjena urge de la configuración de las operaciones logísticas de aprovisionamiento, cultivo, transformación y distribución, así como de una planificación estratégica que alinee la operación del flujo de materiales e información con el propósito de que esta hortaliza incursione en mercados nacionales e internacionales como producto fresco y procesado, atendiendo los requerimientos de exportación y procurando rendimientos atractivos para los pequeños productores y demás eslabones de la cadena. En consecuencia, la investigación realizada le apostó a resolver el problema de diseño o configuración de la cadena de suministro de la berenjena en el Departamento de Córdoba.

Respecto al problema de diseño de cadenas de suministro agroalimentarias, en la revisión del estado del arte se encontró que son recientes y escasas las apuestas de incorporación del enfoque de optimización y/o simulación al *Supply Chain Operations Reference Model* (modelo SCOR). Por tanto, se consideró que la integración de estos dos enfoques podría convertirse en una solución factible al problema identificado. Así, la investigación se motivó por resolver: **¿Cómo gestionar la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena en el departamento de Córdoba, haciendo uso del modelo SCOR y componentes de optimización para el aseguramiento del trabajo colaborativo y costo mínimo de los flujos de información y productos?**

## 2. JUSTIFICACIÓN

Según el Banco Mundial el crecimiento económico que ofrece la agricultura es más efectivo para reducir la pobreza si se compara con otros sectores y esto se debe al efecto multiplicador que tienen las inversiones en el área, las cuales impactan entre 30% y 80% al resto de la economía (Banco Mundial, 2014). De esta manera, fortalecer la agricultura resulta crítico para garantizar la seguridad alimentaria, el desarrollo industrial y la sostenibilidad, por lo que hoy es muy importante una evaluación considerable a los procesos de diseño y planificación requeridos por la gestión en las cadenas de suministro agroalimentarias y agroindustriales.

La metodología de diseño y planificación realizada para la cadena productiva de la berenjena en Córdoba, en primer lugar, apunta a la necesidad global de aumentar la oferta de alimentos de Colombia para la humanidad en los siguientes años. En segundo lugar, establece una ruta de acción a los actores interesados en el incremento de la productividad agroindustrial del país y calidad de vida de pequeños y medianos productores, puesto que a pesar de que en el agro funcionan cadenas productivas que realizan aprovisionamiento, cultivo y distribución de productos; estas etapas actualmente no están estructuradas y son carentes de estándares operacionales logísticos que garanticen el adecuado flujo de materiales e información entre los eslabones de la cadena de valor.

En tercer lugar, se convierte en un referente de metodologías de diseño y planificación aplicables en cadenas de suministro agroalimentarias poco desarrolladas, puesto que se logró una integración de herramientas de gestión tales como el modelo SCOR y la optimización matemática, y es aplicable cuando se busque identificar la estructura del sistema más conveniente al trabajo colaborativo, la minimización de costos y obtención de rendimientos económicos y sociales, en especial de pequeños productores. Asimismo, esta metodología de diseño es susceptible de complejizarse y desarrollarse hasta el punto de obtener una herramienta que permita estimar el desempeño de los indicadores clave de desempeño del modelo SCOR antes de hacer la implementación del despliegue estratégico en una cadena.

El diseño de una cadena de suministro agroalimentaria aplicable en el sistema de producción y distribución de una de las hortalizas de mayor importancia en el caribe colombiano, como es la berenjena, consiste en un desarrollo metodológico innovador en la gestión logística y cadenas de suministro, que le apunta hacia los objetivos de transformación productiva y reducción de los niveles de pobreza requeridos en la agricultura colombiana y economías emergentes.

### 3. OBJETIVOS

#### GENERAL

Diseñar un modelo de gestión operativa para la cadena de suministro de la berenjena en Córdoba haciendo uso del *Supply Chain Operations Reference Model (SCOR)* y el enfoque de optimización que permita la disminución de los costos y estimación de los beneficios del trabajo colaborativo.

#### ESPECÍFICOS

- Caracterizar la cadena de suministro de la berenjena en el departamento de Córdoba mediante consulta a actores, expertos y revisión bibliográfica.
- Realizar el despliegue de los procesos básicos, categorías y elementos de los procesos de la cadena de suministro de la berenjena aplicando las definiciones, métricas y etapas metodológicas del modelo SCOR.
- Diseñar un modelo de optimización que permita la validación de la gestión logística propuesta a la cadena de suministro de la berenjena resultado de la aplicación del modelo SCOR.
- Validar el modelo de optimización desarrollado con información de la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena en Córdoba.

### 4. METODOLOGÍA

La investigación realizada fue exploratoria, de enfoque cualitativo-cuantitativo y motivada por el interés de diseñar un modelo de una cadena de suministro de un producto agrícola mediante la utilización del modelo SCOR y la optimización matemática, que permitiera configurar las relaciones y flujo de materiales e información más eficientes entre eslabones.

El diseño se realizó con información del sistema de producción y comercialización de la berenjena en el departamento de Córdoba, consultando fuentes primarias y secundarias, por lo que se espera que los resultados expuestos más adelante, sean de gran utilidad para los actores de las cadenas de suministro agroalimentarias y agroindustriales. Las etapas ejecutadas fueron:

- 1) **Caracterización de la cadena de suministro de la berenjena en Córdoba:** Para la caracterización deseada, encuestas y entrevistas a actores de la cadena (productores, comercializadores, proveedores de agroinsumos, instituciones soporte) fueron aplicadas. Se escuchó opinión de expertos, se analizaron estadísticamente los datos recolectados y se realizó revisión bibliográfica en fuentes especializadas para caracterizar y diagnosticar el estado actual del sistema de producción-comercialización de la berenjena en Córdoba, así como las oportunidades de una red de suministro de esta hortaliza en Colombia y el mundo.

- 2) Despliegue SCOR en la cadena productiva de la berenjena en Córdoba:** En esta etapa se planificaron los procesos básicos y categorías de procesos de la cadena de suministro de la berenjena aplicando las definiciones, métricas y etapas SCOR y teniendo como referente los planteamientos metodológicos de Salazar & López (2009) respecto a la implementación de este modelo.

Para el primer nivel SCOR, se definieron y evaluaron los procesos básicos de la cadena objeto de estudio. Los indicadores clave de primer nivel fueron elaborados y se identificaron oportunidades de mejora para la gestión de la cadena de suministro. En tanto que para el segundo nivel de implementación SCOR, las categorías de procesos de la cadena fueron desarrolladas mediante modelos conceptuales, mapas geográficos y diagrama de hilos de la cadena de suministro de la berenjena actual y futura.

La definición de los elementos claves de proceso correspondientes al tercer nivel SCOR, que describen detalladamente el estado deseado de la cadena de suministro a nivel operacional, se indicaron como una investigación futura debido a que la medición de indicadores se limitó por la poca disponibilidad de la información operacional y falta de articulación de actores en la cadena productiva de la berenjena actual.

- 3) Formulación del modelo de optimización:** A partir del reconocimiento de las necesidades de la red de distribución de producto fresco en la cadena, se declararon los conjuntos, parámetros y variables de un problema a resolver por técnicas de optimización. Se establecieron los supuestos y se formuló un modelo matemático que representara el problema de asignación de producto fresco entre productores, centros de distribución, comercializadores mayoristas y fábrica de productos a base de berenjena (salsas, pulpa, encurtidos) atendiendo a la disminución de costos de flujos de producto y estimación de los beneficios del trabajo colaborativo.
- 4) Validación del modelo de optimización:** De acuerdo con la información de la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena en el departamento de Córdoba se evaluaron los resultados de la solución óptima del modelo matemático mediante la incorporación de supuestos o escenarios de colaboración respecto a los objetivos de costos y algunos indicadores formulados a partir de la aplicación del modelo SCOR.

# 1. CAPÍTULO I

## ESTADO DEL ARTE Y MARCO DE REFERENCIA

### 1.1 LAS CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS

La demanda mundial de alimentos y los compromisos globales de reducir el hambre y la pobreza frente al aumento poblacional previsto, son los principales impulsores de la creciente competencia por el uso de la tierra. Se estima que 1.000 millones de personas viven hoy con menos de 1,25 USD/día, 2.800 millones con menos de 2 USD/día y se espera que en 2050 la población mundial supere los 9.600 millones, siendo mayor este crecimiento en la población de bajos y medianos ingresos (Harvey y Pilgrim, 2011; ONU, 2013; Banco Mundial, 2014).

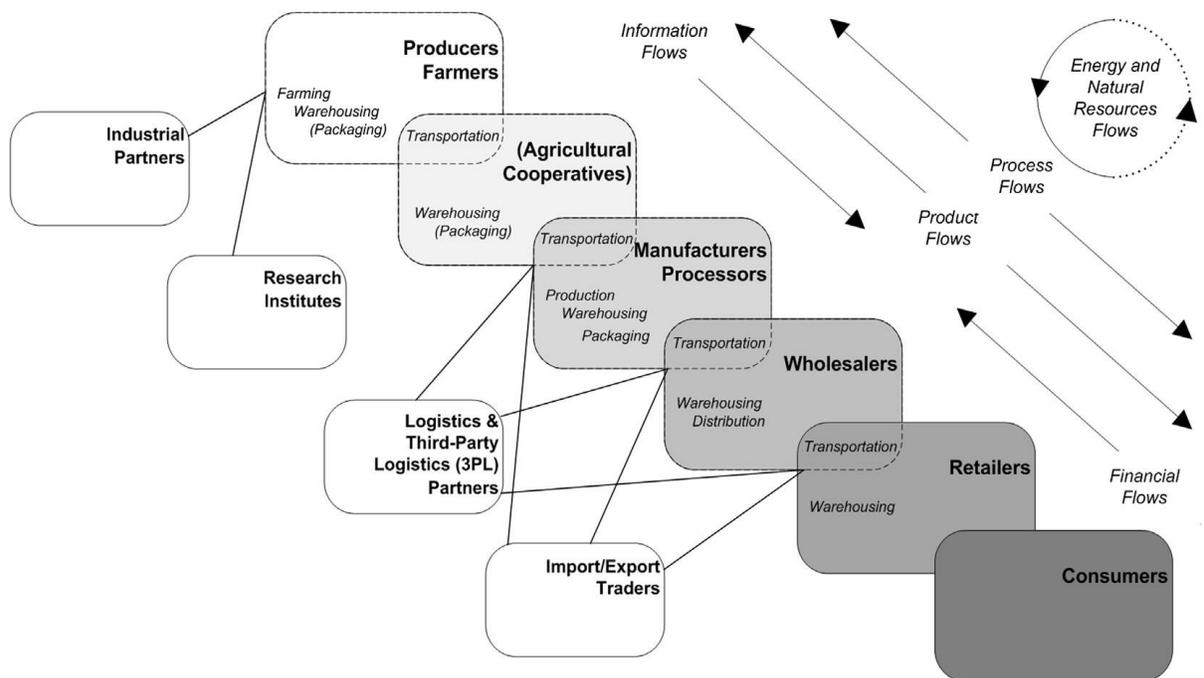
Con un área mundial cultivada de 348.791.922 ha en 2013 (FAO, 2013), materias primas como el maíz, caña de azúcar, soya, palma africana y otros, se posicionan a nivel mundial como una importante fuente de energía alternativa al uso de combustibles fósiles, impactando así el uso del suelo, precios y disponibilidad de alimentos, por lo que recientes trabajos advierten ya sobre los efectos de la producción de biomasa en la seguridad alimentaria y reducción de pobreza, otros estudian el vínculo entre los mercados de energía y la agricultura o analizan los cambios estratégicos en el uso y aptitud del suelo agrícola (Rosegrant *et al.*, 2006; Johansson y Azar, 2007; Khanna *et al.*, 2008; Dicks *et al.*, 2009; Rajagopal *et al.*, 2009; IFPRI, 2010; Chen *et al.*, 2011).

Actualmente, sobre la agricultura se ejerce la fuerte presión de producir más alimentos en los próximos 40 años, que los producidos en los últimos 10.000 años (Novozymes, 2013), así mismo, un tercio de la humanidad depende de pequeñas explotaciones agrícolas, representadas en 500 millones de pequeños agricultores, quienes tienden a negociar sus áreas por cultivos de exportación (Oxfam, 2013). En consecuencia, la tierra es objeto de una voraz competencia por la obtención de alimentos, biocombustibles y materias primas industriales, lo cual enfrenta a la humanidad al reto de desarrollar formas de agricultura global y sostenible para producir alimentos y energía, con valor social y ambiental. Y aunque se podrían plantear otros argumentos que sigan develando el desequilibrio inminente que comporta la relación *demanda de alimentos, desarrollo industrial y sostenibilidad*, el objetivo de este capítulo no es relacionarlos o identificar todas las alternativas de mitigación a tal efecto, sino revisar cómo desde la gestión de las cadenas de suministro agroalimentarias se puede aportar al problema de la agricultura sostenible.

En general, una cadena de suministro agroalimentaria es un conjunto de actividades que van de la granja al consumidor, incluyendo la agricultura, procesamiento o producción, control de calidad, envasado, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización

(Iakovou et al., 2012). Estos escalones operativos son compatibles con los servicios logísticos, financieros y técnicos, mientras que ellos mismos apoyan cinco tipos de flujo: 1) material físico o productos, 2) flujos financieros, 3) flujos de información, 4) flujos de procesos y 5) flujos de los recursos naturales y energía.

Tales actividades, servicios y flujos están integrados en un cluster dinámico de producción-suministro-consumo conformado por instituciones de investigación, industrias, productores/agricultores, cooperativas agrícolas, intermediarios, fabricantes/procesadores, transportistas, comerciantes (exportadores/importadores), mayoristas, minoristas y consumidores (Jaffee et al., 2010; Matopoulos et al., 2007; Van der Vorst, 2006). Véase Figura 1.1.



**Figura 1.1 Modelo conceptual de una cadena de suministro agroalimentaria**

Fuente: Tsolakis *et al.*, 2014

Sin embargo, las cadenas de suministro agroalimentarias presentan una serie de características que las diferencian de las redes de suministro clásicas por lo que se plantea la necesidad de enfoques de gestión especiales. Según Van der Vorst (2000, 2006) se caracterizan por:

- Ciclos de vida corto de los productos
- Alta diferenciación del producto
- Estacionalidad en las operaciones de cosecha y producción
- Variabilidad en la calidad y cantidad de los insumos agrícolas y los rendimientos de procesamiento
- Requisitos específicos de transporte, almacenamiento, calidad, y material de reciclaje

- Cumplimiento obligatorio de legislación nacional e internacional, reglamentos y directivas en materia de seguridad alimentaria y salud pública, así como aspectos ambientales (huella de carbono y agua)
- Necesidad de atributos especializados, tales como la trazabilidad y visibilidad
- Necesidad de alta eficiencia y productividad de equipos y tecnologías costosas, a pesar de largos tiempos de producción
- Aumento de la complejidad en las operaciones
- Limitaciones importantes de capacidad

Según Shukla y Jharkharia (2013), los principales problemas encontrados en la operación de las cadenas de suministro agroalimentarias son: 1) previsión de la demanda, 2) planificación de la producción, 3) gestión de inventarios y 4) el transporte. Además se identifican otros factores que afectan la gestión de estas cadenas, como el manejo de la información, el territorio, las formas de organización y los tipos de configuración de acuerdo con la manera como se atiende la demanda.

De este modo, las cadenas de suministro agroalimentarias modernas necesitan desarrollar la colaboración sólida y relaciones de largo plazo entre sus socios. Y deben articular las definiciones de integración, cooperación y coordinación con el fin de asegurar eficiencia y prácticas de desarrollo sostenible en los procesos de su diseño y rediseño (Fischer y Hartman, 2010)

Hace apenas una década se reconoce que la Administración de la Cadena de Suministro o Supply Chain Management (SCM) es un concepto clave para la competitividad de la industria agroalimentaria. La rápida industrialización de la producción agrícola, la estructura de oligopolio del sector de distribución de alimentos, el avance de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en la logística, las preocupaciones de los clientes y las normas gubernamentales de seguridad alimentaria, el establecimiento de requisitos de calidad en alimentos, la aparición de formas modernas para el retail o venta minorista de alimentos, la creciente importancia de integración vertical y alianzas horizontales, así como la aparición de una gran cantidad de empresas multinacionales; son sólo algunos de los desafíos del mundo real que han conducido a la adopción del SCM en el sector agroalimentario (Tsolakis *et al.*, 2014).

En este sentido, Manzini y Accorsi (2013) consideran muy necesarios los indicadores clave de desempeño (KPI's, *Key Performance Indicators*) en la planificación, gestión y control de las cadenas de suministro agroalimentarias con el fin de medir: 1) Niveles de seguridad, calidad, sostenibilidad y ecoeficiencia de la cadena; 2) cada etapa del suministro en la cadena (sea adquisición de materias primas, cumplimiento, almacenamiento, fabricación, distribución); 3) desempeño de actores involucrados (consumidores, proveedores de

logística, fabricantes) y 4) la interacción de las disciplinas de interés (elaboración de alimentos, fabricación, logística, microbiología, embalaje, entre otros).

En consecuencia resulta útil la revisión de modelos que estructuran o diseñan la gestión logística, sistémica e integral en las cadenas agroalimentarias para la toma de decisiones más convenientes a la eficiencia global y el desarrollo sostenible.

## **1.2 SUPPLY CHAIN OPERATIONS REFERENCE MODEL O MODELO SCOR**

De acuerdo con el Supply Chain Council (SCC, 2004) un aspecto relevante para la armonía de las cadenas de suministro es la fidelidad de la información, lo que requiere plataformas o estructuras formales que logren mantener esta integridad. La conceptualización de estas estructuras se puede lograr por medio de modelos que representen una situación específica y desde allí proponer prácticas que mejoren su gestión.

Algunos autores consideran dos modelos para la gestión integral de las cadenas de suministro. El primero es el Modelo de Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro (SCOR, *Supply Chain Operations Reference*). El segundo es el propuesto por el Foro Mundial de la Cadena de Suministro, el cual tiene una perspectiva estratégica y se centra en la integración mediante la gestión de relaciones a las que se acceden por medio de una membresía (Lambert & Cooper, 2000; Fine, 2000).

El modelo SCOR es una herramienta de gestión estratégica que permite tener una visión global de toda la cadena de suministro; especifica procesos y elementos de procesos que intervienen en la satisfacción de la demanda de clientes en una cadena; establece, analiza y mide objetivos de rendimiento; determina oportunidades de mejora; permite identificar mejores prácticas y ayuda a priorizar proyectos de mejoramiento para garantizar el cumplimiento de la promesa de servicio a través de una red de distribución.

Este modelo proporciona un marco de referencia que estandariza terminología y procesos en las cadenas de suministro para modelarlas estratégicamente y operativamente utilizando métricas o indicadores de gestión (KPI's). Permite utilizar elementos cuantitativos y cualitativos para analizar el desempeño actual de una cadena y compararlo respecto a otras referentes en su clase. No tiene una formulación matemática aunque sus métricas pueden ayudar a simular eventos (Ramirez & Rozo, 2012).

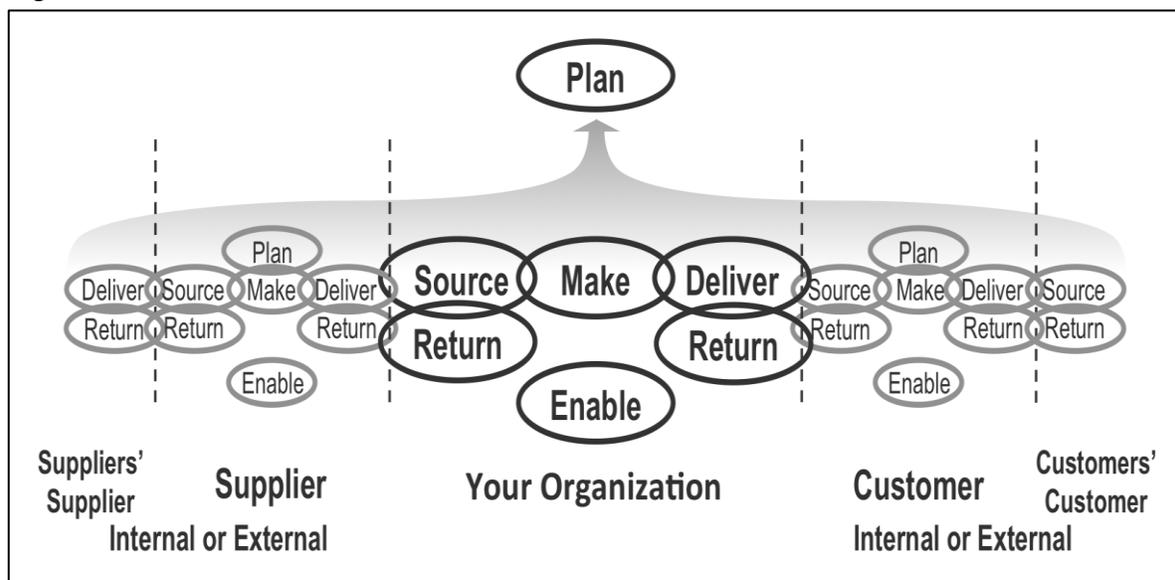
El campo de aplicación es muy amplio, debido a que SCOR puede emplearse en cadenas nuevas o ya existentes pero carentes de un sistema de medición del rendimiento. Al construir la planeación, aprovisionamiento, producción, distribución, devolución y apoyo mediante bloques de procesos, el modelo puede utilizarse para caracterizar cadenas de suministro que son muy simples o muy complejas utilizando un conjunto común de definiciones. Como resultado, industrias dispares pueden vincularse para describir la profundidad y la amplitud de prácticamente cualquier cadena, por lo que el modelo ha sido

capaz de describir y proporcionar con éxito una base para la mejora de cadenas en proyectos globales y específicos (Patiño, 2008; SCC 2012).

El SCOR es un modelo desarrollado por el Supply Chain Council (SCC) y constituye una importante herramienta de gestión con reconocimiento y aprobación a nivel mundial por todas las organizaciones de excelencia logística y cuya aplicabilidad se puede dar a lo largo de toda la cadena de suministro.

De acuerdo con el SCC (2012) el desarrollo de un proyecto SCOR supone varios niveles, siendo los 3 primeros los que corresponden al diseño o rediseño de una cadena:

**Nivel 1 o Definición de los tipos de proceso:** Este nivel permite establecer el alcance y contenido de una cadena de suministro. Aquí se diseñan objetivos de rendimiento para el desempeño competitivo de 6 procesos básicos Source (Aprovisionamiento), Make (Producción), Deliver (Distribución), Return (Devoluciones) y Enable (Apoyo). Véase Figura 1.2.



**Figura 1.2 Modelo SCOR**

Fuente: SCC (2012)

Los KPI's de este nivel miden atributos de desempeño tales como *Reliability* (Confiabilidad en el cumplimiento), *Responsiveness* (Capacidad de respuesta), *Agility* (Flexibilidad), *Cost* (Costo) y *Assets* (Activos utilizados). Estos indicadores son medidas que recorren múltiples procesos y no se relacionan necesariamente con todos los procesos SCOR.

**Nivel 2 o Configuración de las Categorías de proceso:** Dependiendo de si el sistema de producción de las organizaciones que integran la cadena es *Make to stock*, *Make to order* o *Engineer to order*, el nivel 2 consiste en describir el flujo actual y deseado de materiales e información en la cadena, por lo que mediante la asignación de las categorías de procesos

que establece el modelo SCOR se puede describir este flujo y diseñar la capacidad de los procesos.

Una vez identificadas las especificaciones de desempeño mediante objetivos, metas e indicadores, se analizan las conexiones o desconexiones de flujo de material, con el fin de eliminar flujos e instalaciones que no generan valor a la organización focal y proponer las que si lo generan. Para esto es necesario realizar un mapeo de procesos (actual y futuro) por lo que se utiliza el catálogo de categorías de procesos del modelo SCOR, cuya función es representar las interacciones entre los eslabones de la cadena.

En el segundo nivel, SCOR considera 30 categorías de procesos, que corresponden a 3 niveles: Planeación, Ejecución y Apoyo. La Figura 1.3 muestra la notación de estas categorías.

		Procesos SCOR					
		Plan	Source	Make	Deliver	Return	
Tipo de Procesos	Planeamiento	P1	P2	P3	P4	P5	Categoría de Procesos
	Ejecución		S1-S3	M1-M3	D1-D4	SR1-SR3 DR1-DR3	
	Apoyo	EP	ES	EM	ED		

**Figura 1.3 Notación de las categorías de procesos del Modelo SCOR**

Fuente: IEEC, 2015

Las 5 primeras categorías de procesos son del nivel planificación (*Planning*), las 15 intermedias son de tipo ejecución (*Executing*) y las 10 últimas son de tipo apoyo (*Enabling*). Las *Enabling* soportan operativamente a las *Planning* y *Executing*. Son las que preparan, preservan y controlan el flujo de información y las relaciones entre los otros procesos.

SCOR asigna la notación de los procesos de ejecución dependiendo del sistema de producción de la organización focal sea *Make to stock*, *Make to order*, o *Engineer to order*. Así:

- S1= Proceso de aprovisionamiento para inventario,
- S2= Proceso de aprovisionamiento de producción por orden,
- S3= Proceso de aprovisionamiento de producción por proyecto,
- M1= Producción para inventario,

M2= Producción por orden,  
M3= Producción por proyecto,  
D1= Entrega de producción para inventario,  
D2= Entrega para producción por orden y  
D3 =Entrega para producción por proyecto

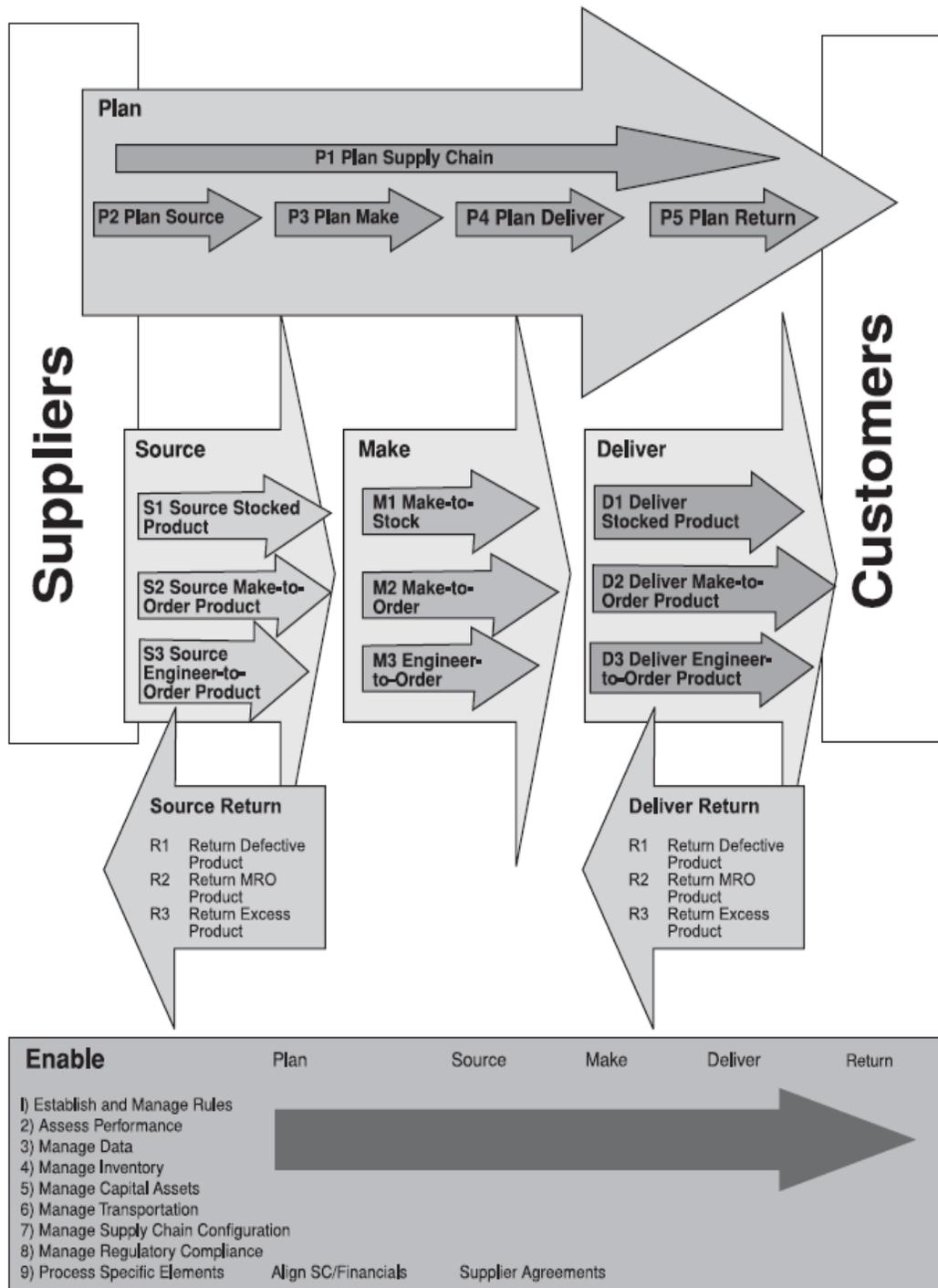
La notación de los elementos del proceso de Retorno o Devolución se diferencian cuando se trata de devoluciones al proveedor SR (*Source Return*) y también cuando se trata de devoluciones de clientes DR (*Deliver Return*), debido a la directriz del modelo de documentar las devoluciones en dos direcciones: abastecimiento y entrega. Por ejemplo, SR1 y DR1 hacen referencia a un proceso de retorno de productos defectuosos de un sistema *Make to order* desde el manufacturero al proveedor y del cliente al manufacturero respectivamente. La Figura 1.4 muestra las categorías de procesos posibles en el modelo SCOR.

**Nivel 3 o Descripción de los elementos de procesos:** Aquí se detalla el paso a paso de los procesos identificados en el nivel 2, con lo cual se logra definir la habilidad de la compañía para competir exitosamente en los mercados seleccionados. Consiste en:

- a) Describir detalladamente los procesos usando la notación SCOR
- b) Definir entradas y salidas de cada uno de los procesos
- c) Definir las métricas del desempeño o indicadores clave de desempeño (KPI's) para cada proceso
- d) Aplicar mejores prácticas del sector industrial o industria referente cuando se pueda
- e) Definir capacidades tecnológicas requeridas por el sistema para soportar las mejores prácticas
- f) Identificar las habilidades requeridas para lograr los objetivos y metas establecidos

El cuarto nivel es la implementación, el cual no se aborda dentro de la explicación del modelo SCOR y supone la puesta en marcha de los procesos y elementos de procesos diseñados.

Dentro de las principales ventajas, se puede citar la flexibilidad y adaptabilidad a las particularidades de las cadenas de suministro; es una herramienta de planeación que permite medir resultados medibles a corto plazo y comparar estándares logísticos con las cadenas de suministro que se consideran las mejores en un sector.



**Figura 1.4 Nivel 2 SCOR: Categorías de procesos**

Fuente: SCC (2011)

### 1.3 EL MODELO SCOR EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS

*Agricultural, supply chain, management, y SCOR model*, fueron los criterios de búsqueda utilizados en *Science Direct, Scopus, Springer, Emerald* y la versión académica de Google® con los cuales se consultaron trabajos que abordaron el diseño o configuración de cadenas de suministro agroalimentarias mediante la utilización del modelo SCOR. A continuación los resultados de la revisión.

En la cadena productiva de la papa criolla Ariza & Bello (2011) analizaron la comercialización aplicando el cuestionario del modelo SCOR en grandes superficies de Bogotá (Colombia) para definir buenas prácticas en cada uno de los procesos clave del modelo (planeación, suministro, producción, entrega y devoluciones). En la misma cadena Ramirez & Rozo (2012) diseñaron las métricas de primer nivel del modelo SCOR después de realizar el diagnóstico de desempeño en los eslabones. Se concluyó que el aprovisionamiento de insumos a la producción es el proceso más crítico de la cadena dada la ausencia de planeación de compras y falta de estandarización en los métodos de despacho principalmente.

Santana & Granillo (2012) caracterizaron los eslabones de la cadena de suministro de la cebada (México) y realizaron un mapeo de los principales procesos utilizando la metodología SCOR. A partir de ese mapeo se establecieron métricas para los cinco atributos de desempeño (confiabilidad, respuesta, agilidad, costo y activos) con el fin de dejarlas propuestas para el seguimiento y evaluación de los objetivos estratégicos de la cadena.

Por su parte Reina (2013) describió la logística de distribución que han implementado los productores vinculados a los mercados campesinos de Viotá (Cundimarca) y Fuente de Oro (Meta) con el fin de plantear diferentes alternativas de solución a las restricciones encontradas. Se midieron indicadores SCOR y se obtuvo una línea base que permitió comparar el desempeño de las cadenas de suministro de los dos mercados objeto de estudio.

Camacho (2015) realizó una revisión sobre los principales modelos de diseño y gestión de cadenas de suministro colaborativas (SCOR, CPFR, VMI, Co-Operate, EPOS)<sup>1</sup>, analizó casos de colaboración en la cadena del tomate en Holanda (Aramayam, 2007) y carne en Reino Unido (Fearne, 1998) y describió la situación del suministro de productos agrícolas en Colombia con el fin de diseñar un modelo de cadena colaborativa en el sector agrícola colombiano denominado ACSCM (por sus siglas en inglés Agro-Colaborative Supply Chain Model). Así propuso la constitución de una o varias cooperativas que permitan la centralización de esfuerzos de pequeños productores, oferta de productos, inversión en

---

<sup>1</sup> SCOR (*Supply Chain Operations Reference Model*), CPFR (*Collaborative, Planning, Forecasting & Replenishment Model*), VMI (*Vendor Managed Inventory*), EPOS (*Electronic Point of Sales*)

avances tecnológicos e implementación de diversas prácticas colaborativas encaminadas a la disminución de costos y rentabilidad de la producción y comercialización de productos agrícolas en cada uno de los miembros de la cadena.

Sin embargo, los trabajos anteriores basados en el modelo SCOR han permitido diseñar cadenas de suministro de manera conceptual, cualitativa, y en general carecen de una aproximación cuantitativa hacia el diseño de la estructura de la red, lo cual podría permitir la generación de estrategias desde una perspectiva de optimización que propicie el desarrollo de esquemas colaborativos.

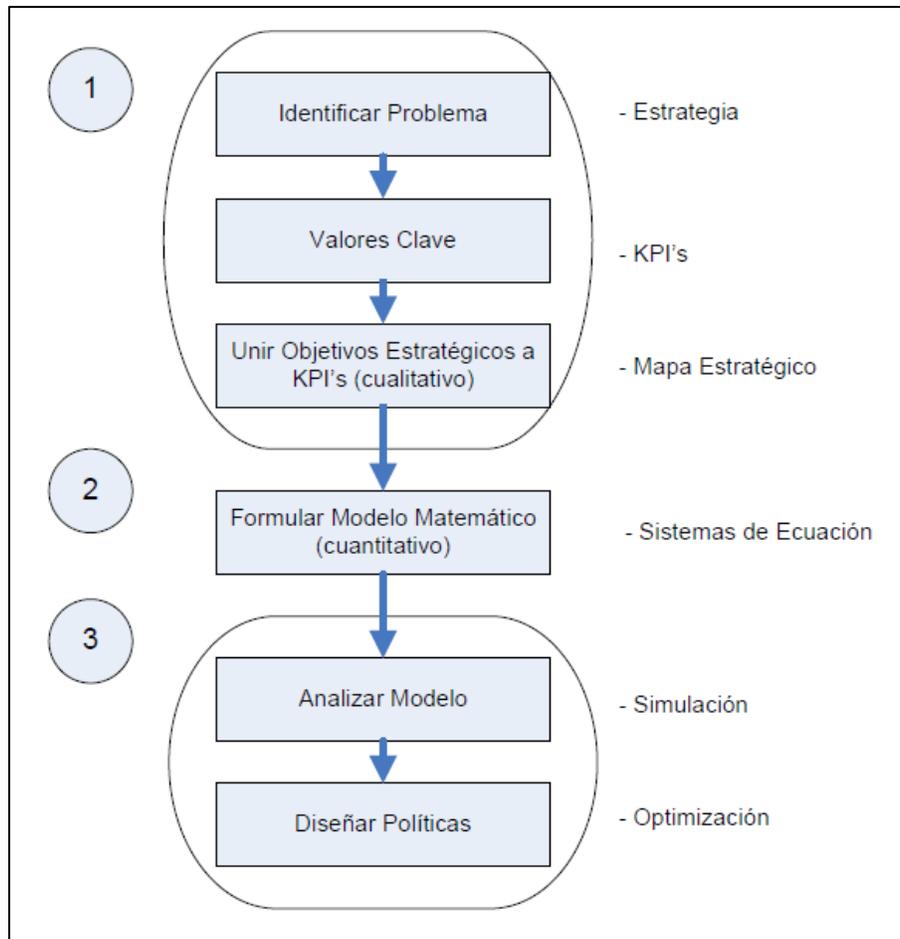
#### **1.4 INTEGRACIÓN DEL MODELO SCOR CON OTROS ENFOQUES**

Según Harrinson (2001) el análisis en SCM se presenta en dos áreas: Diseño o Ejecución. En el área de diseño se determina la estructura de la cadena de suministro (plantas, centros de distribución, rutas y modos de transporte, procesos de producción) que serán usados para satisfacer la demanda de clientes. Estos estudios son de alcance estratégico, utilizan meses o años como horizonte de tiempo, y suelen suponer poca o ninguna incertidumbre en el manejo de datos.

El nivel de ejecución determina soluciones a asuntos tácticos como las políticas de inventario y distribución, programación de la producción y del servicio, planes de transporte, etc. En esta instancia, los datos de la producción y el transporte se utilizan para asumir variaciones según distribuciones de probabilidad conocidas. El horizonte de tiempo de las proyecciones en este nivel son días o semanas.

Después de aplicar los criterios de búsqueda del apartado anterior, se buscó la integración del modelo SCOR con otros enfoques. Se utilizaron los términos: *SCOR*, *methods*, *methodologies*, *optimization*, *simulation* y *mathematical modeling*, encontrándose que en los últimos 10 años se han planteado estudios que integran el modelo SCOR con otros métodos de gestión, tal es el caso de Wattky et al. (2006) mediante la utilización del BPR (*Reorganizing Business Processes*) y el modelo SCOR en la planificación de la cadena de suministro de una empresa de productos químicos con el fin de mejorar la colaboración.

Changrui *et al.* (2006) diseñaron un marco de referencia que integra metodología y herramientas de soporte para hacer más efectiva la toma de decisiones en la cadena de suministro a través de la unión de los objetivos estratégicos y las operaciones, las cuales incorporan características cualitativas y cuantitativas (Figura 1.5)



**Figura 1.5 Proceso de toma de decisiones uniendo objetivos estratégicos y operaciones**  
Fuente: Changrui *et al.* (2006)

La metodología de Changrui *et al.* (2006) tiene 3 etapas: 1) Unión de los objetivos estratégicos con los KPI's, 2) Formulación del modelo matemático y 3) Análisis de decisión mediante la modelación matemática. Sin embargo, los autores no validaron la metodología en un caso específico.

En esta dirección Pearson (2011) presentó una plantilla SCOR realizada en el software ARENA® mediante la cual se evalúan diferentes estructuras de la cadena de suministro de un fabricante de intercambiadores de calor (diferentes rutas de flujo de materiales) respecto a las metas de un despliegue SCOR y la programación de turnos. Así la gerencia de operaciones utiliza los resultados de la simulación en la asignación de recursos dentro de la red de producción internacional, por lo que se logró demostrar un engranaje entre la estrategia y la operación a partir del modelo SCOR y la simulación dinámica.

También se ha articulado el AHP (*Analytical Hierarchy Process*) y el modelo SCOR para el rediseño y evaluación del desempeño de cadenas de suministro (Palma-Mendoza, 2014;

Bani et al., 2015). En otros casos se han integrado asuntos ambientales o métricas de gestión ambiental al modelo SCOR (Ntbae et al., 2015; Mohd et al., 2015)

Rodrigues & Ribeiro (2016) experimentaron con el modelo SCOR para evaluar proveedores en cuanto a costos y entregas. A esta evaluación es incorporado el análisis de decisión multicriterio basado en lógica difusa o fuzzy *TOPSI (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)*, demostrando traer más beneficios que otros enfoques.

Respecto a implementaciones de SCOR y enfoque de optimización se encontró que Vianchá (2012) utilizó el modelo SCOR en la primera fase de un estudio para caracterizar la cadena de suministro de una fruta en Colombia. En la segunda fase plantearon un modelo de transporte que solucionaron utilizando GAMS® y el solver CPLEX. Sin embargo, las variables y ecuaciones del modelo no están articuladas a las métricas del modelo SCOR con las que fue diagnosticada la cadena inicialmente.

Reeveerakul (2016) diseñó una cadena de suministro basándose en el modelo SCOR y realizó una simulación en el software ARENA® para describir las operaciones bajo el esquema producción sobre pedido (*Make to order*), dada la motivación del autor en conectar de una manera práctica las métricas y variables del modelo SCOR con la simulación de procesos.

Los anteriores trabajos demuestran que la articulación del modelo SCOR con otros enfoques de gestión es reciente, por lo que la optimización y simulación representan oportunidades en el planteamiento de soluciones al problema de diseño de cadenas de suministro agroalimentarias en las que se pretenda incorporar las métricas o KPI's del SCOR para mejorar su desempeño. Esto lo corrobora la propuesta metodológica de Changrui et al. (2006), la cual resulta práctica al propósito de integrar SCOR y enfoques de modelación matemática en el diseño de la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena en Córdoba que se pretende en capítulos siguientes.

## **1.5 REQUERIMIENTOS DE LA MODELACIÓN DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS**

De acuerdo con Sharma et al. (2013), se pueden identificar cuatro métodos de modelación aplicados en la gestión de la cadena de suministro: i) determinísticos, ii) estocásticos, iii) híbridos y iv) modelos dirigidos por Tecnologías de Información (IT-driven models). En los modelos determinísticos los parámetros son conocidos y se fijan con certeza. En los modelos estocásticos, también denominados probabilísticos, los parámetros son inciertos y aleatorios. Los modelos híbridos tienen elementos de los modelos deterministas y estocásticos. Estos incluyen a los modelos teóricos de inventarios y modelos de simulación. Los *IT-driven models* integran y coordinan diversas fases de la planificación de la cadena

de suministro en tiempo real usando softwares de aplicación para tener la visibilidad de toda la cadena. Dentro de los IT-driven models, Min & Zhou (2002) destacan herramientas como: *Warehousing Management System* (WMS), *Transportation Management System* (TMS), *Enterprise Resource Planning* (ERP), *Geographic Information System* (GIS), entre otras.

Algunos autores como Ahumada & Villalobos (2009), consideran que cuando los parámetros del modelo se suponen deterministas, los investigadores utilizan tradicionalmente los enfoques de programación lineal (LP), programación dinámica (DP), programación entera mixta (MIP) y programación de metas (GP). En los enfoques de modelización estocástica se utiliza programación estocástica (SP), programación dinámica estocástica (SDP), simulación (SIM), programación de riesgo (PR). Aunque estos no son todos los modelos, suelen ser los de mayor relevancia.

Vianchá (2014) encontró que en el caso de los modelos de cadenas de suministro agroalimentarias de productos perecederos, el enfoque más popular y exitoso ha sido la programación lineal, específicamente cuando se han parametrizado suficientemente los datos de entrada. Sin embargo, la tendencia agroalimentaria ha orientado los modelos de planeación bajo el término “agroindustrialización de operaciones” y esto implica que ahora existen más similitudes entre las cadenas de suministro de manufactura y las cadenas de suministro agroalimentarias. Por ello se necesitan modelos que incluyan características más realistas. Es decir, modelos estocásticos en la planeación táctica que sirvan para diseñar modelos tácticos y establecer puntos de partida en la solución de problemas que afectan la gestión.

El estado del arte más reciente que se ha realizado acerca de la investigación de operaciones aplicada en las cadenas de suministro de frutas frescas (Soto et al., 2016) demuestra que la modelación matemática se ha enfocado en las decisiones o problemas tácticos y operativos principalmente. El ruteo de vehículos, programación del transporte, planeación y localización de la producción y distribución son los problemas más atendidos. El objetivo más común de los modelos ha sido la maximización los beneficios y la inclusión de incertidumbre en los precios de la demanda es una oportunidad en la investigación.

Dado lo anterior, se puede afirmar que aunque se han presentado soluciones desde la investigación de operaciones (logradas vía optimización y simulación) a los problemas de las cadenas agroalimentarias, tales soluciones se han enfocado a problemas tácticos u operativos con más frecuencia, que al diseño o nivel estratégico.

Hasta el momento los trabajos que se han ocupado del diseño de cadenas de suministro agroalimentarias basados en el modelo SCOR son conceptuales, cualitativos y carecen de

una articulación a modelos matemáticos que posibiliten no sólo el diseño sino la evaluación del desempeño de la red.

Son recientes y escasas las apuestas de incorporación del enfoque de optimización y/o simulación al modelo SCOR y esta integración podría ser una solución factible al problema de diseño de las cadenas de suministro agroalimentarias porque permitiría estimar o simular los beneficios de los KPI's en la cadena antes de hacer la implementación del despliegue estratégico.

Los trabajos revisados coinciden en que el diseño y planificación de las cadenas de suministro agroalimentarias o de productos perecederos debe asumir los desafíos del comercio de productos orgánicos, sostenibilidad, adaptación al cambio climático, seguridad alimentaria, estacionalidad, entre otros asuntos, bajo una visión integral del negocio.

Las cadenas de suministro agroalimentarias modernas necesitan desarrollar la colaboración sólida y relaciones de largo plazo entre sus socios. Están llamadas a articular las definiciones de integración, cooperación y coordinación con el fin de asegurar eficiencia y prácticas de desarrollo sostenible en los procesos de diseño y rediseño (Fischer y Hartman, 2010) y en este sentido, la actualización de modelos que estructuran o diseñan la gestión logística, sistémica e integral en las cadenas agroalimentarias para la toma de decisiones más convenientes, es una oportunidad de investigación en SCM.

## 2. CAPÍTULO II

### CARACTERIZACION DE LA CADENA DE SUMINISTRO ACTUAL DE LA BERENJENA (*Solanum melongena L.*) EN CÓRDOBA

#### 2.1 GENERALIDADES DE LA BERENJENA (*Solanum melongena L.*)

Esta planta fue introducida a Colombia desde España por los árabes en el siglo XIX, convirtiéndose en una de las hortalizas más apetecidas del caribe colombiano sobre todo en Córdoba, Sucre, Bolívar y Atlántico; regiones en las que goza de alta demanda con destino a la alimentación (Aramendiz *et al.*, 2008).

De acuerdo con García *et al.* (2003), el fruto de la berenjena es una baya carnosa de color verdoso, negro, morado, blanco, blanco jaspeado de morado, lila u oscuro que suele tener forma redondeada, periforme u ovalada, de variada longitud, que la torna apta para la elaboración de encurtidos y conservas. Se caracteriza por poseer vitaminas A, B1, B2 y C, gran cantidad de potasio y en menor cuantía hierro, fósforo y calcio. Su aporte nutricional por cada 100 g es de 1 g de proteínas, 3 g de carbohidratos, 2 g de fibra y 29 calorías. Esto último la hace un componente ideal en las dietas de control de peso.

La berenjena es una de las hortalizas que en las dietas a nivel mundial se recomienda consumirla cocida en carnes, guisos, ensaladas, en sopas, cremas, junto a otras verduras. Es muy apetecida en países europeos que además de consumirlas ya realizan transformaciones industriales, por ejemplo en Italia elaboran dulces a base de berenjena. Tiene múltiples propiedades medicinales, porque se le atribuye la capacidad de disminuir la cantidad de colesterol en la sangre hasta en un 50%, gracias a lo cual retarda el proceso de arterosclerosis, mejora el trabajo de los intestinos y aumenta la eliminación urinaria. De igual modo, es portadora de suficiente cantidad de pectinas que posibilitan la expulsión de toxinas de organismos (García *et al.*, 2003).

A nivel industrial la berenjena es utilizada en salsas, jaleas y pistos junto con otras hortalizas como el tomate, cebolla y pimiento, también se presenta en encurtidos en forma de cubos y rodajas (Macua *et al.*, 2005). Con esta hortaliza se realizan estudios en materia de colorantes para sustitución de los artificiales que son perjudiciales en los seres humanos y el ambiente; se buscan oleorresinas para la elaboración de colorantes naturales que se puedan emplear en bebidas, alimentos, confites, tinción de telas y producción de cosméticos, por lo que si se consolida este proceso a escala industrial, se contribuiría al mejoramiento de la calidad de vida de las personas y protección del medio ambiente (Duran *et al.*, 2007).

En el sector cosmético se están elaborando mascarillas con pulpa de berenjena para el cuidado de la piel (Zipmec, 2013). Investigadores del servicio de agricultura de Estados

Unidos en Belteville Maryland descubrieron que la berenjena es rica en compuestos fenólicos que funcionan como antioxidantes de gran beneficio, contiene ácido cloro génico, es antimutagénico (previene el cáncer), antimicrobiano y previene el colesterol de baja densidad (LDL) o colesterol malo (Data & Business, 2013).

### **2.1.1 Retos de la producción y manejo agronómico de la berenjena**

De acuerdo con Freitas *et al.* (2004) uno de los problemas que enfrentan las hortalizas es la llamada maleza hierba que retrasa el crecimiento de las plantas y la calidad del producto y este reto es de mucha importancia ya que el uso de productos químicos no es recomendable para estos productos agrícolas. Las arvenses o malezas constituyen uno de los factores que más influyen en el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos debido a que compiten por luz, agua y nutrientes, causando reducción cuantitativa y cualitativa de la producción e incrementando los costos operacionales de la cosecha y poco beneficio del producto agrícola, así mismo, liberan sustancias alelopáticas perjudiciales y sirven de hospederos de plagas y enfermedades comunes a la especie cultivada que afectan la cosecha.

La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) desarrolló un injerto de una planta originaria de la India llamada comúnmente como el “friegaplatos” (*Solanum torvum*) en los cultivos de berenjena, para protegerlos de las plagas presentes en el suelo, principalmente del nematodo agallador (*Meloidogynespp*) donde este ha sido identificado como el problema más importante de este cultivo en Honduras. Con este injerto se logra una reducción en los costos de producción porque se utilizan menos agroquímicos, se incrementa en 60% la producción de las plantas injertadas, se reduce contaminación ambiental y aumentan los ingresos de los agricultores (FHIA, 2007).

Las variedades de berenjena han significado retos para el fitomejoramiento genético que se ha propuesto mitigar hambre, pobreza y aumentar la productividad mediante el control de enfermedades como la marchitez (*Fusarium spp*) en esta hortaliza (Ortíz, 2005). Aramendiz *et al.* (2006; 2009) basan sus trabajos en la caracterización, conservación y utilización de los recursos genéticos de la berenjena del caribe colombiano debido a que estos autores la consideran de importancia estratégica para la humanidad. Mediante sus trabajos han obtenido mejor calidad fitogenética y variedades más resistentes a plagas y enfermedades, que representan mejores rendimiento por hectáreas, más rentabilidad, menos agroquímicos y en consecuencia alimentos más saludables para las personas y el medio ambiente.

Debido al crecimiento de la demanda de berenjena en los mercados nacionales e internacionales por factores relacionados con el cuidado de la salud, usos domésticos e industriales, en otras latitudes se ha buscado mejorar la calidad del producto mediante métodos de hibridación o nutrición del suelo, logrando así plantas con mayor resistencia a

plagas y enfermedades presentes en el ambiente y bajos costos en la producción (Antonini *et al.*, 2002; Aramendiz *et al.*, 2011; Cantero *et al.*, 2015).

En términos generales, la investigación dirigida al manejo agronómico del cultivo de berenjena se articula al requerimiento de buscar productos de consumo de bajo costo en la producción, altos rendimientos, inmunidad a ciertas enfermedades, plagas y poco consumo de agroquímicos; con el fin de disponer de más productos agrícolas de calidad y buen precio en la canasta familiar, que garanticen protección al ambiente, ganancias a los productores y competitividad en mercados nacionales e internacionales. Estudios agronómicos en otras regiones del mundo han logrado estos requerimientos en los cultivos de berenjena; sin embargo en Colombia la tarea apenas comienza.

## **2.2 ANÁLISIS DEL MERCADO DE LA BERENJENA**

Los consumidores y las industrias de alimento prefieren que las berenjenas sean: consistentes, firmes, brillantes, libres de cicatrices, ralladuras, cortaduras, que tengan bajo porcentaje de semillas, sabor amargo, poco desarrollo y no presenten daños mecánicos. Las industrias de conservas tienen en cuenta el tamaño, la variedad de la berenjena, y el diámetro que generalmente varía entre 3 y 6 cm; por ejemplo, las de formas cilíndricas se cortan en rodajas y las redondas se cortan cubos o dados.

La berenjena más consumida en los Estados Unidos es púrpura profundo, casi negra, de forma grande y oblonga, con piel muy lisa y cáliz verde. Se le llama comúnmente “regular o clásica”, pero los nombres reales dependen de la variedad y pueden ser muchas. Entre las variedades más populares en los Estados Unidos se distinguen principalmente: regular o clásica, siciliana, italiana, Indian Baby y la china; y están disponibles durante todo el año (Iloveeggplant, 2016)

En el comercio exterior mundial las variedades china e hindú son muy apetecidas. En cuanto al empaque, se exigen cajas de cartón telescópicas o de una sola pieza con capacidad de 18 Kg o de 9 Kg, dependiendo del importador. Las cajas deben tener una resistencia de ruptura de 200-250  $lb/in^2$  y las dimensiones son 30 x 45 x 30 cm (IICA, 2007). En la figura 2.1 se aprecian variedades de berenjena preferidas a nivel mundial (a la izquierda la variedad china, a la derecha la variedad Amalia española).



**Figura 2.1 Variedades de berenjena apetecidas a nivel mundial**

Fuente: Semillas Fitó, 2015

### **2.2.1 Demanda mundial de la berenjena como producto fresco**

Italia, Alemania y España han aumentado sus preferencias en el consumo de berenjenas en los últimos 10 años, estos países presentan importaciones de 8.460 Tn, con un valor comercial de 16.047.003 dólares en el año 2008, el consumo se da en fresco y en procesos industriales destinados a cubitos o dados, rodajas, mermeladas y jaleas. Estados Unidos se destaca como el mayor consumidor de América y del mundo, tiene un volumen de compra de 52.157 Tn en su mayor parte procedentes de México, posicionándolo como un mercado atractivo a nivel mundial (Hortoinfo, 2013)

El consumo real de berenjena en Colombia no se encuentra registrada en ninguna fuente de información, sin embargo, se estima un consumo aparente de 2.613 Tn anuales en el año 2011 (Siembra, 2013).

La creciente demanda de esta hortaliza ha dado la oportunidad a países como China, España, Honduras, México, entre otros, de exportar y obtener mayor rentabilidad en sus actividades comerciales e incursionar en mercados cada vez más exigentes, segmentados y cambiantes.

La Tabla 2.1 presenta el ranking de los 10 principales países importadores de berenjena en el año 2011. En primer lugar se ubica Estados Unidos con un volumen de compras de 52.157 Tn, seguido de Alemania que reporta un volumen de 37.951 Tn y Francia con un volumen de compras de 44.903 Tn. Estos países representan oportunidades de mercado para Colombia por su alto consumo y buenos precios en esta hortaliza.

**Tabla 2.1 Importaciones de berenjena a nivel mundial año 2011**

Posición	Región	Cantidad (Tn)	Valor (1000USD)	Valor unitario (USD/Tn)
1	Estados Unidos	52157	71702	1375
2	Alemania	37951	61206	1613
3	Francia	44903	53941	1201
4	Rusia	21866	37024	1693
5	Reino Unido	18505	34023	1839
6	Canadá	18793	23410	1246
7	Siria	35623	23335	655
8	Italia	19972	20263	1015
9	Países Bajos	12574	19190	1526
10	Lituania	9434	17940	1902

Fuente: Adaptada (FAO, 2014)

### 2.2.2 Oferta de la berenjena como producto fresco

En los últimos 10 años, el comercio mundial hortícola se ha incrementado considerablemente, gracias al desarrollo de los sistemas de postcosecha, transporte y comunicaciones que han permitido atender los requerimientos de una población mundial que desea consumir alimentos sanos y nutritivos en todas las épocas del año.

Las exportaciones a nivel mundial han sido lideradas por: España con el 34% de participación, Países Bajos con un 25%, México 15%, Jordania 6%, Estados Unidos 4%, Francia e Italia 2%, y el 1% entre: Turquía, Bélgica, Kenia, Alemania, Honduras, China, Malasia, República Dominicana (Unión Europea - MINECO, 2010). España que reporta 122.122 Tn exportadas, seguido de países Bajos con 47.469 Tn y México con 48.666 Tn. La Tabla 2.2 presenta el ranking de los 10 países exportadores de berenjena en el año 2011.

**Tabla 2.2 Exportaciones de berenjena a nivel mundial año 2011**

Posición	Región	Cantidad (Tn)	Valor (1000\$)	Valor unitario (\$/Tn)
1	España	122122	151532	1241
2	Países Bajos	47469	80342	1693
3	México	48666	60603	1245
4	Jordania	64540	36148	560
5	Estados Unidos	14794	19017	1285
6	Lituania	8877	16884	1902
7	Irán	22872	11461	501
8	Italia	7060	10399	1473
9	Turquía	10244	9310	909
10	Bélgica	5606	9287	1657

Fuente: Adaptada (FAO, 2014)

Al comparar las cifras de la tabla 2.1 y 2.2, es evidente que si Estados Unidos es el mayor importador, y México el único país latino que tiene exportaciones significativas, entonces Colombia tiene una gran oportunidad tanto en mercados norteamericanos como europeos.

En la tabla 2.3 se muestran las exportaciones realizadas por Colombia. En el contexto nacional, el país presenta un comportamiento fluctuante en los volúmenes exportados de berenjena principalmente a las Antillas Holandesas, Aruba y Canadá; por ejemplo, en 2009 exportó 1,07 Tn, en 2012 sólo 0,13 Tn, y 1,82 Tn en 2013 (Agronet, 2016). Estos volúmenes además de ser variables también son muy bajos comparados con los niveles de México, por lo que si en Colombia existen condiciones agroclimáticas, un reto es trabajar en productividad y certificaciones de inocuidad y calidad tales como las normas Global Gap con el fin de competir internacionalmente.

**Tabla 2.3. Exportaciones de berenjena realizadas por Colombia**

<b>Año</b>	<b>Volumen Tn</b>	<b>Valor (US\$/FOB)</b>	<b>Precio Implícito (US\$/Tn)</b>	<b>Variación Valor</b>	<b>Variación Volumen</b>
2009	<u>1,07</u>	1.701	1.590	0,0%	0,0%
2010	0,13	81	625	-95,2%	-87,9%
2011	0,13	3.124	1.178	3.757,0%	1.946,9%
2012	2,76	4.312	1.563	38,0%	4,0%
2013	1,82	2.430	1.337	-43,7%	-34,1%

Fuente: Adaptada Agronet (2016)

De acuerdo con cifras de Agronet (2016), en Colombia los departamentos productores de berenjena son Valle del Cauca, Atlántico, Bolívar, Córdoba, Sucre y recientemente Magdalena. Los mayores rendimientos se registran en el Valle del Cauca (casi 40 Tn/ha), lo cual contrasta con la reducida área que esta región destina últimamente a la hortaliza (de 3 a 10 ha), pero esto se explica por la introducción de híbridos o semillas mejoradas en los sistemas de producción. Luego se ubican Atlántico, Bolívar y Córdoba en términos de Tn/ha.

En cuanto a participación por departamentos en la producción nacional (Tn producidas/año) la composición es similar, la lidera Valle del Cauca, seguido de Atlántico, Bolívar y Córdoba. En área cosechada Córdoba es el líder, seguido de Bolívar, Sucre y Magdalena. Respecto a indicadores de 2014 Córdoba aportó el 51,76% del área nacional cosechada, 16,9% de la producción nacional y tuvo uno de los rendimientos en promedio más bajos (2,07 Tn/ha). A pesar de ser uno de los principales productores durante las 2 últimas décadas, la productividad y disponibilidad de producto ha venido en descenso, probablemente por la desmotivación e incertidumbre de pequeños y medianos agricultores que frente a la crisis de los cultivos tradicionales como algodón, maíz, experimentan otros

cultivos menos tradicionales como la batata, ahuyama y piña. Adicionalmente, la falta de cohesión de actores para la organización de las cadenas productivas tal como lo establece la Ley 811 de 2003 también explica que el sistema de producción y comercialización de la berenjena carezca de programas de fortalecimiento y aumento de productividad.

La producción de berenjena en el departamento de Córdoba se concentra en los municipios de Montería, Cereté, San Pelayo, San Bernardo del Viento y San Antero. El municipio de Montería representa el 36,2% de Córdoba, seguido de San Bernardo del Viento que aporta el 23,7%, Buenavista el 21,3%, San Pelayo 8,1% y San Antero 6,5% en el año 2011 (MADR, 2012).

### **2.2.3 Precios de la berenjena**

En Europa la berenjena es una de las hortalizas que registra aumentos significativos en los precios, tanto así que se ha triplicado su precio al pasar de venderse a 0,34 dólar el Kg, a llegar a venderse a 1,62 dólar el Kg (Hortoinfo, 2013). El precio promedio anual de la berenjena en los Estados Unidos es de 0,88 dólares el Kg (Data & Business, 2013). En Colombia un Kg de berenjena en los centros de abastos como Barranquilla, el precio alcanza los 0,30 dólar, Bogotá 0,96 dólar, Cali 0,67dolar, Cartagena 0,76 dólar, Cúcuta 0,28 dólar, Medellín 0,72 dólar y Sincelejo 0,60 dólar (SIPSA, 2014). De esta manera, Europa y Estados Unidos representan los clientes potenciales de Colombia por ser los mercados de mayor consumo y mejores precios a nivel mundial de esta hortaliza.

### **2.2.4 Canales de comercialización internacionales**

Los canales de distribución para los alimentos frescos en los mercados especializados consta de tres etapas: un importador que distribuye directamente el producto a las grandes superficies, un bróker o agente que se encarga de negociar los productos importados para venderlos directamente a las grandes superficies y minoristas, y por último, el canal de alimentos industriales procesados que se encarga de distribuir el producto al sector institucional, servicio de alimentación del estado o a los minoristas (PROEXPORT, 2011).

Debido al crecimiento de la oferta y la demanda es común que los mercados internacionales implementen medidas de seguridad para evitar el ingreso de plagas, enfermedades y productos que atenten contra la salud del consumidor proveniente de las actividades comerciales con otros países.

En Europa las normas sanitarias que vigilan las entradas de hortalizas frescas es la serie de normas UNE 155001, las cuales velan por la protección del consumidor, el respeto al medio ambiente, la seguridad y la salud de los productores. Son primordiales por ejemplo los análisis de riego, registros de agroquímicos, certificados sanitarios y fitosanitarios para incursionar en este mercado. En Estados Unidos aplica la norma APHIS (*Animal and Plant*

*Health Inspection Service*) cuyo objetivo es evitar el ingreso de plagas y enfermedades mediante el ingreso vegetales, cuidar el medio ambiente y la salud de los consumidores.

De esta manera, la incorporación de tecnologías de producción, manipulación del producto, manejo de información y comunicación es necesaria para mejorar el desempeño y generación de valor en las actividades producción y de servicio de las cadenas agroalimentarias que busquen extenderse en mercados nacionales e internacionales.

Por los retos del comercio exterior y lo expuesto hasta el momento una de las principales tareas del país es el aumento de la inversión en investigación, innovación, desarrollo tecnológico y servicios científicos destinados al agro, pues Colombia invierte menos del 0,5% del PIB para CTI en todos los sectores, lo que resulta ser una pobre inversión si se compara con el presupuesto que destina Estados Unidos, Australia y Canadá (Dinero, 2015).

### **2.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS ETAPAS PRODUCTIVAS DE LA CADENA DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIA DE LA BERENJENA EN CÓRDOBA**

Una etapa importante del estudio de los sistemas dinámicos, como la cadena productiva de la berenjena, corresponde al pleno conocimiento del sistema y el problema que se desea resolver en él, con el fin de encontrar interacciones y actividades realizadas por los elementos que componen dicho sistema (Amézquita et al., 2007).

Por esta razón se diagnosticaron las relaciones de la cadena productiva o cadena de suministro de la berenjena en Córdoba, mediante la medición de variables, en su mayoría cualitativas, con el fin de describir el desempeño de sus eslabones en las actividades de producción y comercialización.

Se diseñaron instrumentos de diagnóstico para los 4 eslabones más visibles de la cadena de suministro actual: productores, comercializadores, proveedores de agroinsumos e instituciones soporte; teniendo en cuenta referentes teóricos del Modelo del Diamante de Porter, variables de la Norma Técnica Colombiana 5400 (Buenas prácticas agrícolas para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas) y del modelo del IMD (*International Institute for Management Development*). Debido a que en la región no se hace transformación de la berenjena, no se diseñaron cuestionarios correspondientes a industria y proveedores de otros servicios especializados.

Los cuestionarios se elaboraron con preguntas dicotómicas, politómicas, tipo Likert y preguntas de respuestas cerradas y abiertas. Se seleccionaron cuatro (4) perfiles de docentes-investigadores con trayectoria en temas de competitividad, cadenas de suministro agroalimentarias, innovación social y emprendimiento, y un (1) profesional experto en el

cultivo de berenjena (Véase bioshort expertos en Anexo A). Se aplicó el Método de evaluación por expertos para validar los instrumentos de diagnóstico. La validación de cada experto se registró en un formato que permitía aprobar, ajustar o desaprobar las preguntas propuestas (Anexo B).

Los 4 instrumentos se ajustaron conforme la validación (Véase en Anexo C la relación de variables utilizadas en los instrumentos de diagnóstico definitivos). Finalmente, se aplicaron los cuestionarios mediante la técnica de encuesta. Se utilizaron tamaños de muestra exploratoria por cada eslabón, debido a que no se contó con registros de la población por los grupos de interés a encuestar en la cadena de la berenjena actual. En total se hizo un levantamiento de 143 variables como lo indica la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Cantidad de variables e individuos evaluados por eslabón de la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena en Córdoba**

<b>Eslabón</b>	<b>N° de Variables</b>	<b>N° de individuos</b>
Productores	67	49
Proveedores de agroinsumos	15	16
Comercializadores	49	18
Instituciones soporte	12	7
<b>Total</b>	<b>143</b>	<b>90</b>

Fuente: Elaboración propia

Cabe anotar que para llegar a los resultados que se presentan a continuación, se realizaron tratamientos estadísticos tales como Análisis de Componentes Principales Ponderado y Análisis Factorial Múltiple, en los cuales se eliminaron algunas variables que no aportaban al análisis de la variabilidad por cada eslabón (Véase la descripción de los tratamientos estadísticos por eslabón en Anexo D).

### **2.3.1 Análisis eslabón productores**

El eslabón productores se analizó con 64 preguntas (variables) de diferentes tipos (dicotómicas, politómicas y Likert), agrupadas en seis 6 grupos denominados variables latentes: "V1=Calidad de Infraestructura", "V2=Capacidad de Gestión del Productor", "V3=Especialización de la mano de obra", "V4=Estrategias de comercialización", "V5=Inclinación al encadenamiento", "V6=Nivel de tecnología de producción" (Ver Anexo C. Relación y agrupación de variables productores). La información de estas variables se obtuvo de 49 encuestados, de los cuales 30 eran productores no asociados y 19 pertenecían a asociaciones.

Esta agrupación de variables se hizo por la necesidad de condensar la información contenida en un gran número de variables originales, en un conjunto pequeño (variables latentes) con una pérdida mínima de información. De esta manera:

- Se aplicó un Análisis de Componentes Principales Ponderado (ACP Ponderado) con el fin de determinar las correlaciones entre las variables (preguntas) y así encontrar qué variables caracterizan cada variable latente.
- Seguidamente, se realizó un Análisis Factorial Múltiple (AFM) para elegir las variables latentes que minimizan la variabilidad de la información y que son determinantes en la explicación de cómo los productores de la berenjena se desempeñan frente a los factores detonantes de un cluster de producción, dado que es el modelo colaborativo que más conviene a la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena.

El ACP Ponderado y el AFM se realizaron utilizando el software R Versión 3.1.2. El Anexo D detalla los resultados de estos procedimientos ejecutados en R.

El AFM permitió identificar que las variables, V2 (Capacidad de Gestión del Productor), V3 (Especialización de la mano de obra), V6 (Nivel de Tecnología del Productor) principalmente y V4 (Estrategias de Comercialización), son los factores que explican cómo se están comportando productores en un potencial cluster de producción.

### **Capacidad de Gestión del Productor**

En la variable latente Capacidad de Gestión del Productor, las preguntas V26 (Utilización de asesoría técnica para el manejo del cultivo de berenjena), V38 (Tiempo dedicado a la planeación del cultivo), V39 (Registro de los costos de producción del cultivo de berenjena) y V44 (Conocimiento de paquetes tecnológicos del cultivo de berenjena) son los que más caracterizan la primera componente, mientras que la segunda componente es más caracterizada por las preguntas V42 (Implementación de medidas de gestión de riesgos laborales) y V67 (Razones para desertar del cultivo de berenjena).

Sólo el 12% de los productores no asociados cuenta con asesoría técnica para el manejo del cultivo, suministrada por un Ingeniero Agrónomo, contratado particularmente. El 88% restante mencionan que no cuentan con los recursos necesarios para contratar los servicios de asistencia técnica y que acceder a los programas de las UMATA es muy complicado. Entre tanto, el 56% de los productores asociados cuenta con asesoría técnica (Ingeniero Agrónomo) suministrada por la asociación, contratada particularmente y en pocas ocasiones, esta se recibe de instituciones de investigación o de instituciones gubernamentales. El 44% no cuentan con ningún tipo de asesorías.

Respecto al tiempo de dedicación a la planeación del cultivo, se encontró que el 67% de los productores no asociados dedica tiempo a esta, mientras que el 94% de los asociados contestaron dedicar este tiempo.

Al preguntar por los registros contables de los costos, el 64% de los productores no asociados no registra sus ingresos y egresos, en tanto que el 81% de los asociados sí

mantiene alguna forma de registro de estos. En ambos grupos se encontró que sólo relacionan los costos de agroinsumos, maquinaria, jornales, fechas de venta, ingresos por venta, cosechas recogidas, bultos vendidos; no incluyen el tiempo de dedicación de ellos al cultivo y tampoco el costo de la tierra si es propia. En todos los casos esta información no la utilizan para obtener los costos de la producción, debido a que siempre se deben sujetar al precio de la berenjena en el mercado local. De manera general, se encontró que los productores carecen de herramientas de planeación y control para gestionar el cultivo con un enfoque de agronegocio.

El 82% de los productores no asociados no conoce métodos, o técnicas que le ayuden a producir berenjena de mayor calidad, el otro 18% reconoce métodos como: riego tecnificado, la mecanización del terreno y las buenas prácticas agrícolas (BPA). Por su parte, el 57% de los asociados conocen algunas técnicas que le ayuden a ser más competitivos. La asociación Hortyfru destaca la adquisición reciente de un software que les ayuda a estimar la proporción de agroquímicos permisibles en el cultivo a partir de análisis de suelos. Sin embargo no se encontró evidencia de paquetes tecnológicos que se implementen.

### **Especialización de la Mano de Obra**

En la variable latente Especialización de la Mano de Obra, las preguntas V1 (Nivel de educación de los productores), V3 (Experiencia de los productores en el cultivo de berenjena), V33 (Número de jornales contratados por cada cosecha) y V37 (Tipo de dificultades en la contratación de la mano de obra) son los que más caracterizan la primera componente, mientras que la segunda componente es más explicada por las preguntas V35 (Mano de obra suficiente) y V36 (Mano de obra calificada para actividades de manejo de cultivo y cosecha).

El 70% de los productores no asociados reporta sólo la básica primaria como nivel de escolaridad más alto, en tanto que el 44% de los productores asociados son bachilleres y el 31% son profesionales.

El 45% de los productores no asociados tienen entre 11 y más de 20 años de experiencia en el cultivo de berenjena. En contraste, el 69% de los asociados declaran tener de 1 a 5 años y el 25% menciona tener de 6 a 10 años de estar cultivando la hortaliza.

En cuanto a la contratación de jornales se encontró que el 73% de los productores no asociados utiliza entre 1 y 5 jornales para las labores del cultivo y los asociados registran de 6 a 10 jornales por cada cosecha de berenjena. Se encontró que los productores siembran entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  ha de la hortaliza con mayor frecuencia, el 42% de los no asociados y 50% de los asociados reportaron esta extensión.

Al indagar sobre las principales dificultades en la contratación de la mano de obra los productores mencionan falta de conocimiento y experiencia de la mano de obra contratada y altos costos de contratar los jornales. En ambos grupos el mayor problema es la poca disponibilidad de jornaleros, ya que los jóvenes y adultos están desertando de las labores agrícolas y prefieren ocuparse en el sector construcción o en el mototaxismo, abandonando así las labores agrícolas.

### **Nivel de Tecnología del Productor**

En lo referente a Nivel de Tecnología del Productor, las preguntas V8 (Variedades sembradas por los agricultores), V10 (Proveedores de semillas), V11 (Tipo de tratamiento utilizado en la semilla), V14 (Realización de análisis de suelo) y V28 (Objeto de la asesoría técnica recibida) son los que más caracterizan la primera componente, mientras que la segunda componente es más caracterizada por las preguntas V9 (Preferencias de los agricultores por semillas mejoradas), V12 (Método de semillero), V19 (Utilización de sistema de riego), V20 (Tipo de riego utilizado en el cultivo de berenjena), V21 (Fuente del agua utilizada en el riego del cultivo) y V24 (Método utilizado para preparación de suelos).

De los productores no asociados el 90% cultiva berenjena criolla y sólo el 10% utiliza semilla certificada suministrada por CORPOICA o los proveedores de agroinsumos. En contraste, el 75% de los productores asociados reportan el cultivo de variedades criollas de berenjena mientras que sólo el 25% utiliza semilla certificada. La suministrada por CORPOICA es la variedad CO15 y la suministrada por los proveedores es la Long Purple. Ambos grupos identifican el tipo de berenjena de acuerdo a tamaño, forma y color, siendo la lila, larga, grande la más cultivada. Las semillas de los cultivares criollos se obtienen de semilleros propios, que no aplican buenas prácticas agrícolas. En pocos casos los agricultores adquieren plántulas de otros productores para la propagación del cultivo.

El tratamiento que los productores no asociados aplican a la semilla para su conservación es químico en un 42%, el 35% realiza un tratamiento biológico, el 23% realiza un tratamiento integrado y el resto no aplica ningún tratamiento a la semilla. A su vez el 62,5% de los productores asociados encuestados realizan tratamientos biológicos a las semillas, un 12,5% realiza tratamientos químicos, otro 12,5% utiliza ambos métodos y el otro 12,5% no realiza ningún tipo de tratamientos a la semilla.

Solo un 15% de los productores no asociados ha realizado estudios topográficos y un 6% estudios de suelo. En los asociados se encontró que el 50% han realizado estudios topográficos en sus fincas o predios y el otro 50% argumenta no realizarlos por los altos costos. Por otra parte, el 62.5% ha realizado análisis de suelos en sus predios o fincas y el 37.5% dice que no cuenta con los recursos económicos para realizar este estudio en sus parcelas.

En ambos grupos cuando se contrata asesoría, se hace para el manejo de agroinsumos, control de enfermedades, nutrición del suelo, planeación del cultivo y riego.

### **Estrategias de Comercialización**

Respecto a Estrategias de Comercialización, las preguntas V47 (Sitio de venta de la cosecha de berenjena), V48 (Tipos de clientes), V52 (Responsabilidad del transporte de la berenjena) y V54 (Responsabilidad de los costos de transporte del sitio de producción al sitio de comercialización) son los que más caracterizan la primera componente, mientras que la segunda componente es más caracterizada por las preguntas V50 (Unidades de comercialización) y V51 (Empaques utilizados para la comercialización de la berenjena en el mercado).

El 52% de los agricultores no asociados venden la berenjena en sus predios y en segundo lugar en las plazas de mercado (42%). Sólo el 3% la comercializa en la ciudad de Cartagena. Un comportamiento similar presentan los asociados quienes en un 44% venden en sus predios y el 18% en las plazas de mercado. Cuando venden en su finca el transporte es asumido por el intermediario o comercializador y cuando lo llevan a la plaza el transporte es asumido por ellos.

### **2.3.2 Análisis eslabón proveedores de agroinsumos**

El eslabón proveedores se analizó con 12 preguntas (variables) de diferentes tipos (dicotómicas, politómicas únicas respuestas y politómicas múltiples respuestas) aplicadas a 16 encuestados (Ver Anexo C. Relación y agrupación de variables eslabón proveedores)

En primera instancia se encontró que el 50% de estas empresas cuenta con más de 20 años de experiencia en el mercado, son empresas reconocidas y en las entrevistas sostenidas con los productores algunos reconocen ciertos nombres. El 31% de las empresas encuestadas están en el rango de 0 a 9 años de experiencia en el mercado, por lo que se pueden catalogar como empresas jóvenes, el 40% de estas empresas jóvenes están ubicadas en el municipio de Cerete, en Montería el 60% restante.

También se realizó un ACP Ponderado en el software libre R Versión 3.1.2., con el fin de determinar las correlaciones entre las variables y así explicar cómo los proveedores de agroinsumos de la berenjena se desempeñan en la cadena de suministro. (Ver Anexo D. Tratamiento estadístico por eslabón en el software R)

EL ACP Ponderado muestra que las variables V7 (Tasa de interés efectiva anual), V6 (Plazo promedio para cancelación de créditos), V2 (Tipo de servicio postventa ofrecido al productor por la compra de agroinsumos y/o maquinaria), V15 (Conocimiento sobre la condición exportable de la berenjena) y V1 (Oferta de servicios postventa); son las que más aportan significativamente a la primera componente, mientras que en la segunda componente el aporte lo hacen las variables V5 (Criterios para otorgar crédito a

productores), V8 (Pertenencia a programas gubernamentales que apoyen la comercialización de agroinsumos), V9 (Cantidad de semilla vendida a productores por año), V11 (Escolaridad del personal de ventas) y V 13 (Tipo de apoyo a la cadena).

La tasa de interés que manejan los proveedores de agroinsumos los créditos es de 2,5%. El tiempo máximo para la cancelación del crédito en el 53% de las empresas que ofrecen crédito es de 1 mes, el 27% otorga 4 meses de plazo, el 13% 6 meses y el 7% 2 meses.

El 69% de los proveedores ofrece servicios posventa a los agricultores y no realizan distinción entre el cultivo al que se dedican sus clientes. La asistencia técnica es el servicio posventa que más se ofrece, seguido de capacitaciones, divulgación de cartillas, folletos publicidad, y otros servicios como lo son la asesoría técnica, vale la pena resaltar que asesoría técnica y asistencia técnica no significan lo mismo, la asistencia técnica implica acompañamiento por parte de un profesional principalmente un ingeniero agrónomo en las instalaciones o predio del cultivo, la asesoría técnica puede brindarse en las instalaciones donde el cliente realiza la compra, en la mayoría de veces la asesoría está relacionada con el producto que se está adquiriendo.

El 62,5% de las empresas encuestadas no tenían conocimiento de que la berenjena es una apuesta competitiva para Córdoba. Lo que demuestra la poca divulgación que se realiza de los programas de apoyo, desarrollo económico y agroindustrial por parte de las instituciones soporte, dado que ninguna de las empresas proveedoras encuestadas pertenece a algún programa de apoyo gubernamental para la comercialización de productos agrícolas.

Los productos más solicitados por los agricultores son los agroinsumos tales como: Insecticidas: Lorsvan, Roxion, abono foliar, fungicidas: Mancozeb, Benomil, fertilizantes, herbicidas: Glifosato, Paracua, abonos: Triple 15, Urea.

En cuanto materiales, equipos y herramientas, se encuentran guadañadoras, palas, machetes, fumigadoras de espalda de 20 litros manual, bolsas de semillero, como se puede inferir en el cultivo de berenjena no se utiliza maquinaria pesada, esto está relacionado con la extensión de tierra en las que se cultiva la berenjena que no superan las 2 ha generalmente, y corrobora la tesis de estudios anteriores que describen el sistema de producción de berenjena en Córdoba como artesanal.

La semilla de berenjena es vendida en bolsas de 2 a 5 g, la demanda de estas semillas no es considerable, debido a que los agricultores realizan semilleros propios, en promedio los proveedores de agroinsumos venden 4.000 g de semilla de berenjena al año, la empresa que suministra esta semilla a los proveedores es Fercon S.A. que tiene su sede principal en la ciudad de Cali, la semilla que suministra esta empresa es conocida como Long Purple o violeta larga certificada por el ICA, los meses de mayo y marzo son los meses de mayor venta de la semilla.

### **2.3.3 Análisis eslabón comercializadores**

La información con la que se cuenta para analizar a los comercializadores consta de 41 preguntas de diferentes tipos (dicotómicas, politómicas y Likert), distribuidas en cinco (5) variables latentes "V1=Capacidad de gestión comercializadores", "V2=Conocimiento del cliente", "V3=Percepción entorno económico", "V4=Prácticas de comercialización", y "V5=Relaciones con la producción", aplicadas a 18 encuestados. Por lo que se realiza un tratamiento similar al realizado con los productores:

- Primero se aplica un ACP Ponderado con el fin de determinar las correlaciones entre las variables (preguntas) y
- Seguidamente, un AFM para elegir las variables latentes que minimizan la variabilidad de la información.

El análisis ACP Ponderado y AFM se realizaron en R Versión 3.1.2. Este análisis se realiza de acuerdo con la agrupación de variables relacionadas en el Anexo C para el eslabón comercializadores y el procedimiento está descrito en el Anexo D.

Los resultados obtenidos muestran que se deben priorizar las variables "V3=Percepción entorno económico", "V2=Conocimiento del cliente" y "V1=Capacidad de gestión comercializadores" para identificar aquellos factores que están condicionando el desempeño de los comercializadores en la cadena.

#### **Percepción del Entorno Económico**

En la variable latente Especialización de la mano de obra, las preguntas V34 (Percepción sobre la calidad la berenjena producida para satisfacer el mercado local), V35 (Percepción sobre la suficiencia de producción para satisfacer el mercado local) y V39 (Recepción de propuestas para pertenecer a cadenas productivas) son los que más caracterizan la primera componente, mientras que la segunda componente es más caracterizada por las preguntas V27 (Estabilidad de los precios de berenjena) y V30 (Percepción de la intervención estatal en la productividad y competitividad del sector hortalizas).

El 89% de los comercializadores considera que la producción de berenjena en Córdoba es suficiente en cuando a cantidad y calidad. El 11% restante en ambos casos considera que a pesar de que la berenjena que se cultiva en el departamento es buena, solo cumple con las características de calidad en ciertas épocas del año, las de invierno principalmente, en verano la berenjena es escasa y de mala calidad.

El 21% se asocia con otros comercializadores para comprar en volumen diferentes productos agrícolas, principalmente para conseguir menores costos del producto, menores costos de transporte y para compartir los costos de comprar. El 79% que no se asocia indica que las razones obedecen a desacuerdos, desconfianza, no existe una cultura de asociación, les gusta trabajar individualmente, no hay cumplimiento de los acuerdos que se establecen

y miedo a salir estafado o perder dinero. A esto se suma que el 88% de los comercializadores encuestados manifestó no haber recibido propuestas de encadenamiento por parte de instituciones soporte y el 12% sí las ha recibido.

### **Conocimiento del Cliente**

En la variable latente Conocimiento del cliente, las preguntas V25 (Variación de los niveles de ventas de berenjena fresca en el último año) y V31 (Variedades de berenjena preferidas por consumidores) son los que describen mejor la primera componente, mientras que la segunda componente es más caracterizada por las preguntas V19 (Mes del precio de venta más alto de la berenjena fresca) y V33 (Problemas más frecuentes en la negociación del consumidor de berenjena).

La principal unidad de venta de la berenjena es el bulto o saco, también se vende por Kg y por unidad. Los productores de berenjena venden su producción por bultos a los comercializadores y al menudeo en su parcela. Los comercializadores mayoristas compran bultos y venden bultos, los comercializadores minoristas (colmenas de plazas de mercado, negocios de venta de frutas y verduras) compran bultos a intermediarios y venden por unidad. Los supermercados (comercializadores minoristas) compran por Kg y venden por Kg.

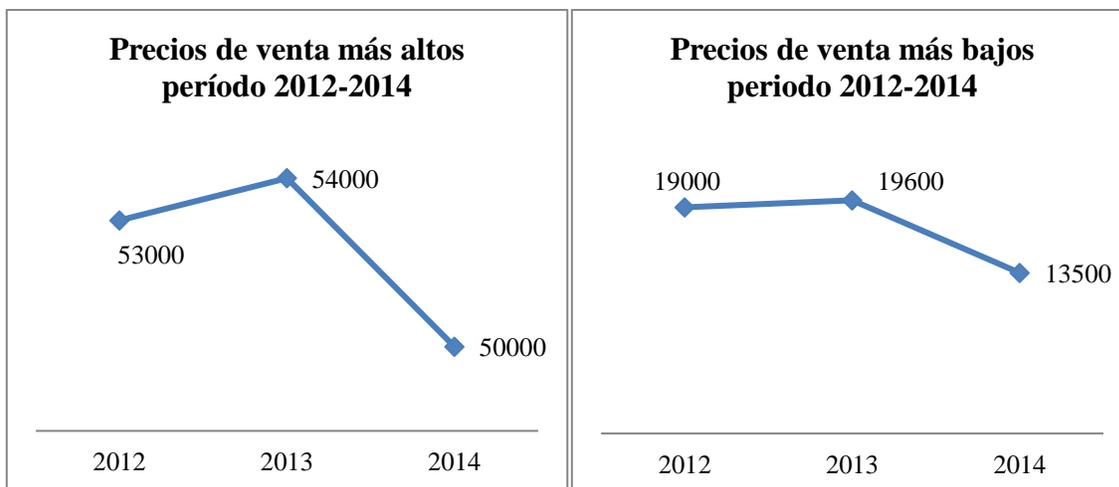
Los precios de la berenjena son variables, dependen de las estaciones (invierno y verano) de la región. Durante el periodo de aplicación de encuestas, que correspondió a invierno, el precio de venta de comercializadores mayoristas fue de \$20.000/bulto en promedio, sin embargo, en otros meses del año alcanzó los \$60.000/bulto. Los precios por Kg varían entre \$300 y \$800, el precio por unidad de berenjena se sitúa entre los \$100 en los meses de precios bajos y \$500 cuando los precios son altos. Para los comercializadores de berenjena el mes del precio más alto es el mes de marzo, aunque en general los meses de verano son de buenos precios para el comercio de la hortaliza.

Por el contrario, los meses de precios bajos son los del segundo semestre del año especialmente septiembre, la Figura 2.2 muestra los precios/bulto de venta promedio más altos y más bajos del periodo 2012-2014.<sup>2</sup>

En cuanto al aumento de las ventas el 42% de los encuestados consideran que las ventas permanecieron igual, el 37% que aumentaron y el 21% que bajaron. Respecto al número de consumidores de berenjena, el 79% de los comercializadores consideró que en el último año el número de consumidores de berenjena aumentó y que la variedad más apetecida es la criolla lila, larga y grande. El 21% restante considera que la demanda de berenjena no varió.

---

<sup>2</sup> El año 2013 reportó el precio más alto y se conoció a través de las entrevistas a los productores que estos buenos precios de 2013 estimularon el cultivo de la hortaliza, lo que generó una sobreoferta de berenjena para el año 2014, que se vio reflejado en los precios de venta.



**Figura 2.2 Precio/bulto de berenjena en Córdoba 2012-2014**

Fuente: Elaboración propia

La percepción que tienen los comercializadores respecto al riesgo de comercializar con hortalizas frescas es la siguiente: el 42% respondió que el sector tiene algún riesgo, el 32% que es muy riesgoso, el 21% que el riesgo es bajo y el 5% que es medianamente riesgoso. Del estudio se pudo obtener que el riesgo radica en que el manejo postcosecha de las hortalizas no es el adecuado, los golpes, enfermedades que generan pérdidas del producto, la sobreoferta en algunos meses del año, la negociación con los clientes, que muchas veces se ve reflejado en la pérdida de dinero.

El principal problema en la negociación con el consumidor es la calidad del producto (68%), seguido por el precio (53%) que varía dependiendo de la época del año, empaque del producto (16%) y otros (11%).

### **Capacidad de Gestión de los Comercializadores**

En la variable latente Capacidad de Gestión del Comercializador, las preguntas V6 (Costo de comercialización más alto de la berenjena fresca), V23 (Conocimiento sobre la reglamentación y regulación del mercado de hortalizas), V38 (Conocimiento de instituciones soporte para la comercialización y competitividad de los productores de Berenjena), V47 (Conocimiento de normas técnicas para tratamiento de postcosecha) y V49 (Estrategias propuestas para reducir costos de transporte) son los que más caracterizan la primera componente, mientras que la segunda componente es más caracterizada por las preguntas V2 (Experiencia en comercialización de berenjena como producto fresco), V5 (Registro de los costos de comercialización), y V7 (Porcentaje de pérdida de producto fresco por actividades de comercialización).

Los comercializadores encuestados afirmaron que el costo más alto de comercializar berenjena es el costo de comprar el producto fresco en un 47,3% y el costo de transporte

para sacar la berenjena de los sitios de producción o de las plazas municipales a otras ciudades, fue señalado por otro 47,37%. Sólo el 5,26% relacionó el costo de la mano de obra utilizado para el cargue y descargue de los bultos de berenjena en las fincas o predios y en las plazas de mercado o centros de abastos. Ninguno de los encuestados considera el costo de conservación del producto como un costo alto, esto ocurre debido a que la berenjena no recibe ningún tipo de tratamiento poscosecha para la conservación del fruto durante la comercialización a excepción de los supermercados.

El 68% de los comercializadores no posee conocimientos sobre la reglamentación y regulación del mercado de hortalizas, el 21% poco conocimiento, el 11% tienen suficiente conocimiento y ninguno respondió conocer. Se observó que en los supermercados el personal encuestado reconoce normas como el decreto 3075 de 1997 (Buenas Prácticas de Manufactura) y la NTC 5422 (Empaque y embalaje de frutas, hortalizas y tubérculos frescos).

El 89% de los comercializadores encuestados no tiene conocimiento de las instituciones que pueden ayudarlo a asociarse y mejorar la productividad de su negocio, el 11% restante reconoce al SENA principalmente como institución que capacita y apoya a las pequeñas y medianas empresas. En Córdoba no existe una asociación de comercializadores de hortalizas y solo el 11% de los encuestados ha recibido propuestas por parte de entes gubernamentales para vincularse a proyectos de encadenamiento.

Adicionalmente, el 60% de los comercializadores costean el transporte por saco o bulto transportado, el otro 40% lo hace por flete estándar, en Córdoba no existen asociaciones o cooperativas de transporte de hortalizas frescas, los vehículos son contratados particularmente por los comercializadores, la berenjena no se transporta sola, por lo general se transporta con ají, habichuela, y otro tipo de hortalizas. El 43% de los comercializadores que transportan berenjena opina que si las vías estuvieran en mejor estado disminuirían los costos de transporte, otro 29% cree que esto se logra si los precios de la gasolina se redujeran o permanecieran igual, un 14% si existiera una asociación de transportistas y el 14% restante si la programación de las rutas de cargue de producto fresco fuera más eficiente.

#### **2.3.4 Análisis de instituciones soporte**

Instituciones Soporte son entidades que brindan apoyo, acceso a información e intercambio de procesos que permitan el mejoramiento continuo y la innovación dentro de una cadena productiva. En esta investigación se aplicó una encuesta a las instituciones soporte de la cadena productiva de la berenjena entre estas: Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER), CORPOICA, ICA, Universidad de Córdoba, Cámara de Comercio de Montería, Secretaria de Desarrollo Económico y agroindustrial, Banco Agrario,

ASOHOFRUCOL, FINAGRO, con el fin de obtener información sobre las políticas y acciones concretas de fortalecimiento a la cadena productiva de la berenjena en Córdoba.

Todas las organizaciones encuestadas han institucionalizado políticas de apoyo a encadenamientos productivos en atención al cumplimiento de la Ley 811 de 2003 por medio de la cual se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario y se establece su fortalecimiento financiero. De esta manera, en sus planes operativos están obligadas a ejecutar proyectos o programas de apoyo al sector agropecuario del departamento.

El estudio reveló que las organizaciones encuestadas han participado y liderado proyectos de fortalecimiento a las cadenas productivas en el Departamento de Córdoba y el 57% de ellas ha priorizado proyectos de apoyo a la creación y fortalecimiento de la cadena productiva de la berenjena en su plan estratégico u operativo como es el caso de ASOHOFRUCOL y Gobernación de Córdoba. De estas el 47% ha ejecutado proyectos encaminados a la creación y fortalecimiento de la cadena productiva de la berenjena. La mayoría de estos proyectos están direccionados a brindar capacitación, mejoramiento de tecnologías de producción y estudios de mercado, seguidos de proyectos orientados a asociatividad y encadenamiento, competitividad y apertura de canales de comercialización.

Las organizaciones soporte encuestadas tienen unidades de extensión dentro de la estructura organizacional que soportan la gestión de los proyectos mencionados y el 57% cuentan con los recursos económicos necesarios para la ejecución y puesta en marcha de los mismos. El 43% restante cuenta con mecanismos para acceder a convocatorias de organismos financiadores como COLCIENCIAS, MADR, entre otros, para obtener recursos.

El presupuesto anual asignado en la Secretaría de Desarrollo Económico y Agroindustrial (única entidad que declaró este rubro para la investigación) es 2.000 millones de pesos más los recursos del fondo regalías a través del Fondo de Adaptación de la Presidencia de la Republica.

- **Cumplimiento de normativa relacionada con BPA y BPM**

El 71% de las organizaciones soporte tienen conocimiento del nivel de cumplimiento de BPA y BPM en la producción y comercialización de la berenjena, el otro 29% que no tiene conocimiento son el INCODER y la Cámara de Comercio de Montería. Las organizaciones con conocimiento del nivel de cumplimiento de la normativa afirman que actualmente en Córdoba no existe ningún predio certificado en BPA para producción de hortalizas, sin embargo, instituciones como el ICA y CORPOICA adelantan proyectos con el ánimo de certificar predios de los productores de la región entre ellos están incluidos y priorizados las asociaciones como VERDE LIMPIO y HORTYFRU. El 100% de las organizaciones soporte encuestadas tienen conocimiento en lo establecido en el PNFH (2012-2022) que

prioriza la producción de hortalizas, en especial la de berenjena como apuesta competitiva del departamento.

A pesar de que el 100% de las organizaciones soporte están interesadas en participar en la constitución de la cadena productiva de la berenjena en Córdoba, son pocos los resultados obtenidos sobre la constitución y fortalecimiento de la misma en el departamento, a pesar de que cuentan con los recursos y la capacidad operativa para organizar la cadena de suministro o cadena productiva.

Para la conformación de la cadena productiva de la berenjena las organizaciones soporten opinaron que hace falta: Capacitar a las asociaciones y agricultores no asociados sobre los beneficios que las instituciones gubernamentales les brindan al asociarse, crear políticas de apoyo a los agricultores, estudios de condiciones agroecológicas, mejoramiento de las vías de transporte, implementación de sistemas de riego, promover la asociatividad y el emprendimiento entre pequeños<sup>3</sup> y medianos agricultores, facilitar el acceso de los pequeños a paquetes tecnológicos, estudios de mercado bien detallados, identificar e integrar a los diferentes eslabones de la cadena productiva de la berenjena, dar valor agregado y transformar la berenjena fresca mediante la creación de empresas agroindustriales.

- **Programas y proyectos encaminados al fortalecimiento de la producción y comercialización de la berenjena en el departamento de Córdoba.**

Las organizaciones soporte encuestadas han desarrollado e implementado proyectos que buscan el fortalecimiento de la producción de la berenjena en el departamento de Córdoba.

Se destaca el proyecto *“Selección de cultivares competitivos de berenjena para los mercados nacionales y de exportación, con adaptación a las condiciones del caribe colombiano”* liderado por CORPOICA, MADR, ASOHOFrucol, Universidad de Córdoba, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola, Gobernación de Córdoba, Gobernación de Sucre, HORTISINU y el ICA, desarrollado en el año 2011, mediante el cual se elaboró un diagnóstico de la producción y comercialización de la berenjenas en los departamentos de Córdoba y Sucre. Se clasificaron los genotipos de acuerdo a las zonas de producción y se seleccionaron las variedades CO15 y CO29 por ser las de mejor adaptación. El resultado de este proyecto fue la entrega de semillas mejoradas fenotípicamente a los productores de Córdoba y Sucre para continuar con el cultivo de las variedades seleccionadas. Sin embargo, la encuesta de los productores evidenció que estos cultivares no se están produciendo y por consiguiente su paquete tecnológico tampoco se aplica.

---

<sup>3</sup> El decreto 2179 de 2015 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) establece que se entiende por pequeño productor a la persona natural que posea activos totales no superiores a los 284 SMMLV (\$195.804.936)

Estas organizaciones también cuentan con programas que buscan el fortalecimiento de las zonas rurales en el departamento de Córdoba, como es el caso del programa de Incentivo de Capitalización Rural (ICR), desarrollado en conjunto con el Banco Agrario y la Gobernación de Córdoba, cuyo principal objetivo es facilitar el acceso a créditos de pequeños y medianos productores, donde la gobernación de Córdoba responde hasta el 30% del monto del crédito solicitado.

ASOHOFRUCOL a través del programa de Escuelas de Campo (ECAs) ofrece servicios de asistencia técnica dirigida a los productores de frutas y hortalizas a través de profesionales y tecnólogos capacitados en BPA y BPM. ASOHOFRUCOL también fomenta la conformación de asociaciones de pequeños y medianos productores en el departamento de Córdoba. Y el principal resultado es el nacimiento de HORTYFRU y VERDE LIMPIO, dos asociaciones de productores de frutas y hortalizas ubicadas en los municipios de Montería, Cerete y San Pelayo.

Con la información anterior se propone un árbol del problema utilizando el enfoque de marco lógico, el cual logra sintetizar la situación de la cadena productiva y resalta que el modelo actual de la producción y comercialización de la berenjena como producto fresco es el principal problema, debido a la ausencia de la asociatividad dentro y entre los eslabones, falta de acuerdos de colaboración y cooperación, poca aplicación de buenas prácticas empresariales y ausencia de tecnologías de calidad y agrologística. Esto trae como consecuencia que los productores perciban bajas utilidades, que los comercializadores no conozcan cuanto dejan de ganar por la ausencia de BPM y agrologística en el transporte, almacenamiento y venta final del producto fresco, aunque en la actualidad este sea el eslabón que obtenga la mayor ganancia en la cadena de valor. Del mismo modo, los proveedores de agroinsumos no saben cuánto podrían mejorar sus beneficios en escenarios que contemplen acuerdos y colaboración con el eslabón de la producción.

De continuar la estructura actual, la berenjena producida en Córdoba nunca será competitiva en el mercado nacional e internacional y por consiguiente no podrá convertirse en un producto exportable tal como lo establece la Agenda de Interna para la Productividad y Competitividad de Córdoba y el Plan Nacional de Fomento Hortifrutícola 2012-2022. Por lo que en los capítulos sucesivos se propone como solución a esta problemática el diseño de la cadena de suministro de esta hortaliza en un nivel estratégico y operacional mediante la integración del modelo SCOR y la optimización matemática. (Véase Figura 2.3 Árbol del problema de la cadena productiva de la berenjena en Córdoba desde la perspectiva de marco lógico).



### 3. CAPÍTULO III

#### **DESPLIEGUE DEL MODELO SCOR (*SUPPLY CHAIN OPERATIONS REFERENCE MODEL*) EN LA CADENA DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIA DE LA BERENJENA EN CÓRDOBA**

El enfoque basado en cadenas productivas o cadenas de suministro resulta ser el más acertado en los países en desarrollo a la hora de identificar la política y los obstáculos institucionales de la competitividad e innovación, debido a que las cadenas productivas promueven el aumento de la productividad, el tamaño de la industria y fomentan los sistemas regionales de innovación, a diferencia del enfoque sectorial tradicional (Theus & Zeng; 2012). En este sentido, la Agencia para el Desarrollo Internacional - USAID (2014) señala que el enfoque de cadenas de valor debe respaldarse, sobre todo donde estos sistemas son poco estructurados, la confianza entre las partes es débil (por lo que se necesita un esfuerzo especial para construir capital social) y los obstáculos deben ser abordados por múltiples actores y segmentos.

Por su parte, el estado colombiano considera a la agricultura como un motor potencial de crecimiento económico y el Plan Nacional de Desarrollo (2014-2018) en lo que denomina Estrategia de Transformación del Campo, ha priorizado el desarrollo de capacidades productivas y comerciales como mecanismo de intervención. En consecuencia, el Plan identifica los modelos de acompañamiento para la organización de negocios rentables sobre la base de saberes locales y regionales; la incorporación de buenas prácticas de producción y comercio; y el fortalecimiento de las figuras asociativas que mejoren las capacidades productivas en apuestas de impacto regional, como las estrategias que facilitan la incursión de productos agrícolas en mercados bajo condiciones justas y competitivas. He aquí que todos los subsectores de la agricultura del país, deban dirigir esfuerzos hacia la organización y productividad de las cadenas productivas (DNP, 2015)

El subsector hortifrutícola, siendo uno de los que necesita mayor intervención en esta dirección, adelanta planes de negocios para algunos productos priorizados por el Programa de Transformación Productiva. La implementación de este programa demuestra que la introducción en el mercado internacional de frutas y hortalizas está condicionada por las características propias de cada mercado y las exigencias de grandes cadenas o supermercados que constituyen el canal de distribución de mayor volumen para estos productos (PTP et al., 2013).

Estas condiciones son principalmente: volumen de oferta y estabilidad de la misma, garantía de calidad, soporte de marketing (económico y técnico), precio muy competitivo y garantía legal. De este modo, se convierten en prioridades para la producción y comercialización de productos frescos y procesados: el cumplimiento de estándares del mercado, documentación de exportación (certificados de conformidad y documentos

fitosanitarios), buenas prácticas en el manejo del producto (post cosecha, trazabilidad, cadena de frío e higiene), y logística de distribución y transporte (plazos de entrega). Los aranceles agrícolas, barreras de comercio internacional, volatilidad de los precios, acumulación de poder en las cadenas de valor y la concentración de la mayor parte de las importaciones en mercados como Estados Unidos y Europa, son condiciones que también deben tenerse en cuenta en las aspiraciones de impulsar el sector hortifrutícola en Colombia.

De esta manera, aunque por una parte se promueve que el encadenamiento de los eslabones productivos puede ser la solución a los problemas de competitividad en el sector agrícola y subsector hortifrutícola, por otra está claro que las condiciones impuestas por el entorno internacional son durísimas para medianos o pequeños productores. Sin embargo, enfoques de trabajo colaborativo, materializados en asociaciones o cooperativas y la organización de cadenas, hacen factible la participación de este tipo de proveedores.

El presente capítulo se ocupa de realizar un despliegue de indicadores clave de desempeño (KPI's) desde el enfoque del modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference Model*), con el fin de alinear las operaciones de una cadena agroalimentaria de una hortaliza con un mercado nacional e internacional, a través de la coordinación y colaboración entre eslabones que intervienen en el aprovisionamiento, producción, entrega y devoluciones de producto fresco y procesado, debido a que más adelante se pretende relacionar la gestión estratégica y la gestión operacional en un modelo matemático para dicha cadena.

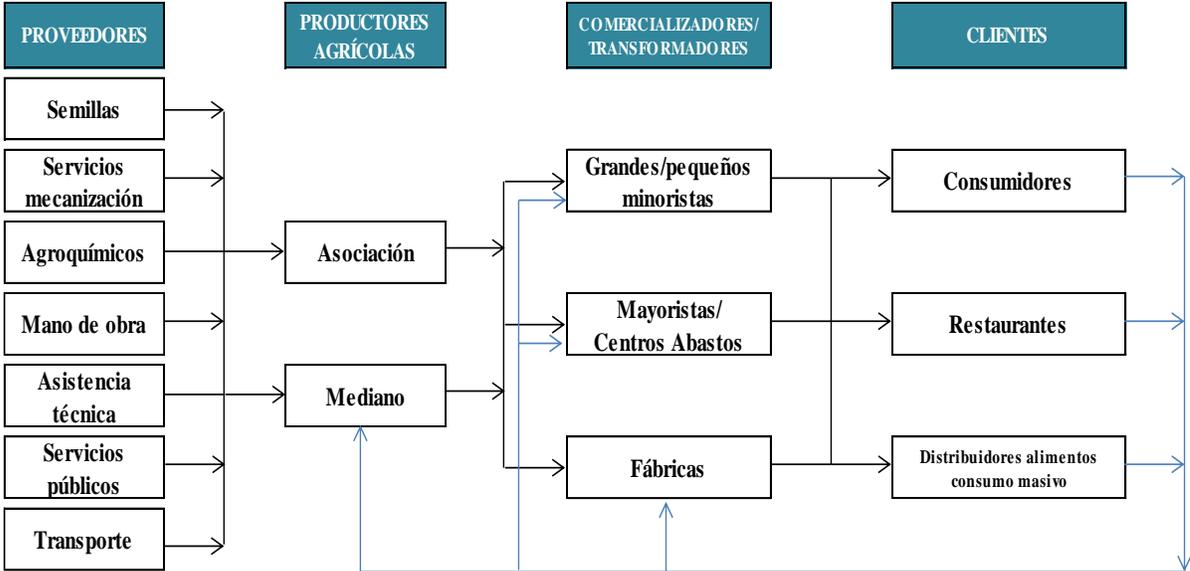
A través del análisis de bibliografía especializada sobre el modelo SCOR y el diagnóstico realizado en el capítulo anterior se proponen los indicadores del modelo de gestión para la Cadena de Suministro Agroalimentaria de la Berenjena en el departamento de Córdoba (que de aquí en adelante se denota CSABC).

### **3.1 NIVEL 1 DEL MODELO SCOR APLICADO EN LA CSABC: OBJETIVOS METAS E INDICADORES**

La Figura 3.1 identifica a los principales responsables del aprovisionamiento, producción/transformación y comercialización en la CSABC tanto de producto fresco como procesado. Las líneas negras denotan el flujo de materiales e información aguas abajo, en tanto que las líneas azules representan el flujo de los mismos ítems, aguas arriba.

La Figura 3.2 ubica a los involucrados en el diseño de la CSABC secuencialmente en las etapas de valor del suministro de berenjena, por lo que se utilizan nombres propios de organizaciones ya existentes. Se ilustran los procesos básicos SCOR (planeación, aprovisionamiento, producción, entrega, devoluciones y apoyo) para cada eslabón. Además se muestra el enlace incondicional que debe existir entre eslabones a través de flujos

bidireccionales de materiales (materia prima, producto en proceso y producto terminado). Por tanto, la figuras 3.1 y 3.2 son la conceptualización inicial de la CSABC deseada para el mediano y largo plazo, y las primeras herramientas del modelo de gestión a desarrollar.

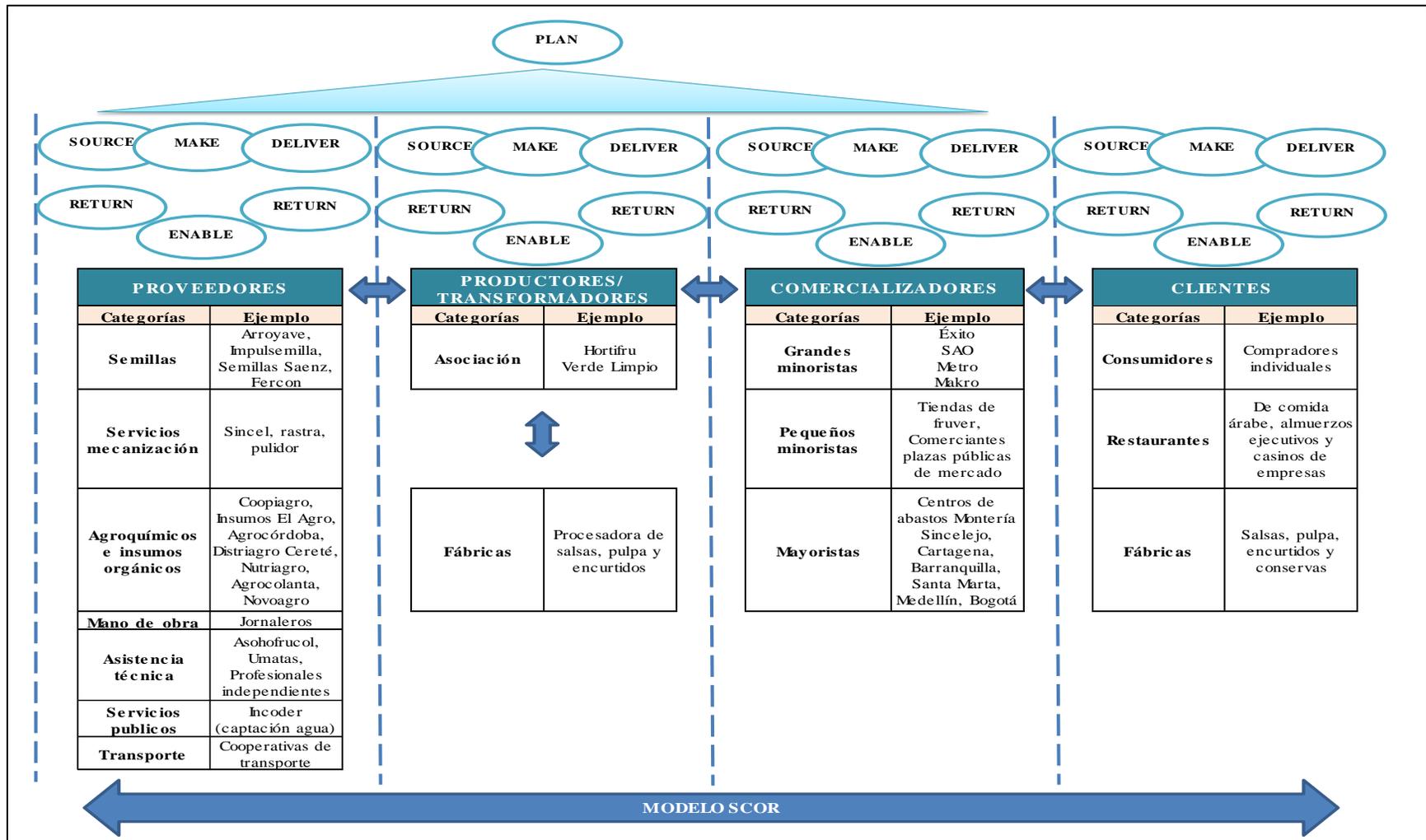


**Figura 3.1 Diagrama de la CSABC**

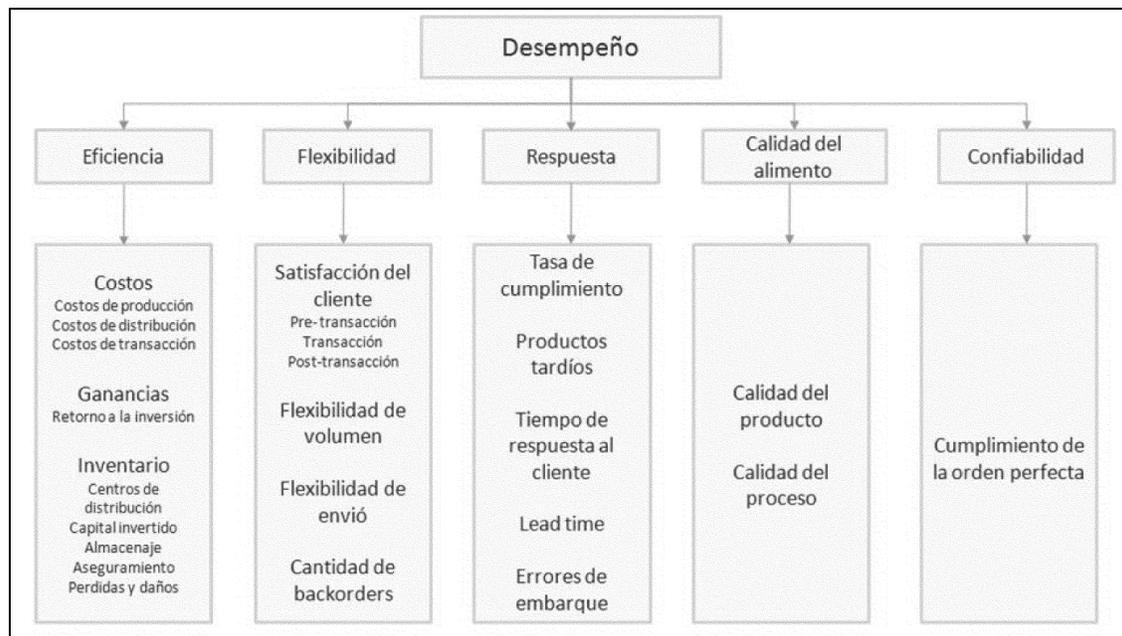
Fuente: Elaboración propia

Una vez definida la cadena de suministro objeto de estudio, se procede a la formulación de objetivos de desempeño competitivo e indicadores basados en los atributos que cuida el modelo SCOR en toda cadena de suministro.

En el caso específico de la CSABC se tendrá como referente la tabla de atributos elaborada por Santana & Granillo (2012), la cual es producto de una revisión que realizan los autores en trabajos académicos que han propuesto e implementado indicadores de medición de atributos en cadenas de suministro agroalimentarias. De esta manera, a los 5 atributos clásicos establecidos por el SCOR (confiabilidad, flexibilidad, capacidad de respuesta, costo y activos), los autores agregan el atributo <<Calidad del alimento>>, definido por la calidad del producto y la calidad del proceso. Y en vez de hablar de Costos, plantean como atributo la <<Eficiencia>> de costos, ganancias y de manejo de inventario (Figura 3.3).



**Figura 3.2 Modelo de la CSABC bajo el enfoque SCOR**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.3 Atributos de desempeño y métricas para cadenas de suministro agroalimentarias**

Fuente: Santana & Granillo (2012)

Respecto al resto de atributos, los autores plantean que Flexibilidad está definida por la satisfacción del cliente (evaluada antes, durante y después de la transacción); flexibilidad del volumen; flexibilidad del envío y cantidad de *backorders* (pedidos pendientes). La Capacidad de respuesta es explicada por la tasa de cumplimiento, productos tardíos, tiempo de respuesta al cliente, *Lead Time* y errores de embarque. Entre tanto, la confiabilidad es medida por el cumplimiento de la orden perfecta.

Como se pudo notar en el capítulo anterior, la falta de una organización de cadena, el escaso nivel de asociatividad de los productores y la falta de acuerdos con otros eslabones, impide que en la actualidad la CSABC haya trazado algún plan estratégico para la obtención de mayores rendimientos, minimización de costos y cumplimiento de los requisitos del cliente. En consecuencia, el presente estudio no puede mostrar la línea base de los indicadores diseñados y tampoco entregar una comparación cuantitativa respecto una cadena de suministro agroalimentaria mejor en su clase (*Best In Class*) como se propuso inicialmente en la metodología de investigación. En cambio, seguidamente se plantean objetivos, metas y KPI's según el método SCOR, para delinear una ruta de nivel estratégico y operacional a seguir por la cadena productiva de la berenjena, toda vez se materialice la disposición hacia el encadenamiento que manifestaron los eslabones al momento de ser encuestados. Así, el diagnóstico realizado en el capítulo anterior y la definición de metas, servirán en la identificación de buenas prácticas a recomendar a los actores para la organización y constitución de la CSABC.

El modelo SCOR parte de la definición de KPI's estándar. Una vez se mide y conoce la línea base para cada uno se plantean los objetivos y metas, lo cual contrasta con la planeación estratégica tradicional, que en primer lugar diseña estrategias, sigue con objetivos y metas, y finaliza con el establecimiento de KPI's. La tabla 3.1 presenta los indicadores propuestos para los involucrados en la CSABC.

**Tabla 3.1 Despliegue indicadores Nivel 1 de la CSABC**

ATRIBUTOS	EFICIENCIA			FLEXIBILIDAD			CAPACIDAD DE RESPUESTA				CALIDAD			CONFIABILIDAD				
	INDICADOR	INVOUCRADOS	Costo de inventario	Porcentaje de costo total del producto	Margen de utilidad	Satisfacción del cliente	Flexibilidad de volumen	Flexibilidad del envío	Cantidad de backorder	Tasa de cumplimiento	Productos tardíos	Lead Time de la Orden (OLT)	Lead Time de Producción (MLT)	Errores de embarque	Calidad del producto	Calidad del proceso	Merma del proceso	Cumplimiento de la orden perfecta
SUMINISTRO	Semillas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Servicios mecanización				X						X							X
	Agroquímicos e insumos orgánicos				X						X							X
	Mano de obra				X						X							X
	Asistencia técnica				X						X							X
	Servicios públicos				X						X							X
	Transporte				X						X		X					X
PRODUCCIÓN	Asociaciones de productores	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ENTREGA	Comercializadores	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

Como variantes a la propuesta de Santana & Granillo (2012), además de los actores señalados, el despliegue de la CSABC especifica los Costos de inventario, Porcentaje del costo total del producto y Margen de utilidad como indicadores de eficiencia. Diferencia los 2 tipos de *Lead Time* que se pueden entender en la cadena de suministro: el Lead Time de la Orden (*Order Lead Time*) y el Lead Time de Producción (*Manufacturing Lead Time*), y adicionalmente propone el indicador de Merma del proceso, atendiendo al carácter perecedero de la berenjena como producto fresco, incluso en escenarios de transformación agroindustrial.

Respecto a la asignación de KPI's a los actores involucrados en la CSABC, se consideró Satisfacción del cliente, Lead Time de la Orden y Cumplimiento de la Orden Perfecta, como los indicadores que aplican en todos estos eslabones, pues se pretende que estos sirvan de link o enlace en la operación de la cadena, dado que las unidades en que se expresan son comunes en todas las etapas de valor. Entre tanto, a los proveedores de semilla, productores y comercializadores fueron asignados todos los KPI's del despliegue.

La Tabla 3.2 detalla la definición, fórmula de cálculo, unidades y frecuencia de medición de cada KPI por atributo SCOR establecido para la CSABC de acuerdo con Tabla 3.1.

**Tabla 3.2 La formulación de indicadores Nivel 1 de la CSABC**

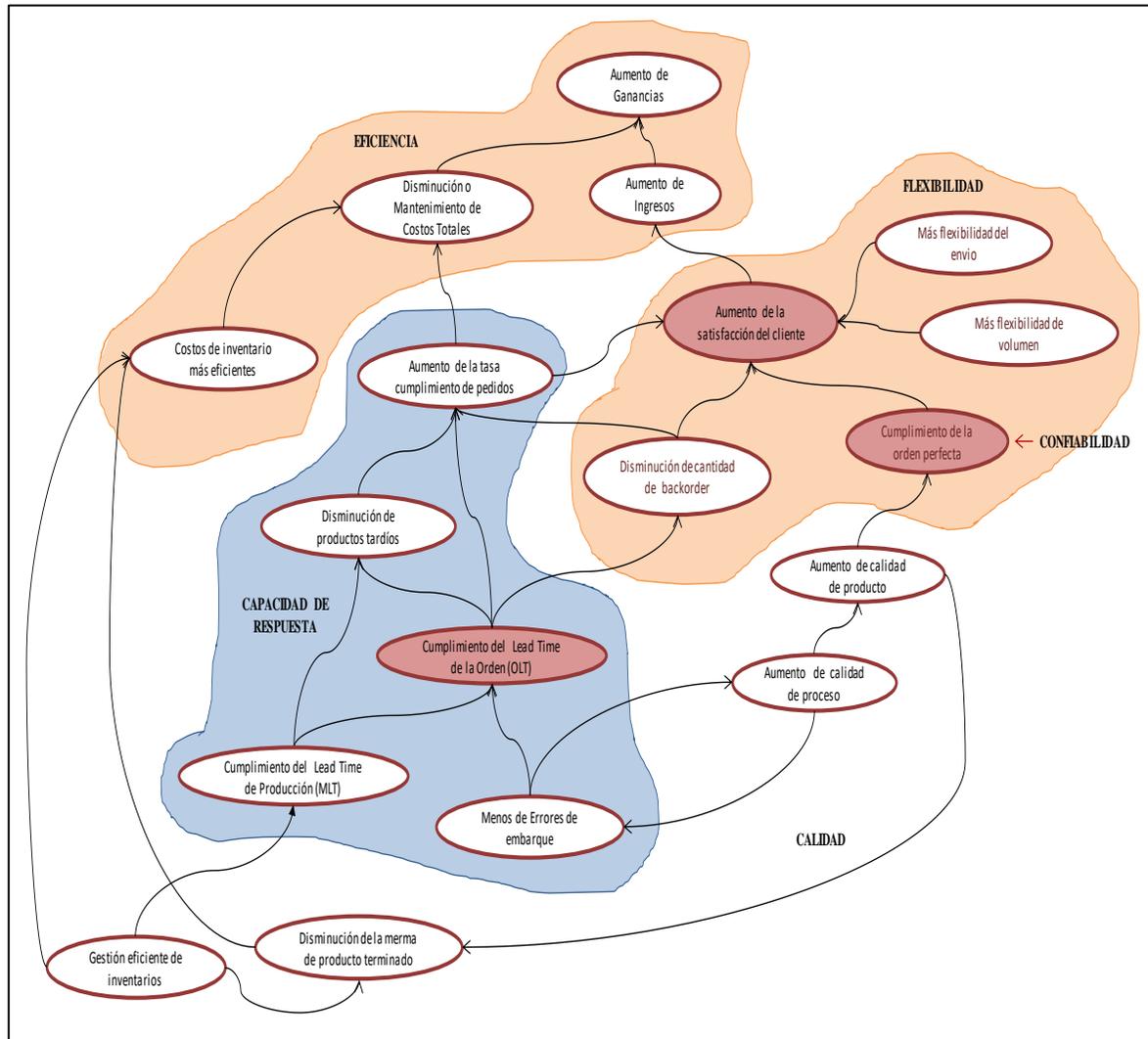
	INDICADOR	DEFINICIÓN	CÁLCULO	UNIDAD	FRECUENCIA MEDICIÓN
EFICIENCIA	<b>COSTO DE INVENTARIO</b>	Mide los costos relacionados con el almacenamiento y mantenimiento del inventario durante el ciclo de cultivo	Valor promedio de inventario por ciclo de cultivo*25%	\$	Ciclo cultivo
	<b>PORCENTAJE DE COSTO TOTAL DEL PRODUCTO</b>	Mide el % del costo de producción o costo de venta del producto por kg respecto al precio promedio por ciclo de cultivo	[Costos de materia prima e insumos + costos directos de fabricación (preparación del terreno, siembra, fertilización, control de malezas, control de plagas y enfermedades y cosecha) + costos indirectos de fabricación] / [Cantidad producida por ciclo de cultivo* Precio promedio de venta]	%	Ciclo cultivo asumiendo que las asociaciones inician el proyecto al mismo tiempo
	<b>MARGEN DE UTILIDAD</b>	Mide el porcentaje de ganancia por cada unidad monetaria de ventas que genera	[Precio promedio de venta en el ciclo de cultivo*Cantidad producida - Costos totales] / Ventas generadas por ciclo de cultivo	%	Ciclo cultivo
FLEXIBILIDAD	<b>SATISFACCIÓN DEL CLIENTE</b>	Mide el % de clientes que califican "satisfechos" al tener la orden perfecta	Nº clientes calificaron "satisfechos" al tener la orden perfecta *100/ Total de clientes atendidos	%	Ciclo cultivo
	<b>FLEXIBILIDAD DEL VOLUMEN</b>	Mide el número de días para alcanzar un incremento del 20% en la producción, sostenible y no planeado, con el supuesto de que no hay restricciones en la materia prima	Días transcurridos desde el pedido aceptado del 20% adicional hasta el alistamiento para el despacho	Días	Cada vez que ocurra y se compara su consolidado por ciclo de cultivo
	<b>FLEXIBILIDAD DEL ENVÍO</b>	Mide el número de días para alcanzar un incremento del 20% en la entrega de pedidos, sostenible y no planeado, con el supuesto de que no existe otro tipos de restricciones	Días transcurridos desde el pedido aceptado del 20% adicional hasta la entrega al cliente	Días	Cada vez que ocurra y se compara su consolidado por ciclo de cultivo
	<b>CANTIDAD DE BACKORDER</b>	Mide el nivel de pedidos atrasados por insuficiencia de inventario	Nº de pedidos no atendidos a tiempo por falta de inventario	Unidades	Cada vez que ocurra y se compara su consolidado por ciclo de cultivo

	INDICADOR	DEFINICIÓN	CÁLCULO	UNIDAD	FRECUENCIA MEDICIÓN
<b>CAPACIDAD DE RESPUESTA</b>	<b>TASA DE CUMPLIMIENTO</b>	Mide el desempeño de la entrega	$\text{Cantidad de órdenes entregadas} * 100 / \text{Cantidad de órdenes recibidas}$	%	Mensual pero consolidando por ciclo de cultivo
	<b>PRODUCTOS TARDÍOS</b>	Mide el nivel de pedidos atrasados por insuficiencia de la distribución y el transporte	Nº de pedidos no atendidos a tiempo por insuficiencia de la distribución y el transporte	Unidades	Mensual pero consolidando por ciclo de cultivo
	<b>LEAD TIME DE LA ORDEN (Order Lead Time)</b>	Mide el ciclo de pedido del cliente	Nº de días transcurridos desde que es aceptada la orden del cliente hasta la entrega del pedido	Días	Mensual pero consolidando por ciclo de cultivo
	<b>LEAD TIME DE LA PRODUCCIÓN (Manufacturing Lead Time)</b>	Mide el tiempo de producción de una Tn de Berenjena	Nº de días transcurridos desde que se genera la orden de producción de 1 Tn hasta que se empaqueta en los sitios de producción	Días	Mensual pero consolidando por ciclo de cultivo
	<b>ERRORES DE EMBARQUE</b>	Mide el desempeño del despacho y transporte del producto	Nº de pedidos que atendidos a tiempo no cumplieron requisitos del cliente atribuibles a distribución y transporte	Unidades	Cada vez que ocurra y se compara su consolidado por ciclo de cultivo
<b>CALIDAD</b>	<b>CALIDAD DEL PRODUCTO</b>	Mide el cumplimiento de normas sanitarias de inocuidad y calidad agroalimentarias atribuibles a producto y requisitos del cliente	% de producto conforme	%	Ciclo de cultivo
	<b>CALIDAD DEL PROCESO</b>	Mide el cumplimiento de normas sanitarias de inocuidad y calidad agroalimentarias aplicable a las hortalizas	% de Cumplimiento de los requisitos de la NTC 5400, BPM y Global Gap (si el producto es de exportación)	%	Ciclo de cultivo
	<b>MERMA DEL PROCESO</b>	Mide el nivel de producto terminado no vendido por alcanzar la vida útil	$\text{Cantidad de producto vencido} * 100 / \text{Cantidad de producto}$	%	Ciclo de cultivo
<b>CONFIABILIDAD</b>	<b>CUMPLIMIENTO DE LA ORDEN PERFECTA</b>	Mide el % de órdenes perfectas (entregadas cumpliendo calidad, cantidad, lugar, tiempo, documentación correcta y precio acordado con el cliente)	$\text{Cantidad de órdenes perfectas} * 100 / \text{Cantidad de órdenes de cliente atendidas}$	%	Mensual pero consolidando por ciclo de cultivo

Fuente: Elaboración propia

Ahora se propone una priorización de objetivos, debido a que no resulta práctico definir un objetivo por cada KPI indicado en Tabla 3.2. Por lo que se plantean relaciones de causalidad entre los KPI's mediante un mapa estratégico tal como lo aplica el *Balance*

Scorecard (BSC), a través del cual se logra la jerarquización de los KPI's de primer nivel de la CSABC y se identifican unos pocos objetivos estratégicos que permitirán asignar metas alcanzables a la cadena (Figura 3.4).

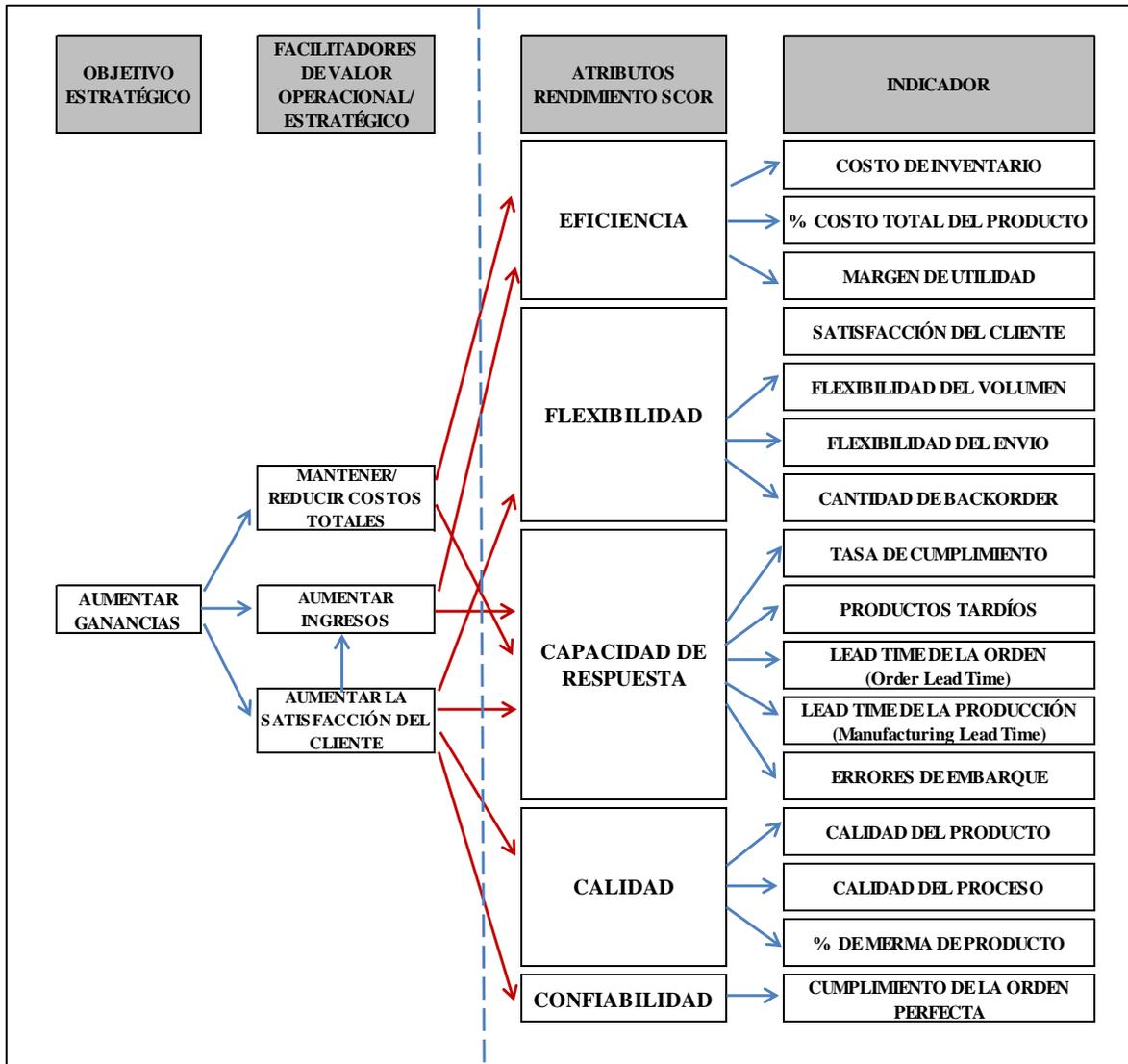


**Figura 3.4 Mapa estratégico de los KPI's Nivel 1 de la CSABC**

Fuente: Elaboración propia

El mapa estratégico ayuda a estructurar los objetivos estratégicos en una secuencia lógica, de modo que puede traducirse estos objetivos en operaciones que son más importantes pero complejas. El concepto de mapa estratégico se origina del BSC y su función consiste en representar visualmente los objetivos críticos de una organización estableciendo relaciones de causalidad entre ellos; esto con el fin de construir una ruta de objetivos operacionales y estratégicos que señalen cómo se llega desde la operación al rendimiento financiero o a la sostenibilidad de una organización. Tales objetivos críticos se enmarcan en cuatro perspectivas: aprendizaje y crecimiento, procesos internos, cliente y finanzas.

Cabe resaltar que la apuesta de jerarquizar y definir relaciones causa-efecto entre los KPI's de primer nivel para la CSABC (Figura 3.5) se apoya en la propuesta de Patiño (2008), la cual logra relacionar los indicadores SCOR con 4 objetivos estratégicos de una cadena de suministro.



**Figura 3.5 Relación de objetivos y mapa estratégico de los KPI's Nivel 1 de la CSABC**  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.5 puede observarse la unión del mapa estratégico (Figura 3.4) y los principales 4 objetivos a los que puede llegarse después de identificar las relaciones de causalidad entre los KPI's. En la parte izquierda de la línea punteada se observa la descomposición por objetivos, mientras que en la derecha los indicadores proporcionan los fundamentos para trasladar los objetivos estratégicos a las operaciones de la CSABC.

De esta manera se diseñan los siguientes **Objetivos y Metas** para la CSABC:

1. Aumentar las ganancias de la CSABC a través del aumento de ingresos, satisfacción de los clientes y reducción de costos.
2. Aumentar en 3% los ingresos totales de la CSABC<sup>4</sup>.
3. Reducir en 5% los costos totales del producto de proveedores de semilla, productores y comercializadores, principalmente mediante la implementación de buenas prácticas logísticas y acuerdos comerciales<sup>5</sup>.
4. Lograr que el porcentaje de satisfacción de los clientes de la cadena se eleve hasta el 90%<sup>6</sup>.

### **3.2 NIVEL 2 DEL MODELO SCOR: DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE PROCESOS EN LA CSABC ACTUAL Y FUTURA**

Una vez identificadas las especificaciones de desempeño mediante objetivos, metas e indicadores, se analiza las conexiones o desconexiones de flujo de producto fresco en la cadena de la berenjena, con el fin de eliminar flujos e instalaciones que no generan valor a los productores y proponer las que si lo generan.

Así se elabora un mapeo de procesos (actual y futuro) utilizando el catálogo de categorías SCOR.

#### **3.2.1 Flujo actual del producto terminado en la CSABC**

El sistema de producción de la cadena productiva de la berenjena en Córdoba, se constituye de pequeños productores que destinan de 0,5 a 2 ha para el cultivo. El 52% de los agricultores no asociados venden la berenjena en sus predios y en segundo lugar en las plazas de mercado (42%). Sólo el 3% la comercializa en la ciudad de Cartagena, y Sincelejo principalmente. Un comportamiento similar presentan los asociados quienes en un 44% venden en sus predios y el 18% en las plazas de mercado. Cuando venden en su finca el transporte es asumido por el intermediario o comercializador y cuando lo llevan a la plaza el transporte es asumido por ellos.

El 89% de los comercializadores considera que la producción de berenjena en Córdoba es suficiente en cuando a cantidad y calidad. El 11% restante considera que a pesar de que la berenjena que se cultiva en el departamento es buena, solo cumple con las características de

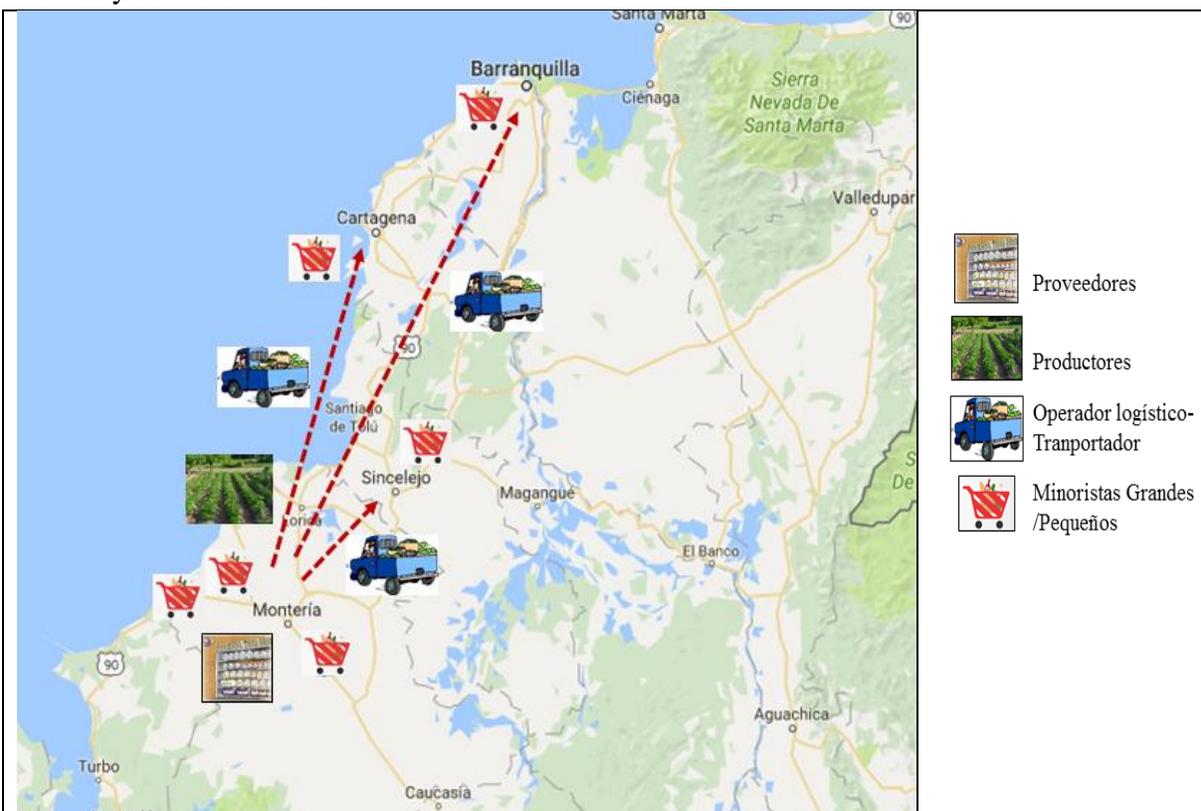
---

<sup>4</sup> Según estimaciones en los trabajos realizados por Swartwood (2003), cuando la implementación es adecuada, un proyecto SCOR debería producir oportunidades iguales al 3% de las ventas.

<sup>5</sup> Se propone como una meta deseada, susceptible de ser ajustada en la fase de implementación que es donde se identificará la línea base de los costos y demás KPI's. Los costos por cultivo actualmente son variables, por lo que la realidad indica que la mayoría de pequeños productores no están asociados.

<sup>6</sup> Suele ser el porcentaje comúnmente utilizado en los proyectos de implementación de Sistemas de Gestión de Calidad o *Balance Scorecard*.

calidad en ciertas épocas del año, las de invierno principalmente, en verano la berenjena es escasa y de mala calidad.



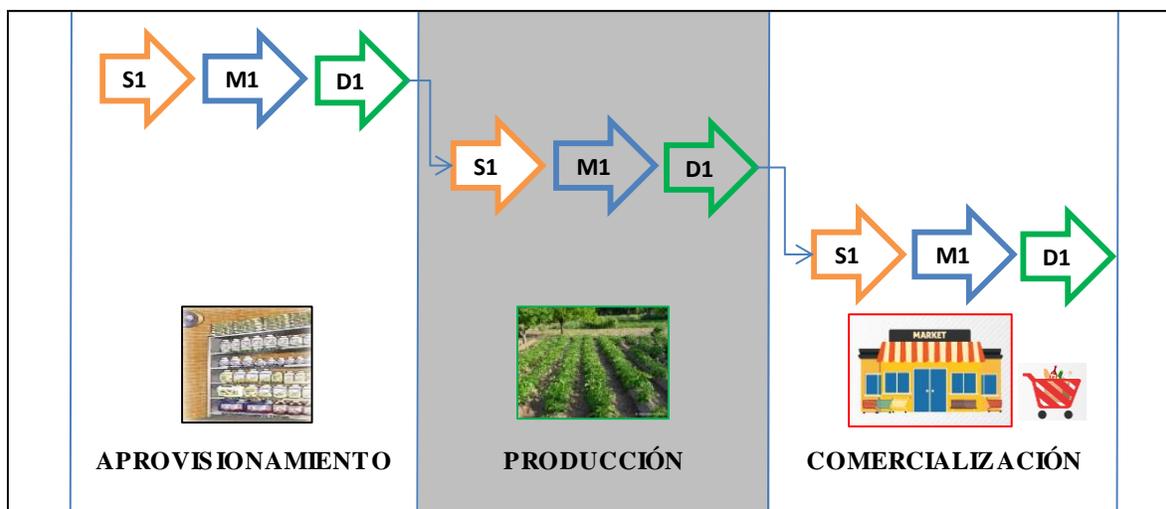
**Figura 3.6 Mapa actual geográfico de la CSABC**

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3.6 presenta el mapa geográfico del flujo actual del producto terminado en la CSABC. De manera simplificada, se observan los distintos eslabones que participan en la obtención de la berenjena como producto fresco desde el proveedor hasta el comercializador. Las flechas rojas continuas representan la ruta de entrega del producto terminado (berenjena en fresco). No hay devolución de producto. Los proveedores son almacenes de agroinsumos ubicados en Montería y Cereté principalmente y como se vio en el capítulo anterior no existen programas de fidelización o de apoyo a los productores de parte de los laboratorios de agroquímicos que permitan identificar rutas de flujo de insumos, razón por lo cual muchos productores cambian de proveedores atendiendo sólo al criterio de bajos precios y/o cupos de crédito.

En el sistema actual de producción los proveedores (minoristas de la cadena de los laboratorios de agroquímicos) entregan productos de acuerdo con la orden D1 que se convierte en la orden S1 recibida por los productores. La producción de la berenjena se da en un modelo *Make to stock*, por lo que los cultivos se realizan según la orden M1 con la que se suministra a los comercializadores D1. El eslabón de la comercialización recibe el producto terminado S1 y entrega a los clientes finales de acuerdo con la orden D1. Ni los

proveedores, productores y comercializadores reciben devoluciones de producto. Como se había mencionado antes, no hay transformación de la berenjena, por lo que es necesario que se active el canal de devoluciones entre los eslabones de la cadena cuando aparezca el eslabón manufactura, en atención a los requerimientos de calidad definidos anteriormente. Se deja explícito en el diagrama de hilos que la planeación es un proceso básico no formalizado en la cadena productiva de la berenjena actual, según hallazgos de la caracterización realizada en capítulo anterior (Véase diagrama de hilos Figura 3.7).



**Figura 3.7 Diagrama de ruta actual para producto terminado en la CSABC**

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 Flujo de producto fresco y procesado de la CSABC futura

En la CSABC futura el aprovisionamiento o distribución de agroquímicos y semillas se sigue dando principalmente desde los municipios de Montería, Cereté y San Pelayo.

La producción sigue liderada por los municipios de: Montería, Cereté y San Pelayo, principalmente y se diseñan los flujos de entrega y devolución de materiales e información de productores agrícolas a proveedores.

En cuanto a la distribución, para el futuro se identifican centros de distribución (*packing house*) que asignarán las cantidades a enviar de producto fresco hasta todos los destinos y tipos de cliente, así como los correspondientes flujos de productos e información de entrega y devolución. No se considera la entrega de producto fresco de los cultivos a mayoristas (centros de abastos) y grandes minoristas (supermercados) de manera directa con el fin de garantizar el cumplimiento de las características de calidad. Los materiales siempre pasan por un *packing house*.

Se contemplan fábricas de salsas, pulpa y encurtidos ubicadas en Córdoba para la transformación de la berenjena.

El mapa geográfico de la cadena futura identifica la entrega de producto fresco a regiones del país de manera frecuente y no estacionaria, estos destinos son: Sincelejo, Cartagena, Barranquilla y Santa Marta en el caribe colombiano. Medellín y Bogotá en el centro del país (Figura 3.8)



**Figura 3.8 Mapa geográfico para producto terminado de la CSABC futura**

Fuente: Elaboración propia

Después de identificar y representar el flujo de material de la CSABC actual en un mapa geográfico y diagrama de hilos, sigue la planeación del flujo de material e información de la CSABC futura mediante la definición de procesos SCOR utilizando la notación de este modelo estándar. De esta manera se denomina:

P1= Planeación de la SC,

P2= Planeación del abastecimiento,

P3= Planeación del cultivo/fabricación,

P4= Planeación de las entregas

El proceso P1 de la CSABC debe ser liderado por la Organización de la Cadena (según lo establece la Ley 811 de 2003 de Cadena Productivas) y principalmente por los productores que se consideran focales (asociaciones de pequeños productores y medianos productores independientes). Esto con el fin de haya garantías para el cumplimiento del Plan Estratégico de la cadena, al cual integrarán los objetivos y metas de eficiencia logística propuestos en el despliegue SCOR del presente trabajo. El Plan Estratégico será el eje central del accionar de la CSABC y regirá los planes P2, P3 y P4 que definen el suministro, producción y entrega de producto fresco y procesado hacia los clientes.

En la CSABC propuesta, los planes P2, P3 y P4 derivan del proceso P1. Por supuesto P2 será ejecutado por los proveedores de semilla, insumos y demás servicios especializados con el fin de asegurar el suministro a los sistemas de producción (cultivos). P3 será materializado por productores y manufactureros o fábricas de salsas, pulpa y encurtidos (por lo que se diferencian 2 categorías derivadas: P3C=Plan Producción cultivos y P3F=Plan Producción fábricas). De la misma forma que P4 es llevado a cabo por las partes involucradas que desarrollan funciones de entrega.

Una vez se establece el proceso de planeación, se debe integrar los elementos de los procesos de suministro, producción, entrega y retornos en cada etapa de valor de la cadena. La figura 3.9 muestra las categorías de procesos propuestas en el flujo de materiales e información de la CSABC.

Del modelo representado en la Figura 3.9 se determina que:

- El aprovisionamiento de agroinsumos y semillas está condicionado por las órdenes (S1) y (S2), condicionadas a su vez por los cultivos que siguen esquemas *Make to stock* (M1) y *Make to order* (M2).
- Las asociaciones de pequeños productores y los medianos productores independientes articulados en el modelo de la CSABC cultivan con base a una previsión y unos pedidos en firme existentes que dependen de la planeación de las fábricas (M2), o simplemente producen para empujar inventarios de producto fresco (M1) dada la ventaja

comparativa de Córdoba de ser uno de los pocos departamentos productores de berenjena en Colombia.

- En tanto los comercializadores de producto fresco pueden ser: grandes minoristas (supermercados), pequeños minoristas y mayoristas (centros de abastos); que generalmente reciben producto fresco con base en la orden (S1).
- Los comercializadores siempre reciben de un *packing house* (centro de distribución) que opera bajo los principios de *crossdocking*.
- Las fábricas procesadoras de salsas, pulpa y encurtidos reciben producto del *packing house* o de los mismos productores de acuerdo con (S2) tal como se indicó arriba.
- Los clientes (consumidores finales, restaurantes y distribuidores de alimentos procesados, reciben producto fresco y/o procesado siguiendo los requerimientos (S1).
- Las devoluciones del producto procesado pueden ser del tipo (SR1)-(DR1) que corresponden a productos defectuosos y (SR3)-(DR3) asignados al producto que está por fuera de la vida útil, por lo que se debe garantizar su disposición final.
- Los consumidores y restaurantes hacen devoluciones sólo por producto defectuoso de acuerdo con (SR1)-(DR1).
- Seguidamente, en la cadena es posible el retorno de productos del manufacturero a productores agrícolas, de los productores agrícolas a los proveedores de semilla y agroquímicos según órdenes (SR1)-(DR1) y (SR2)-(DR2).

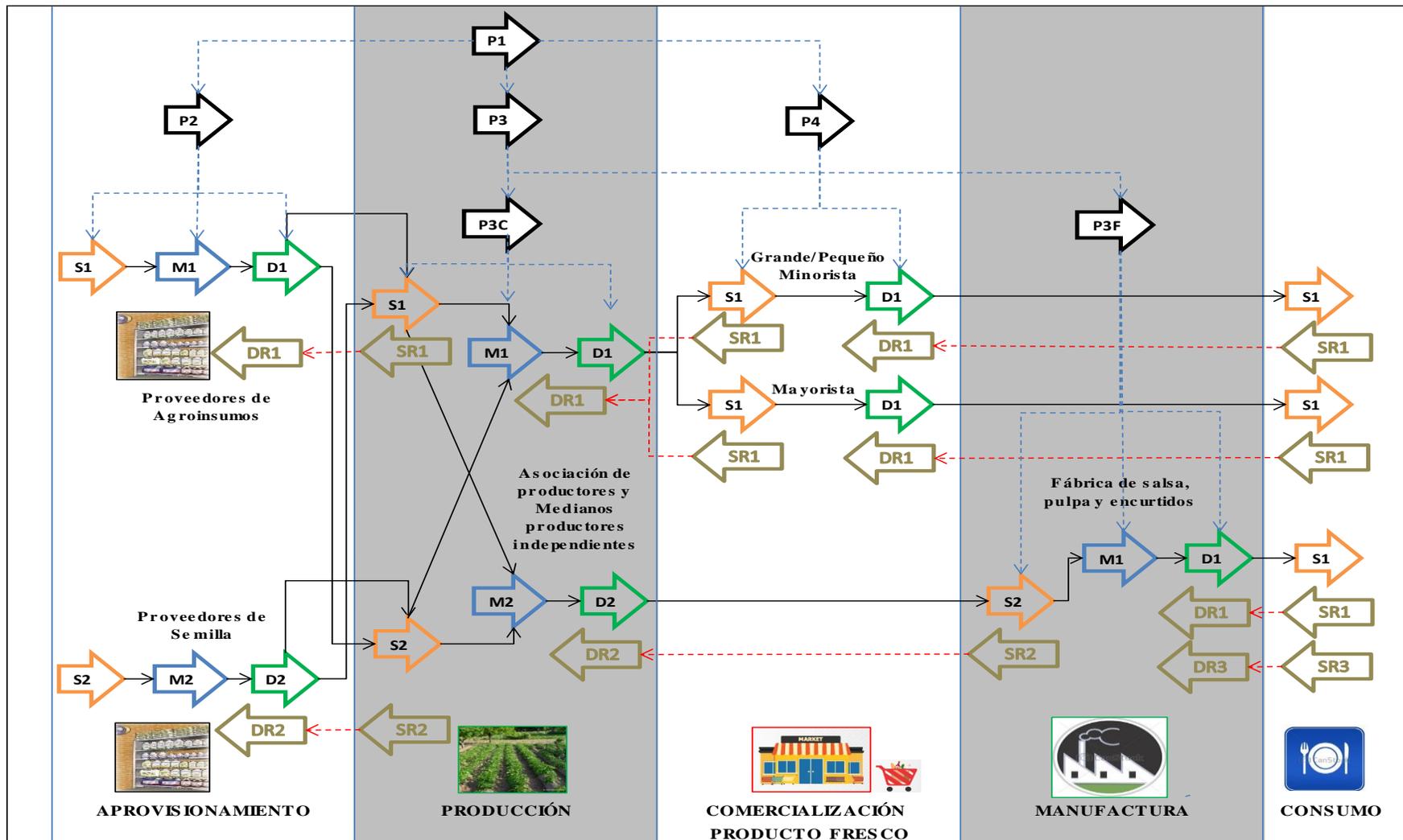


Figura 3.9 Diagrama de ruta para producto fresco y procesado de la CSABC futura

Fuente: Elaboración propia

Después del diseño del flujo de materiales e información a través de las categorías de procesos, el siguiente paso es describir los elementos de procesos.

De acuerdo con el modelo SCOR, los procesos son constituidos por elementos habilitadores (elementos de procesos) que preparan, mantienen y administran información o relaciones en las que basan la planeación y la ejecución. Definir los elementos de procesos significa describir detalladamente las actividades que componen los procesos, entradas y salidas. Siguiendo la metodología SCOR, en el nivel 3 de la CSABC se podrían diseñar métodos de trabajo tales como:

- Equilibrio de los recursos con los requerimientos de la CSABC (Elemento de P1)
- Programación de entrega de agroquímicos al sistema de producción agrícola *Make to stock* (Elemento D1-Proveedor agroquímicos)
- Programación de entrega de semillas al sistema de producción agrícola *Make to stock* (Elemento de D1-Proveedor de semillas)
- Producción y control de calidad del sistema de producción agrícola *Make to stock* (Elemento de M1- Productores agrícolas)
- Recepción, validación y confirmación de pedidos del sistema de producción agrícola *Make to stock* (Elemento de D1- Productores agrícolas)
- Entre otros elementos.

La documentación de los métodos de trabajo del tercer nivel SCOR, requiere que en primer lugar los actores de la CSABC sean convocados y confirmen su participación para definir responsabilidades, alcance de relaciones y acuerdos transaccionales. En segundo lugar, se debe obtener la línea base de los KPI's diseñados y se debe conocer a nivel operativo qué actividades necesitan mejorarse y qué otras deben diseñarse con el fin de minimizar los riesgos de la estandarización. Por tanto, se propone que el despliegue del tercer nivel SCOR sea materia de una siguiente fase de trabajo o futura investigación.

En lo que respecta a la presente investigación, se utilizará el enfoque de optimización para programar los envíos de producto fresco entre cultivos, centros de distribución, centros de abastos y fábricas para describir cómo debe ser el flujo de materiales atendiendo a la necesidad de iniciar el despliegue SCOR en el tercer nivel, al menos parcialmente. Entre tanto, este capítulo se culmina recomendando buenas prácticas y roles a los principales involucrados en la CSABC futura.

### 3.3 BUENAS PRÁCTICAS RECOMENDADAS A LOS ACTORES DE LA CSABC

---

#### **Proveedores de agroquímicos/ insumos orgánicos/ semillas/ servicios de mecanización**

Gestionar adecuadamente la información de los productores a través de programas CRM (Customer Relationship Management)

Desarrollar semillas modificadas con una alta resistencia a plagas y enfermedades y de crecimiento precoz

Adecuar oferta de insumos de acuerdo al microclima y a las necesidades específicas del suelo

Ofrecer servicios de maquinaria y tecnología agrícola especializada

Controlar y usar nuevas tecnologías de predicciones climáticas, medioambientales y de cosecha

Desarrollar herramientas específicas para la siembra

---

#### **Productores agrícolas**

Mejorar y conservar el suelo y el agua adaptados a las necesidades del producto

Controlar y usar nuevas tecnologías para predicciones climáticas, medioambientales y de cosecha

Fortalecer las competencias laborales de los productores en función de las nuevas tecnologías de cultivo, manejo de cosecha y postcosecha

Implementar automatización en sistemas de riego

Utilizar semillas modificadas, con una alta resistencia a plagas y enfermedades y de crecimiento precoz

Aplicar control específico de plagas y enfermedades que atacan el producto y cumplir estándares internacionales de exportación

Cumplir normas nacionales e internacionales (NTC 5400 y Global Gap) que garanticen la inocuidad, seguridad, trazabilidad y calidad del producto

Implementar tecnología de bajo consumo de agua para la limpieza, clasificación y selección del producto con equipos que eviten el deterioro del producto, utilizando sistemas computarizados como la visión artificial

Usar empaques adecuados a la forma y tamaño del producto que den mayor estabilidad y vida útil y que cumplan todas las exigencias de los mercados en cuanto a etiquetas, colores, etc.

---

---

## Comercializadores

Gestionar adecuadamente la información de los clientes a través de programas CRM (Customer Relationship Management)

Implementar la trazabilidad de acuerdo a estándares nacionales e internacionales

Utilizar herramientas de informática y software de última tecnología para la identificación de necesidades de clientes y nuevos mercados

Aplicar estándares y normas internacionales sobre etiquetado y requisitos específicos de los consumidores de destino

Aplicación de maquinarias y aditamentos en muelles de cargue, utilización de hardware y software especializado en logística

Utilización de transporte multimodal y normatividad nacional en cuanto al transporte de alimentos, principalmente en el cumplimiento de estándares internacionales

Usar empaques adecuados a la forma y tamaño del producto que den mayor estabilidad y vida útil a los productos y que cumplan todas las exigencias de los mercados en cuanto a etiquetas, colores, etc.

Diseñar centros de abastos adaptados a las necesidades de la topografía y la carencia de servicios públicos

Utilizar nuevas tecnologías como IV y V gamma, que alarguen la vida útil del producto o por lo menos que no lo deterioren

---

## Fábrica

Gestionar adecuadamente la información de los clientes a través de programas CRM (Customer Relationship Management)

Aplicaciones tecnológicas orientadas al desarrollo de productos precocidos, listos para el consumo, con un menor gasto de energía

Aplicar tecnologías de mínimo procesamiento del producto

Combinar los métodos anteriores según la especificidad del producto a desarrollar, para lograr reducción en los tiempos de proceso, menor deterioro del mismo y bajo consumo de energía, además, una presentación final de mayor vida útil

Aplicación de tecnologías Individual Quick Freezing (IQF) por aire forzado de mayor eficiencia y menor consumo de energía

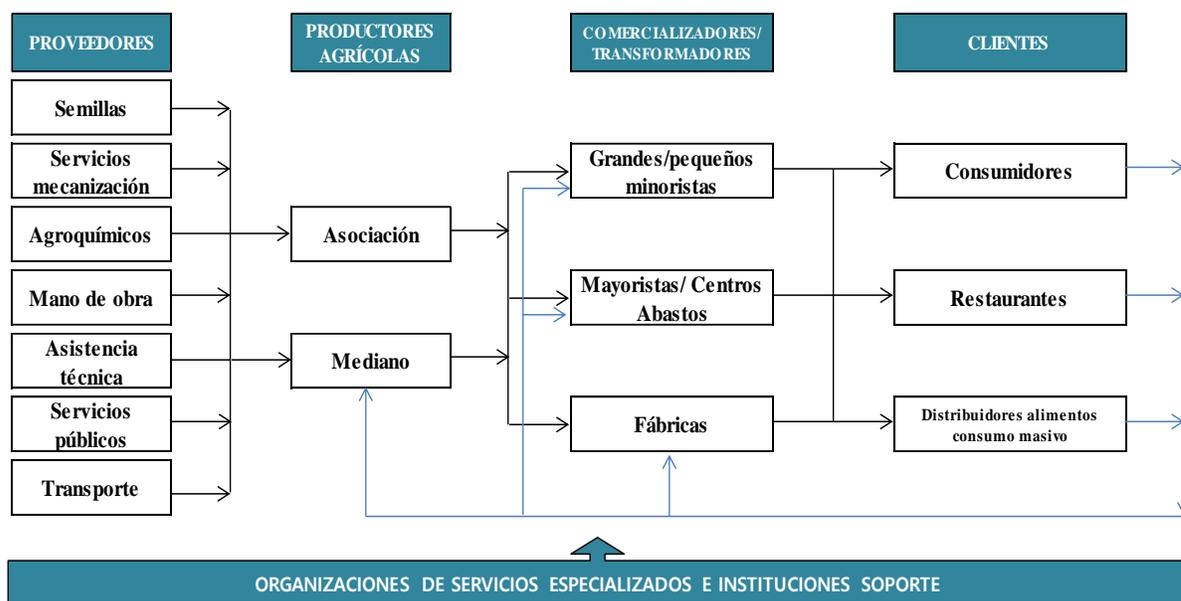
Para Porter (1991) el desarrollo y desempeño de una región o cluster industrial se debe a la interrelación de las cuatro aristas del Diamante Competitivo: 1) condiciones de los factores, 2) condiciones de la demanda, 3) estrategia, estructura y rivalidad de las empresas y 4) industrias afines y soporte.

Industrias afines y soporte se relaciona con el grado de especialización en los proveedores de bienes y servicios de la región, capaces de atender las exigencias del cluster, mediante estrechas relaciones que les permitan intercambiar información y tecnología. Al tiempo que operan instituciones de soporte entendidas como organismos o entidades cuyo interés está centrado en la educación, investigación y desarrollo de competencias y tecnologías que mejoran la productividad y competitividad de este cluster industrial.

En el caso de las cadenas productivas del sector agrícola, los servicios especializados que prestan los operadores logísticos (transportistas, packinghouse) son fundamentales en la optimización del flujo de materiales e información, de tal manera que la tecnología de manipulación, conservación del producto, información y comunicación (TIC) son aspectos críticos en la articulación de estos actores en la CSABC.

Asímismo, las instituciones soporte juegan un papel importante en el desarrollo de competencias empresariales y tecnológicas en los eslabones de la cadena. En el departamento de Córdoba instituciones como: Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER), CORPOICA, ICA, Universidad de Córdoba, Cámara de Comercio de Montería, Secretaria Departamental de Desarrollo Económico y agroindustrial de Córdoba, Banco Agrario, ASOHOFrucol y FINAGRO, están llamadas a convocar y apoyar la organización de la CSABC mediante proyectos de productividad y competitividad.

En consecuencia, se propone la incorporación de organizaciones de servicios especializados e instituciones soporte al modelo conceptual adelantado (Figura 3.10) y se establece el rol que deberían asumir en la gestión de esta cadena.



**Figura 3.10 Diagrama de la CSABC que articula instituciones soporte y servicios especializados**

Fuente: Elaboración propia

### Organizaciones de servicios especializados e instituciones soporte de la SCABC

Involucrar al pequeño productor en el manejo de hidrología básica

Involucrar al productor en el manejo de las técnicas precosecha con el manejo de las buenas prácticas agrícolas

Capacitar a los productores en gestión de agronegocios

Promover la conformación de asociaciones

Involucrar al agricultor en el control y el seguimiento de la erosión y contaminación de los recursos

Llevar una verdadera transferencia de tecnología en el campo de la maquinaria

Exigir cumplimiento de normativa en empaques y el manejo de las capacidades

Motivar el cambio cultural en el manejo del almacenamiento

Implementar tecnologías bajas en el consumo de energía y agua

Implementar normas que permitan un cambio en el manejo de la logística para los productos agrícolas

Implementar los procesos biotecnológicos para el procesamiento. Transferencias de tecnología en pequeñas procesadoras

Implementar herramientas a nivel de la pequeña empresa para el manejo de trazabilidad

Implementar e involucrar a todo el gremio en un buen manejo de trazabilidad y buenas prácticas agrícolas

## 4. CAPÍTULO IV

### MODELO DE OPTIMIZACIÓN MULTIESCENARIOS DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA PROPUESTA PARA LA CSABC

#### 4.1 OPTIMIZACIÓN Y PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIOS EN LA CSABC

De acuerdo con Salazar & López (2009), en la aplicación del modelo SCOR es importante que una vez definidos los elementos estratégicos, categorías y elementos de procesos, se evalúe el desempeño de la cadena frente a estos y se planifique la implementación de los proyectos declarados como pilotos. Según los autores, la planeación puede ser apoyada por aplicaciones de software u otras mejores prácticas.

La planificación de la red de distribución de materiales de producto fresco y procesado en la CSABC a nivel operativo interesa de manera relevante para calcular volúmenes a mover, tamaño de flota de vehículos, rendimientos económicos del flujo de productos diseñado por el modelo SCOR, pero sobre todo para evaluar el comportamiento de la red propuesta frente a los niveles de servicio esperados, tales como Lead Time del cliente, tasa cumplimiento y satisfacción del cliente. Además, programar este flujo a nivel operativo podría ayudar a evaluar el desempeño de la red en condiciones reales y supuestas para la cadena.

El tercer nivel de SCOR facilita el detalle de las operaciones que hacen posible el flujo de productos e información para dar cumplimiento a los KPI's propuestos en la cadena. Sin embargo, por las razones expuestas en el apartado anterior se elaborará una parte de la programación de la entrega de producto fresco y procesado en el esquema Make to stock. Así el diseño de la CSABC, utilizando el modelo SCOR y el enfoque de optimización, propone una aplicación programada en el software General Algebraic Modeling System o GAMS®, en atención a la oportunidad de modelar operativa y matemáticamente elementos de procesos de la distribución (Deliver).

Este capítulo presenta un modelo matemático para la red de distribución de producto fresco y procesado en la CSABC, que a su vez podría convertirse en una validación parcial (antes de su implementación) del modelo de gestión SCOR que se diseñó, tal como se planificó al principio de la investigación y en cumplimiento a uno de los gaps identificados en el estado del arte. El soporte teórico de esta apuesta son los esquemas de modelación y gestión de sistemas logísticos declarados por autores como Changrui *et al.* (2006) y Vianchá (2012), que sugieren metodologías de integración de modelos de optimización y simulación a la planificación SCOR en el intento de dinamizar KPI's

Estos trabajos sostienen que las herramientas gráficas e ilustrativas propias del SCOR, tales como diagrama del negocio, mapas geográficos y diagrama ruta de procesos, se pueden utilizar como esquemas de modelos de programación lineal (LP) o programación lineal entera mixta (MILP).

A partir de esto, se diseña la red de distribución de la CSABC mediante un modelo de programación lineal entera mixta (MILP) para el problema de asignación de cantidad de producto fresco y procesado a enviar entre cultivos, centros de distribución (*packing house*), fábricas y centros de abastos (comercializadores mayoristas), que sea el más eficiente en costos de transporte y que refleje el impacto en algunos KPI's diseñados en el despliegue SCOR. Posteriormente, se diseñan escenarios que permiten simular o evaluar comportamientos de la red de distribución atendiendo a algunas consideraciones de asociación entre productores y trabajo colaborativo en la cadena, y haciendo que el modelo pase de un estado estático a uno dinámico. Por tanto, el desarrollo de este modelo se describe en 2 partes: conceptualización y formulación matemática que representa el problema de distribución de la cadena.

## **4.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO PARA LA CSABC**

La distribución de producto (fresco y procesado) a comercializadores mayoristas y fábricas debe delimitarse para tener una solución dentro de una región factible, por lo que es modelado bajo los siguientes supuestos:

- Montería, Cerete, San Pelayo, San Bernardo y San Antero son los principales municipios productores de berenjena, que participan en la producción departamental de acuerdo con los siguientes porcentajes: 36,2%, 23,7%, 21,3%, 8,1% y 6,5% respectivamente (MADR, 2012). A partir de esta participación se determina la capacidad de los cultivos.
- Se considera la operación de centros de distribución (*packing house*) y fábricas que siempre reciben producto y sus ubicaciones se estiman en los mismos municipios productores.
- Los centros de distribución reciben todo el producto fresco y recién cosechado desde los cultivos para garantizar la calidad e inocuidad del producto y desde allí siempre envían productos a fábricas y centros de abastos (mayoristas)
- Se asume que las fábricas y los centros de distribución puedan ser ubicados en los mismos municipios de los cultivos, manejando una proporción semejante en términos de fletes y distancias, para que el modelo determine desde dónde realizar los envíos, las cantidades a enviar y el número de viajes que realizará la flota de camiones de un transportista que presta servicios a la cadena, con el fin de minimizar los costos logísticos de transporte.

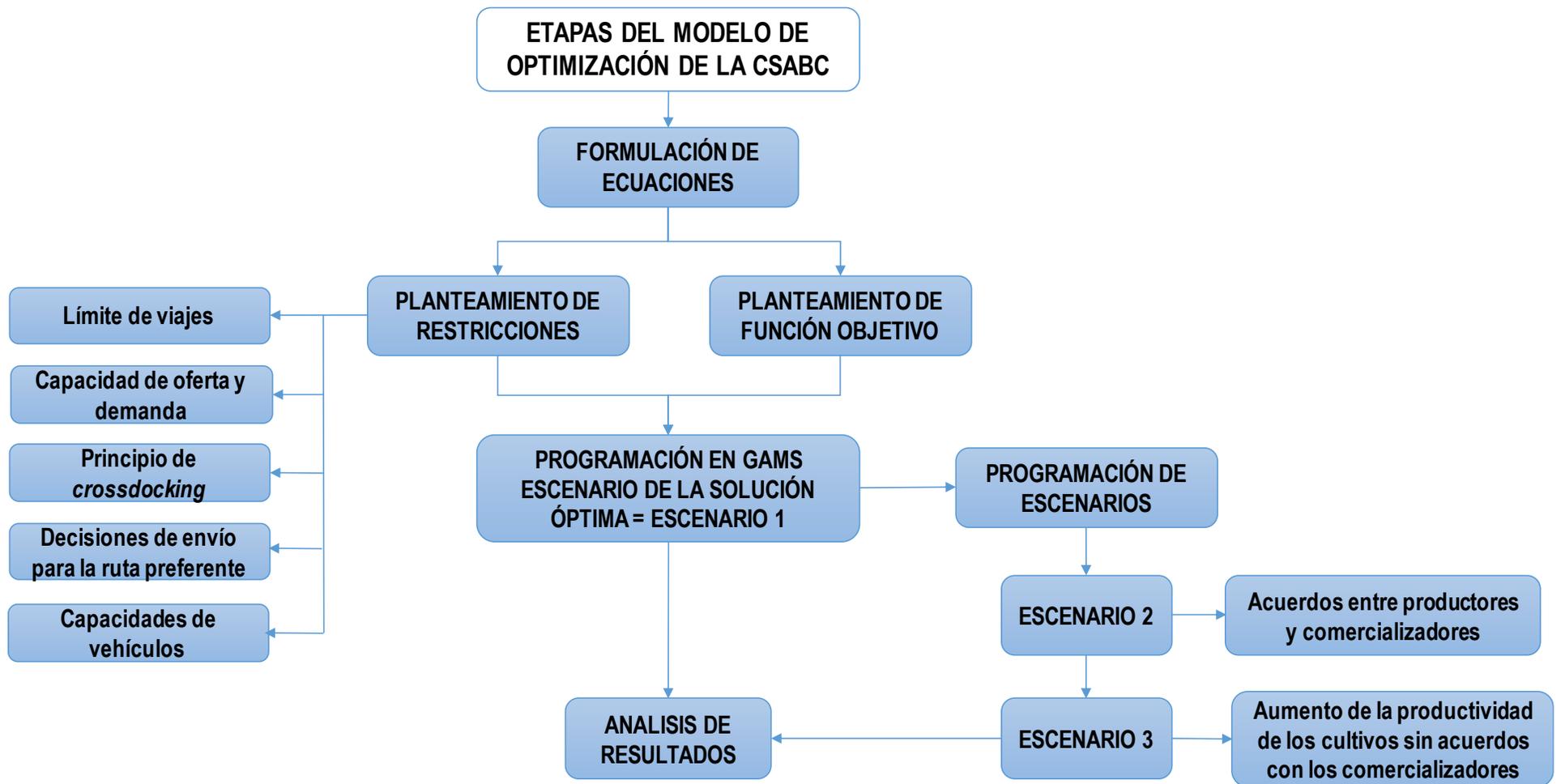
- El centro de distribución sólo distribuye producto aguas abajo, una parte se destina a las fábricas de pulpas, salsas y encurtidos y otra parte directamente a los centros de abastos (mayoristas).
- Los centros de abastos (mayoristas) se ubican en las ciudades de Sincelejo, Montería, Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Medellín y Bogotá.
- Los costos asociados al transporte del producto fresco a lo largo de la CSABC, están relacionados con la distancia recorrida y los tiempos de transporte.
- Se establece la relación entre la oferta de cultivos, centros de distribución, fábricas y centros de abastos (mayoristas) y la demanda de fábricas y centros de abastos, mediante la aplicación de principios de *crossdocking*, dado que en la transferencia de producto no hay almacenamiento.
- En la red de distribución se incluye a uno o varios transportistas que completan una flota de 5 tracto camiones disponibles todo el año para realizar los envíos de todo el producto fresco y procesado de la CSABC.

De acuerdo con lo anterior, se desarrolla un MILP, puesto que las variables involucradas son continuas y discretas, estas últimas a su vez representadas de forma natural por variables enteras o binarias debido a las decisiones que toma el modelo.

Este modelo determina las cantidades a enviar desde los cultivos a centros de distribución, de centros de distribución a fábricas y centros de abastos y de fábricas a centros de abastos.

También establece el ruteo de una flota de vehículos constituida por 5 camiones a los cuales se les programa la entrega (cantidades a transportar) de producto fresco y procesado desde los productores, hasta los centros de abastos y fábricas.

El modelo conceptual de la Figura 4.1 detalla la lógica de programación desarrollada para el solucionar el problema de asignación descrito que se resuelve con ayuda del software GAMS® más adelante.



**Figura 4.1** Modelo conceptual del escenario de optimización de la CSABC

Fuente: Elaboración propia

### 4.3. FORMULACION DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTO FRESCO Y PROCESADO EN LA CSABC

La formulación del modelo de la CSABC consiste en la representación matemática de las relaciones entre actores relacionados en el Diagrama de ruta para producto fresco y procesado de la CSABC futura (Figura 3.9). Sólo se contempla flujo de producto fresco y procesado desde cultivos hasta centros de abastos y fábricas, sin considerar reprocesos, reutilización u otros elementos que toca la logística inversa, lo cual permite realizar la simulación bajo enfoques de optimización de los flujos de la berenjena en su cadena logística, con el fin de determinar el mejor escenario de tiempos, costos y flujos.

De acuerdo con la abstracción de la CSABC, el diagrama de ruta futura diseñado y conceptualización del modelo, se formula un MILP para el problema de asignación de cantidad de producto fresco y procesado a enviar entre cultivos, centros de distribución (*packing house*), fábrica y centros de abastos (comercializadores mayoristas). A continuación, se presenta la descripción de conjuntos, parámetros, variables y ecuaciones a utilizar en la formulación del modelo, cuya programación se considera el **escenario 1** o **escenario de solución óptima**.

#### 4.3.1 Conjuntos

**Tabla 4.1. Descripción de conjuntos**

Denominación del conjunto	Descripción de los elementos
<b>i</b>	Municipios donde se desarrollan los cultivos de berenjena en Córdoba que toman los siguientes valores:  Montería, Cerete, San Pelayo, San Bernardo y San antero.
<b>j</b>	Centros de distribución de productos para la berenjena que el modelo puede ubicar en los municipios de Montería, Cerete, San Pelayo, San Bernardo y San Antero respectivamente, tomando los siguientes valores:  cd1, cd2, cd3, cd4, cd5
<b>k</b>	Nuevas fábricas de procesamiento que el modelo puede ubicar en los municipios de Montería, Cerete, San Pelayo, San Bernardo y San Antero, las cuales toman los siguientes valores:  Fábrica1, Fábrica2, Fábrica3, Fábrica4, Fábrica5
<b>l</b>	Ciudades donde se encuentran los centros de abastos, que reciben la berenjena fresca de los centros de distribución o procesada de las fábricas, los cuales que toman los siguientes valores:  Sincelejo, Montería, Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Medellín y Bogotá.

<b>v</b>	Tracto camiones asignados a la logística de distribución de la berenjena desde Córdoba con capacidad de transporte de 10 Tn como mínimo y 20 Tn como máximo, declarados de la siguiente forma:  Camión1, Camión2, Camión3, Camión4, Camión5
----------	---

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2 Parámetros

**Tabla 4.2. Descripción de parámetros y tablas**

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción de los elementos</b>
cp1(i,j)	Costos por transportar una Tn de berenjena desde los cultivos i hasta los centros de distribución j en el departamento de Córdoba
cp2(j,k)	Costos por transportar una Tn de berenjena desde los centros de distribución j hasta las fábricas k
cp3(j,l)	Costos por transportar una Tn de berenjena desde los centros de distribución j a los centros de abastos l
cp4(k,l)	Costos por transportar una Tn de berenjena desde las fábricas k hasta los centros de abastos l
d1(i,j)	Distancia en Km desde los cultivos i hasta los centros de distribución j
d2(j,k)	Distancia en Km desde los centros de distribución j hasta las fabricas k
d3(j,l)	Distancia en Km desde los centros de distribución j hasta los centros de abastos l
d4(k,l)	Distancia en Km desde las fábricas k hasta los centros de abastos l
ofertaproduccion(i)	Capacidad de producción en Tn de los cultivos i
capcd(j)	Capacidad en Tn de los centros de distribución ( <i>packing house</i> ) j
capplanta(k)	Capacidad de procesamiento en Tn de las fabricas k
demanda(l)	Demanda en Tn de los centros de abastos l en cada una de las ciudades declaradas
capvehiculo(v)	Capacidad de transporte del vehículo v a lo largo de la red
viajesmaximo(v)	Número de viajes máximos a realizar por periodo de planificación de cada camión (0-100)
cargaminima(v)	Cantidad mínima de Tn a enviar en cada camión como condición de factibilidad (10-20)
velochoraporkm (v)	Tasa de velocidad en carretera de 0.0125 horas por kilómetro tomando como el equivalente a 80 km/hora.
costoporhora (v)	\$300.000 equivalente al costo por hora en carretera, de acuerdo a los costos por movilización y por tiempos logísticos establecidos por el Ministerio de Transporte en el año 2016.

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3 Variables

**Tabla 4.3. Descripción de variables de decisión**

<b>Variabes</b>	<b>Descripción de las variables</b>
$x1(i,j,v)$	Cantidad de Tn de berenjenas a transportar desde los cultivos i hasta los centros de distribución j con el vehículo v
$x2(j,k,v)$	Cantidad de Tn de berenjenas a transportar desde los centros de distribución j a las fabricas k con el vehículo v
$x3(j,l,v)$	Cantidad de Tn de berenjenas a transportar desde los centros de distribución j a centros de abastos l con el vehículo v
$x4(k,l,v)$	Cantidad de Tn de berenjenas a transportar desde las fábricas k hasta los centros de abastos l con el vehículo v
$vc1(i,j,v)$	Cantidad de viajes a programar desde los cultivos i hasta los centros de distribución j con el vehículo v
$vc2(j,k,v)$	Cantidad de viajes a programar desde los centros de distribución hasta las fábricas k con el vehículo v
$vc3(j,l,v)$	Cantidad de viajes a programar desde los centros de distribución j a centros de abastos l con el vehículo v
$vc4(k,l,v)$	Cantidad de viajes a programar desde las fábricas k hasta los centros de abastos l con el vehículo v
$y1(i,j,v)$	Variable de decisión para escoger la ruta desde el cultivo i hasta el centro de distribución j con el vehículo v
$y2(j,k,v)$	Variable de decisión para escoger la ruta desde el centro de distribución j hasta la fábrica k con el vehículo v
$y3(j,l,v)$	Variable de decisión para escoger la ruta desde el centro de distribución j hasta el centro de abastos l con el vehículo v
$y4(k,l,v)$	Variable de decisión para escoger la ruta desde fabrica k hasta el centro de abastos l con el vehículo v

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.4. Función objetivo

(1)

*Minimizar costos logísticos de transporte de la cadena de la berenjena*

$$= \sum_i \sum_j \sum_v vc1_{ijv} * d_{ij} * velochoraporkm * costoporhora$$

+

$$\begin{aligned}
& \sum_j \sum_k \sum_v vc2_{jkv} * d_{jk} * velockmporhora * costoporhora \\
& \quad + \\
& \sum_j \sum_l \sum_v vc3_{jlv} * d_{jl} * velockmporhora * costoporhora \\
& \quad + \\
& \sum_k \sum_l \sum_v vc4_{klv} * d_{kl} * velockmporhora * costoporhora \\
& \quad + \\
& \sum_i \sum_j \sum_v x1_{ijv} * cp1_{ijv} + \sum_j \sum_k \sum_v x2_{jkv} * cp2_{jkv} + \sum_j \sum_l \sum_v x3_{jlv} * cp3_{jlv} \\
& \quad + \sum_k \sum_l \sum_v x4_{klv} * cp4_{klv} \\
& \quad \forall i, \dots, I, j, \dots, J, k, \dots, K, l, \dots, L, v, \dots, V
\end{aligned}$$

**s.a.**

#### 4.3.5 Restricciones

(2)

$$\begin{aligned}
\sum_i \sum_i vc1_{ijv} + \sum_j \sum_k vc2_{jkv} \\
+ \sum_j \sum_l vc3_{jlv} + \sum_k \sum_l vc4_{klv} \leq viajesmaximo_v, \forall v
\end{aligned}$$

(3)

$$\sum_j \sum_v x1_{ijv} = ofertaproducto_i \quad \forall i$$

(4)

$$\sum_i \sum_v x1_{ijv} \leq capcd_j \quad \forall j$$

(5)

$$\sum_i \sum_v x1_{ijv} * porcentajefabricas = \sum_k \sum_v x2_{jkv} \quad \forall j$$

$$(6) \quad \sum_i \sum_v x1_{ijv} * \text{porcentajemayorista} = \sum_l \sum_v x3_{jlv} \quad \forall j$$

$$(7) \quad \sum_j \sum_v x2_{jkv} = \sum_l \sum_v x4_{klv} \quad \forall j$$

$$(8) \quad \sum_j \sum_v x2_{jkv} \leq \text{capplanta}_k \quad \forall k$$

$$(9) \quad \sum_j \sum_v x3_{jlv} + \sum_k \sum_v x4_{klv} \leq \text{demanda}_l \quad \forall l$$

$$(10) \quad x1_{ijv} \leq \text{capvehiculo}_v * vc1_{ijv}$$

$$(11) \quad x2_{jkv} \leq \text{capvehiculo}_v * vc2_{jkv}$$

$$(12) \quad x3_{jlv} \leq \text{capvehiculo}_v * vc3_{jlv}$$

$$(13) \quad x4_{klv} \leq \text{capvehiculo}_v * vc3_{klv}$$

$$(14) \quad x1_{ijv} \leq 1000 * y1_{ijv}$$

$$(15) \quad x2_{jkv} \leq 1000 * y2_{jkv}$$

$$(16) \quad x3_{jlv} \leq 1000 * y3_{jlv}$$

$$(17) \quad x4_{klv} \leq 1000 * y4_{klv}$$

(18)

$$\sum_i \sum_j x_{1ijv} = \sum_i \sum_j \text{cargaminima}_v * vc_{1ijv}$$

(19)

$$\sum_j \sum_k x_{2jkv} = \sum_j \sum_k \text{cargaminima}_v * vc_{2jkv}$$

(20)

$$\sum_j \sum_l x_{3jlv} = \sum_j \sum_l \text{cargaminima}_v * vc_{3jlv}$$

(21)

$$\sum_k \sum_l x_{4klv} = \sum_k \sum_l \text{cargaminima}_v * vc_{4klv}$$

(22)

$$x_{1ijv}, x_{2jkv}, x_{3jlv}, x_{4klv}, vc_{1ijv}, vc_{2jkv}, vc_{3jlv}, vc_{4klv} \geq 0$$

$$0 \leq y_{1ijv}, y_{2jkv}, y_{3jlv}, y_{4klv} \leq 1$$

#### 4.3.6 Análisis de las restricciones

- (1) La función objetivo de costos de transporte permite la cuantificación de los costos incurridos por la planificación de los viajes a realizar desde los cultivos  $i$  hasta los centros de abastos  $l$ , pasando por los centros de distribución  $j$  y fábricas  $k$ , teniendo en cuenta las distancias en Km y costos por hora, que son estimados de acuerdo a los costos de movilización y tiempos logísticos declarados por el Ministerio de Transporte de Colombia, así mismo esta función garantiza el mínimo costo de transporte y envíos de toneladas de berenjena teniendo en cuenta las cantidades de berenjenas en los camiones a cada uno de los destinos.
- (2) Esta ecuación garantiza que cada uno de los vehículos  $v$  utilizados para el transporte de la berenjena entre los centros de distribución  $j$ , fábricas  $k$  y centros de abastos  $l$  cumpla con un máximo número de viajes que garantiza la reducción de los costos de transporte, una de las variables más críticas dentro del funcionamiento de una cadena logística.

- (3) Cada cultivo  $i$  cuenta con una capacidad instalada en  $T_n$  de berenjena, es por ello que esta restricción garantiza que los productos a ser enviados desde los cultivos  $i$  a los centros de distribución  $j$  sean iguales a la capacidad de cada uno de ellos.
- (4) Las  $T_n$  enviadas desde los cultivos no deben sobrepasar las capacidades de los centros de distribución.
- (5) Para poder pasar los productos a las fábricas  $k$ , es necesario que se cumpla el principio de que todos los productos que son cosechados deben ser enviados a los centros de distribución para garantizar la calidad e inocuidad del producto, es por ello que la variable  $x_{2jkv}$  toma el valor de  $x_{1ijv}$ , pero para simular que solo una parte de lo cultivado será procesado se multiplica por un porcentaje de envío hacia las fábricas.
- (6) Para poder pasar los productos a los centros de abastos desde los centros de distribución, es necesario que se cumpla el principio de que todos los productos que son cosechados deben ser enviados a los centros de distribución para garantizar la calidad e inocuidad del producto, es por ello que la variable  $x_{3jlv}$  toma el valor de  $x_{1ijv}$ , pero para simular que solo una parte de lo cultivado será enviado como producto fresco se multiplica por un porcentaje de envío hacia los centros de abastos.
- (7) Los productos que fueron enviados hacia las fabricas para ser procesados por medio de la variable  $x_{2jkv}$  serán enviados hacia los clientes  $l$  para su posterior uso o distribución final
- (8) Los productos en las fábricas  $k$  no deben sobrepasar la capacidad de almacenamiento de la planta, para así garantizar el correcto flujo.
- (9) La demanda de los centros de abastos debe ser satisfecha teniendo en cuenta lo que fue cosechado, ubicado, procesado y distribuido a través de la variable  $x_{3jlv}$  y  $x_{4klv}$ .

Las restricciones (10), (11), (12) y (13) garantizan que las  $T_n$  enviadas a los centros de distribución  $j$ , fábricas  $k$  y centros de abastos  $l$ , no deberán exceder la capacidad en  $T_n$  de cada vehículo  $v$ .

Las restricciones (14), (15), (16) y (17) garantizan que si se asigna la ruta de transporte de acuerdo a las variables binarias  $y_{1ijv}$ ,  $y_{2jkv}$ ,  $y_{3jlv}$ ,  $y_{4klv}$  declaradas en el modelo, se deberá enviar  $T_n$  de berenjena por ese mismo camino, para garantizar la disminución de los costos en términos de dinero y tiempo.

Las restricciones (18), (19), (20) y (21) controlan el movimiento de mercancía de cada camión de acuerdo a la oferta y demanda de la cadena logística, para que se pueda hacer buen uso de mínima carga que puede mover de un lugar a otro, y así gestionar mejor los costos de transporte.

La restricción 22 representa las condiciones de no negatividad y la declaración de variables binarias.

#### **4.3.7 Escenarios de prueba**

Los modelos de programación lineal a pesar de contar con múltiples conjuntos, parámetros, variables y ecuaciones, resultan ser estáticos, es decir, buscan el mejor valor y sobre él se establece un sistema.

El presente modelo de optimización representa la red de distribución de producto fresco aguas abajo entre productores, centros de distribución, fábricas y comercializadores de una cadena de suministro que se delineó bajo el enfoque SCOR, y esto se aprovecha para proponer la simulación de escenarios bajo enfoques de optimización que permitan analizar el comportamiento de una cadena óptima frente ciertas condiciones como se explica a continuación:

#### **Escenario 2: Acuerdos entre productores y comercializadores**

Para desarrollar los escenarios que condicionan el presente modelo, se hace uso del GAMS Grid Facility. Este es un módulo del sistema algoritmo del software que busca aprovechar las capacidades informáticas del sistema donde se ejecuta el programa matemático, principalmente cuando se quieren simular diferentes escenarios que le apunten a un mismo objetivo.

El escenario transforma el modelo original en un modelo alterno, donde se compila a lenguaje máquina y se traduce a un lenguaje más atractivo para el investigador mediante la siguiente instrucción:

```
(23)
eolcom //
CSABC.solvelink = %solvelink.AsyncGrid%; // turn on grid option
CSABC.limcol = 0;
CSABC.limrow = 0;
CSABC.solprint = %solprint.Quiet%;
```

Con el código anterior se crea un conjunto “s”, el cual será el encargado de declarar los escenarios de trabajo del modelo de la red de distribución de producto fresco entre cultivos a centros abastos y fábricas, el cual se acopla de la siguiente manera: Se diseña un “Loops” para poder correr un bucle en una instrucción que contempla una nueva demanda  $d_{sj}$ , la cual es una demanda direccionada por un origen-destino “j” con un componente de minimización de costos por transporte y costos por envíos de productos desde los cultivos hasta los centros de abastos ya sea de producto fresco o producto procesado, pasando por los centros de distribución y fábricas que dan lugar a la siguiente restricción:

(24)

```

loop(s,
  demanda(l) = ndem(s,l) ;
  ofertaproductor(i) = nofertaproductor(s,i);
  solve CSABC using mip minimizing costostransporte;
  solve CSABC using mip minimizing costoscantidadesenviar;
  h(s) = CSABC.handle ); // guarda los datos de las instancias
parameter repx(s,i,j,v) solution report
  repy      summary report;
repy(s,'solvestat') = na;
repy(s,'modelstat') = na;

```

Esta condición va ligada a la restricción 9, y es la clave del presente escenario, dado que el escenario 1 (solución óptima) no contempla la colaboración o asociación entre productores, ni acuerdos entre estos y proveedores o comercializadores, y tampoco se cuenta con indicadores o tasas de rendimientos que permitan saber cuáles serían los beneficios en términos de agrupación de aquellos actores que están ligados a los cultivos, para poder establecer un impacto real en los costos asociados a la logística de distribución de la berenjena en fresco. Esta es la razón por la cual el modelo plantea un complemento en el algoritmo de programación capaz de crear una demanda y oferta aleatoria que pueden ser entendidas como el resultado de una agrupación de personas para trabajar de forma colaborativa en la apertura de nuevos mercados o el aumento de los envíos de la berenjena, lo cual se detalla a continuación:

(25)

```

parameter ndem(s,l) random demand
parameter nofertaproductor(s,i)
  h(s) store the instance handle;

```

Esta condición crea dos nuevos parámetros llamados *ndem* y *nofertaproductor* que toma los valores de la oferta y demanda del modelo original y almacena en un parámetro alterno denominado *h*.

$$\begin{aligned}
 (26) \\
 ndem(s, l) = & \text{demanda}(l) \\
 & * \text{uniform}(1.1, 1.5); / \\
 & / \text{ creacion de demandas aleatorias para los escenarios} \\
 nofertaproductor(s, i) = & \text{ofertaproductor}(i) * \text{uniform}(1.1, 1.5);
 \end{aligned}$$

Ahora bien, en este escenario es donde el modelo pasa de un estado estático a uno dinámico, contemplando un aumento porcentual entre el 10% y 50% en los parámetros de oferta y demanda (asumiendo que son una distribución uniforme). Se considera aquí que si la oferta sigue a la demanda (porque ambas aumentan) esto sólo sería posible si y solo si se establecen con anterioridad, acuerdos entre eslabones que permiten aumento de producción y mejora en la atención de pedidos de los clientes.

Para aumentar la producción necesariamente los productores deben mejorar tecnologías de los cultivos, establecer estrategias de comercialización en conjunto con los comercializadores, empresas privadas o el mismo estado colombiano, aprovechar economías con los proveedores, con el fin que se puedan lograr mejores resultados en los costos asociados a la logística de cadenas agroindustriales, como lo es el caso particular de la red de distribución de producto fresco aguas abajo entre productores, centros de distribución, fábricas y comercializadores.

Así mismo, se establece un conjunto de parámetros para recolectar los resultados de cada escenario denominados *repx<sub>si</sub>j* y *repx*, para recolectar información de la solución y el resumen respectivamente.

Ahora bien, para poder correr los escenarios y salvar el valor de las variables y parámetros, se establece un nuevo “Loops” de ciclo finito de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 (27) \\
 \text{repeat} \\
 \text{loop}(s\$handlecollect(h(s)), \\
 \text{repx}(s, i, j) = & x.l(i, j, v); \\
 \text{repy}(s, 'solvestat') = & CSABC.solvestat; \\
 \text{repy}(s, 'modelstat') = & CSABC.modelstat; \\
 \text{repy}(s, 'resusd' ) = & CSABC.resusd; \\
 \text{repy}(s, 'objval') = & CSABC.objval;
 \end{aligned}$$

```

display$handledelete(h(s)) 'borrado de datos antiguos' ;
h(s) = 0 ); // indicate that we have loaded the solution
display$sleep(card(h)
* 0.2) 'datos almacenados para un periodo de tiempo especifico';
until card(h) = 0 or timeelapsed > 10; // wait until all models are loaded

display repx, repy, x1.l, x1.l, x2.l, x3.l, y1.l, y2.l, y3.l, vc1.l, vc2.l, vc3.l
abort$sum(s$(repy(s,'solvestat')
= na),1) 'algunos procesos no seran retornados';

```

Esta instrucción hace posible que el modelo tome los datos de la estructura original, los copie en un modelo paralelo, que se ha llamado escenario 1, corra 5 instancias y las organice a favor de la investigación hasta que sean cargadas totalmente mediante la instrucción Display.

### **Escenario 3. Aumento de la productividad de los cultivos sin acuerdos con los comercializadores**

Para este escenario se maneja el mismo “Loops” con el cual se corre un bucle en una nueva instrucción que contempla una nueva demanda  $d_{sj}$ , la cual es una demanda direccionada por un origen-destino “j” con un componente de escenario, la cual dará lugar a la siguiente restricción:

```

(28)
loop(s,
  ofertaproductor(i) = nofertaproductor(s,i);
  solve CSABC using mip minimizing costostransporte;
  solve CSABC using mip minimizing costosenviostoneladas;
  h(s) = CSABC.handle ); // guarda los datos de las instancias
parameter repx(s,k,l,v) solution report
  repy      summary report;

```

Esta condición va ligada a la siguiente restricción:

```

(29)
nofertaproductor(s,i)
  = ofertaproductor(i)
  * uniform(1.25,1.5);/
  / creacion de demandas aleatorias para los escenarios

```

Esta restricción a diferencia del escenario 1, solamente trabaja el supuesto de que los productores se agrupan para cultivar berenjena sin tener en cuenta el comportamiento estadístico (demanda) de los centros de abastos, es decir, que la flota de transporte sólo se diseña para un aumento de la producción que se consideran desde el 25% hasta el 50% en los municipios productores.

Asimismo, se establecen los mismos parámetros para recolectar los resultados de cada escenario denominados  $repx_{sij}$  y  $repx$ , para recolectar información de la solución y el resumen respectivamente.

Ahora bien, para poder correr los escenarios y salvar el valor de las variables y parámetros, se establece un nuevo “Loops” de ciclo finito de la siguiente forma:

```
(30)
repeat
loop(s$handlecollect(h(s)),
  repx(s,i,j) = x3.l(i,j,v);
  repy(s,'solvestat') = CSABC.solvestat;
  repy(s,'modelstat') = CSABC.modelstat;
  repy(s,'resusd' ) = CSABC.resusd;
  repy(s,'objval') = CSABC.objval;
  display$handledelete(h(s)) 'borrado de datos antiguos' ;
  h(s) = 0 ); // indicate that we have loaded the solution
display$sleep(card(h)
  * 0.2) 'datos almacenados para un periodo de tiempo especifico';
until card(h) = 0 or timeelapsed > 10; // wait until all models are loaded

display repx,repy,x1.l,x1.l,x2.l,x3.l,y1.l,y2.l,y3.l,vc1.l,vc2.l,vc3.l
abort$sum(s$(repy(s,'solvestat')
  = na),1) 'algunos procesos no seran retornados';
```

El lector puede revisar el código de programación del modelo del software Gams® en el Anexo E.

#### 4.4 INFORMACION UTILIZADA EN EL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CSABC

Los datos son elementos claves y una de las principales limitantes a la hora de validar un modelo de optimización frente a condiciones de la vida real. Por tanto, es importante hacer

un buen proceso de muestreo y búsqueda de información de primera y segunda fuente con el fin de que los supuestos del modelo y la metodología de solución arrojen la respuesta óptima que sirva a la toma de decisiones.

Los municipios productores de berenjena o centros de cultivos declarados para el problema fueron: Montería, Cereté, San Pelayo, San Bernardo del Viento y San Antero, los cuales se identificaron de acuerdo con el diagnóstico realizado en los capítulos 2 y 3. Luego, con las matrices de distancia entre estos municipios que se obtuvieron de Google Maps®, y los costos de referencia por tonelada regidos por el Ministerio de Transporte de Colombia<sup>7</sup>; se construyeron las tablas de 4.4 a 4.10. Estas corresponden a los costos por Tn de un municipio a otro, bajo el supuesto de que los centros de abastos y fábricas estarán ubicados en los mismos municipios donde se ubican los cultivos (Todas las tablas de aquí en adelante fueron elaboradas por el autor).

**Tabla 4.4. Costos por Tn transportada de cultivos a centros de distribución**

	cd1	cd2	cd3	cd4	cd5
Montería	\$140.00	\$2,730.00	\$4,032.00	\$11,900.00	\$11,200.00
Cereté	\$2,730.00	\$140.00	\$1,400.00	\$9,240.00	\$8,540.00
San Pelayo	\$4,032.00	\$1,400.00	\$140.00	\$7,840.00	\$7,140.00
San Bernardo	\$11,900.00	\$9,240.00	\$7,840.00	\$140.00	\$6,020.00
San Antero	\$11,200.00	\$8,540.00	\$7,140.00	\$6,020.00	\$140.00

**Tabla 4.5 Costos por Tn transportada de centros de distribución a fábricas**

	Fábrica1	Fábrica2	Fábrica3	Fábrica4	Fábrica5
cd1	\$140.00	\$2,730.00	\$4,032.00	\$11,900.00	\$11,200.00
cd2	\$2,730.00	\$140.00	\$1,400.00	\$9,240.00	\$8,540.00
cd3	\$4,032.00	\$1,400.00	\$140.00	\$7,840.00	\$7,140.00
cd4	\$11,900.00	\$9,240.00	\$7,840.00	\$140.00	\$6,020.00
cd5	\$11,200.00	\$8,540.00	\$7,140.00	\$6,020.00	\$140.00

**Tabla 4.6 Costos por Tn transportada de centros de distribución a centros de abastos**

	Sincelejo	Montería	Cartagena	Barranquilla	Sta Marta	Medellín	Bogotá
cd1	\$ 16,660.00	\$ 140.00	\$ 38,360.00	\$ 49,420.00	\$ 61,320.00	\$ 56,700.00	\$ 110,880.00
cd2	\$ 14,140.00	\$ 2,660.00	\$ 35,840.00	\$ 46,900.00	\$ 58,800.00	\$ 58,940.00	\$ 113,260.00
cd3	\$ 15,680.00	\$ 3,920.00	\$ 34,440.00	\$ 50,540.00	\$ 60,060.00	\$ 60,200.00	\$ 114,520.00
cd4	\$ 11,200.00	\$ 11,900.00	\$ 33,180.00	\$ 49,420.00	\$ 58,940.00	\$ 68,180.00	\$ 122,360.00
cd5	\$ 9,660.00	\$ 11,200.00	\$ 27,300.00	\$ 43,400.00	\$ 53,060.00	\$ 67,480.00	\$ 121,800.00

<sup>7</sup> Datos estimados a partir de los costos por movilización y por tiempos logísticos del Ministerio de Transporte de Colombia, 2015.

**Tabla 4.7 Costos por Tn transportada de fábricas a centros de abastos**

	Sincelejo	Montería	Cartagena	Barranquilla	Sta Marta	Medellín	Bogotá
<b>Fábrica1</b>	\$ 16,660.00	\$ 140.00	\$ 38,360.00	\$ 49,420.00	\$ 61,320.00	\$ 56,700.00	\$ 110,880.00
<b>Fábrica2</b>	\$ 14,140.00	\$ 2,660.00	\$ 35,840.00	\$ 46,900.00	\$ 58,800.00	\$ 58,940.00	\$ 113,260.00
<b>Fábrica3</b>	\$ 15,680.00	\$ 3,920.00	\$ 34,440.00	\$ 50,540.00	\$ 60,060.00	\$ 60,200.00	\$ 114,520.00
<b>Fábrica4</b>	\$ 11,200.00	\$ 11,900.00	\$ 33,180.00	\$ 49,420.00	\$ 58,940.00	\$ 68,180.00	\$ 122,360.00
<b>Fábrica5</b>	\$ 9,660.00	\$ 11,200.00	\$ 27,300.00	\$ 43,400.00	\$ 53,060.00	\$ 67,480.00	\$ 121,800.00

A continuación, las matrices de distancia (Tablas de 4.8 a 4.11) construidas a partir de la estimación de la ruta más corta en el aplicativo web Google Maps®.

**Tabla 4.8 Distancia en Km de cultivos a centros de distribución**

	cd1	cd2	cd3	cd4	cd5
<b>Montería</b>	1	19	28	85	80
<b>Cereté</b>	19	1	10	66	61
<b>San Pelayo</b>	28	10	1	56	51
<b>San Bernardo</b>	85	66	56	1	43
<b>San Antero</b>	80	61	51	43	1

**Tabla 4.9 Distancia en Km de centros de distribución a fábricas**

	Fábrica1	Fábrica2	Fábrica3	Fábrica4	Fábrica5
<b>cd1</b>	1	19	28	85	80
<b>cd2</b>	19	1	10	66	61
<b>cd3</b>	28	10	1	56	51
<b>cd4</b>	85	66	56	1	43
<b>cd5</b>	80	61	51	43	1

**Tabla 4.10 Distancia en Km de centros de distribución a centros de abastos**

	Sincelejo	Montería	Cartagena	Barranquilla	Santa Marta	Medellín	Bogotá
<b>cd1</b>	119	1	274	353	438	405	792
<b>cd2</b>	101	19	256	335	420	421	809
<b>cd3</b>	112	28	246	361	429	430	818
<b>cd4</b>	80	85	237	353	421	487	874
<b>cd5</b>	69	80	195	310	379	482	870

**Tabla 4.11 Distancia en Km de fábricas a centros de abastos**

	Sincelejo	Montería	Cartagena	Barranquilla	Santa Marta	Medellín	Bogotá
<b>Fábrica1</b>	119	1	274	353	438	405	792
<b>Fábrica2</b>	101	19	256	335	420	421	809
<b>Fábrica3</b>	112	28	246	361	429	430	818
<b>Fábrica4</b>	80	85	237	353	421	487	874
<b>Fábrica5</b>	69	80	195	310	379	482	870

De acuerdo con las estadísticas de Agronet (2016), se estableció que 566 Tn es la producción promedio de berenjena en fresco del departamento de Córdoba en los últimos 20 años. En tanto que a partir de MADR (2012) se ajustaron los porcentajes de participación por municipio en la producción departamental en 36%, 24%, 21%, 8% y 7% para los municipios de Montería, Cerete, San Pelayo, San Bernardo del Viento y San Antero, respectivamente. El estudio no contó con la data suficiente para realizar un modelo de pronóstico de la producción, ya que de acuerdo con Mora (2012), para poder establecer pronósticos medidos en años se necesitan entre 25 a 30 años de información, con los cuales se puede tener la confianza estadística de tener un buen pronóstico.

Así la tabla 4.10 muestra las capacidades de oferta utilizadas en el problema de la CSABC.

**Tabla 4.12 Capacidad de oferta por centros de cultivos en Tn**

Ciudad	Producción
<b>Montería</b>	205
<b>Cerete</b>	134
<b>San Pelayo</b>	121
<b>San Bernardo</b>	46
<b>San Antero</b>	37

Al no contar con datos exactos de la demanda de los centros de abastos y fábrica, pero asumiendo que son los principales clientes de la CSABC futura, se estimaron estas demandas en 100 Tn anuales. De este modo al sumar todas las demandas se obtiene una demanda por encima de la oferta y se puede evaluar si el modelo puede o no cumplir con la demanda de los centros de abastos y fábricas.

Las capacidades de los actores de la CSABC fueron estimadas de acuerdo a la aplicación de principios de *croosdocking*. En el caso de los centros de distribución y las fábricas se estima 100 Tn y 200 Tn, como capacidades mínima y máxima; dado que no se cuenta con valores documentados, se procede a estandarizar un valor consecuente con la oferta de los cultivos.

La capacidad de los camiones se calcula con base en los registros del Ministerio de Transporte y se establece una carga mínima de 10 Tn y una máxima de 20 Tn de acuerdo con las configuraciones de un tractocamión.

Asimismo, el número de viajes de un tracto camión se limita a 100 viajes por año, con el fin de establecer un rango de opciones de viajes con los cuales el modelo pueda establecer la cantidad de viajes necesarios<sup>8</sup>.

La velocidad máxima de transporte es de 80 km/hora por lo cual se tiene que el parámetro de tiempo transcurrido en un km (velochoraporkm) se considera 0.0125 hora/Km y la tarifa por hora en movimiento será de \$300.000<sup>9</sup>.

La cantidad de producto fresco enviado de centros de distribución a centros de abastos (mayoristas) corresponde al 60% de lo que proviene de cultivos y la cantidad enviada de producto fresco de centros de distribución a fábricas es el 40% restante.

---

<sup>8</sup> El número de viajes se estipula haciendo analogía a una “Big M”, es decir, un valor grande para que el modelo tome la decisión de cuantos viajes efectivamente debería realizar un camión.

<sup>9</sup> Datos estimados a partir de los costos por movilización y por tiempos logísticos del Ministerio de Transporte de Colombia, 2015.

## 5. CAPÍTULO V

### VALIDACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CSABC Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1 ESCENARIO 1: SOLUCION ÓPTIMA

El modelo es ejecutado en el servidor NEOS SERVER debido a la cantidad de variables que genera y que sobrepasada la versión estudiantil de GAMS®. El algoritmo matemático permite tomar decisiones sobre las rutas y cantidades de Tn a enviar, teniendo en cuenta la generación de 904 ecuaciones, 1277 variables libres y 425 variables discretas, procesados por el servidor CPLEX de IBM en 0.010 segundos.

El modelo permite determinar las cantidades a enviar teniendo en cuenta la demanda de los centros de distribución, fábricas y centros de abastos, definiendo que es mejor contar con un centro de abastos en cada uno de los municipios productores, dado los costos de transporte y procesamiento en que se incurren en cada una de las etapas, así mismo se determina ubicar en 4 de los 5 municipios al menos una fábrica grande o pequeña que permita controlar el procesamiento y distribución hacia las centrales mayorista, garantizando una mejora en los indicadores de calidad y capacidad de respuesta del presente modelo SCOR. A continuación los resultados o solución óptima:

**Tabla 5.1 Tn de berenjena a transportar de cultivos a centros de distribución y relación de vehículo (Escenario 1)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
Montería	cd1	Camión2	200
Montería	cd2	Camión1	4
Cerete	cd2	Camión3	142
San Pelayo	cd2	Camión1	21
San Pelayo	cd5	Camión1	24
San Bernardo	cd4	Camión4	100
San Bernardo	cd5	Camión5	36
San Antero	cd5	Camión1	40
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>567</b>

**Tabla 5.2 Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a fábricas y relación de vehículos (Escenario 1)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
cd1	Fábrica1	Camión5	80
cd2	Fábrica2	Camión1	67
cd4	Fábrica4	Camión1	40
cd5	Fábrica5	Camión4	40
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>227</b>

**Tabla 5.3 Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 1)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
cd1	Montería	Camión1	20
cd1	Medellín	Camión1	100
cd2	Barranquilla	Camión1	33.2
cd2	Santa marta	Camión1	67
cd4	Sincelejo	Camión1	60
dd5	Cartagena	Camión1	60
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>340.2</b>

**Tabla 5.4 Tn de berenjena a transportar de fábricas a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 1)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
<b>Fábrica1</b>	Montería	Camion1	80
<b>Fábrica2</b>	Barranquilla	Camion1	66.8
<b>Fábrica4</b>	Sincelejo	Camion1	40
<b>Fábrica5</b>	Cartagena	Camion1	40
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>226.8</b>

Una vez definido las rutas y cantidades de Tn a movilizar, es importante establecer el ruteo de los camiones teniendo en cuenta los resultados de las variables  $y_1$ ,  $y_2$  y  $y_3$  que permiten asignar o no una ruta, esto con el fin de cuantificar los movimientos que realizara los camiones que impactan directamente los indicadores de flexibilidad del envío y los *Lead Time* de entrega de productos a los centros de abastos, tal como se ve a continuación:

**Tabla 5.5 Cantidad de viajes a programar de cultivos a centros de distribución (Escenario 1)**

Origen	Destino	Recurso usado	Cantidad de viajes a programar de cultivos a centros de distribución
Montería	cd1	Camión 1, Camion2 Camion3 y Camion4	40
Montería	cd2	Camión1	1
Cerete	cd2	Camión3	8
San Pelayo	cd2	Camión1	1
San Pelayo	cd5	Camión1	1
San Bernardo	cd4	Camión4	5
San Bernardo	cd5	Camión1	2
San Antero	cd5	Camión1 y Camión2	12
<b>Número de viajes a realizar</b>			<b>60</b>

**Tabla 5.6 Cantidad de viajes a programar de centros de distribución a fábricas (Escenario 1)**

Origen	Destino	Recurso usado	Cantidad de viajes a programar de centros de distribución a fábricas
cd1	Fabrica1	Camión1 y Camión2	12
cd2	Fabrica2	Camión1	4
cd4	Fabrica4	Camión1	2
cd5	Fabrica5	Camión1 y Camión2	6
<b>Número de viajes a realizar</b>			<b>24</b>

**Tabla 5.7 Cantidad de viajes a programar de centros de distribución a centros de abastos (Escenario 1)**

Origen	Destino	Recurso usado	Cantidad de viajes a programar de centros de distribución a centros de abastos
cd1	Montería	Camión1	18
cd1	Medellín	Camión1	5
cd2	Barranquilla	Camión1	2
cd2	Santa marta	Camión1	4
cd4	Sincelejo	Camión1	3
cd5	Cartagena	Camión1	3
<b>Número de viajes a realizar</b>			<b>35</b>

**Tabla 5.8 Cantidad de viajes a programar de las fábricas a centros de abastos (Escenario 1)**

Origen	Destino	Recurso usado	Cantidad de viajes a programar de centros de distribución a las fábricas
<b>Fábrica1</b>	Montería	Camión1	15
<b>Fábrica2</b>	Barranquilla	Camión1	5
<b>Fábrica4</b>	Sincelejo	Camión1	2
<b>Fábrica5</b>	Cartagena	Camión1	2
<b>Número de viajes a realizar</b>			<b>24</b>

Todo lo anterior permite un valor de **\$43.979.000** por concepto de costos logísticos de transporte, resultado de la configuración de la red logística de la SCABC.

## **5.2 ESCENARIO 2: ACUERDOS ENTRE LOS PRODUCTORES Y COMERCIALIZADORES**

El escenario propone la integración de los agricultores para incentivar la venta de berenjena en mercados que se muevan por encima del 50% de las ventas actuales y considerando los envíos adecuados en términos de costos y tiempo que se ven reflejados en una mejor distribución de los camiones, el cual le apunta directamente al indicador de tasa de cumplimiento, dado que al agruparse la flota y transportar más carga, se puede cumplir en mayor proporción con los tiempos, lugares y modo de entrega de la berenjena tal como se muestra a continuación:

**Tabla 5.9 Tn de berenjena a transportar de cultivos a centros de distribución y relación de vehículo (Escenario 2)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
<b>Montería</b>	cd1	Camión4	200
<b>Montería</b>	cd2	Camión3	33
<b>Cerete</b>	cd2	Camión1	168
<b>Cereté</b>	cd3	Camión2	26
<b>San Pelayo</b>	cd5	Camión1	60
<b>San Bernardo</b>	cd4	Camión1	152
<b>San Antero</b>	cd5	Camión4	57
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>696</b>

**Tabla 5.10 Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a fábricas y relación de vehículos (Escenario 2)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
cd1	Fábrica1	Camión3	80
cd2	Fábrica2	Camión1	80
cd3	Fábrica5	Camión1	11
cd4	Fábrica4	Camión1	32
cd4	Fábrica5	Camión2	30
cd5	Fábrica5	Camión2	47
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>280</b>

**Tabla 5.11 Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 2)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
cd1	Montería	Camión1	62
cd1	Medellín	Camión1	59
cd2	Barranquilla	Camión2	51
cd2	Santa Marta	Camión1 y Camión2	70
cd3	Santa Marta	Camión1	6
cd3	Medellín	Camión1	10
cd4	Sincelejo	Camión2	91
cd5	Cartagena	Camión1	29
cd5	Santa marta	Camión2	41
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>419</b>

**Tabla 5.12 Tn de berenjena a transportar de fábricas a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 2)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
<b>Fábrica1</b>	Montería	Camión1	80
<b>Fábrica2</b>	Barranquilla	Camión1	80
<b>Fábrica4</b>	Sincelejo	Camión1	32
<b>Fábrica5</b>	Cartagena	Camión1	86
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>278</b>

Asimismo, se puede apreciar que los costos se ven aumentados por la gestión de la SCABC, generando ingresos más alto por el aumento en la oferta y demanda propiciando el

desarrollo de mejores políticas de costos que aumenten los ingresos, disminuyan aún más los costos y aumenten la satisfacción del cliente al recibir un producto más económico integrándose esta respuesta con la relación de objetivos y mapa estratégico de los KPI's Nivel 1 de la CSABC, tal como se ilustra a continuación:

**Tabla 5.13 Promedio de los costos logísticos de transporte del escenario 2**

Replica	Costos logísticos de la cadena
1	\$58.033.760
2	\$49.194.480
3	\$59.639.610
4	\$63.247.570
5	\$51.921.130
<b>Costos promedio</b>	<b>\$56.407.310</b>

Donde se obtiene un costo promedio de **\$56.407.310**, un valor mayor por la apertura de mercados y agrupación para el aumento de la capacidad de producción, lo cual hace posible consolidar más cargas para los envíos hacia los centros de abastos, cumplimiento con el mismo plan.

### **5.3 ESCENARIO 3: AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS SIN ACUERDOS CON LOS COMERCIALIZADORES**

Este escenario propone la integración de los agricultores para incentivar la venta de la berenjena con una producción por encima del 50% de las ventas actuales y considerando los envíos adecuados en términos de costos y tiempo que se ven reflejados en una mejor distribución de los camiones, el cual le apunta directamente al indicador de tasa de cumplimiento, dado que al agruparse la flota y transportar más carga, se puede cumplir en mayor proporción con los tiempos, lugares y modo de entrega de la berenjena tal como se muestra a continuación:

**Tabla 5.14 Tn de berenjena a transportar de cultivos a centros de distribución y relación de vehículos (Escenario 3)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
Montería	cd1	Camión4	274
Cereté	cd2	Camión1	179
Cereté	cd3	Camión1	12
San Pelayo	cd5	Camión1 y Camión2	59
San Bernardo	cd4	Camión5	176
San Antero	cd5	Camión4	56
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>756</b>

**Tabla 5.15 Tn de berenjena a transportar de centros de distribución a fábricas y relación de vehículos (Escenario 3)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
cd1	Fábrica1	Camión2	110
cd2	Fábrica2	Camión3	72
cd3	Fábrica5	Camión1	5
cd4	Fábrica4	Camión1	45
cd4	Fábrica5	Camión2	26
cd5	Fábrica5	Camión4	46
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>304</b>

**Tabla 5.16 Tn de berenjena a transportar de fábricas a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 3)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
Fábrica1	Montería	Camión1	109
Fábrica2	Barranquilla	Camión1	72
Fábrica4	Sincelejo	Camión1	45
Fábrica5	Cartagena	Camión1	76
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>302</b>

**Tabla 5.17 Tn de berenjena a transportar de fábricas a centros de abastos y relación de vehículos (Escenario 3)**

Origen	Destino	Recurso usado	Toneladas de berenjena a transportar
cd1	Montería	Camión1	41
cd1	Medellín	Camión1	124
cd2	Barranquilla	Camión1	79
cd2	Santa marta	Camión1	29
cd3	Cartagena	Camión1	7
cd4	Sincelejo	Camión1	106
cd5	Cartagena	Camión1	69
<b>Toneladas de berenjena enviadas</b>			<b>455</b>

Asimismo se puede apreciar, que los costos se ven disminuidos por la gestión de la SCABC, propiciando el desarrollo de mejores políticas de costos que aumenten los ingresos, disminuyan los costos y aumenten la satisfacción del cliente al recibir un producto más económico integrándose esta respuesta con la relación de objetivos y mapa estratégico de los KPI's Nivel 1 de la CSABC, tal como se ilustra a continuación:

**Tabla 5.18 Promedio de los costos logísticos de transporte del escenario 3**

Replica	Costos logísticos de transporte
1	\$54.620.430
2	\$52.208.530
3	\$61.660.970
4	\$55.856.870
5	\$52.517.150
<b>Costos promedios</b>	<b>\$55.372.790</b>

Donde se ve claramente un costo promedio de **\$55.372.790**, valor algo mucho menor por la apertura de mercados y agrupación para el aumento de la capacidad de producción, lo cual hace posible consolidar más cargas para los envíos hacia los centros de abastos, cumplimiento con el mismo plan.

## 5.4. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ESCENARIOS

De acuerdo con los resultados anteriores, se puede obtener el siguiente resumen:

**Tabla 5.19 Comparación de escenarios de la red de distribución de productos programada para la CSABC**

Escenario	Valor de la función objetivo (Costos logísticos de transporte)	Tn procesadas y entregadas	Ingresos por venta	% Contribución de los costos logísticos de transporte en los ingresos	Tn demandadas	Tasa de cumplimiento
Escenario 1: Solución óptima	\$43.979.000	567	\$ 850.500.000	5,17%	700	81%
Escenario 2: Acuerdo entre los productores y comercializadores	\$56.407.310	696	\$ 1.044.000.000	5,40%	700	99%
Escenario 3: Aumento de la productividad de los cultivos sin acuerdos con los comercializadores	\$55.372.790	756	\$ 1.134.000.000	4,88%	1050	72%

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 5.15 permite comparar los costos logísticos de transporte, ingresos por venta, contribución de los costos logísticos de transporte en los ingresos por venta y el desempeño del KPI Tasa de cumplimiento, obtenidos de las corridas del modelo de optimización en los 3 escenarios. Para tal efecto se considera un precio promedio de \$1.500/Kg de berenjena.

El escenario 1 de solución óptima arroja el menor valor de costos logísticos de transporte. La tasa de cumplimiento de entrega de pedidos es del 81%, la participación de los costos respecto a los ingresos es 5,17% y los ingresos estimados por las toneladas entregadas llegan a \$850.500.000; siendo los menores ingresos de los 3 escenarios.

El escenario 2 que contempla acuerdo entre productores y comercializadores arroja unos costos logísticos más altos (\$56.407.310). La tasa de cumplimiento es del 99%, la participación de los costos logísticos de transporte respecto a los ingresos es 5,4% y los ingresos estimados por las toneladas entregadas ascienden a \$1.044.000.000.

El escenario 3 muestra una tasa de cumplimiento del 72%, la participación de los costos de rutas de transporte respecto a los ingresos es 4,9% y los ingresos estimados por las toneladas entregadas serían los más altos de los 3 escenarios (\$1.134.000.000).

A pesar de que el escenario 1 representa mayores ahorros en costos de transporte no arroja una tasa de cumplimiento de órdenes de servicio tan atractiva como la del escenario 2.

El escenario 2 es el mejor de los 3 escenarios evaluados porque los ingresos por venta son más favorables que los del escenario 1. Si bien los costos de transporte aumentan, este aumento significa un 28% respecto al primer escenario y esto se compensa con el 22% que aumentan los ingresos y el casi el 100% que se alcanza el indicador Tasa de cumplimiento. El escenario 3 es el menos atractivo y por tanto no se recomienda para la CSABC.

De lo anterior, se puede comprobar que cuando se supone asociación y trabajo colaborativo entre los productores y comercializadores (Escenario 2) se generan los mejores resultados, dado que al fortalecer la cadena productiva ajustando el comportamiento de la producción a la demanda, se podría lograr mayor nivel de servicio e impactar de manera positiva a uno de los KPI más importantes de la cadena logística como es la tasa de cumplimiento de órdenes y la capacidad de respuesta. Así se podría esperar que la satisfacción del cliente aumente y se genere aumento de ingresos por ventas, en especial para el eslabón productores.

Tal como lo establecen los planteamientos teóricos, el caso del sistema de producción y comercialización de la berenjena ha demostrado que la asociación de productores y trabajo colaborativo entre ellos, centros de distribución, fábricas, centros de abastos, ayuda al desarrollo de la SCABC.

La tabla 5.19 demuestran que al ajustar la capacidad de respuesta de la producción a la demanda, los costos de transporte siguen alrededor del 5% y el cambio porcentual es inferior al 1%, por lo que se justifica la puesta en marcha del programa de distribución anual que entrega el modelo de optimización aplicado en la CSABC.

Finalmente, los resultados evidencian que la búsqueda de un modelo colaborativo entre productores y los demás eslabones de la cadena, planteado a lo largo de esta investigación mediante un modelo de gestión y operación de la red de flujo de producto e información es factible y diseña una red de distribución de producto sostenible y rentable.

## CONCLUSIONES

Los trabajos precedentes de aplicación del modelo SCOR en cadenas de suministro agroalimentarias, habían sido de enfoques cualitativos y carentes de una aproximación o articulación a modelos matemáticos que apoyen el diseño y evaluación del desempeño en este tipo de cadenas. Por tanto, la investigación desarrollada en la CSABC demostró que la apuesta de articular las técnicas de optimización y/o simulación al modelo SCOR, representa un desarrollo metodológico innovador que ofrece soluciones factibles a los problemas de diseño de cadenas de suministros agroalimentarias.

Cada día los consumidores son más exigentes en sus hábitos alimenticios, cada vez se orientan más hacia una cultura de alimentación sana y privilegian el consumo de frutas y hortalizas. Debido a que Europa muestra una cultura de consumo de berenjenas, y Estados Unidos presenta el mayor consumo a nivel mundial, la transformación y exportación de berenjenas dirigida a estos mercados, se convierte en una oportunidad de negocio.

El diagnóstico realizado en la producción y comercialización de la berenjena mediante la aplicación de encuestas a los actores más visibles (proveedores de agroinsumos, productores, comercializadores e instituciones soporte), reveló el bajo nivel de encadenamiento que padece la red actual de suministro de la berenjena en el departamento de Córdoba-Colombia. En los productores de berenjena resalta la carencia de enfoques de asociatividad y baja apropiación de herramientas de planeación y control para gestionar el cultivo con enfoque de agronegocio.

Los proveedores de agroinsumos y comercializadores son los que tienen poder de negociación frente a los productores. Los proveedores mostraron mayor formalización y organización empresarial en la cadena y de ser convocados a participar en proyectos de encadenamiento, la asesoría técnica y divulgación de paquetes tecnológicos serían sus principales aportes.

Por su parte, los comercializadores perciben los mayores beneficios del flujo de producto fresco, pero también son afectados significativamente por la ausencia de encadenamiento, poco desarrollo tecnológico de los cultivos y precaria gestión logística en la cadena. La falta de estándares de calidad del producto es el mayor problema que los aqueja, seguido de la alta variación de los precios de la berenjena, que depende de las estaciones del año.

Las instituciones soporte de la cadena han desarrollado proyectos relacionados con divulgación de paquetes tecnológicos para mejorar la productividad de variedades criollas y capacitación de productores en Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), sin embargo, estos no han impactado en el mejoramiento de cultivos, aumento de calidad y productividad. Faltan proyectos que concreten resultados en la consolidación de asociaciones de pequeños

productores, estudios de mercado que prioricen variedades y requerimientos de clientes nacionales e internacionales e iniciativas que promuevan la transformación agroindustrial.

El modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference Model*) aplicado en la Cadena de Suministro Agroalimentaria de la Berenjena en Córdoba (CSABC) permitió la fijación de objetivos y metas relacionadas con la generación de utilidades, vía reducción de costos y aumento de la satisfacción de los clientes, que a su vez están sujetos a un despliegue de indicadores (KPI's) para enlazar los procesos básicos logísticos (planeación, aprovisionamiento, producción, entrega, devoluciones y apoyo) a nivel estratégico y operacional. Así se logró un modelo de gestión que puede aplicarse en cadenas de suministro agroalimentarias interesadas en emprender proyectos de optimización de procesos con el fin de mejorar rendimientos, calidad de producto, *Lead Time*, cumplimiento de órdenes de clientes, entre otros requerimientos.

El flujo de materiales e información de la CSABC futura y deseada permitirá cumplir los objetivos estratégicos, sí y sólo sí, los pequeños productores se organizan en una asociación y establecen acuerdos con los medianos productores respecto a: acopio del producto fresco, estándares de producto, agro-logística del producto, redes de distribución y devoluciones, fijación de precios, condiciones contractuales con el resto de eslabones, planeación, organización y control de la cadena en general. El empoderamiento de la producción en un esquema de trabajo colaborativo es el único camino que podrá garantizar un verdadero impacto social y económico en el eslabón más débil de la cadena actual y por consiguiente el más crítico en el cumplimiento de los objetivos productivos del sector agrícola de Córdoba y el país.

El diseño propuesto para la CSABC requiere del establecimiento de centros de distribución (*paking house*) y empresas productoras de salsas, pulpa y encurtidos en el departamento de Córdoba. Los centros de distribución deben despachar a fábricas y comercializadores mayoristas de las principales ciudades de la costa norte y centro del país, utilizando una red de distribución de producto programada con base en los costos y demanda de clientes.

Las instituciones soporte del orden gubernamental y mixto, deben convertirse en garantes de la configuración del nuevo sistema, por lo que en la CSABC propuesta, además del protagonismo de las instituciones soporte y eslabones existentes, se incorporan fábricas y organizaciones de servicios especializados tales como: centros de distribución y empresas de transporte terrestre de productos vegetales en fresco.

El transporte de producto fresco y procesado entre cultivos, centros de distribución, fábricas y comercializadores mayoristas de la CSABC futura quedó configurado conforme la red que se diseñó vía metodología SCOR y el programa de asignación de cantidades a entregar y número de envíos para un periodo anual, el cual se obtuvo mediante la solución del modelo de programación lineal entera mixta (MILP) multi-escenarios resuelto.

El objetivo de minimización de los costos logísticos de transporte se logró. Los escenarios de encadenamiento diseñados para analizar la solución al problema de asignación de cantidades y envíos mediante el MILP programado, confirmaron que cuando se supone la constitución de asociaciones de productores y establecimiento de acuerdos de colaboración entre proveedores de agroinsumos, productores, centros de distribución y centros de abastos; aumentan los ingresos de la cadena y tasa de cumplimiento de pedidos, al tiempo que los costos logísticos de transporte se mantienen bajo control. De esta manera, se puede afirmar que la articulación de las herramientas de optimización matemática realmente complementan el despliegue operacional que exige el modelo SCOR y en consecuencia se logró también una herramienta de gestión útil y ajustada a las necesidades de la CSABC actual.

La búsqueda de un modelo de gestión colaborativo a lo largo la investigación mediante la integración de un modelo de gestión y operación del flujo de producto fresco e información de la red de transporte de la berenjena, fue factible, por lo que puede ser replicable en otro tipo de cadenas productivas agrícolas y agroindustriales.

El diseño de la CSABC resultó ser un desarrollo metodológico que tiene la capacidad de reorientar las relaciones de cadena de suministro de la berenjena actual y se constituye en la única carta de navegación de nivel estratégico y operativo para la organización y fortalecimiento de esta cadena productiva en el país, atendiendo al imperativo cumplimiento de la Ley 811 de 2003 y a las metas de aumento en la productividad del agro colombiano.

Siguientes investigaciones deberían definir la función de costos de toda la cadena, costos directos e indirectos de los productos en fresco y procesado, y todos los costos logísticos, no sólo los de transporte. Podrían programarse escenarios de comercio internacional que contemplen demanda estocástica a partir de pronósticos que se pueden obtener de la FAO. Escenarios que logren definir relaciones de tecnologías de producción más sostenible, tales como BPA; parametrización de economías de escala con los agroinsumos que más impacten los costos del cultivo; generación de empleo e incluso índices de calidad de vida rural.

Asimismo debería desarrollarse mejor el engranaje de los escenarios de optimización con todos los KPI's del modelo SCOR que se logró en el estudio, porque este aspecto es una oportunidad de complejizar el modelo para la CSABC y otras cadenas. Claro está, que estos escenarios dependen 100% de los datos de la realidad, por lo que el registro de información de manera sistemática debe empezar cuanto antes.

El SCM de la agroindustria alimentaria necesita de modelos que apoyen la configuración de redes que incluyan características más realistas tales como comercio de productos orgánicos, sostenibilidad, adaptación al cambio climático, seguridad alimentaria,

estacionalidad, entre otros asuntos. Quizá modelos estocásticos que permitan conectar soluciones medibles y susceptibles de estimación en el tiempo, bajo condiciones simuladas antes de la implementación de estrategias de gestión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agronet. 2016.. Estadísticas de Área, producción y rendimiento por cultivo. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>. Con acceso: 31-08-2016.
2. Amézquita J., Vergara J. y Maza F. 2007. Modelamiento de cadenas agroindustriales mediante simulación de redes. Universidad de Cartagena. En: <https://juancarlosvergaras.files.wordpress.com/2013/04/libro-cadenas.pdf>.
3. Antonini, A., Robles, W., Tessarioli, J., & Kluge, R. 2002. Capacidade productiva de cultivares de berinjela. Horticultura Brasileira. Vol 20. N°4. pag 646-648.
4. Aramendiz, H., Robles, J., Cardona, C., Llano, J., & Arzuaga, E. 2006. Caracterización morfológica de la berenjena. Temas Agrarios. Pag 5-14.
5. Araméndiz, H., Cardona, C., Jarma, A. & Espitia, M. 2008. El cultivo de la Berenjena (*Solanum melongena* L.). 1a ed. Bogotá. Editorial Produmedios. pag 152.
6. Araméndiz, H., Cardona, C. & Espitia, M. 2009. Caracterización de la morfología floral de dos cultivares de berenjena. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. pag 5125-5134.
7. Aramendiz, H., Sudré, C., Gonçalves, L. & Rodrigues R. 2011. Potencial agrônômico e divergência genética entre genótipos de berinjela nas condições do Caribe Colombiano. Horticultura Brasileira. N° 29. pag 174-180.
8. Aramendiz, H.; Espitia M. & Cardona C. 2010. Análisis de sendero en berenjena (*Solanum melongena* L.). Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica. Vol 13, 115-123.
9. Aramyam L. 2007. Measuring Supply Chain Performance in the Agri-Food Sector. PhD Thesis Wageningen University.
10. Ariza L. & Bello A. 2011. Análisis del proceso de comercialización de la papa criolla basado en el modelo SCOR, en almacenes de grandes superficies en la ciudad de bogotá (estudio de caso). Trabajo de grado. Programa de administración de empresas. Universidad de la Salle.
11. Asociación Hortifrutícola de Colombia (ASOHOFrucol). 2012. Plan nacional de fomento hortifrutícola.
12. B. Sharma, R. G. Ingalls, C. L. Jones, & A. Khanchi. 2013. Biomass supply chain design and analysis: Basis, overview, modeling, challenges, and future. *Renew. Sustain. Energy Rev.* Vol. 24. pag 608–627.
13. Banco Mundial. 2014. Informe Anual 2014. Menos pobreza más prosperidad. Disponible en: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org). Con acceso 27 de febrero de 2015.
14. Bani I., Harto K., Ismoyowati D. 2015. Evaluation of Poultry Supply Chain performance using SCOR and AHP Method. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* Vol 3. Pag. 221–225.
15. C. H. Fine. 2000. Clockspeed-based strategies for supply chain design. *Production and Operations Management*. Vol. 9 N° 3. pag 213-221.

16. Camacho M. 2015. Modelo de cadena colaborativa en el sector agrícola colombiano. Tesis Maestría en Gerencia de Operaciones. Universidad de la Sabana.
17. Cantero, J., Espitia, L., Cardona, C., Vergara, C. & Araméndiz, H. 2015. Efectos del compost y lombriabono sobre el crecimiento y rendimiento de berenjena *Solanum melongena* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*. Volumen 32. N°2. pag 56–67.
18. Changrui Ren, Jin Dong, Honwei Ding & Wei Wang. 2006. Linking Strategic Objectives Operations towards a more effective Supply Chain Decision Making. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*.
19. Chen, X., Huang, H., Khanna, M. y Onal, H. 2011. Meeting the mandate for biofuels: implications for land use, food and fuel prices. Working Paper Series. National Bureau of Economic Research.
20. Colciencias, Gobernación de Córdoba, Universidad de Córdoba & Observatorio del Caribe Colombiano. 2012. Plan estratégico departamental de Ciencia, Tecnología e innovación de Córdoba.
21. Correa, E., Araméndiz, H., Azeredo, L., Pombo, C., & Cardona, C. 2010. Tipificación de comercializadores de berenjena en zonas productoras del caribe colombiano. *Temas Agrarios*, 46-57.
22. D. M. Lambert & M. C. Cooper. 2000. Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*. Vol. 29. N ° 1. pag. 65-83.
23. Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE. 2016. Pobreza monetaria multidimensional en Colombia. Boletín Técnico. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones\\_vida/pobreza/bol\\_pobreza\\_15\\_.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/bol_pobreza_15_.pdf). Con acceso: 7-12-2016.
24. Data & Business. 2013. Berenjenas – eggplants. Disponible en: <http://b2bctrade.blogspot.com.co/2013/06/data-business-berenjenas-eggplants.html>. Con acceso: 8-04-2015.
25. Departamento Nacional de Planeación (DNP). 2007. Agenda Interna de Competitividad y Productividad del Departamento de Córdoba.
26. Departamento Nacional de Planeación (DNP). 2015. El campo colombiano: Un camino hacia el bienestar y la paz. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co>. Con acceso 19-11-2016. pag 19.
27. Departamento Nacional de Planeación- DNP 2015. Plan Nacional de Desarrollo: Todos por un nuevo país. p 432. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/Paginas/Que-es-el-Plan-Nacional-de-Desarrollo>. Con acceso: 7-11-2016
28. Dicks, M., Campiche, J., Ugarte, D., Hellwinckel, C., Bryant, H. y Richardson, J. 2009. Land use implications of expanding biofuel demand. *Journal of Agricultural and Applied Economics*. 41 (2). pag 435–453.
29. Duran, M., Contreras, N., & Valencia, H. 2007. Obtención de la Oleorresina de la Berenjena (*Solanum melongena* L.) y su posible uso industrial. *Scientia et Technica*, 2.

30. El Tiempo. 2013. Lo que tiene en jaque al agro colombiano. Disponible en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13052762>. Con acceso: 25-07-2016.
31. FAO. 2013. Estadísticas sobre producción de cultivos. <http://faostat.fao.org/>. Con acceso: 21-04-2015.
32. FAO. 2014. Disponible en: <http://faostat.fao.org/beta/es/#country>. Con acceso: 9-03-2016.
33. Fearne A. 1998. Case Study: The evolution of partnerships in the meat supply chain: insights from the British beef industry. MCB University Press. Supply Chain Management. Volume 3. N° 4. pag 214-231.
34. Fischer, C. & Hartman, M. 2010. Agri-food chain relationships. London, UK: CAB International.
35. Freitas, R., Sediya, M., Pereira, P., Ferreira, F., & Cecon, P. 2004. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da mandiocinha – salsa. Planta Daninha. pag 499-506.
36. Fundación Hondureña De Investigación Agrícola (FHIA). 2007. Ventajas del uso de plantas injertadas en la producción de berenjena china en Honduras. Honduras.
37. Garcia, E., Hernández, E., De Paula, C., & Aramendiz, H. 2003. Caracterización bromatológica de la Berenjena (*Solanum Melongena L.*) en el departamento de Córdoba. Temas Agrarios.
38. H. Min & G. Zhou, , 2002. Supply chain modeling : past , present and future. Vol 43. pag 231–249.
39. Harrison Terry P. 2001. Global Supply Chain Design. Information Systems Frontiers 3:4. Pag 413–416.
40. Harvey, M. y Pilgrim, S. 2011. The new competition for land : Food , energy , and climate change. Food Policy. Vol. 36. pag 40–51.
41. Hortoinfo. 2013. España lidera la exportación mundial de berenjena. Disponible en: <http://www.hortoinfo.es/index.php/noticias/2280-expor-mund-berenjena-11-11>. Con acceso: 24-06-2015.
42. Iakovou, E., Vlachos, D., Achillas, C., & Anastasiadis, F. 2012. A methodological framework for the design of green supply chains for the agrifood sector. Working paper.
43. IEEC- Escuela de Negocios Supply Chain Management y Logística. 2015. Modelo de referencia de la supply chain SCOR. Disponible en: <http://www.ieec.edu.ar/modelo-de-referencia-de-la-supply-chain-scor/>. Con acceso: 29-10-2016.
44. Iloveeggplant. 2016. A group of different eggplant varieties. Disponible en: <http://www.iloveeggplant.com/varieties>. Con acceso 15-11-2016.
45. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2014. Boletín electrónico disponible en <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/c8eb398044ab6ec2bbd1ff9d03208435/IGAC+revela.pdf?MOD=AJPERES>. Con acceso: 25-07-2016.

46. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2007. Guía práctica para la exportación de berenjena a EE.UU. Disponible en: <http://www.bionica.info/biblioteca/IICA2007BerenjenaExportacion.pdf>. Con acceso: 22-06-2015.
47. International Food Policy Research Institute. 2010. Food Security, farming, and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options. Washington, D.C. Disponible en: <http://www.ifpri.org>. Con acceso: 09-03-2015.
48. Jaffee, S., Siegel, P., & Andrews, C. 2010. Rapid agricultural supply chain risk assessment: A conceptual framework. Agriculture and Rural Development Discussion Paper 47. Washington D.C., US: The World Bank.
49. Johansson, D.J.A y Azar, C. 2007. A scenario based analysis of land competition between food and bioenergy production in the U.S. Climatic. Change. 82 (3). pag 267–291.
50. Khanna, M., Dhungana, B. y Clifton-Brown, J. 2008. Costs of producing miscanthus and switchgrass for bioenergy in Illinois. Biomass Bioenergy. 32 (6). pag 482–493.
51. Macua, J., Lahoz, I., Calvillo, S., & Santos, A. 2005. Berenjena Variedades con destino industrial. Navarra Agraria, 4.
52. Manzini, R. & Accorsi, R. 2013. The new conceptual framework for food supply chain assessment. Journal of Food Engineering. N° 115.pag 251–263.
53. Matopoulos, A., Vlachopoulou, M., Manthou, V., & Manos, B. 2007. A conceptual framework for supply chain collaboration: empirical evidence from the agri-food industry. Supply Chain Management: An International Journal. Vol 12. pag 177-186.
54. Ministerio de Comercio Industria y Turismo (MinCIT). 2016. Perfil económico: Departamento de Córdoba. Disponible en: <http://www.mincit.gov.co/publicaciones.php?id=16724>. Con acceso: 9-11-2016.
55. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2012. Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007-2011 y cosechas resultados evaluaciones agropecuarias municipales 2011.
56. Mohd N., Rasi R & Fauzi Md. 2015. Review of Enviropreneurial Value Chain (EVC) based on SCOR Model and NRBV Theory. Procedia - Social and Behavioral Sciences Vol 172. pag 411 – 418.
57. Mora A. 2012. Pronósticos de demanda e inventarios: métodos furfurísticos. Editorial AMG. Tercera edición. pag 86.
58. Novozymes, 2013, Agriculture – Feeding tomorrow’s world. Disponible en: <http://www.novozymes.com/en/solutions/agriculture/Pages/default.aspx>. Con acceso: 09-03-2015.
59. Ntabe E., LeBel L., Munson A.D. & Santa-Eulalia L.A. 2015. A systematic literature review of the supply chain operations reference (SCOR) model application with special attention to environmental issues. Production Economics 169. pag 310–332.
60. O. Ahumada & J. R. Villalobos. 2009. Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. European Journal of Operational Research. pag 1-20.

61. ONU. 2013. World population projected to reach 9.6 billion by 2050 - UN Report. Disponible en [http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=45165#.VTRdy9J\\_Oko](http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=45165#.VTRdy9J_Oko) Con acceso: 01-03-2015.
62. Ortíz, M. 2005. Evaluación de aislamientos nativos de *Trichoderma* spp. en el control de la marchitez de la berenjena (*Solanum melongena* L.) causada por *Fusarium* spp y *Sclerotium rolfsii* (Sacc). Trabajo de grado para la Especialización en Sanidad Vegetal. Universidad de Córdoba.
63. Oxfam 2013. Poor Governance, Good Business. Disponible en: <http://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/poor-governance-good-business-oxfam-mb070213.pdf>. Con acceso: 22-02-2015.
64. Palma-Mendoza J. 2014. Analytical hierarchy process and SCOR model to support supply chain re-design. *International Journal of Information Management* Vol 34. pag 634–638.
65. Patiño Rodríguez, A. 2008. Análisis del modelo SCOR y su aplicación a una cadena de suministro del sector del automóvil. Tesis de maestría. Programa de Ingeniería Avanzada, Logística y Cadena de Suministro. Universidad Politécnica de Valencia. España.
66. Pearson F. 2011. SCOR template: A simulation based dynamic supply chain analysis tool. *Int. J. Production Economics*. Vol 131. pag 288–294.
67. Porter M. E. 1991. La ventaja competitiva de las naciones. 1ª Edición. Javier Vergara Editor SA, Argentina. pag 1055.
68. PROEXPORT. 2011. Promoción Del Turismo Internacional, Inversión Extranjera. Córdoba se abre a los TLC con su potencial agroindustrial. pag 32.
69. Programa de Transformación Productiva (PTP), Asohofrucol & Fondo de Fomento Hortifrutícola, 2013. Informe final del plan de negocios para los productos priorizados del sector hortifrutícola. Disponible en: <https://www.ptp.com.co/documentos/Plan%20de%20negocio%20hortofrut%C3%ADco%20la.pdf>. Con acceso: 1-10-2016
70. Rajagopal, D., Sexton, S., Hochman, G., Roland-Holst, D. y Zilberman, D. 2009. Model estimates food-versus-biofuel trade-off. *California Agriculture* Vol 5. pag 199-201.
71. Ramirez L & Roza D. 2012. Diseño de la gestión logística para la cadena productiva de la papa criolla en el municipio de El Rosal Cundinamarca. Caso proveedores de insumos. *Revista Gestión & Sociedad*. 5(1). pag 133-145. Enero-junio.
72. Reeveerakul N. 2016. A practical way to integrate simulation based on SCOR model. Paper conference. 9th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications. Disponible en <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7399981>. Con acceso: 01-09-2016.

73. Reina M. 2013. Logística de distribución de productos perecederos de economía campesina. Casos Fuente de Oro, Meta y Viotá, Cundinamarca. Tesis Maestría en ciencia Agrarias. Universidad Nacional de Colombia.
74. Revista Dinero. 2015. Colombia le apuesta a la ciencia, tecnología e innovación para alcanzar el desarrollo. Disponible en: <http://www.dinero.com/edicion-impresa/pymes/articulo/inversiones-ciencia-tecnologia-innovacion-colombia/212458>. Con acceso: 15-11-2016.
75. Rodrigues F. & Ribeiro L. 2016. Combining SCORs model and fuzzy TOPSIS for supplier evaluation and management. *Production Economics* Vol 174. pag 128–141.
76. Rosegrant, M. W., Msangi, S., Sulser, T., y Valmonte-Santos, R. 2006. Biofuels and the global food balance. Edited by Peter Hazell and R. K. Pachauri. *Bioenergy and Agriculture: Promises and Challenges*. International Food Policy Research Institute (IFPRI). Washington DC, pag 12.
77. Salazar H. & López C. (2009). Propuesta metodológica para la aplicación del modelo Supply Chain Operations Reference. *Ciencia, Investigación, Academia y Desarrollo*. Vol 14 N° 2, 34-41.
78. Santana F. & Granillo R. 2012. Identificación de atributos para la medición del desempeño del Sistema Producto Cebada del estado de Hidalgo, México Científica, vol.16, núm. 1, pp. 11-23. Instituto Politécnico Nacional de México.
79. Semillas Fitó. 2015. Amalia, la nueva berenjena de Fitó para siembras tempranas que da más producción en enero y febrero con una excepcional poscosecha. Disponible en: [http://www.semillasfito.es/es/noticias-y-eventos/amalia-nueva-berenjena\\_49.htm?pag=4](http://www.semillasfito.es/es/noticias-y-eventos/amalia-nueva-berenjena_49.htm?pag=4). Con acceso: 15-11-2016.
80. Shukla M. & Jharkharia S. 2013. Agri-fresh produce supply chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol 33. N° 2. pag. 114-158.
81. Siembra. 2013. Escenario actual de CT&I en el sector hortofrutícola: Análisis y retos futuros. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/298649168\\_escenario\\_actual\\_de\\_cti\\_en\\_el\\_sector\\_hortofruticola\\_analisis\\_y\\_retos\\_futuros](https://www.researchgate.net/publication/298649168_escenario_actual_de_cti_en_el_sector_hortofruticola_analisis_y_retos_futuros). Con acceso: 15-11-2016
82. Sistema de información de precios y abastecimiento del sector agropecuario (SIPSA). 2014. Comportamiento de los precios. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/servicios-de-informacion/sipsa>. Con acceso: 21-03-2015.
83. Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC). 2015. Balance preliminar de 2015 y perspectivas de 2016. Disponible en: <http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/balance-sector-agropecuario-colombiano/290-balance-y-perspectivas-del-sector-agropecuario-2012-2013.html>. Con acceso: 9-11-2016.
84. Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC). 2016. Situación y perspectivas del sector agropecuario colombiano. Disponible en: <http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/documentos-presentaciones-agropecuario.html>. Con acceso: 9-11-2016.

85. Soto-Silva W., Nadal-Roig E. & González-Araya M. 2016. Operational research models applied to the fresh fruit supply chain. *European Journal of Operational Research* 251. 345–355.
86. Supply Chain Council (SCC). 2004. Supply-chain operations reference-model SCOR. Version 6.1.
87. Supply Chain Council (SCC). 2011. SCOR Overview of SCOR Version 10.0. Disponible en: <http://www.slideshare.net/melodis/scor100-for-supply-chain-optimization-8362098>. Con acceso: 08-11-2016.
88. Supply Chain Council (SCC). 2012. *Supply Chain Operations Reference Model: Revision 11.0*. Disponible en: <http://docs.huihoo.com/scm/supply-chain-operations-reference-model-r11.0.pdf>. Con acceso: 30-10-2016
89. Swartwood, D. 2003. Using lean, six sigma, and SCOR to improve competitiveness. *Business Process Trends*.
90. Theus, F. & Zeng, D. 2012. Agricultural Clusters. *Agricultural Innovation systems: An investment sourcebook*. Disponible en: [https://www.innovationpolicyplatform.org/sites/default/files/rdf\\_imported\\_documents/Agricultural\\_Clusters.pdf](https://www.innovationpolicyplatform.org/sites/default/files/rdf_imported_documents/Agricultural_Clusters.pdf) Con acceso: 30-10-2016.
91. Tsolakis N., Keramydas C., Toka, A., Aidonis, D. & Iakovou, E. 2014. Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystems engineering*. N° 120. Pag 47-64.
92. Unión Europea-MINECO. 2010. Apoyo a MYPES promoción de inversiones e intercambios comerciales apoyo al sector de la micro y pequeña empresa en Guatemala. Berenjena. pág 4.
93. USAID. 2014. Feed the future: Accelerating progress to end global hunger. Disponible en: <https://feedthefuture.gov/lp/accelerating-progress-end-global-hunger>. Con acceso: 1-10-2016
94. Van der Vorst, J. G. A. J. 2000. Effective food supply chains: generating, modelling and evaluating supply chain scenarios. Ph.D.-thesis. Wageningen University.
95. Van der Vorst, J. G. A. J. 2006. Quantifying the agri-food supply chain: Performance measurement in agri-food supply-chain networks. Springer. pag 13-24.
96. Vianchá, Z. 2012. Diseño de un modelo logístico para la cadena de suministro de una fruta en la provincia de Lengupá en el departamento de Boyacá. Trabajo de Grado Maestría en diseño y gestión de procesos. Universidad de la Sabana.
97. Vianchá, Z. 2014. Modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos. *Ingeniería & Desarrollo*. Vol. 32. N° 1. pag 138-154.
98. Wattky A., Neubert G. & Bouras A. 2006. Outsourcing through BRP and SCOR at Rhodia.
99. Zipmec. 2013. Disponible en: <http://www.zipmec.com/es/berenjenas-historia-produccion-comercio.html>. Con acceso: 15-10-2015.