

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Chía - Cundinamarca



El presente formulario debe ser diligenciado en su totalidad como constancia de entrega del documento para ingreso al Repositorio Digital (Dspace).

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------|
| TITULO | Diseño de un modelo logístico para la cadena de suministro de una fruta en la provincia de Lengupá en el departamento de Boyacá | | |
| SUBTITULO | | | |
| AUTOR(ES) Apellidos, Nombres (Completo) del autor(es) del trabajo | Vianchá Sánchez, Zulma Hasbleidy | | |
| PALABRAS CLAVE (Mínimo 3 y máximo 6) | Modelo logístico | | Boyacá |
| | pitaya | | Lengupá |
| | optimización | | Flujo mínimo |
| RESUMEN DEL CONTENIDO (Mínimo 80 máximo 120 palabras) | <p>El propósito de esta investigación es diseñar un modelo logístico para la cadena de suministro de la pitaya amarilla en la Provincia de Lengupá - Boyacá, que permita integrar la capacidad de producción de esta región y disminuir los costos. Se identificaron las distancias, disponibilidad de fruta, demanda, capacidad de los medios de transporte y centros de acopio. Se analizaron los flujos de información desde el origen hasta el destino, la cantidad de fruta a transportar y los viajes a programar entre los eslabones para determinar un plan de acopio de pitaya con el menor costo, lo cual fue representado a través de un modelo de programación lineal. Finalmente se validó la estructura y se definieron las estrategias.</p> | | |

Autorizo (amos) a la Biblioteca Octavio Arizmendi Posada de la Universidad de La Sabana, para que con fines académicos, los usuarios puedan consultar el contenido de este documento en las plataformas virtuales de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

**DISEÑO DE UN MODELO LOGISTICO PARA LA CADENA DE SUMINISTRO
DE UNA FRUTA EN LA PROVINCIA DE LENGUPA EN EL DEPARTAMENTO
DE BOYACÁ**

ZULMA HASBLEIDY VIANCHA SANCHEZ

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
ÉNFASIS LOGÍSTICA
CHÍA
2012**

**DISEÑO DE UN MODELO LOGISTICO PARA LA CADENA DE SUMINISTRO
DE UNA FRUTA EN LA PROVINCIA DE LENGUPA EN EL DEPARTAMENTO
DE BOYACÁ**

ZULMA HASBLEIDY VIANCHA SANCHEZ

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
MAGISTER EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS**

Dirigido por:

Ing. MSc. LEONARDO JOSÉ GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

Codirigido por:

RAFAEL TORDECILLA MADERA

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
ÉNFASIS LOGÍSTICA
CHÍA
2012**

Notas de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Chía, noviembre de 2012

A mi hijo Miguel por ser la inspiración

A mi mami Florita por ser el motor en este camino

A mi esposo Negrís por ser mi eterno soporte

Y a mi Anyi por ser mi mejor ejemplo

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la salud y la fuerza para afrontar este proyecto con tanta motivación.

A mi familia por sus continuas oraciones, el ánimo y su comprensión durante este proceso. Especialmente a mi mami por cuidar de Miguel cuando yo no pude y a mi Negrís por creer siempre en mí.

Al Ingeniero Rafael Tordecilla mi codirector por su continuo apoyo en los momentos de mayor incertidumbre y confusión.

Al Ingeniero Leonardo González mi director por sus amplias opiniones y sugerencias que hicieron de este proyecto un trabajo aplicado a la realidad.

Al Centro Regional de Gestión para la Productividad e Innovación de Boyacá – CREPIB, por prestarme la información de los productores de la pitaya y por el apoyo constante en mis ausencias.

A la Universidad de la Sabana y todos sus docentes, quienes con sus conocimientos y experiencias cambiaron mi forma de hacer investigación.

Agradezco a todas las personas que me apoyaron durante este tiempo, EQUIPO CREPIB, Familia Leal Rincón.

CONTENIDO

| | pág |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| RESUMEN | . |
| INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 15 |
| 1.1. ANTECEDENTES..... | 15 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 17 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 19 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 19 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 19 |
| 1.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN..... | 19 |
| 1.5. LIMITACIONES Y SUPUESTOS..... | 20 |
| 1.6. HIPOTESIS..... | 20 |
| 2. MARCO DE REFERENCIA..... | 22 |
| 2.1. LAS CADENAS DE SUMINISTRO..... | 22 |
| 2.2. INFLUENCIA DEL TERRITORIO EN LA MODELACIÓN DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO..... | 23 |
| 2.3. MODELOS Y FORMAS DE ORGANIZACIÓN DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO..... | 24 |
| 2.4. CONFIGURACIONES DE CADENAS DE SUMINISTRO PARA PRODUCTOS PERECEDEROS..... | 26 |
| 2.5. PLANEACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO DE PRODUCTOS PERECEDEROS..... | 28 |
| 3. DISEÑO METODOLÓGICO..... | 30 |
| 3.1. TIPO DE ESTUDIO..... | 30 |
| 3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN..... | 30 |
| 3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN..... | 32 |
| 4. PRIORIZACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA A EVALUAR..... | 33 |
| 4.1. ANÁLISIS DEL ESLABÓN PRODUCCIÓN..... | 33 |

| | pág |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2. ANÁLISIS DEL ESLABÓN TRANSFORMACIÓN..... | 37 |
| 4.3. ANÁLISIS DEL ESLABÓN COMERCIALIZACIÓN..... | 38 |
| 5. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LA PITAYA | 40 |
| 5.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA CADENA SUMINISTRO DE LA PITAYA..... | 40 |
| 5.2. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES Y PROBLEMAS DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LA PITAYA..... | 47 |
| 5.3. ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE INFORMACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO..... | 49 |
| 5.4. ANÁLISIS DE LA RED DE SUMINISTRO DE PITAYA | 52 |
| 6. PROPUESTA DEL MODELO..... | 55 |
| 6.1. PROCESO DE CONFIGURACIÓN..... | 51 |
| 6.2. ALCANCE DEL MODELO..... | 54 |
| 6.3. MODELADO DE LA INFORMACIÓN..... | 56 |
| 6.3.1. Subíndices..... | 56 |
| 6.3.2. Variables de decisión..... | 57 |
| 6.3.3. Parámetros..... | 58 |
| 6.3.4. Función objetivo..... | 59 |
| 6.3.5. Ecuaciones y restricciones..... | 59 |
| 6.3.6. Descripción de las ecuaciones..... | 60 |
| 6.4. DISPONIBILIDAD DE DATOS..... | 63 |
| 6.5. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE SALIDA..... | 67 |
| 6.6. PLAN DE TOMA DE DECISIONES..... | 78 |
| 7. ESTRATEGIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN..... | 82 |
| 8. CONCLUSIONES..... | 86 |
| 9. RECOMENDACIONES..... | 89 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 90 |
| ANEXOS..... | 97 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1. Principales cultivos, áreas y producción en cada municipio de la Provincia. Año 2009..... | 16 |
| Tabla 2. Aspectos de la entrevista a productores de fruta de Lengupá..... | 34 |
| Tabla 3. Características de los productores de fruta de Lengupá..... | 34 |
| Tabla 4. Distribución geográfica y volumen de los productores de fruta de Lengupá..... | 36 |
| Tabla 5. Organización de los productores de fruta de Lengupá..... | 37 |
| Tabla 6. Organizaciones de transformadores de fruta de Lengupá..... | 38 |
| Tabla 7. Aspectos de la guía aplicada a clientes..... | 38 |
| Tabla 8. Producción y productividad de la pitahaya amarilla a nivel mundial.. | 41 |
| Tabla 9. Producción de pitahaya a nivel nacional (ton), 2010..... | 42 |
| Tabla 10. Estadísticas de producción de pitahaya amarilla en Boyacá..... | 42 |
| Tabla 11. Necesidades de los productores de pitaya de Lengupá..... | 48 |
| Tabla 12. Definición de índices del modelo..... | 56 |
| Tabla 13. Definición de variables del modelo..... | 57 |
| Tabla 14. Definición de parámetros del modelo..... | 58 |
| Tabla 15. Distancia entre productores y centros de acopio de nivel 1..... | 63 |
| Tabla 16. Distancia entre productores y centros de acopio de nivel 2..... | 63 |
| Tabla 17. Distancia entre centros de acopio de nivel 1 y de nivel 2..... | 64 |
| Tabla 18. Disponibilidad de fruta de los productores independientes en cada semana..... | 64 |
| Tabla 19. Disponibilidad de fruta en los en los centros de acopio de nivel 1 en cada semana..... | 65 |
| Tabla 20. Capacidad y costo de los medios de transporte disponibles..... | 66 |
| Tabla 21. Resultados del modelo 1 para las semanas 1 y 21..... | 67 |
| Tabla 22. Nuevas variables adicionadas al modelo..... | 70 |
| Tabla 23. Resultados del modelo ajustado para las semanas 1 y 21..... | 76 |
| Tabla 24. Acciones para la estrategia 1..... | 82 |
| Tabla 25. Acciones para la estrategia 2..... | 83 |
| Tabla 26. Acciones para la estrategia 3..... | 84 |
| Tabla 27. Acciones para la estrategia 4. | 85 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Mapa de ubicación de la Provincia de Lengupá y división política por municipios..... | 15 |
| Figura 2. Cadena productiva de la pitaya..... | 33 |
| Figura 3. Distribución geográfica de la pitaya en Colombia..... | 42 |
| Figura 4. Mapa de ubicación de productores y centros de acopio de pitaya..... | 44 |
| Figura 5. Producción anual de pitaya en Lengupá..... | 45 |
| Figura 6. Producción semanal de pitaya de productores independientes..... | 45 |
| Figura 7. Producción semanal de pitaya de centros de acopio de nivel 1..... | 45 |
| Figura 8. Producción anual de pitaya de productores independientes..... | 46 |
| Figura 9. Producción anual de pitaya de centros de acopio de nivel 1..... | 46 |
| Figura 10. Demanda de pitaya..... | 46 |
| Figura 11. Cadena productiva de la pitaya en Lengupá..... | 47 |
| Figura 12. Modelo de datos de la cadena de suministro de pitaya actual | 50 |
| Figura 13. Modelo de datos de la cadena de suministro de pitaya propuesto | 51 |
| Figura 14. Niveles de suministro y acopio de la pitaya..... | 52 |
| Figura 15. Red de suministro de la pitaya..... | 53 |
| Figura 16. Proceso de transporte de palma de aceite..... | 54 |
| Figura 17. Infraestructura de acopio de la pitaya..... | 65 |
| Figura 18. Grafo del plan de acopio para la semana 1..... | 68 |
| Figura 19. Grafo del plan de acopio para la semana 21..... | 68 |
| Figura 20. Configuración del modelo logístico para el eslabón primario de la cadena de la pitaya..... | 69 |
| Figura 21. Configuración del modelo logístico para el eslabón de comercialización de la cadena de la pitaya..... | 70 |
| Figura 22. Grafo del plan de acopio y envío para la semana 1 del modelo ajustado..... | 76 |
| Figura 23. Grafo del plan de acopio y envío para la semana 21 del modelo ajustado. | 77 |
| Figura 24. Volumen de producción de pitaya durante el año..... | 78 |
| Figura 25. Costo de enviar una tonelada de pitaya durante el año..... | 79 |
| Figura 26. Diferencia de costos de modelo 1 y 2..... | 79 |
| Figura 27. Precio de la pitaya por kilo después de transporte durante el año | 80 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| ANEXO 1. MAPA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PRODUCTORES DE FRUTA EN LENGUPÁ | 94 |
| ANEXO 2. GUÍA PARA DETERMINAR GRADOS DE INTEGRACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LOS PRODUCTORES | 95 |

RESUMEN

Resumen

El propósito de esta investigación es diseñar un modelo logístico para la cadena de suministro de la pitaya amarilla en la Provincia de Lengupá, Departamento de Boyacá, que permita integrar la capacidad de producción de esta región y disminuir los costos.

Para la construcción del modelo logístico se realizó la caracterización de la cadena de suministro, la cual parte del trabajo de campo para identificar la estructura de la cadena conformada por productores, centros de acopio y clientes, y características como las distancias para determinar los costos, disponibilidad de fruta, demanda, capacidad de los medios de transporte y de los centros de acopio. Se analizaron los flujos de información con el modelo de datos y con el modelo de red se identificó el flujo de frutas desde el origen hasta el destino. Se analizaron variables como la cantidad de fruta a transportar y la cantidad de viajes a programar entre los eslabones para determinar un plan de acopio de pitaya con el menor costo, lo cual fue representado a través de un modelo de programación lineal.

Finalmente con esta información se hizo una validación de la estructura propuesta por el modelo y se definieron las estrategias para lograr su implementación.

Palabras clave

Modelo logístico, pitaya, optimización.

ABSTRACT

The purpose of this research is to design a logistic model for the supply chain of yellow pitaya in the Lengupá Province, Department of Boyacá, for to integrate the production capacity of this region and reduce costs.

For the construction of the logistic model was performed the characterize the supply chain, which part of the field work to identify the chain structure composed of producers, collection centers and customers, and features such as the distances to determine the costs, fruit availability, demand, the capacity of vehicles and of collection centers. We analyzed the information flow with the data model and the network model identified fruits flow from source to destination. Variables such as the amount of fruit to be transported and the amount of travel between the links set to determine a pitaya collection plan with the lowest cost, which was represented by a linear programming model.

Finally with this information was validated the structure of the model and was defined strategies for implementation.

Keywords: logistic model, pitaya, optimization.

INTRODUCCIÓN

El propósito de esta investigación fue diseñar un modelo logístico para la cadena de suministro de una fruta en la Provincia de Lengupá en el Departamento de Boyacá, que permitiera integrar la capacidad de producción de esta región. La selección de la fruta se hizo de acuerdo a los resultados del diagnóstico de las capacidades productivas y las condiciones de la demanda, lo cual permitió identificar la fruta de menor brecha entre los requerimientos de los clientes y las características de volumen, calidad y ubicación de la oferta, la fruta que cumplió estas características fue la pitaya.

La construcción del modelo logístico se dividió en dos momentos en el primero se analizó el problema, teniendo en cuenta dos enfoques, por un lado la arquitectura de sistemas propuesta por Zachman [1], que pretende ver el problema de manera general y el segundo enfoque fue el propuesto por el nivel 1 del Modelo de Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro SCOR [2], el cual permite evaluar la cadena de abastecimiento de forma sistémica. De esta manera se analizó la cadena identificando las características generales, las necesidades de los productores de pitaya, la estructura de la cadena conformada por productores, centros de acopio y clientes, también se identificaron algunas características como las distancias para determinar los costos, la disponibilidad de fruta, la capacidad de los medios de transporte y de los centros de acopio. Se analizaron los flujos de información con el modelo de datos y con el modelo de red se identificó el flujo de frutas desde el origen hasta el destino.

El segundo momento en la construcción del modelo es la evaluación de las configuraciones para la cadena, en la cual se evalúan las características del sistema, la estructura y organización. Este proceso se basa en identificar los modelos de configuración que mejor se adapte al caso de la fruta en Lengupá. La selección de la configuración se basó en el trabajo de Chandra C, Grabis [3] el cual define el alcance del modelo, el modelado de la información, el análisis de disponibilidad de datos, el análisis de los datos de salida y el plan de toma de decisiones.

En cuanto al alcance del modelo se definió que las decisiones estarán enfocadas en el nivel táctico de la cadena identificando variables como la cantidad de fruta a transportar y la cantidad de viajes a programar entre los eslabones para determinar un plan de acopio de pitaya con el menor costo.

El análisis de la disponibilidad de los datos dio como resultado la ubicación, volumen, costos de transporte, capacidades y demanda, se identificaron las distancias entre productores, centros de acopio y clientes. En cuanto al análisis de los datos de salida y teniendo en cuenta la información recopilada, se evaluó el desempeño de las configuraciones de acuerdo al objetivo, en el software GAMS® y usando el solver CPLEX. Se analizaron los datos para determinar las acciones que deben emprender los productores de la pitaya para implementar el modelo.

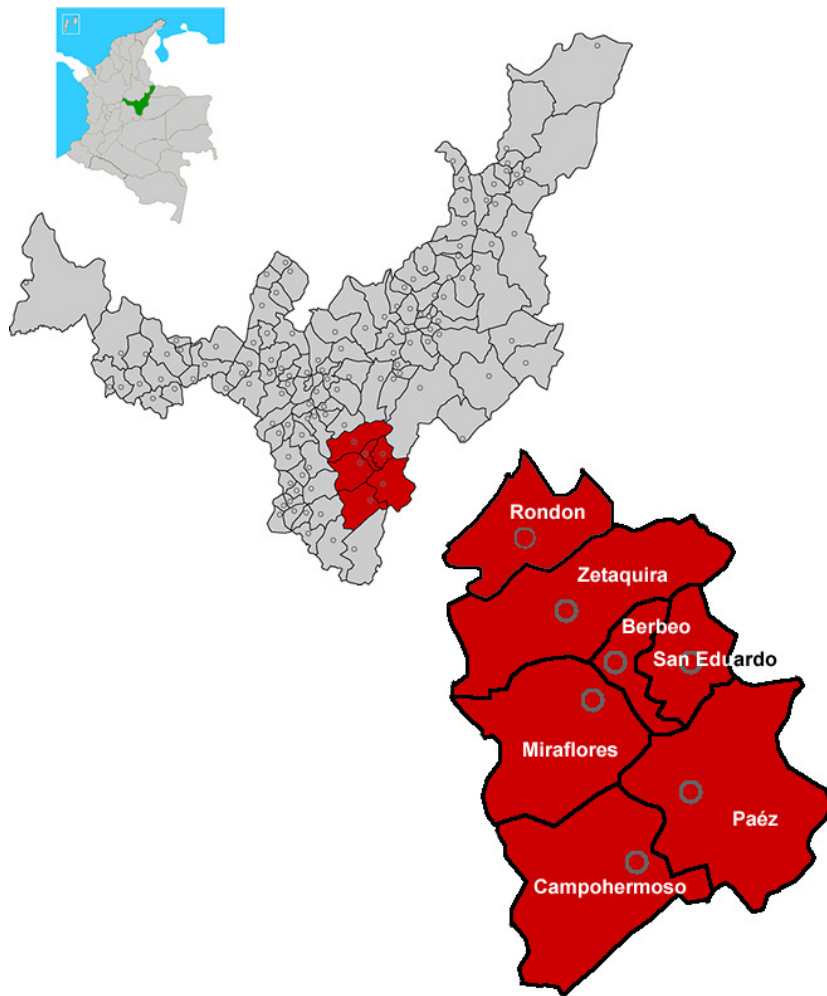
Finalmente se diseñaron las estrategias y acciones para mejorar la rentabilidad de la cadena productiva de la pitaya amarilla.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La Provincia de Lengupá se encuentra localizada en la parte suroriental del departamento de Boyacá. Está conformada por los Municipios de Miraflores (capital de la provincia), Rondón, Berbeo, Campohermoso, Páez, San Eduardo y Zetaquirá (Gráfico 1). Según las estadísticas del DANE (2005), la población es cercana a treinta mil habitantes y el 67.8% se encuentra asentada en las zonas rurales de los municipios.

Figura 1. Mapa de ubicación de la Provincia de Lengupá y división política por municipios



Fuente: Adaptado de Wikipedia

La infraestructura vial de la Provincia se considera ineficiente, debido al mal estado de las carreteras centrales, afectando la comunicación y las relaciones comerciales entre municipios y el departamento, el transporte de los productos de la región y la movilidad de la población ¹

La producción agropecuaria es la principal actividad económica en la Provincia. Los sistemas productivos se clasifican en las tipologías de minifundio, agricultura de subsistencia y economía campesina.

En la Tabla 1 se presentan los cuatro principales cultivos en los siete municipios de la Provincia.

Tabla 1. Principales cultivos, áreas y producción en cada municipio de la Provincia. Año 2009.

| Municipio | Producto | Área (ha) | Producción (Ton) | Número de fincas |
|-------------|--------------------|-----------|------------------|------------------|
| Zetaquirá | Café | 928 | 571 | 830 |
| | Caña miel | 150 | 870 | 160 |
| | Maíz | 50 | SD | SD |
| | Tomate invernadero | 50 | 5390 | 172 |
| Miraflores | Café | 755 | 589 | 470 |
| | Caña miel | 210 | 864 | 180 |
| | Yuca | 150 | 735 | 2100 |
| | Pitaya | 100 | 750 | 140 |
| San Eduardo | Café | 156 | 130 | 156 |
| | Caña panelera | 79 | 135 | 150 |
| | Fríjol | 53 | SD | SD |
| | Yuca | 30 | 224 | 160 |
| Rondón | Café | 65 | 180 | SD |
| | Fríjol | 50 | SD | SD |
| | Maíz | 50 | 62 | SD |
| | Plátano hartón | 20 | 80 | SD |
| Berbeo | Café | 516 | 348 | 485 |
| | Maíz | 20 | SD | SD |
| | Fríjol | 20 | SD | SD |
| | Plátano | 17 | 136 | 250 |
| Páez | Café | 175 | 136 | 184 |
| | Caña miel | 115 | 747 | 145 |

¹ Plan de desarrollo "Miraflores, Social, Turístico y Agropecuario 2012 – 2015"

| Municipio | Producto | Área (ha) | Producción (Ton) | Número de fincas |
|--------------|----------------|-----------|------------------|------------------|
| | Yuca | 67 | 1206 | 847 |
| | Plátano hartón | 49 | 611 | 627 |
| Campohermoso | Maíz | 115 | SD | SD |
| | Yuca | 115 | 640 | 250 |
| | Café | 110 | 57 | 190 |
| | Caña | 94 | 86 | 150 |

Fuente: Evaluaciones Agropecuarias Municipales. URPA (2009). SD = Sin datos.

Como lo muestra la Tabla 1, el café es el cultivo más representativo por número de hectáreas cultivadas especialmente en los municipios de Miraflores, Zetaquirá y Berbeo. Sin embargo, existen otros con mayor producción como la caña y algunos de más reciente introducción como la pitaya y el tomate bajo invernadero, que muestran mejor productividad.

La potencialidad del sector se fundamenta en la variedad de pisos térmicos y suelos aptos para diversos cultivos, la riqueza hídrica de la región, las buenas condiciones sanitarias por la baja incidencia de plagas y enfermedades en un amplio número de animales y cultivos, la amplia oferta agropecuaria y las nuevas alternativas de producción como el cacao en sistema agroforestal y el aprovechamiento de especies nativas como la champa [4].

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Boyacá predomina el cultivo por minifundios, bajo nivel tecnológico, estacionalidad de la oferta, precaria infraestructura vial, acelerado deterioro de los recursos naturales, inadecuada organización institucional y bajo desarrollo social de los campesinos (CONPES, 2000), además se evidencia la baja sostenibilidad de los productores al tener precios poco competitivos [5] seguramente porque solo el 6% de la producción de alimentos del Departamento sufre algún proceso de transformación y/o de valor agregado, el resto de la producción se comercializa en fresco (Plan de Desarrollo Departamental, 2008 - 2011).

Para el caso de la Provincia de Lengupá, caracterizada como una región con potencialidades en el sector agropecuario y ganadero referenciado en sus planes de desarrollo municipal, quienes han dirigido sus esfuerzos y recursos

principalmente a promover acciones, tendientes a desarrollar y consolidar la estructura económica local, especialmente en las actividades que presentan mayores ventajas comparativas. No obstante, es un hecho que ésta Provincia, carece de estudios integrales que permitan identificar las condiciones socioeconómicas y las capacidades productivas, para mejorar sus condiciones de competitividad en el mercado regional y con ello, focalizar políticas, planes y proyectos acordes con el desarrollo y crecimiento de Lengupá en el contexto departamental y nacional.

La economía de la Provincia de Lengupá, es fundamentalmente agrícola con una extensión de 1829.65 ha² a pesar de su problema de falta de vías de acceso y de penetración, ha contribuido en muy buena medida al progreso económico y social de Boyacá. Con un enorme potencial agrícola, sus tierras producen café, maíz, caña panelera, yuca, plátanos, lulo, tomate, tomate de árbol, pitaya, uchuva, granadilla y chamba.

El sector agrícola enfrenta serias problemáticas, dentro de las cuales se pueden mencionar [4]:

- El impacto ambiental negativo por el mal uso de insumos
- El desconocimiento y/o falta de recursos para la implementación de tecnologías que den sostenibilidad a los sistemas productivos
- La baja capacidad local para consolidar procesos asociativos estables y funcionales
- La baja o nula agregación de valor a los productos, impidiendo su acceso a mercados especializados
- Baja productividad de los cultivos
- Alto requerimiento de mano de obra

En consecuencia, la agricultura a pesar de ser el sector más representativo e términos de producción, no ha logrado impulsado un desarrollo económico y social dinámico, debido en gran parte a las dificultades que presenta para integrarse a los mercados globalizados de productos diferenciados y de alto valor agregado.

Bajo estas condiciones esta investigación pretende proponer estrategias para mejorar la competitividad en la cadena de abastecimiento de una fruta de la Provincia de Lengupá, a partir del diseño de un modelo logístico.

² Datos de la Unidad Regional de Planificación Agropecuaria del Departamento de Boyacá año 2008

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un modelo logístico para una fruta de la Provincia de Lengupá en el Departamento de Boyacá, a partir de la selección de una configuración de cadena de suministro que permita disminuir los costos de operación.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar y analizar las capacidades y características productivas en la cadena de las frutas de la Provincia de Lengupá
- Identificar la demanda general de las frutas para priorizar la fruta de acuerdo a la capacidad productiva y las condiciones del entorno
- Seleccionar una configuración de cadena de abastecimiento que permita disminuir costos de operación en la cadena de abastecimiento de una fruta en Lengupá
- Proponer estrategias para estructurar el modelo logístico en la cadena de abastecimiento.

1.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se desarrollará en la Provincia de Lengupá en el Departamento de Boyacá. Para la evaluación de las capacidades productivas de los municipios se tendrá en cuenta solamente el sector de las frutas, de este proceso se identificará la fruta más representativa de la región teniendo en cuenta el volumen, la calidad, la organización productiva y las prácticas productivas y empresariales.

De acuerdo a la fruta identificada se evaluarán las oportunidades productivas es decir mercados actuales y potenciales en el orden regional, en donde se harán entrevistas para evaluar requerimientos y preferencias de clientes potenciales.

La investigación llega hasta la definición de estrategias para el diseño del modelo logístico para la fruta seleccionada.

1.5. LIMITACIONES Y SUPUESTOS

La primera parte de la investigación relacionada con la recolección de información de las capacidades productivas en la Provincia, está a cargo de dos estudiantes de pregrado de Agronomía y un estudiante de pregrado de Administración de Empresas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y un Ingeniero Agrónomo del Centro Regional de Gestión para la Productividad e Innovación de Boyacá - CREPIB.

La validación de la información primaria se hará con las organizaciones existentes en la Provincia, de acuerdo al interés mostrado por los gestores locales y gerentes, se estima que estas reuniones contarán con la participación de todos los interesados.

La investigación no pretende implementar el modelo de negocio en la cadena de las frutas en la Provincia de Lengupá, si no diseñar un modelo logístico, que aporte para mejorar las condiciones de competitividad de los productores de la región, en cuanto a disminución de costos.

Las condiciones fitosanitarias, de volumen de producción y de ubicación, pueden ser un limitante para la organización del modelo de negocio, estas son condiciones que no pueden ser controladas.

De acuerdo a la información suministrada por algunos productores acerca de las condiciones actuales del eslabón de distribución, en donde principalmente son intermediarios secundarios, puede ser que estos últimos no quieran suministrar información o integrarse al sistema de producción integrado.

La calidad de la información suministrada por los productores de los diferentes municipios puede ser factor para determinar la participación de los municipios en el modelo, pues si bien la propuesta contempla a los 6 municipios de la Provincia de Lengupá, la decisión de inclusión depende de la pertinencia de la información y de la oferta de la fruta seleccionada.

1.6. HIPOTESIS

Con la presente investigación se pretende lograr un modelo estándar para representar el comportamiento actual del sistema de producción en la cadena de las frutas de la Provincia de Lengupá y definir estrategias para la organización del sistema de producción integrado en la cadena de las frutas de la Provincia de Lengupá

Se parte de las siguientes hipótesis:

- La pitaya y la chamba son las frutas con menor brecha entre capacidad y oportunidad productiva
- Los costos de operación logística disminuyen con el modelo de configuración de cadena impulsada por la demanda

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. LAS CADENAS DE SUMINISTRO

La Cadena de Suministro (CS) o abastecimiento es entendida como todos los *recursos interconectados y las actividades necesarias, para crear y entregar productos y servicios a los clientes, por lo cual se extiende desde el punto donde se extraen los recursos naturales de la tierra hasta el punto en donde se regresan a la tierra: "de la tierra a la tierra"* [6]

En la industria alimentaria, las CS son sistemas complejos, en continuo cambio, que involucra a muchos participantes [7], proveedores, productores, distribuidores, comercializadores mayoristas y minoristas, entidades de regulación, consumidores, entre otros. La CS se comporta como un *organismo multidisciplinar, que busca satisfacer las demandas del cliente final por medio de la coordinación efectiva de los flujos de información, productos y recursos financieros que la recorren, desde el proveedor del proveedor, hasta el cliente del cliente* [8], en tal sentido el elemento central en este organismo es el "flujo de información", es decir los flujos de materiales y servicios, que pueden considerarse como un sistema [9], de elementos que comparten información para cumplir un objetivo.

Al considerar la CS como un sistema, es necesario recordar a Bertalanffy (1950) y su Teoría General de Sistemas, en la cual se sostiene que la totalidad de un sistema es más que sus partes, debido a la existencia de dependencias entre sus elementos. Estos elementos pueden ser personas, estructuras, tecnologías y relaciones de trabajo [10]. Una manera de representar estas relaciones puede ser a través de la arquitectura de sistemas [1], la cual es definida como "la organización fundamental de un sistema incorporando componentes, relaciones, medio ambiente y principios que rigen el diseño y evolución" (IEEE 1471:2000). Las arquitecturas de sistemas de información en las CS son complejas, por estar compuestas de muchos elementos y relaciones diferentes [11].

Existen tres tipos de representaciones, una orientado a los materiales o componentes, otra a la función (teniendo en cuenta entradas-procesos-salidas) y la tercera a la ubicación (flujos o conexiones entre los distintos componentes) [1]. La base de la representación es el diseño, en donde los factores clave son los procesos que incluyen la construcción, evaluación y los artefactos, es decir construcciones, modelos, métodos e instancias [12].

Uno de estos es el Modelo SCOR el cual emplea Componentes Básicos de Proceso (Process Building Blocks) para describir la CS, este tipo de modelos

puede emplearse para representar CS muy simples o muy complejas usando un conjunto común de definiciones. Por consiguiente, diferentes industrias pueden unirse para configurar en profundidad y anchura prácticamente cualquier CS [13]

Para el sector agroalimentario los modelos de referencia de proceso han sido importantes desde la aparición de la arquitectura de software. Esto ha permitido evaluar el sector desde diferentes ramas de la agricultura, incluida la producción de frutas. Sin embargo no hay ningún ejemplo activo de un modelo de referencia de proceso para las cadenas de suministro de frutas [11].

2.2. INFLUENCIA DEL TERRITORIO EN LA MODELACIÓN DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO

En el estudio de las CS cada vez se incorporan más aspectos no solo operativos si no también sociales y culturales que interactúan con el territorio, por ejemplo en el enfoque de las cadenas productivas como estrategia competitiva, se menciona que las interrelaciones generan nuevas formas de producción que van más allá del mercado de libre competencia y que ejercen influencia fuerte en las empresas y localidades [14] desde varias dimensiones de acuerdo al contexto.

El análisis de estas interacciones de manera empírica muestra que la armonía y coordinación social son elementos básicos para la competitividad a largo plazo de estas cadenas, y en especial la importancia de la colaboración y competencia para generar innovaciones [15], que representen mejores condiciones (productividad, calidad, competitividad) para todos los elementos.

Debido a las condiciones del entorno es necesario investigar si existen mejores formas de diseñar y gestionar de manera integrada las Cadenas de Suministro Agrícolas (CSA) [16], conformadas por organizaciones responsables de proveer, producir (agricultores), distribuir, procesar y comercializar productos agrícolas a los consumidores finales.

Lo que diferencia a las CSA de otras CS es la importancia que juegan factores como la variabilidad del clima, calidad de los productos, seguridad alimentaria [17], el manejo de productos perecederos y ciclos de vida [18], la variabilidad de la demanda y los precios [16], el volumen, ubicación y estacionalidad [19], la presencia de fenómenos naturales, las reformas a las leyes del sector, los Tratados de Libre Comercio, los procesos de devaluación y la aplicación de nuevas normas fitosanitarias para la comercialización [15]. Estas características hacen que la gestión de estas cadenas sea más compleja que otras CS y obliga a la coordinación y cooperación de los actores directos e indirectos, para poder disminuir el impacto negativo sobre la productividad.

Es por esto que las CSA generalmente desarrollan acuerdos formales e informales para enlazar en forma vertical y horizontal los diferentes procesos productivos [15] y garantizar mayores beneficios en todos los eslabones.

2.3. MODELOS Y FORMAS DE ORGANIZACIÓN DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO

La gestión de la CS se ha centrado en estrategias para hacer frente a la incertidumbre de la demanda. Lee [20] fue uno de los primeros que hizo hincapié en el impacto de la incertidumbre para el diseño de la CS, lo cual hace que requieran alta flexibilidad para hacer frente a cambios inesperados en los procesos de negocio [21]

Adicionalmente la nueva gestión de la CS se centra en las preferencias de los consumidores y sus necesidades, relacionadas con alta calidad del sistema de packaging y branding, logística eficiente para la adquisición, alto valor agregado con menores costos operativos [22].

En tal sentido se organizan de diversas formas, (1) *No interactivos*, cuando sólo se conoce la información local, sin intercambio de información, toma de decisiones centrada en sus propios objetivos, sin ninguna consideración de los impactos de sus decisiones en los socios de la cadena. (2) *Interactivas*, cuando comparten información, se pueden clasificar en *no-cooperación* y de *cooperación*, en las de *no-cooperación* los participantes pueden compartir información, pero sólo para optimizar sus propios objetivos; en la *cooperación*, no sólo comparten información, sino también objetivos para dinamizar la cadena de suministro y negociar la distribución de las ganancias. (3) *Totalmente integradas*, hay un solo modelo de decisión y un objetivo total de la CS, no se tienen objetivos individuales. [23]

Con relación a los productos perecederos las CS pueden ser impulsadas por la demanda y se organizan de distintas formas, una de ellas es la agricultura por contrato, la cual se entiende como un acuerdo entre un productor y una empresa en donde el agricultor produce un producto fresco o procesado parcialmente, y la empresa se compromete a comprar bajo ciertas condiciones [24], [25]. Esta forma de organización genera mayor estabilidad del mercado, facilita la transferencia de tecnología para mejorar las prácticas agrícolas, el acceso a la información del marketing, la tecnología y los insumos [22].

Con relación a la modelización de CS, los modelos de ingeniería de sistemas de información son una categoría importante, además de la simulación y los enfoques de optimización [26].

Esta modelización debería partir de la visualización de las transformaciones básicas, actores y flujos de productos, así como de insumos y productos finales [21] y para el caso de las CSA se debe tener en cuenta el manejo de productos frescos, lo cual hace necesario formular modelos específicos de planificación que incorporen aspectos sobre políticas de cosecha, canales de comercialización, actividades de logística, coordinación vertical y gestión del riesgo [27], además de aspectos políticos y el cambio climático que pueden afectar el desarrollo del modelo.

Algunos autores refieren que existen dos modelos para la gestión de CS [28]. El primero es el modelo SCOR, el cual se basa en reingeniería de procesos de negocio, evaluación comparativa y medición de procesos en un marco de funciones transversales. Este modelo proporciona definiciones genéricas de los procesos de la CS para la producción y la logística [29]. Por su parte el segundo modelo es el propuesto por el Foro Mundial de la Cadena de Suministro, este modelo tiene una perspectiva estratégica y se centra en la integración a través de la gestión de relaciones [30].

Sin embargo algunos como Lambert [28] y Huan [31] consideran que aunque SCOR es reconocido como el modelo más completo, aún define los procesos de negocio a un alto nivel de abstracción, que no es suficiente para su aplicación.

Desde el punto de vista operativo, los modelos para la planeación de las CS más usados pueden clasificarse como determinista o estocástica, de acuerdo con la certeza del valor de los parámetros utilizados [26]. Algunos autores como Ahumada [16] consideran que cuando los parámetros del modelo se supone determinista, 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). Sin ser estos todos los modelos se han mencionado los de mayor relevancia.

En la investigación adelantada por Safaei [32] se concluye que el análisis de los sistemas de producción y distribución siguen siendo un área abierta para la investigación, así como la exploración de los efectos de la demanda de clientes locales y las políticas para satisfacerlas.

Continuando con los modelos de procesos operativos y de acuerdo a la revisión realizada por Ahumada [16] para el caso de los modelos de CSA de productos perecederos, el enfoque más popular y exitoso es 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", esto indica que ahora existen más similitudes entre las CS de manufactura y las CSA [33]. Por lo cual se percibe la necesidad de modelos que incluyan características más realistas, como la incertidumbre, integración logística, modelos de riesgo, marco regulador, calidad y seguridad de los productos [16]. Esto implica la aplicación de modelos estocásticos para la planeación táctica de los alimentos perecederos y no perecederos.

Algunos valores a tener en cuenta en el modelado de las CSA, de acuerdo a la investigación sobre modelos de planeación de la oferta de caña de azúcar [34] incluyen: (1) distancias geográficas, (2) velocidad de los vehículos, (3) capacidad del vehículo, (4) capacidad de la cosechadora, (5) tiempos de la cosechadora, (6) tiempos de carga y descarga. Con esta información se diseña el modelo logístico el cual requiere:(I) Establecer la configuración para cumplir la demanda de acuerdo a la capacidad. (II) Planear la producción (cultivos y recursos). (III) Identificar alianzas y (IV) Probar el modelo.

Estos valores y ciclos permitirán establecer las estrategias para operacionalizar la optimización encontrada y definir un modelo que se adapte a las características específicas de la CS identificadas.

2.4. CONFIGURACIONES DE CADENAS DE SUMINISTRO PARA PRODUCTOS PERECEDEROS

Los problemas de la configuración CS abarcan principalmente decisiones en el nivel estratégico relativas al diseño de la red de la Cadena de Suministro, y en particular, las redes de suministro, producción y distribución. [35]. En esta etapa también se tiene en cuenta el número de nodos, el número de etapas y la estructura del flujo de materiales y de información lo cual contribuye a determinar la complejidad de la CS [36]

Teniendo en cuenta que las CS deben ser redes altamente dinámicas con diferentes modos de cooperación, control y coordinación, se ha encontrado que las empresas participan en diferentes configuraciones al mismo tiempo y cambian rápidamente a nuevas configuraciones [21], gracias a la dinámica de los mercados. Este comportamiento requiere el diseño de configuraciones personalizadas y, posteriormente, de ingeniería de sistemas de información que permita [37], [28], [38] a las CS enfrentar problemas adicionales debido a características específicas de los alimentos [39]; [40]; [41] y los territorios en donde se producen.

La integración de las CS ha generado un amplio número de configuraciones, esta integración ha sido motivada por los avances en la tecnología de la información, los requisitos de los clientes, la intensa competencia mundial, y el deseo de ser el primero en el mercado con productos innovadores [42]

La configuración de las CS también ha tenido un enfoque basado en la Teoría General de Sistemas, pues permite el diseño de sistemas diferenciando las necesidades de información (y los conocimientos) con dominio independiente (o general), de la información con dominio dependiente (o específica o el problema). Este enfoque garantiza que el sistema capta tanto la amplitud como la profundidad del conocimiento [3].

En los estudios de caso de Verdouw [11] realizados en dos países del sur (España y Grecia) y del norte (Polonia y los Países Bajos) de Europa en CS de frutas, se encontró que los factores que determinan la configuración de las cadenas son la localización de los actores de la CS y la manera como son impulsadas las CS.

Lambert [30] considera que la configuración de las CS debería contemplar los siguientes elementos: (i) la estructura de la red de actores cooperantes, (ii) los procesos de negocios que llevan a cabo estos actores, y (iii) la gestión de estos procesos. Por lo cual, las configuraciones están determinadas por la división de los procesos de negocio entre los actores involucrados y la manera cómo estos se gestionan.

Otra manera de visualizar la configuración de las cadenas es a partir de los arquetipos de CS, el cual emplea la información operacional que deben compartir los actores de una cadena para implementar un cierto tipo de configuración [43]. Los arquetipos propuestos se denominan: (1) CS “tradicional” en la cual cada miembro toma sus decisiones de forma independiente de las decisiones de sus socios. (2) CS “a información compartida”, en esta la estructura logística es descentralizada, los miembros realizan pedidos de forma independiente, pero todos tienen acceso a la demanda del mercado. (3) CS “con pedido gestionado por el proveedor”, la estructura logística es centralizada, las decisiones sobre pedidos del minorista las toma el proveedor y (4) CS “sincronizada”, estructura logística centralizada, los miembros efectúan pedidos de modo coordinado.

Por su parte el modelo SCOR aborda diferentes procesos, como abastecer, transformar, distribuir, planear y retroalimentar, sin embargo no es claro cómo estas categorías se interrelacionan y cuáles son subyacentes a los sistemas de control y mecanismos de coordinación. Asimismo, no incluye un método para la configuración de modelos específicos, ni plantillas de configuraciones típicas de la CS [11]

En un caso de estudio de la CS de café, realizado por Banker [44] en la India se identificaron cuatro configuraciones: (1) mediación física, a través de

intermediarios que facilitan la transacción. (2) en línea y directa, donde la venta es a través de subasta en línea, sin intermediarios. (3) en línea con mediación, los intermediarios compran a muchos productores, y venden en subasta en línea. (4) física directa, el productor vende a través de subastas a los compradores directamente. No hay intermediarios. Estas configuraciones son definidas por el tipo de relaciones, los mecanismos de comunicación y el tipo de transacción.

De acuerdo a esto, las CS deben ser capaces de igualar la capacidad de oferta a las cambiantes necesidades de la demanda [45]. En una CS impulsada por la demanda, todos los actores involucrados son sensibles y responden a la demanda de información del consumidor final y satisfacen esas demandas variadas y variables de una manera oportuna y rentable [46] [47].

Un factor clave que determina la variación de los sistemas de gestión en las CS es el instante de decisión de pedido por parte del cliente, pues este orienta la CS a satisfacer directamente las órdenes de los clientes o anticipar la demanda futura [48]. En consecuencia, la información debe ser compartida a tiempo a lo largo de la CS e impone exigencias con respecto a la interoperabilidad y la flexibilidad de los sistemas de información y de apoyo [11], sin embargo este flujo de información impulsado por la demanda es complejo de garantizar en cadenas de productos perecederos, con ofertas estacionales.

El enfoque hacia la construcción de pequeñas CSA se ha convertido en una característica de la dinámica de sistemas locales -rurales, la cual busca minimizar las distancias geográficas de los eslabones de la cadena [49]. En este sentido se evidencian tres configuraciones para estas pequeñas CSA, face-to-face (los consumidores compran directamente al productor o procesador), proximidad geográfica (los productos son producidos y vendidos en el lugar de producción), y geográficamente extendidas (el producto y la información se envían a consumidores fuera de la región) [50].

2.5. PLANEACIÓN DE CADENAS DE SUMINISTRO DE PRODUCTOS PERECEDEROS

Analizar las CS requiere pensar en forma sistémica, pues su comportamiento no puede verse desde un solo eslabón, sino que debe asociarse a la relación de todos los elementos. En tal sentido es necesario tener información acerca de los subsistemas que hacen parte de la cadena, como son [51]: aprovisionamiento, producción, distribución y mercado, control de calidad.

Con el objeto de responder a las necesidades de la demanda, es necesario establecer un proceso de planeación que permita obtener mayor eficiencia y una ventaja sostenible sobre la competencia [52], por tanto es necesario conocer los recursos y competencias que permitan crear nuevos recursos [53] para las partes

interesadas, además la estrategia de la CS debe estar alineada con el tipo de producto y su ciclo de vida [54] para responder a las expectativas de los clientes sin perder valor.

En consecuencia, la gestión eficiente de la CS requiere la toma de decisiones relacionadas con los flujos de información, productos y recursos [55]. Estas decisiones obedecen a tres momentos: *La estrategia de diseño*, en la cual se decide la configuración de acuerdo a los recursos asignados y los procesos de cada etapa, incluye la localización, capacidad y facilidad de almacenamiento, los tipos de productos, modos de transporte, envío y sistemas de información utilizados. *La planeación*: de acuerdo a la configuración se determina la manera como se logrará satisfacer el mercado seleccionado, obteniendo los mejores resultados. *La operación*: se ejecuta lo planeado de acuerdo a la demanda buscando la mayor optimización de recursos.

Además de las decisiones Seuring [18] afirma que es necesario prever obstáculos para la aplicación de las CS sostenibles como es (1) aumento de los costos, (2) complejidad para la coordinación, y (3) falta de comunicación en la CS. Adicionalmente Taylor [41] menciona que la sincronización de la oferta y la demanda en las cadenas agroalimentarias es una tarea compleja debido a la variabilidad en ambos extremos de la CS. Estas decisiones deben estar orientadas por los responsables de planificación de la CS, los cuales pueden adoptar un enfoque descentralizado o centralizado. En el primero de ellos, las decisiones se toman de forma independiente en cada uno de los nodos de la CS, mientras que en el segundo existe un gestor global que coordina las decisiones a lo largo de toda la CS [56].

En el marco de la CSA se ha identificado [16] cuatro áreas funcionales como son: la producción, cosecha, almacenamiento y distribución. Las decisiones tomadas en la producción incluyen los cultivos (asignación de tierras, momento de siembra y determinación de recursos necesarios para el crecimiento de los cultivos), la cosecha (calendario de recogida), nivel de recursos para realizar la actividad, programación de los equipos, mano de obra y equipo de transporte. A veces, estas decisiones implican también la programación de la planta de transformación o de embalaje. La tercera función es el almacenamiento, que incluye el control de inventario de los agro-alimentos, que se requiere cuando los productos necesitan ser almacenados antes o durante su distribución. Algunas decisiones relacionadas con el almacenamiento incluyen también la cantidad para almacenar y vender en cada período de planeación y cómo gestionar el inventario a lo largo de la cadena de suministro. Por último, la distribución consiste en mover el producto de la CS para entregarlo a los consumidores. Las decisiones relacionadas con la distribución incluyen la selección del modo de transporte, las rutas a utilizar y el calendario de envío para entregar el producto.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE ESTUDIO

Este estudio es de carácter exploratorio, descriptivo y analítico. Es exploratorio porque para su desarrollo fue necesario comprender aspectos sobre los modelos logísticos y su aporte a la optimización de las cadenas de suministro, así como las características particulares de las cadenas productivas en la zona de estudio.

Es descriptivo porque se analizaron las variables que intervienen en la cadena de suministro de la fruta seleccionada, como es los volúmenes de producción, el transporte, la demanda de la fruta y los requerimientos de envío.

En analítico porque se logró identificar un modelo de optimización de los costos asociados a los envíos de la fruta.

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La metodología utilizada en la investigación se basó en la propuesta por Hevner [10] la cual se basa en el diseño de modelos que permiten resolver problemas a través de siete directrices relacionadas con: comprender el problema, definir una solución a partir de la construcción y la aplicación de un modelo innovador, con objetivos concretos (Directriz 1) para un contexto determinado (Directriz 2). Como el modelo se orienta al objetivo, debe aportar al problema específico. Por lo tanto, la evaluación a fondo del modelo es fundamental (Directriz 3), así como la eficacia y eficiencia de la solución (directriz 4). El modelo debe ser rigurosamente definido, que permita representar formal, coherente e internamente consistente la realidad (directriz 5). El proceso por el cual se crea el modelo, incorpora un proceso de búsqueda mediante el cual se construye y plantea mecanismos o políticas para encontrar una solución efectiva (directriz 6). Por último, los resultados de la investigación basada en el diseño debe darse a conocer (directriz 7) tanto a un público técnico como de gestión.

Con base en estas directrices se revisó literatura relacionada con el modelado de procesos y gestión de la cadena de suministro, se definieron los requisitos básicos de modelado basados en la demanda y con base en estudios de casos de

aplicación, se identificó el modelo conceptual de cadena de suministro en cuanto a los elementos y las relaciones, es decir los procesos, la gestión y los recursos (incluida la información), la estrategia y la táctica [11].

De acuerdo a lo anterior la metodología se dividió en 3 fases como se describen a continuación.

Fase 1. Comprender el problema

En la primera parte se analizó el problema, teniendo en cuenta dos enfoques, por un lado la arquitectura de sistemas propuesta por Zachman [1] que pretende ver el problema de manera general (se utilizó modelo de datos y modelo de red) y el segundo enfoque fue el propuesto por el nivel 1 del Modelo SCOR [2], el cual permite evaluar la cadena de abastecimiento de forma sistémica, pues establece el alcance y contenido del Modelo, se establece la manera como se planea y gestiona la demanda y oferta.

Fase 2. Solución a partir de la construcción

La segunda fase de la investigación se relaciona con la evaluación de configuraciones para la cadena de abastecimiento, en donde se evalúan las características del sistema, la estructura y organización. Este proceso se basa en identificar los modelos de configuración que mejor se adapte al caso de la fruta en Lengupá. La selección de la configuración depende de las condiciones del entorno y las mejores características, que permitan disminuir los costos de operación. Para definir la configuración se siguió el trabajo de Chandra C y Grabis J. [3] el cual define los siguientes pasos:

- Proceso de configuración, en el cual se analiza la información de general de la cadena.
- Alcance del modelo, es decir ámbito de aplicación.
- Modelado de la Información, representar el problema de configuración.
- Disponibilidad de los datos.
- Plan de toma de decisiones. Situaciones a evaluar y criterios de aceptación.
- Selección e implementación del modelo.
- Análisis de los datos de salida.

Fase 3. Proponer estrategias para la conformación del modelo logístico

De acuerdo a la configuración identificada en la fase 2, se utilizarán herramientas de planeación estratégica para establecer acciones que productores, transformadores y distribuidores, deberán adoptar para implementar el sistema identificado

3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la primera fase de la investigación se utilizaron fuentes secundarias para establecer las frutas de mayor volumen de acuerdo a las estadísticas de la Unidad Regional de Planificación - URPA.

Posteriormente para caracterizar las cadenas productivas se usaron fuentes primarias para la identificación de las capacidades productivas, con la aplicación de encuestas y entrevistas a productores y asociaciones de productores.

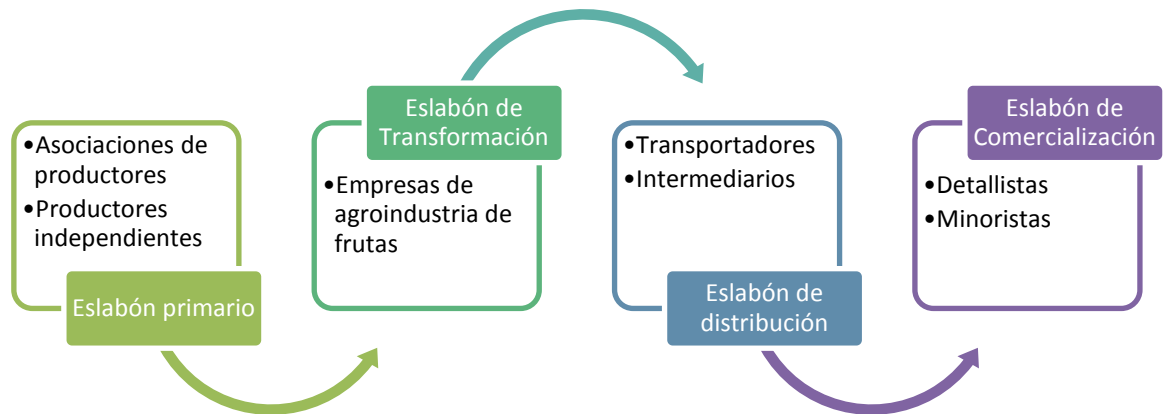
Para identificar las oportunidades productivas o requerimientos de la demanda, se eligieron supermercados regionales en las ciudades de Tunja, Duitama y Sogamoso, a los cuales se entrevistó para conocer las preferencias de consumo en términos de calidad, cantidad, precio, periodos y en general condiciones de entrega.

4. PRIORIZACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA A EVALUAR

La Cadenas Agroalimentarias de las frutas en Colombia están conformadas por los productores asociados, comercializadores, centros de investigación, industrias, entidades de apoyo (Ministerio de Agricultura).

En la Provincia de Lengupá la cadena productiva de las frutas está conformada por cuatro eslabones como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Cadena productiva de la pitaya



Fuente. Autor

4.1. ANÁLISIS DEL ESLABÓN PRODUCCIÓN

Un factor relevante para la calidad de la fruta son las condiciones de producción y de éstas hace parte importante el manejo de los cultivos y la observancia de la normatividad existente al respecto. El resultado de un adecuado manejo del medio ambiente y del cultivo por parte de los fruticultores, garantiza la calidad, sanidad e inocuidad del producto que será comercializado [57], de aquí la importancia de conocer la situación del eslabón de producción.

El análisis de la cadena se hizo por eslabones, para el eslabón primario se aplicaron 130 entrevistas guiadas a los productores de fruta de Lengupá, la selección de los productores se basó en las bases de datos de la URPA y las alcaldías de los municipios, la guía para la entrevista contenía los ítems presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Aspectos de la entrevista a productores de fruta de Lengupá

| Factor | Ítem |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Información general de los productores | Nombre Ubicación geográfica Edad Número de celular Afilación a organizaciones Ocupación actual Ultimo grado cursado |
| Actividad productiva de la finca | Cultivos (tipo de frutas) Área cultivada (extensión) Cultivo (cantidad cosechada, cosechas al año, meses de mayor producción, meses de mayor escasez) |
| Mercadeo | Canales de comercialización (directos o indirectos) Requerimientos de la demanda (calidad, física, presentación, logística) |
| Problemas | Producción Mercadeo Organización |
| Entidades de apoyo a la cadena | Formación – asistencia técnica Gestión de recursos |

Fuente: CREPIB

La información fue tabulada en Excel y el objetivo del análisis de la información fue establecer las frutas de mayor producción y con mejores condiciones de comercialización. Se identificaron cultivos de café, caña y plátano principalmente, otros como frijol, maíz, tomate y yuca. Con respecto a las frutas se encontró pitaya, mora, lulo, chamba y tomate de árbol, en términos de volumen las frutas más representativas fueron pitaya, mora y lulo.

Las características en cuanto a volumen, calidad, formas de organización y prácticas productivas y empresariales de los productores de estas frutas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de los productores de fruta de Lengupá

| | MORA <i>Castilla</i> | PITAYA <i>Amarilla</i> | LULO <i>Quitoense</i> |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Volumen | 65.3 ton/año | 240 ton/año | 60.15 ton/año |
| Calidad | <ul style="list-style-type: none"> Las plantaciones tienen problemas de plagas como botritis, | <ul style="list-style-type: none"> Los cultivos presentan plagas como fusarium, mosca de la fruta, bacteriosis, pudrición | <ul style="list-style-type: none"> Los cultivos presentan gota 7 días de vida |

| | MORA <i>Castilla</i> | PITAYA <i>Amarilla</i> | LULO <i>Quitoense</i> |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | antracnosis y trips <ul style="list-style-type: none"> • Alta peresibilidad de la fruta • 40 horas de vida útil al ambiente • 10 días con atmosferas modificadas | basal del fruto <ul style="list-style-type: none"> • 7 días de vida útil al ambiente • 15 días con atmosfera modificada | útil al ambiente <ul style="list-style-type: none"> • 12 días con atmosfera modificada |
| Organización productiva | <ul style="list-style-type: none"> • La orquídea en Miraflores • Cooperativa multiactiva agropecuaria de Zetaquirá | Pitacol SAS Coopital | Asociación de productores de lulo Asolucampo |
| Prácticas productivas y empresariales | <ul style="list-style-type: none"> • No comercializan la mora como Asociación y/o Cooperativa • Escasez de mano de obra • Deficientes canales de comercialización | <ul style="list-style-type: none"> • Comercializan la pitaya como organización • Bajo precio del producto • Deficientes canales de comercialización • Existen líderes en la zona que son claramente identificados por los actores locales • Se han iniciado procesos de investigación para mejorar la calidad y productividad del cultivo • Han participado en el proceso de direccionamiento nacional de la cadena | <ul style="list-style-type: none"> • No comercializan el lulo como Asociación • Falta de asistencia técnica • No se ha visualizado una estrategia para mejorar las condiciones de la cadena |

Fuente: CREPIB

Los productores encuestados se ubican en los municipios de Zetaquirá, San Eduardo, Rondón, Berbeo, Miraflores y Páez, a continuación se presenta la distribución geográfica y volumen de producción en la Tabla 4.

Tabla 4. Distribución geográfica y volumen de los productores de fruta de Lengupá

| Fruta | Municipio | Vereda | Volumen (ton/año) | Número de productores |
|----------------|-------------|----------------|-------------------|-----------------------|
| Mora | Zetaquirá | Juracambita | 26 | 11 |
| | San Eduardo | La Libertad | 19.3 | 6 |
| | | San Pablo | 2.5 | 1 |
| | | Cardoso | 12 | 1 |
| | Rondón | Nariño | 1.9 | 4 |
| | | San Antonio | 1.9 | 4 |
| | | Junin | 0.2 | 1 |
| | | San Isidro | 0.7 | 2 |
| Centro | | 0.3 | 1 | |
| Pitaya | Berbeo | Batatal Bajo | 2.6 | 1 |
| | Miraflores | Rusita | 9.7 | 2 |
| | | Guamal | 3.8 | 2 |
| | | Suna | 29.9 | 9 |
| | | Pueblo y Cajón | 22.9 | 5 |
| | | Rusa | 94.8 | 24 |
| | | Chapacía | 0.7 | 1 |
| | | Laderas | 3.8 | 1 |
| | Paez | Oso | 4.2 | 1 |
| | | La Punta | 5 | 1 |
| | | Yamuntica | 2 | 1 |
| | San Eduardo | Bombita | 1.2 | 1 |
| | | San Pablo | 7.9 | 3 |
| | | Villanueva | 1.15 | 2 |
| | Zetaquirá | Guanatá | 40.05 | 16 |
| | | Hormigas | 6.2 | 2 |
| | | Patanoa | 2 | 1 |
| | | Gacal | 3.7 | 1 |
| Tres Quebradas | | 6.5 | 2 | |
| Centro | | 6 | 1 | |
| Lulo | San Eduardo | La Libertad | 5 | 1 |
| | | Cardoso | 20 | 1 |
| | | San Pablo | 10.8 | 2 |
| | | Villanueva | 2.3 | 1 |
| | Rondón | San José | 0.3 | 1 |
| | | San Antonio | 9.2 | 5 |
| | | Granada | 1 | 5 |
| | | Junin | 3.822 | 2 |
| Nariño | 7.73 | 2 | | |

Fuente: CREPIB, 2011

La distribución geográfica de los 128 productores se puede observar en el Anexo 1 (Mapa distribución geográfica de los productores de fruta en Lengupá), en el cual

se observa concentración de mora y lulo en los municipios de Rondón y San Eduardo y pitaya en Zetaquirá y Miraflores.

Otro aspecto importante para este eslabón es el grado de asociatividad de los productores, en las encuestas se identificaron las organizaciones productivas que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Organización de los productores de fruta de Lengupá

| Municipio | Actor | Naturaleza y/o principal actividad productiva en la provincia |
|------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Miraflores | Corpitaleng | Cooperativa de productores de pitaya |
| | Coopital | Cooperativa de productores de pitaya |
| | Pitacol | Asociación de productores de pitaya |
| | Productores asociados La orquídea | Producción y comercialización de mora |
| San Eduardo | SAT Agrofrutigan | Producción y comercialización de frutas y ganado (mora) |
| | Organización provisional de productores de chamba | Producción y comercialización de chamba |
| Campohermoso | Asociación de productores de lulo de Campohermoso - Asolucampo | Lulo, otros |
| | Asociación de Productores Agropecuarios Los Cedros-Asprocedros | Producción y comercialización de frutas, café, otros (lulo) |
| Zetaquirá | Cooperativa de productores de frutas de Lengupá - Frutilen | Producción y comercialización de frutas (mora y lulo) |
| | Cooperativa multiactiva agropecuaria de Zetaquirá | Producción y comercialización de mora, otros. |

Fuente: CREPIB, 2011

4.2. ANÁLISIS DEL ESLABÓN TRANSFORMACIÓN

Para el eslabón transformación se hizo una revisión de las bases de datos de la Cámara de Comercio de Tunja y las alcaldías de los municipios, sobre las empresas de agroindustria presentes en la región, se encontraron las organizaciones que se referencian en la Tabla 6.

Tabla 6. Organizaciones de transformadores de fruta de Lengupá

| Municipio | Actor | Naturaleza y/o principal actividad productiva en la provincia |
|------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Miraflores | Asociación de Mujeres Campesinas Las Delicias | Pulpa de chamba, otros |
| Berbeo | Asociación Mujer Campesina | Producción y comercialización de derivados de la chamba, principalmente pulpa y mermelada |

Fuente: CREPIB, 2011

Esta información permite establecer que el eslabón de transformación es incipiente aún en la Provincia, con mayor organización en el eslabón primario y algunas experiencias de transformación de chamba.

4.3. ANÁLISIS DEL ESLABÓN COMERCIALIZACIÓN

El eslabón de comercialización se analizó a través de 11 entrevistas guiadas a los jefes de compras de productos frescos en 11 supermercados ubicados en los municipios de Tunja, Duitama y Sogamoso. La guía contenía los ítems presentados en la Tabla 7.

Tabla 7. Aspectos de la guía aplicada a clientes

| | |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Información general de los supermercados | Razón social Ubicación geográfica Contactos |
| Características de los pedidos | Cantidad Formas de pago Frecuencia Precio |
| Requisitos generales | Presentación Forma jurídica Transporte Pruebas y análisis a las frutas |

Fuente: Autor

De acuerdo a los resultados de las entrevistas se encontraron los siguientes requisitos generales:

- Frecuencia: Entregas semanales en las bodegas de los supermercados en los municipios de Tunja, Duitama y Sogamoso
- Presentación: canastillas de 20 kilos
- Cantidad: es variable, en promedio 4500 kilos de pitaya, 5000 kilos de mora y 7000 kilos de lulo

Teniendo en cuenta el análisis de las cadenas productivas presentadas anteriormente y específicamente la capacidad productiva, las organizaciones de productores y las condiciones del entorno, se concluye que la fruta seleccionada para diseñar el modelo logístico para la cadena de suministro es la pitaya, con sus eslabones de producción, distribución y comercialización.

5. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LA PITAYA

5.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA CADENA SUMINISTRO DE LA PITAYA

La pitahaya amarilla denominada científicamente *Selenicereus megalanthus* es una fruta exótica de la familia de las cactáceas, tiene una larga historia de uso en el hemisferio occidental donde es una especie nativa. Se ha mencionado como fruta popular Azteca en documentos históricos del siglo XIII. Actualmente se cultiva en Colombia, Ecuador e Israel [58]

Foto 1. Cultivo de pitaya en Lengupa



Fuente: CREPIB

En la década de los 80, la pitaya era una fruta silvestre que se encontraba trepando sobre árboles, palmeras, muros y piedras. Sin embargo a partir de esta década se comenzó a cultivar en Colombia comercialmente, promovida como cultivo de diversificación de zonas cafeteras por el Programa de Desarrollo y Diversificación de la Federación Nacional de Cafeteros [59]

A nivel mundial, los cuatro principales productores de pitaya amarilla son, en su orden, Colombia, Israel, Brasil y Ecuador, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Producción y productividad de la pitahaya amarilla a nivel mundial

| País | Área (ha) | Producción (Ton) | Part. Área (%) | Part. toneladas (%) | Productividad (ton/ha) |
|-------------|------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Colombia | 827 | 7.906 | 76,36 | 76,28 | 9,56 |
| Israel | 100 | 1.230 | 9,23 | 11,87 | 12,3 |
| Brasil | 35 | 234,5 | 3,23 | 2,26 | 6,7 |
| Ecuador | 20 | 202 | 1,85 | 1,95 | 10,1 |

Fuente: FAO (2009)

A nivel nacional, el I Censo de 10 Frutas Agroindustriales y Promisorias realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE en el año 2004, indicaba que en el país el área total cultivada en pitaya fue de 269.4 hectáreas, distribuidas en 550 lotes con un área promedio de 0.49 ha, los cuales están en propiedad de un total de 444 productores. Estadísticas más recientes³ muestran un aumento importante respecto al 2004. El Departamento con mayor producción es Boyacá, seguido por Huila y Santander (ver Figura 3 y Tabla 9)

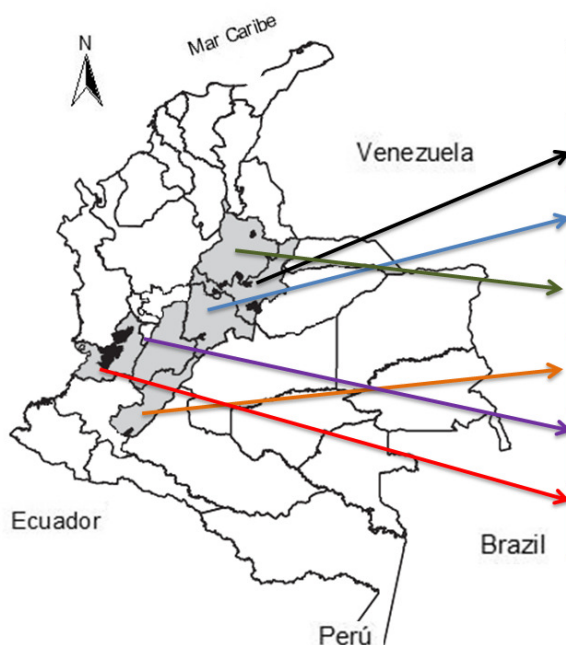
Foto 2. Flor de pitaya



Fuente: Gustavo Wilches-Chaux

³ Datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2010

Figura 3. Distribución geográfica de la pitahaya en Colombia



Fuente: CREPIB

Tabla 9. Producción de pitahaya a nivel nacional (ton)

| Dpto. | Producción (t) | Rendimiento (t·ha ⁻¹) | Área (ha) |
|-----------------|----------------|-----------------------------------|-----------|
| Boyacá | 2172 | 8,7 | 251 |
| Cundinamarca | 428 | 10 | 43 |
| Santander | 1111 | 10,3 | 108 |
| Huila | 1776,5 | 15,7 | 113, 5 |
| Tolima | 280 | 7,4 | 38 |
| Valle del Cauca | 750,9 | 7,5 | 100,7 |

Fuente: Agronet, 2011

En Boyacá, son 12 los municipios productores de pitaya: Berbeo, Briceño, Buenavista, Chitaraque, Coper, Miraflores, Otanche, Páez, San Eduardo, Santana, Tunungua y Zetaquira. En conjunto, su producción en el año 2010 fue de 2.414 toneladas. En la Tabla 10 se muestra los datos de área sembrada, producción, rendimiento y número de fincas productoras.

Tabla 10. Estadísticas de producción de pitahaya amarilla en Boyacá.

| Municipio | Área sembrada (ha) | Producción (t) | Rendimiento (t·ha ⁻¹) | No. Fincas productoras |
|------------|--------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------|
| Miraflores | 196 | 660 | 10 | 140 |
| Chitaraque | 28 | 336 | 12 | 12 |
| Páez | 17 | 187 | 11 | 24 |
| Berbeo | 16,9 | 163,9 | 11 | 32 |
| Buenavista | 27 | 240 | 10 | 29 |
| Briceño | 36 | 132 | 6 | 34 |
| Tunungua | 38 | 132 | 6 | 20 |
| Zetaquira | 20 | 140 | 7 | 65 |
| Santana | 11 | 120 | 12 | 247 |

| Municipio | Área sembrada (ha) | Producción (t) | Rendimiento (t-ha ⁻¹) | No. Fincas productoras |
|--------------|--------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------|
| Coper | 7 | 57,55 | 11,5 | 6 |
| Otanche | 10 | 16 | 2 | 8 |
| San Eduardo | 3,5 | 14 | 4 | 9 |
| TOTAL | 299,4 | 2.414,45 | Prom = 8,75 | 626 |

Fuente: URPA (2010)

En Lengupá la cadena productiva de la pitaya está conformada por dos eslabones, el **eslabón de producción** y **comercialización**.

Para el análisis del **eslabón producción**, se realizaron entrevistas y reuniones con los productores para identificar las características de los productores como son ubicación y volumen.

Foto 3. Pitaya

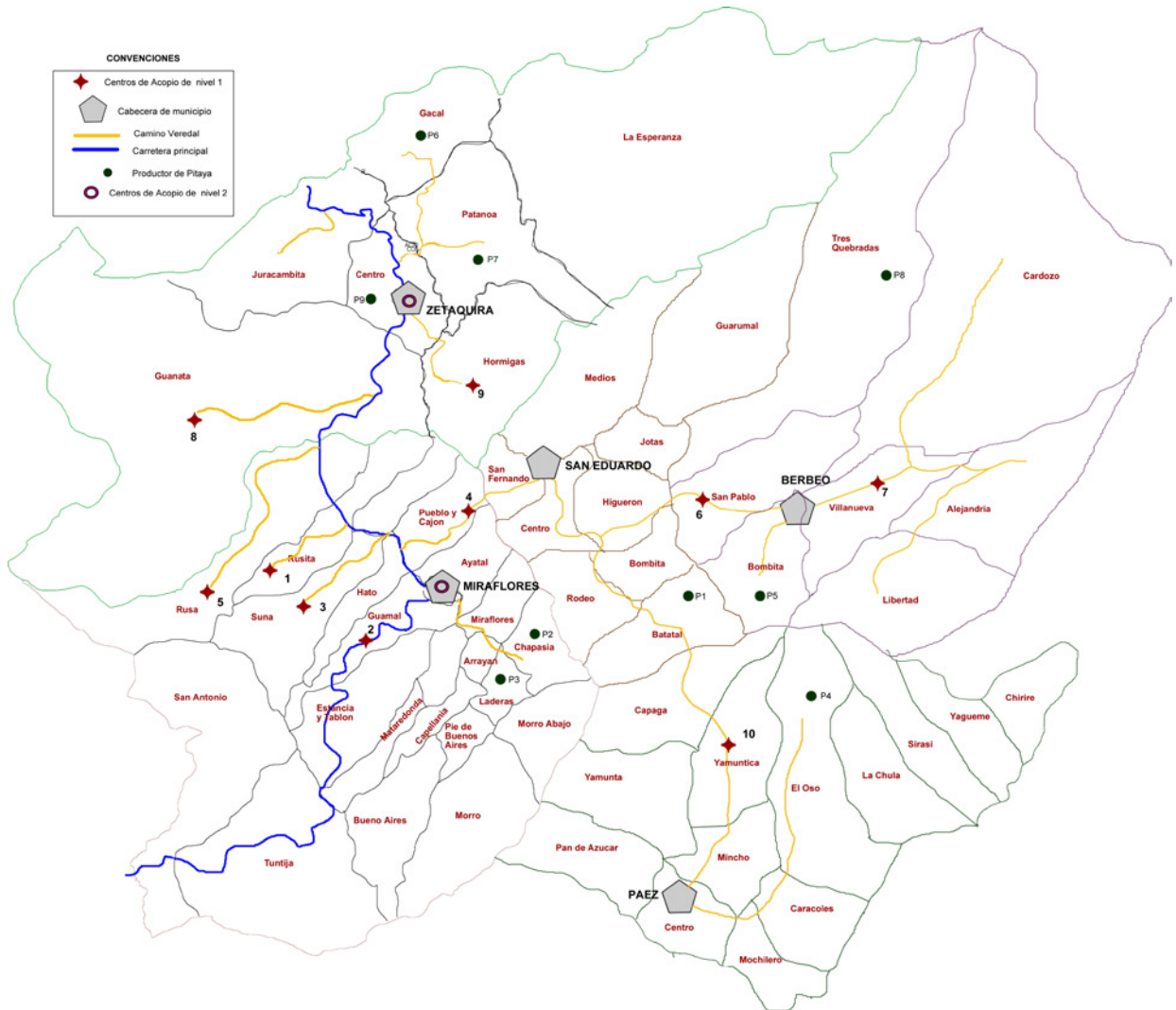


Fuente: CREPIB

Con relación al volumen se realizó un proceso de registros de producción por un periodo de tiempo de un año para establecer la fluctuación de la oferta, teniendo en cuenta aspectos como la productividad y estacionalidad de la fruta, para identificarla ubicación de las fincas productoras se calcularon las distancias entre productores y centros de acopio, con el apoyo de la oficina de Planeación de la Gobernación de Boyacá.

Se identificó que el eslabón de producción está conformado por los productores independientes (simbolizados con un círculo verde) y centros de acopio (estrellas rojas), como se pueden observar en el mapa de ubicación de productores y centros de acopio de pitaya (figura 4).

Figura 4. Mapa de ubicación de productores y centros de acopio de pitaya.



Fuente. Autor con el apoyo de la oficina de Planeación de la Gobernación de Boyacá

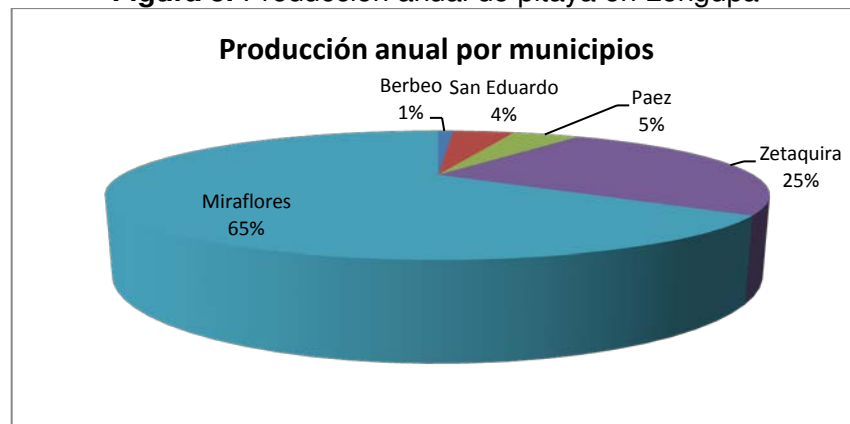
Se observan las cabeceras municipales (pentágono gris), la carretera principal (línea azul) y las secundarias (línea amarilla), los centros de acopio de nivel 1 (simbolizados con una estrella roja) y los centros de acopio de nivel 2 (simbolizados con un círculo rojo).

Los resultados de las entrevistas muestran a un grupo de 77 productores de pitaya, 9 distribuyen de manera independiente y 68 se reúnen en determinadas veredas y lugares para organizar la fruta que se entrega a los intermediarios, existes dos niveles de acopio, por un lado se encuentran los de nivel 1 que se

encuentra en las veredas donde están los cultivos y por otro lado están los centros de acopio urbano o de nivel 2 en donde se acopia la pitaya de los municipios.

La concentración de pitaya está principalmente en los municipios de Miraflores (capital de la Provincia de Lengupá y sede de dos Asociaciones de productores) y Zetaquirá. Como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Producción anual de pitaya en Lengupá



Fuente: Autor

Los volúmenes de producción no son constantes como se observa en las figuras 6 y 7, los meses de mayor producción son entre junio y agosto, los volúmenes son bajos (ver figuras 8 y 9) y para el caso de los productores independientes el de mayor producción se ubica en la vereda Centro del municipio de Zetaquirá y el de menor producción se encuentra en Miraflores, con respecto a los centros de acopio de nivel 1 el que más recibe pitaya se encuentra en la vereda Rusa del municipio de Miraflores y el de menor acopio en la vereda Guamal del mismo municipio.

Figura 6. Producción semanal de pitaya de los productores independientes

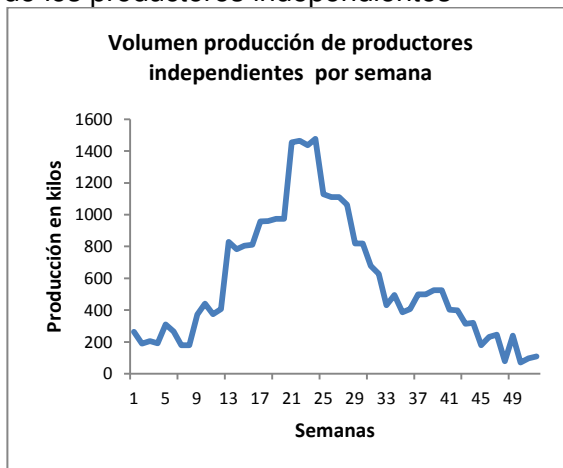


Figura 7. Producción semanal de pitaya de los centros de acopio de nivel 1

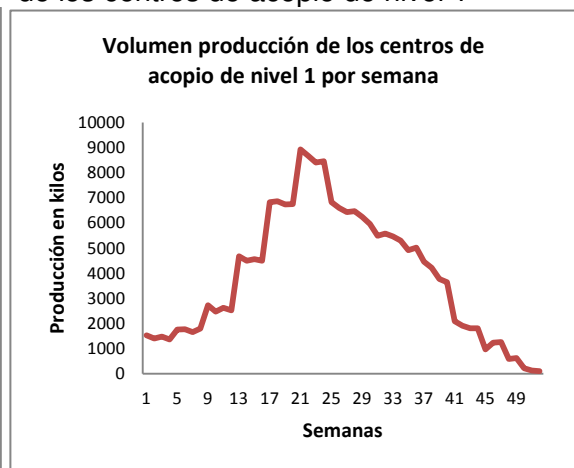


Figura 8. Producción anual de pitaya de los productores independientes

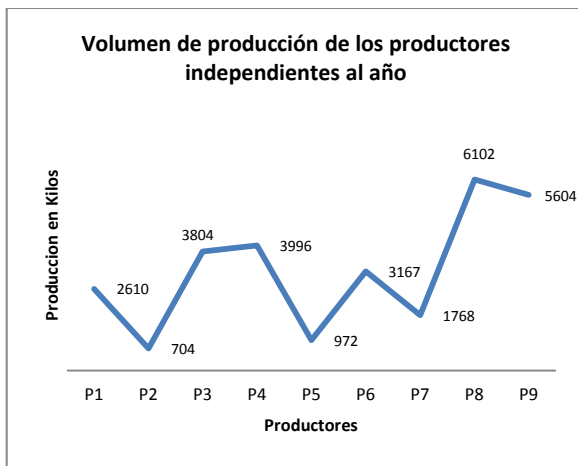
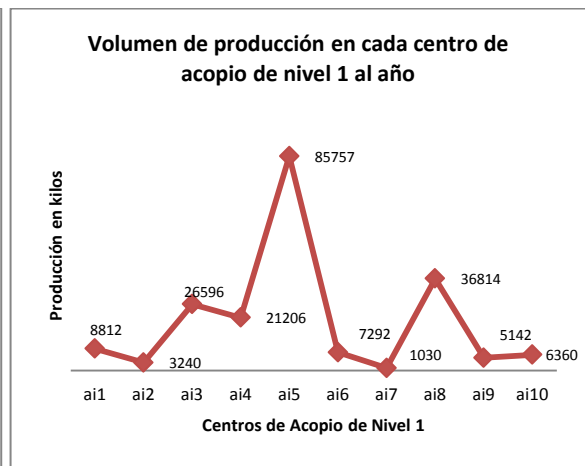


Figura 9. Producción anual de pitaya de los centros de acopio de nivel 1

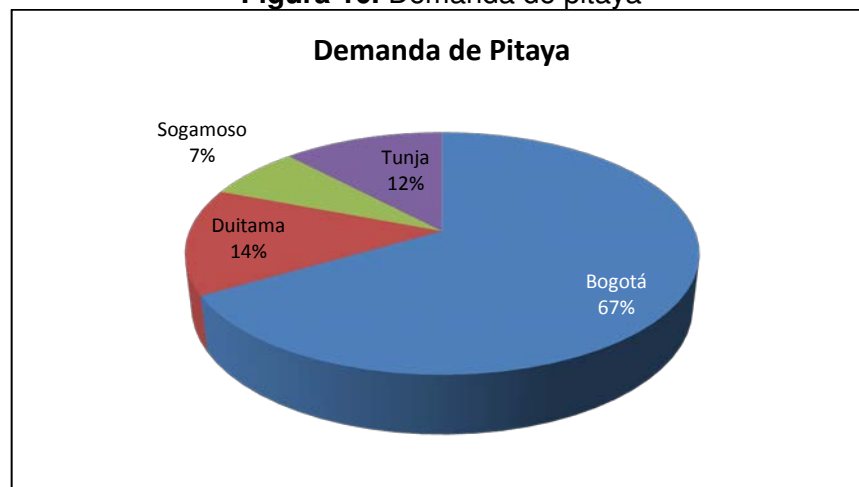


Fuente. Autor

Con respecto al **eslabón de comercialización** se analizó la demanda de pitaya y los medios de distribución actual.

Para identificar la demanda se realizaron visitas con los jefes de compra de algunos supermercados de las ciudades principales en Boyacá (Tunja, Duitama y Sogamoso), para identificar la demanda actual de pitaya, encontrando que la ciudad que mayor fruta demanda es Duitama (ver Figura 10).

Figura 10. Demanda de pitaya



Fuente. Autor

También se logró establecer contacto con un comercializador mayorista de pitaya en Bogotá, quien recibe hasta 8 toneladas a la semana.

Con respecto a los medios de distribución se revisó la disponibilidad de vehículos de los productores para calcular los costos y capacidad y se revisó para la distribución futura la oferta de servicios de empresas de transporte de fruta regionales.

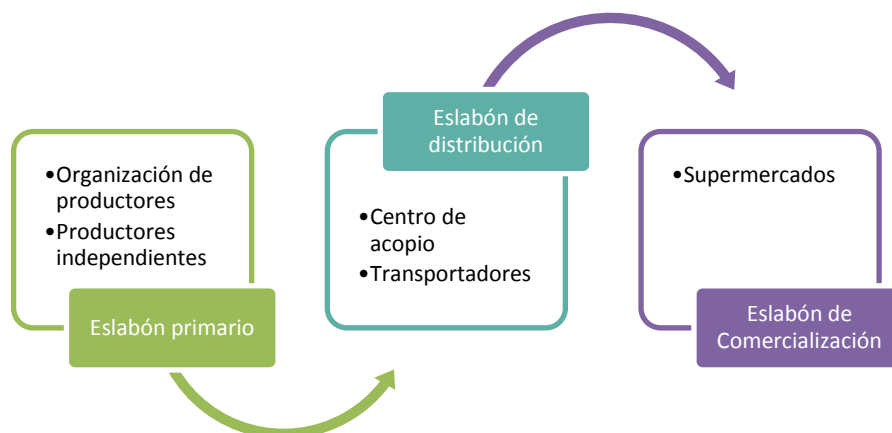
5.2. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES Y PROBLEMAS DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LA PITAYA

Para administrar la cadena de suministro es necesario conocer los flujos de información actual entre los diferentes elementos de la cadena (o sistema), para tal fin se debe pensar en un método que permita evaluar y diagnosticar de manera ordenada la cadena, por lo cual se puede tener en cuenta [60]:

- Grado de integración de la cadena
- Grado de sincronización de la cadena
- Grado de optimización de la cadena

En el grado de integración se identifica la manera como se relacionan los diferentes eslabones de la cadena para generar un producto (Figura 11), la sincronización es la capacidad de la cadena para tomar decisiones que beneficien a todos los eslabones y la optimización es la que permite la dinamización y el mejoramiento continuo [60].

Figura 11. Cadena productiva de la pitaya en Lengupá



Fuente: Autor

El grado de integración de la cadena se analizó teniendo en cuenta el nivel 1 del Modelo SCOR [2], el cual permite evaluar la manera como se planea y gestiona la demanda y oferta, teniendo como base la planeación, abastecimiento, ejecución, entrega y devolución. En tal sentido se tuvo en cuenta el trabajo de Archie Lockamy y Kevin McCormack [61], los cuales a través de estudios y encuestas, recogieron una serie de preguntas para el análisis del grado de integración de la cadena (ver Anexo 2. Guía para determinar grados de integración y organización de los productores) y su relación con la rentabilidad de la misma.

De acuerdo a lo anterior y a través de reuniones y aplicar la Guía para determinar grados de integración y organización de los productores (anexo 2) se logró identificar las principales necesidades, las cuales se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Necesidades de los productores de pitaya de Lengupá

| FACTOR | NECESIDAD |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Planeación | <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar planes de integración por municipios • Organizar y fortalecer las asociaciones de productores • Documentar los procesos de planificación • Definir un líder de la cadena • Identificar las prioridades de los clientes • Establecer mecanismos para medir el rendimiento de la cadena • Medir la rentabilidad del producto • Definir el proceso de gestión de demanda • Analizar la variabilidad y predicción de la demanda |
| Abastecimiento | <ul style="list-style-type: none"> • Documentar el proceso de abastecimiento • Definir un grupo de proveedores estratégicos • Establecer acuerdos formales con proveedores • Sensibilizar a los proveedores sobre normatividad para la producción de frutas • Identificar viveros certificados para la producción del material vegetal y • Adecuar espacios para el almacenamiento de los insumos agrícolas • Establecer las rutas de acopio que requieran menos tiempo y recursos |
| Cultivo | <ul style="list-style-type: none"> • Renovar las plantaciones • Mejorar las prácticas de producción y poscosecha • Mejorar la calidad de las frutas y la productividad de los cultivos |

| FACTOR | NECESIDAD |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Documentar los procesos de planificación y programación de la producción • Investigaciones para reducir la estacionalidad de los cultivos • Capacitar permanente sobre Buenas Prácticas Agrícolas, trazabilidad y certificación • Identificar laboratorios certificados para la realización de análisis de residualidad de plaguicidas en los productos • Adecuar espacios para el almacenamiento temporal de la fruta cosechada y también para los trabajadores • Optimizar el manejo de las fuentes hídricas |
| Mercado | <ul style="list-style-type: none"> • Identificar un nicho de mercado constante • Identificar los requerimientos actuales del mercado • Disminuir la intermediación • Aumentar las ventas |
| Entrega | <ul style="list-style-type: none"> • Documentar el proceso de distribución • Disminuir costos de transportación • Disminuir las pérdidas en la transportación • Establecer métricas de distribución como (porcentaje de pedidos entregados a tiempo, porcentaje de clientes satisfechos) • Definir procesos de distribución propios |

Fuente: Autor con el apoyo de CREPIB

El diseño del modelo logístico pretende ser una herramienta que apoye la solución de algunas necesidades en términos de la organización, el mercadeo y la logística, lo cual redunde en la competitividad de los productores.

5.3. ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE INFORMACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Existen diversas formas de representar los flujos de información en un sistema, uno de ellos es el modelo de datos. Los modelos de datos permiten especificar los datos, las relaciones entre ellos, su semántica asociada y las restricciones de integridad. Estos modelos se pueden clasificar de acuerdo a los niveles de abstracción de los datos, por ejemplo los modelos de datos lógicos y los implementables [62]. Para este caso se presentará un modelo lógico, el cual describen los datos a nivel conceptual y se caracterizan porque tienen una amplia capacidad expresiva.

Figura 12. Modelo de datos de la cadena de suministro de pitaya actual



Fuente: Autor

El primer paso en la construcción de un modelo de datos es definir las entidades o elementos, la información que les caracteriza y sus relaciones, para el caso de la cadena de la pitaya actual (Figura 12), se identificaron como entidades las asociaciones de productores, productores, producto, intermediario, minorista y centros de acopio.

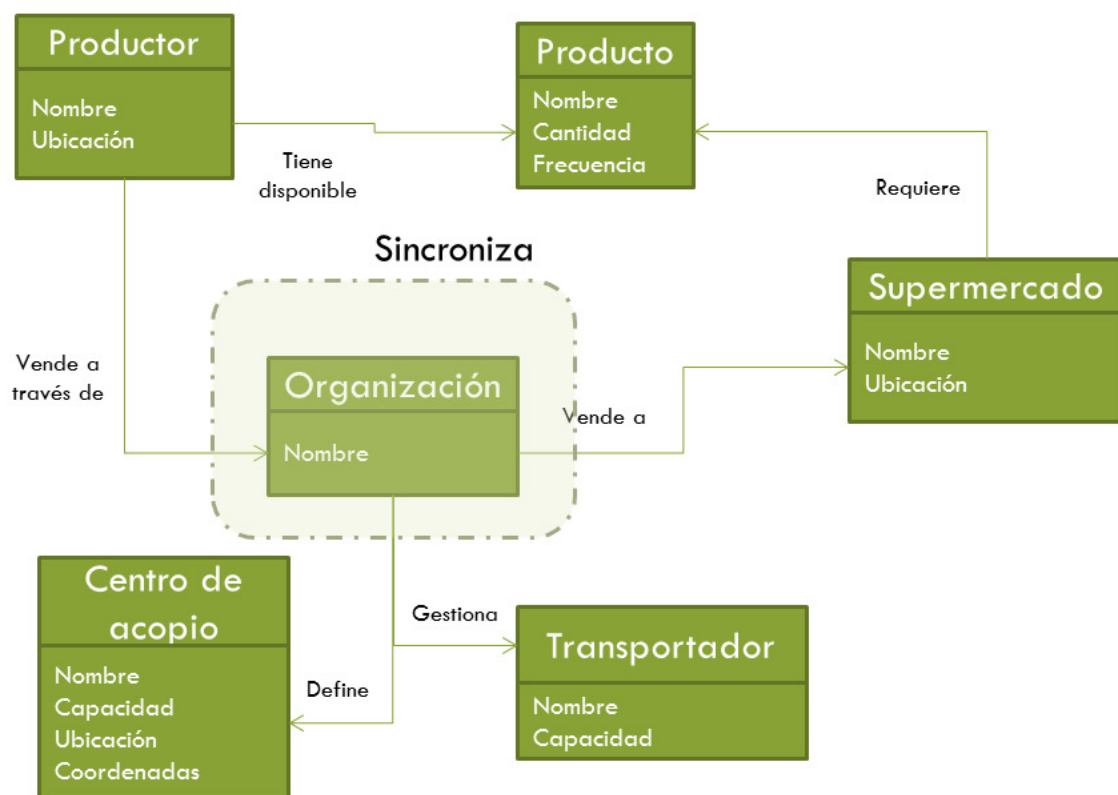
En el modelo se puede interpretar que existen productores, ubicados en ciertas coordenadas geográficas que tienen disponible unos productos en ciertas cantidades y frecuencias de producción, estos productores venden sus productos a través de una organización de productores o directamente al intermediario quien determina unos centros de acopio y vende el producto a minoristas ubicados en ciertos municipios, quienes demandan productos en ciertas cantidades y frecuencias.

En este modelo quien sincroniza la cadena es el intermediario pues es quien gestiona la mayor cantidad de información, tanto de requerimientos de la demanda como de capacidad de transporte. Sin embargo en las entrevistas a los clientes

potenciales o supermercados se identificó que uno de los requerimientos es la compra a través de una persona jurídica, por lo cual el modelo debe sincronizarse de manera distinta no solo para cumplir el requisito de la demanda sino mejorar las condiciones de competitividad.

Por lo anterior se diseñó un modelo de datos en el cual quien sincroniza la cadena es la organización de productores, pues toda la fruta se venderá a través de la esta, quien también gestiona el transporte y define los centros de acopio (ver Figura 13).

Figura 13. Modelo de datos de la cadena de suministro de pitaya propuesto



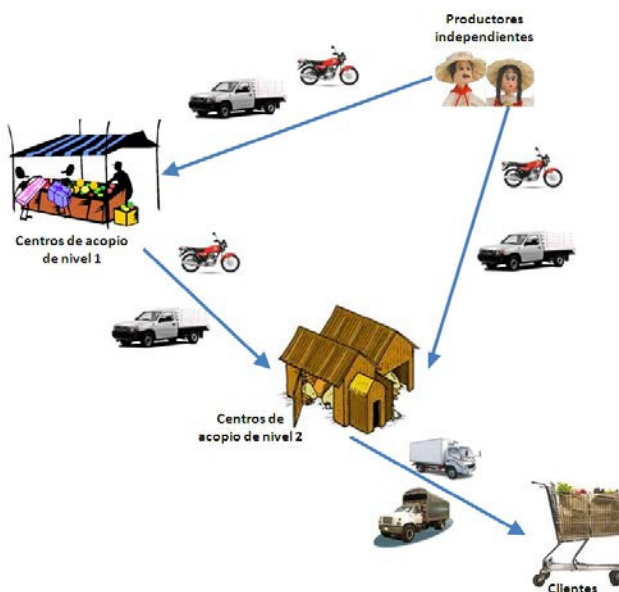
Fuente: Autor

5.4. ANÁLISIS DE LA RED DE SUMINISTRO DE PITAYA

La red de suministro representa el conjunto de elementos que hacen parte de la cadena productiva y sus relaciones (movimiento de fruta), para el caso de la pitaya se componen de dos niveles de integración o acopio como se observa en el figura 14.

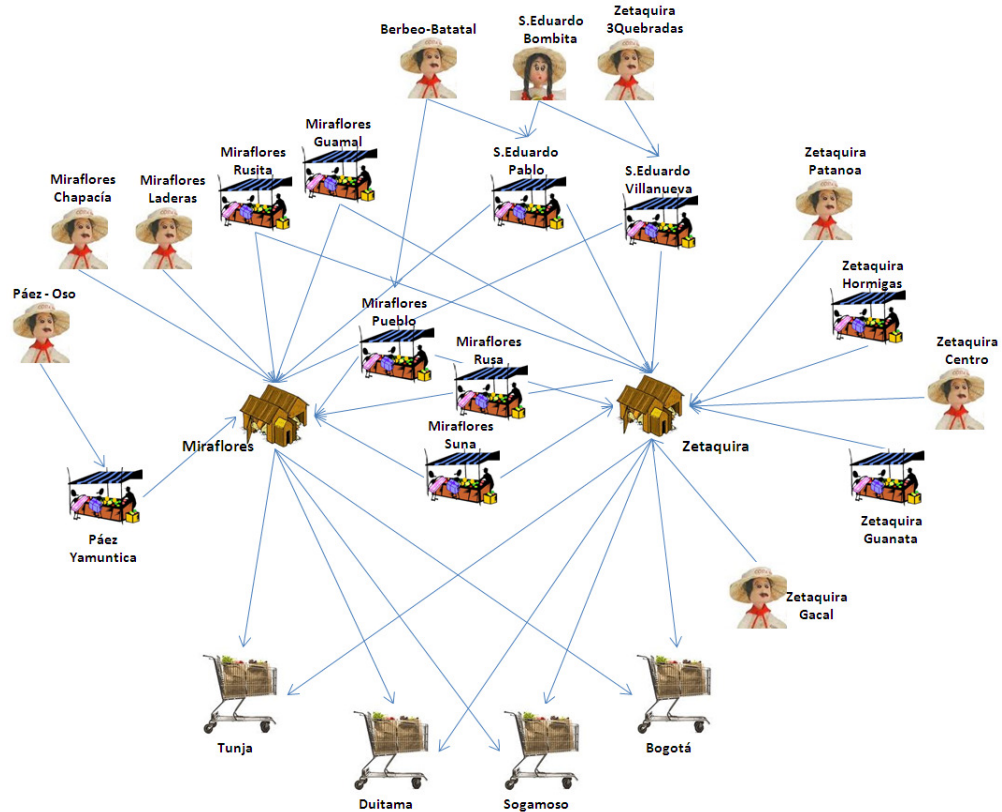
Los productores cuentan con dos motos con capacidad de 3 canastillas o 60 kilos y un vehículo con capacidad de una tonelada para el transporte de pitaya desde los productores independientes y centros de acopio de nivel 1 hacia los centros de acopio de nivel 2, y de estos hacia los clientes existen empresas con disponibilidad de vehículos de 3,5 y 10 toneladas de capacidad.

Figura 14. Niveles de suministro y acopio de la pitaya.



Fuente: Autor

Figura 15. Red de suministro de la pitaya.



Fuente: Autor

Con respecto al tipo de relaciones o conexiones entre los elementos de la cadena se presenta la figura 15, en el cual se observan los Centros de Acopio de Nivel 1, que son sitios temporales donde los productores se reúnen para enviar en los carros la producción de pitaya cada semana, estos sitios no tienen dispuesta una infraestructura de almacenamiento, si no que se comportan como un sitio de paso para acopiar la fruta por parte de los productores.

También se encuentran los Centros de Acopio de Nivel 2, los cuales disponen de una capacidad de almacenamiento para acopiar el pedido que se enviara a un cliente. También se encuentran los productores independientes los cuales envían directamente a los Centros de Acopio de Nivel 2 o a los de nivel 1.

Actualmente existen dos centros de acopio de nivel 2 uno ubicado en el municipio de Miraflores y otro en Zetaquira.

6. PROPUESTA DEL MODELO

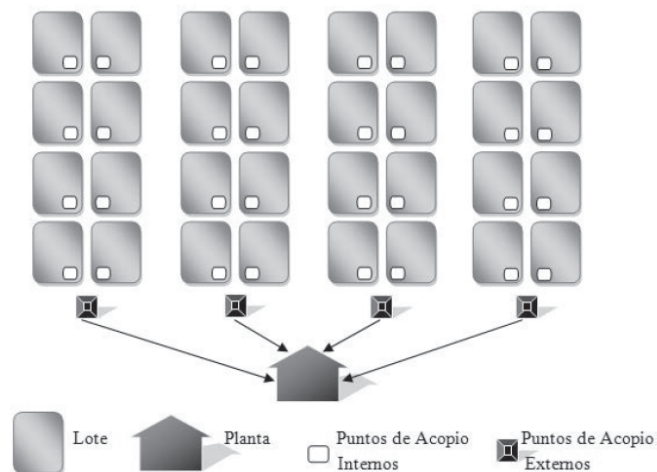
6.1. PROCESO DE CONFIGURACIÓN

Con el modelo de datos se logró identificar los productores, transportadores y supermercados, y el modelo de red mostró el flujo de frutas desde el origen hasta el destino, pasando por los Centros de Acopio hasta llegar a los supermercados.

El trabajo de campo permitió identificar la forma como actualmente se gestiona la cadena, concluyendo que se mueve de acuerdo a la rapidez de venta de los intermediarios, quienes cuentan con el transporte para llevar la fruta hacia los mayoristas y detallistas. Siendo esta condición desfavorable para los productores quienes perciben poco valor por la venta de la fruta, situación que se ha originado por los altos costos de acopio y envío de la fruta hacia los clientes.

En tal sentido se evaluaron modelos para la disminución de costos y optimización de los procesos de abastecimiento de productos perecederos, uno de los modelos analizados fue el propuesto por Adarme, Fontanilla y Arango [63] para la palma de aceite, el cual se basó en la disminución del costo de operación logística asociado con la asignación de vehículos en las etapas de recolección y transporte de la palma. Ver Figura 16.

Figura 16. Proceso de transporte de palma de aceite



Fuente: Adarme, Fontanilla y Arango [63]

Este trabajo se comporta en algunos aspectos de forma similar a la cadena de suministro de la pitaya en Lengupá, pues usa dos modelos logísticos, en el primero describe la operación general y garantiza el envío de la recolección desde

los puntos de acopio interno hasta los puntos de acopio externo y de estos a los clientes. El segundo modelo propone la condición *single sourcing* (*única fuente*), para asegurar que el fruto proveniente de un centro de acopio interno llegue solo a un centro de acopio externo y se facilite el control de calidad.

Teniendo en cuenta los flujos de información presentados en el modelo de datos y el flujo de producto representado en el modelo de red, se puede establecer que el proceso de transporte de pitaya inicia cuando los productores depositan la cosecha de pitaya en el centro de acopio de nivel 1, allí un vehículo (camioneta o moto) transporta la pitaya a uno de los centros de acopio de nivel 2 con una capacidad determinada, finalmente otro vehículo transporta la pitaya desde los centros de acopio de nivel 2 hacia los clientes (Figura 14 y 15).

Si bien el flujo de producto está directamente relacionado con la demanda, la disponibilidad de los perecederos como la pitaya con alta estacionalidad hace que la oferta condicione el envío y no logre cumplir en su totalidad la demanda actual.

6.2. ALCANCE DEL MODELO

La construcción del modelo logístico pretende ser una herramienta para apoyar la toma de decisiones en la cadena de suministro de la pitaya, los niveles de decisión se definen en función del impacto en el tiempo generado en el proceso de planificación o de toma de decisiones. Según Huang et al. [64], es posible distinguir los niveles en:

- Estratégico: implica la selección de lugares de producción, almacenaje y distribución, así como la consideración de subcontratar parte de la producción para minimizar el coste global.
- Táctico: se identifican aspectos como la planificación de la producción y la distribución, la asignación de capacidades de producción y transporte e inventarios y la gestión de stocks de seguridad.
- Operativo: se relaciona con las operaciones de reabastecimiento y envíos.

En tal sentido los niveles de decisión se diferenciarán principalmente por el alcance y la influencia durante el tiempo de la decisión por tomar [65].

Con base en lo anterior el modelo logístico propuesto estará en el nivel táctico de la cadena porque se identificará la cantidad de fruta a transportar y la cantidad de viajes a programar entre los eslabones para determinar un plan de acopio de pitaya con el menor costo.

6.3. MODELADO DE LA INFORMACIÓN

El modelado de la CS consiste en la representación matemática de las relaciones entre los diferentes nodos de una CS, lo cual permite realizar la planificación de la producción y el transporte en esta mediante la consecución de objetivos como la minimización de costes o la maximización del beneficio, a partir de técnicas matemáticas como la probabilidad o el cálculo [65].

Teniendo en cuenta la información identificada y analizada, se representó el modelo a través de programación lineal. Se identificó que la estructura de esta cadena es una topología red, por estar conformada por centros de acopio a dos niveles, productores y centros de consumo.

Se presenta a continuación la descripción de variables y parámetros para la formulación del modelo logístico de la cadena de suministro de la pitaya.

6.3.1. Subíndices

Tabla 12. Definición de índices del modelo

| Subíndice | Descripción | Datos | Límites |
|-----------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>i</i> | Centro de acopio de nivel 1 | ai1. Miraflores – Rusita ai2. Miraflores – Guamal ai3. Miraflores – Suna ai4. Miraflores – Pueblo ai5. Miraflores – Rusa ai6. San Eduardo – Pablo ai7. San Eduardo – Villanueva ai8. Zetaquira – Guanata ai9. Zetaquira – Hormigas ai10. Paez – Yamuntica | $m = 10$ |
| <i>p</i> | Productores independientes | p1. Berbeo Batatal p2. Miraflores-Chapacía p3. Miraflores-Laderas p4. Páez - Oso p5. San Eduardo-Bombita p6. Zetaquira-Patanoa p7. Zetaquira-Gacal p8. Zetaquira-Quebrada p9. Zetaquira-Centro | $o = 9$ |
| <i>j</i> | Centro de acopio de nivel | j1. Miraflores j2. Zetaquira | $n = 1,2$ |

| Subíndice | Descripción | Datos | Límites |
|-----------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| | 2 | | |
| c | Demandantes de pitaya (clientes) | c1. Tunja c2. Duitama c3. Sogamoso c4. Bogotá | q = 1,2,3,4 |
| t | Medios de de transporte propio | t1. Camioneta t2. Moto | b = 1,2 |
| r | Medios de transporte alquilado | r1. Camión con mínimo 3 ton r2. Camión r3. Camión completo más segundo camión con 3 ton r4. Furgón con mínimo 2 ton r5. Furgón r6. Furgón completo más segundo camión con 2 ton r7. Dos furgones r8. Dos furgones completos más ton r9. Tres furgones completos r10. Tres furgones completos más otro furgón con 2 ton | s = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 |

Fuente: Autor

6.3.2. Variables de decisión

Tabla 13. Definición de variables del modelo

| Variable | Descripción |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| X_{ijt} | Cantidad de pitaya a transportar desde el centro de acopio i al centro de acopio j en el medio de transporte t |
| Q_{ijt} | Cantidad de viajes a programar desde el centro de acopio i al centro de acopio j en el medio de transporte t |
| Y_{jcr} | Cantidad de pitaya a transportar desde el centro de acopio j hasta el cliente c en el medio de transporte r |
| A_{pit} | Cantidad de pitaya a transportar desde los productores independientes p al centro de acopio i en el medio de transporte t |
| B_{pit} | Cantidad de viajes a programar desde el productor independiente p hasta el centro de acopio i en el medio de transporte t |
| W_{pjt} | Cantidad de pitaya a transportar desde el productor independiente p hasta el centro de acopio j en el medio de transporte t |

| Variable | Descripción |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G_{pjt} | Cantidad de viajes a programar desde el productor independiente p hasta el centro de acopio j en el medio de transporte t |
| E_{ijt} | Matriz binaria que indica si se envía o no pitaya desde el centro de acopio i al centro de acopio j en el medio de transporte t |
| H_{pit} | Matriz binaria que indica si se envía o no pitaya desde el productor p hasta el centro de acopio i en el medio de transporte t |
| L_{pjt} | Matriz binaria que indica si se envía o no pitaya desde el productor p hasta el centro de acopio j en el medio de transporte t |
| U_{jcr} | Matriz binaria que indica si se envía o no del centro de acopio j al cliente c en el medio de transporte r |

Fuente: Autor

6.3.3. Parámetros

Tabla 14. Definición de parámetros del modelo

| Parámetro | Descripción |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C_t | costo por kilómetro recorrido en el medio de transporte t |
| CF_{jcr} | costo fijo de transportar una tonelada de pitaya desde el centro de acopio aj hasta el cliente c en el medio de transporte r |
| CV_{jcr} | costo variable de transportar una tonelada de pitaya desde el centro de acopio aj hasta el cliente c en el medio de transporte r |
| O_i | cantidad de pitaya que se recoge en el centro de acopio ai |
| OP_p | cantidad de pitaya disponible del productor p |
| CA_j | capacidad máxima de almacenamiento del centro de acopio aj |
| DE_c | demanda de pitaya del cliente c |
| DI_{ij} | distancia en kilómetros desde el centro de acopio ai al centro de acopio aj |
| DE_{pi} | distancia en kilómetros desde el productor p hasta el centro de acopio ai |
| DP_{pj} | distancia en kilómetros desde el productor p hasta el centro de acopio aj |
| Matriz pi_{pi} | Matriz que indica si se puede o no enviar pitaya entre productor y centro de acopio ai |

| Parámetro | Descripción |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Matriz p_j | Matriz que indica si se puede o no enviar pitaya entre productor p y centro de acopio aj |
| Matriz ij | Matriz que indica si se puede o no enviar pitaya entre centro de acopio ai y el centro de acopio aj |
| Ca_t | capacidad máxima de carga del vehículo t |
| CR_r | capacidad máxima de carga del vehículo r |
| N_t | Número de viajes máximo a realizar por semana en el medio de transporte t |
| CM_t | Envío mínimo del vehículo t |
| CMR_r | Envío mínimo del vehículo r |

Fuente: Autor

6.3.4. Función objetivo

Objetivo: Determinar un plan de acopio de pitaya al menor costo

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z = & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^b C_t D I_{ij} Q_{ijt} \\
 & + \sum_{p=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^b C_t D P_{pj} G_{pjt} + \sum_{p=1}^o \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^b C_t D E_{pi} B_{pit} + \sum_{j=1}^n \sum_{c=1}^q \sum_{r=1}^s C V_{jcr} Y_{jcr} \\
 & + \sum_{j=1}^n \sum_{c=1}^q \sum_{r=1}^s C F_{jcr} U_{jcr}
 \end{aligned}$$

s.a

6.3.5. Ecuaciones y restricciones

$$\sum_{c=1}^q \sum_{r=1}^s Y_{jcr} \leq CA_j \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^b X_{ijt} + \sum_{p=1}^o \sum_{t=1}^b W_{pjt} = \sum_{c=1}^q \sum_{r=1}^s Y_{jcr} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ijt} + \sum_{p=1}^o \sum_{i=1}^m B_{pit} + \sum_{p=1}^o \sum_{j=1}^b G_{pjt} \leq N_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, b \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^b X_{ijt} = O_i + \sum_{p=1}^o \sum_{t=1}^b A_{pit} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^b A_{pit} + \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^b W_{pjt} = OP_p \quad \forall p = 1, 2, \dots, o \quad (6)$$

$$X_{ijt} \leq Ca_t * Q_{ijt} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, b \quad (7)$$

$$A_{pit} \leq Ca_t * B_{pit} \quad \forall p = 1, 2, \dots, o; i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, b \quad (8)$$

$$W_{pjt} \leq Ca_t * G_{pjt} \quad \forall p = 1, 2, \dots, o; j = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, b \quad (9)$$

$$Y_{jcr} \leq Cap_r * U_{jcr} \quad \forall j = 1, 2, \dots, m; c = 1, 2, \dots, q; r = 1, 2, \dots, s \quad (10)$$

$$Q_{ijt} \leq M * E_{ijt} * \text{matrizij}(i, j) \quad \forall i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, b \quad (11)$$

$$B_{pit} \leq M * H_{pit} * \text{matrizpi}(p, i) \quad \forall p = 1, 2, \dots, o; i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, b \quad (12)$$

$$G_{pjt} \leq M * L_{pjt} * \text{matrizpj}(p, j) \quad \forall p = 1, 2, \dots, o; j = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, b \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^s Y_{jcr} \leq DE_c \quad \forall c = 1, 2, \dots, q \quad (14)$$

$$Y_{jcr} = CRM_r * U_{jcr} \quad \forall j = 1, 2, \dots, m; c = 1, 2, \dots, q; r = 1, 2, \dots, s \quad (15)$$

$$X_{ijt} = CMT_t * Q_{ijt} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, b \quad (16)$$

$$A_{pit} = CMT_t * B_{pit} \quad \forall p = 1, 2, \dots, o; i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, b \quad (17)$$

$$W_{pjt} = CMT_t * G_{pjt} \quad \forall p = 1, 2, \dots, o; j = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, b \quad (18)$$

6.3.6. Descripción de las ecuaciones

- (1) Indica la función objetivo la cual busca determinar un plan de acopio de pitaya al menor costo

- (2) Restricción que garantiza que toda la pitaya que se envía al centro de acopio de nivel 2 j no exceda la capacidad de almacenamiento, para cada centros de acopio de nivel 2
- (3) Restricción que garantiza que toda la pitaya que llega desde el centro de acopio de nivel 1 i en el medio de transporte t más la enviada por los productores independientes p en el medio de transporte t , es igual a lo que se enviará en la red de nodos para cada centros de acopio de nivel 2
- (4) Restricción que garantiza que la cantidad de viajes realizados desde los centros de acopio de nivel 1 i a los centros de acopio de nivel 2 j , más los viajes desde los productores p a los centros de acopio de nivel 1 i , más los viajes desde los productores p a los centros de acopio de nivel 2 j , no excedan el número máximo de viajes por semana de un vehículo tipo t , para cada vehículo tipo t
- (5) Restricción para garantizar que la cantidad de pitaya a transportar desde centro de acopio de nivel 1 i al centro de acopio de nivel 2 j en el medio de transporte t es igual a la cantidad de pitaya disponible en el centro de acopio i más la cantidad de pitaya a transportar desde los productores independientes p a los centros de acopio de nivel 1 i en el medio de transporte t , para cada centro de acopio i
- (6) Restricción que garantiza que lo que se envía desde los productores independientes p hacia los centros de acopio de nivel 1 i más lo que se envía desde los productores independientes p hacia los centros de acopio de nivel 2 j sea igual a la pitaya disponible de los productores independientes p . Para cada productor independiente p
- (7) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya enviada desde el centro de acopio de nivel 1 i hasta el centro de acopio de nivel 2 j no supere la capacidad de carga de los vehículos tipo t . Para cada centro de acopio i , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t
- (8) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya enviada desde el productor p hasta el centro de acopio de nivel 1 i no supere la capacidad de carga de los vehículos tipo t . Para cada productor independiente p , para cada centro de acopio i y para cada medio de transporte t
- (9) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya enviada desde el productor p hasta el centro de acopio de nivel 2 j no supere la capacidad de carga de los vehículos tipo t . Para cada productor independiente p , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t

- (10) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya enviada desde el centro de acopio de nivel 2 j hasta el cliente c no supere la capacidad de carga de los vehículos tipo r . Para cada centro de acopio j , para cada cliente c y para cada medio de transporte r .
- (11) Restricción que garantiza que se realicen o no viajes desde el centro de acopio de nivel 1 i hasta el centro de acopio de nivel 2 j en el medio de transporte tipo t . Para cada centro de acopio i , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t .
- (12) Restricción que garantiza que se realicen o no viajes desde el productor p hasta el centro de acopio de nivel 1 i en el medio de transporte tipo t . Para cada centro de acopio i , para cada productor independiente p y para cada medio de transporte t .
- (13) Restricción que garantiza que se realicen o no viajes desde el productor independiente p hasta el centro de acopio de nivel 2 j en el medio de transporte tipo t . Para cada productor independiente p , cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t .
- (14) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya enviada desde el centro de acopio de nivel 2 j hasta el cliente c no supere la demanda. Para cada cliente c .
- (15) Restricción que garantiza el envío de una cantidad mínima de pitaya desde el centro de acopio de nivel 2 j hacia los clientes c en el medio de transporte r . Para cada centro de acopio j , para cada cliente c y para cada medio de transporte r .
- (16) Restricción que garantiza el envío de una cantidad mínima de pitaya desde el centro de acopio de nivel 1 i hacia los centros de acopio de nivel 2 j en el medio de transporte t . Para cada centro de acopio i , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t .
- (17) Restricción que garantiza el envío de una cantidad mínima de pitaya desde los productores independiente hacia los centros de acopio de nivel 1 i en el medio de transporte t . Para cada productor independiente p , cada centro de acopio i y para cada medio de transporte t .
- (18) Restricción que garantiza el envío de una cantidad mínima de pitaya desde los productores independiente hacia los centros de acopio de nivel 2 j en el medio de transporte t . Para cada productor independiente p , cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t .

6.4. DISPONIBILIDAD DE DATOS

La disponibilidad de datos puede ser un obstáculo importante, especialmente en el caso de una cadena de suministro que se va a diseñar. Por tanto es necesario identificar el grado de información que se dispone para apoyar la toma de decisiones.

Como se mencionó anteriormente se logró establecer la ubicación, volumen, costos de transporte y demanda de la cadena de suministro de la pitaya a partir de visitas de campo.

Respecto a la ubicación se identificaron las distancias entre productores y centros de acopio de nivel 1, entre productores y centros de acopio de nivel 2 y entre centros de acopio de nivel 1 y de nivel 2. Esto teniendo en cuenta que el transporte de la fruta en este eslabón se realizará con la disponibilidad de vehículos de los productores, es decir la camioneta de una tonelada y las dos motos se presentan los datos en la tabla 15, 16 y 17.

Tabla 15. Distancia entre productores y centros de acopio de nivel 1

| Productor | Centro de acopio de nivel 1 | Distancia (Km) |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------|
| p1 - Berbeo (Vda Batatal) | San Eduardo – Pablo | 8,624 |
| p1 – Berbeo (Vda Batatal) | Miraflores – Pueblo y Cajón | 9,430 |
| p4 - Páez (Vda Oso) | Paez - Yamuntica | 15,831 |
| p5 - San Eduardo (Vda.Bombita) | San Eduardo – Pablo | 1,533 |
| p5 - San Eduardo (Vda.Bombita) | San Eduardo – Villanueva | 1,840 |
| p8 – Zetaquira (Vda Tres Quebradas) | San Eduardo – Villanueva | 12,347 |

Fuente: Autor

Tabla 16. Distancia entre productores y centros de acopio de nivel 2

| Productor | Centro de acopio de nivel 2 | Distancia (Km) |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------|
| p2 – Miraflores (Vda. Chapacía) | Miraflores | 8,917 |
| p3 – Miraflores (Vda. Laderas) | Miraflores | 10,217 |
| p6 – Zetaquira (Vda. Patanoa) | Zetaquira | 8,499 |
| p7. Zetaquira (Vda. Gacal) | Zetaquira | 7,253 |
| p9. Zetaquira Centro | Zetaquira | 0,300 |

Fuente: Autor

Tabla 17. Distancia entre centros de acopio de nivel 1 y de nivel 2

| Centro de acopio de nivel 1 | Centro de acopio de nivel 2 | Distancia (Km) |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------|
| Miraflores – (Vda. Rusita) | Miraflores | 8,905 |
| | Zetaquira | 18,450 |
| Miraflores – (Vda. Guamal) | Miraflores | 6,110 |
| | Zetaquira | 26,110 |
| Miraflores – (Vda. Suna) | Miraflores | 8,920 |
| | Zetaquira | 18,200 |
| Miraflores – (Vda. Pueblo y Cajón) | Miraflores | 3,673 |
| | Zetaquira | 18,700 |
| Miraflores – (Vda. Rusa) | Miraflores | 14,280 |
| | Zetaquira | 16,350 |
| San Eduardo – (Vda. Pablo) | Miraflores | 10,864 |
| | Zetaquira | 19,064 |
| San Eduardo – (Vda. Villanueva) | Miraflores | 21,800 |
| | Zetaquira | 30,000 |
| Zetaquira – (Vda. Guanata) | Miraflores | 7,445 |
| Zetaquira – (Vda. Hormigas) | Miraflores | 5,300 |
| Paez – (Vda. Yamuntica) | Zetaquira | 6,613 |

Fuente: Autor

Con relación al volumen se identificó semana a semana la disponibilidad de fruta de los productores independientes y de los centros de acopio de nivel 1. Se presenta la información en las tablas 18 y 19 de algunas semanas.

Tabla18. Disponibilidad de fruta de los productores independientes en cada semana.

| Productor | SEMANAS | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| | 1 | 5 | 9 | 13 | 17 | 21 | 25 | 29 | 33 | 37 | 41 | 45 | 49 | 52 |
| 1 | 20 | 20 | 30 | 113 | 100 | 110 | 50 | 25 | 25 | 100 | 25 | 25 | 20 | 26 |
| 2 | 20 | 20 | 0 | 60 | 38 | 0 | 20 | 20 | 0 | 0 | 30 | 0 | 20 | 0 |
| 3 | 43 | 43 | 150 | 200 | 200 | 180 | 25 | 0 | 0 | 60 | 25 | 0 | 30 | 0 |
| 4 | 41 | 41 | 41 | 41 | 125 | 200 | 300 | 100 | 75 | 35 | 0 | 0 | 40 | 0 |
| 5 | 0 | 24 | 0 | 36 | 23 | 35 | 63 | 68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 20 | 20 | 30 | 45 | 70 | 108 | 118 | 138 | 123 | 88 | 25 | 20 | 0 | 0 |
| 7 | 20 | 26 | 26 | 26 | 30 | 80 | 90 | 90 | 50 | 45 | 0 | 0 | 20 | 0 |
| 8 | 74 | 62 | 38 | 120 | 170 | 420 | 163 | 123 | 100 | 108 | 186 | 50 | 30 | 0 |

| Productor | SEMANAS | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| | 1 | 5 | 9 | 13 | 17 | 21 | 25 | 29 | 33 | 37 | 41 | 45 | 49 | 52 |
| 9 | 25 | 48 | 48 | 175 | 185 | 300 | 275 | 225 | 25 | 25 | 70 | 40 | 30 | 30 |
| Oferta semanal | 263 | 304 | 363 | 816 | 941 | 1433 | 1104 | 789 | 398 | 461 | 361 | 135 | 190 | 56 |

Fuente: Autor

Tabla 19. Disponibilidad de fruta en los centros de acopio de nivel 1 en cada semana

| Centro de acopio nivel 1 | SEMANAS | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| | 1 | 5 | 9 | 13 | 17 | 21 | 25 | 29 | 33 | 37 | 41 | 45 | 49 | 52 |
| 1 | 50 | 43 | 98 | 195 | 363 | 450 | 310 | 210 | 220 | 207 | 105 | 0 | 30 | 20 |
| 2 | 50 | 50 | 40 | 51 | 58 | 123 | 130 | 148 | 105 | 50 | 0 | 30 | 30 | 0 |
| 3 | 213 | 200 | 436 | 794 | 1072 | 1117 | 731 | 820 | 630 | 489 | 237 | 102 | 80 | 0 |
| 4 | 170 | 170 | 371 | 664 | 653 | 743 | 655 | 506 | 595 | 580 | 223 | 150 | 70 | 0 |
| 5 | 659 | 798 | 1057 | 1866 | 3129 | 4019 | 3232 | 2687 | 1948 | 1336 | 879 | 418 | 240 | 90 |
| 6 | 60 | 50 | 81 | 75 | 260 | 395 | 210 | 183 | 158 | 283 | 139 | 63 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 20 | 50 | 54 | 20 | 56 | 20 | 46 | 56 | 58 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 281 | 324 | 439 | 704 | 1069 | 1736 | 1176 | 1237 | 1209 | 1104 | 324 | 168 | 130 | 0 |
| 9 | 0 | 26 | 52 | 55 | 95 | 140 | 228 | 274 | 250 | 138 | 50 | 40 | 0 | 0 |
| 10 | 50 | 75 | 110 | 223 | 113 | 151 | 130 | 133 | 300 | 210 | 101 | 0 | 50 | 0 |
| Oferta semanal | 1533 | 1756 | 2734 | 4681 | 6832 | 8930 | 6822 | 6244 | 5471 | 4455 | 2098 | 971 | 630 | 110 |

Fuente: Autor

También se analizó la infraestructura de acopio (Figura 17) identificando que en el municipio de Miraflores se cuenta con un salón con temperatura ambiente en el cual se pueden almacenar hasta 8 toneladas de fruta y en Zetaquirá se tiene un salón en similares condiciones en el cual se pueden almacenar hasta 6 toneladas (estos son los denominados centros de acopio de nivel 2).

Figura 17. Infraestructura de acopio de la pitaya



Fuente: Autor

En cuanto a los medios de transporte disponibles para llevar la fruta desde los sitios de producción hacia los clientes se cuenta con los vehículos referenciados en la Tabla 20.

Tabla 20. Capacidad y costo de los medios de transporte disponibles

| Tipo de vehículo | Envío mínimo | Capacidad máxima | Costo de transporte | Característica |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Camión  | 3 toneladas | 9.8 toneladas | <ul style="list-style-type: none"> - Miraflores a Tunja (\$90000/ton) - Miraflores a Duitama (\$100000/ton) - Miraflores a Sogamoso (\$105000/ton) - Miraflores a Bogotá (\$185000/ton) - Zetaquirá a Tunja (\$85000/ton) - Zetaquirá a Duitama (\$90000/ton) - Zetaquirá a Sogamoso (\$98000/ton) - Zetaquirá a Bogotá (\$180000/ton) | Alquilado |
| Furgón  | 2 tonelada | 3,5 toneladas | <ul style="list-style-type: none"> - Miraflores a Tunja (\$85000/ton) - Miraflores a Duitama (\$95000/ton) - Miraflores a Sogamoso (\$100000/ton) - Miraflores a Bogotá (\$175000/ton) - Zetaquirá a Tunja (\$80000/ton) - Zetaquirá a Duitama (\$90000/ton) - Zetaquirá a Sogamoso (\$95000/ton) - Zetaquirá a Bogotá (\$170000/ton) | Alquilado |
| Camioneta  | 210 kilos | 1 tonelada | 30 Km/galón | Propio |
| 2 Motos  | 20 kilos | 60 kilos | 100 Km/galón | Propio |

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta las distancias, consumo de combustible y costo del combustible se calculo el costo de cada viaje de acuerdo al tipo de vehículo utilizado y el número máximo de viajes de acuerdo a la disponibilidad de tiempo de los productores, en la camioneta se puede realizar hasta 12 viajes a la semana y en cada moto hasta 18.

Por otro lado la información sobre la demanda fue agrupada por ciudades, encontrando una demanda fija 4 toneladas cada semana en las ciudades de Tunja, Duitama y Sogamoso y una demanda variable en Bogotá de máximo 8 toneladas por semana.

6.5. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE SALIDA.

Teniendo en cuenta la información recopilada y el modelo que representa el plan de acopio y distribución de pitaya, se evaluó el desempeño de las configuraciones de acuerdo al objetivo, ingresando las ecuaciones (1 a 18) en el software GAMS® y usando el solver CPLEX.

Se ingresó la oferta disponible de la semana 1 (con bajo volumen) y 21 (con alto volumen) del año, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 21.

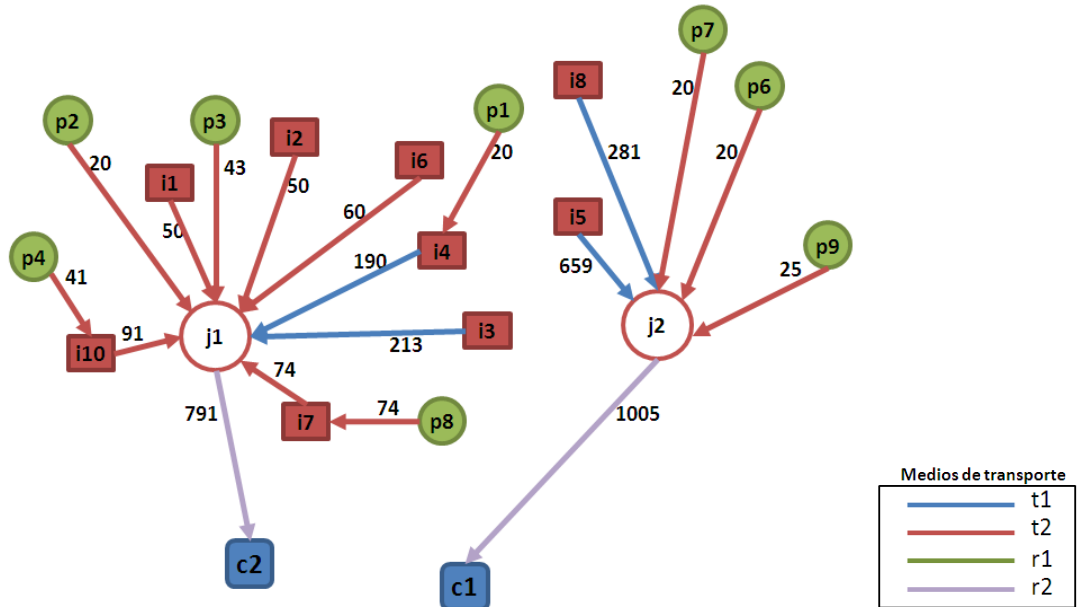
Tabla 21. Resultados del modelo 1 para las semanas 1 y 21.

| | Semana 1 | Semana 21 |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Costo del plan de acopio | 566.242 unidades monetarias | 1'875.482 unidades monetarias |
| Costo de envío por tonelada | 315,280 | 180,979 |
| Número de viajes | 17 en las motos | 20 en las motos |
| | 3 en la camioneta | 16 en la camioneta |
| | 2 en el furgón | 4 en furgón |

Fuente: Autor

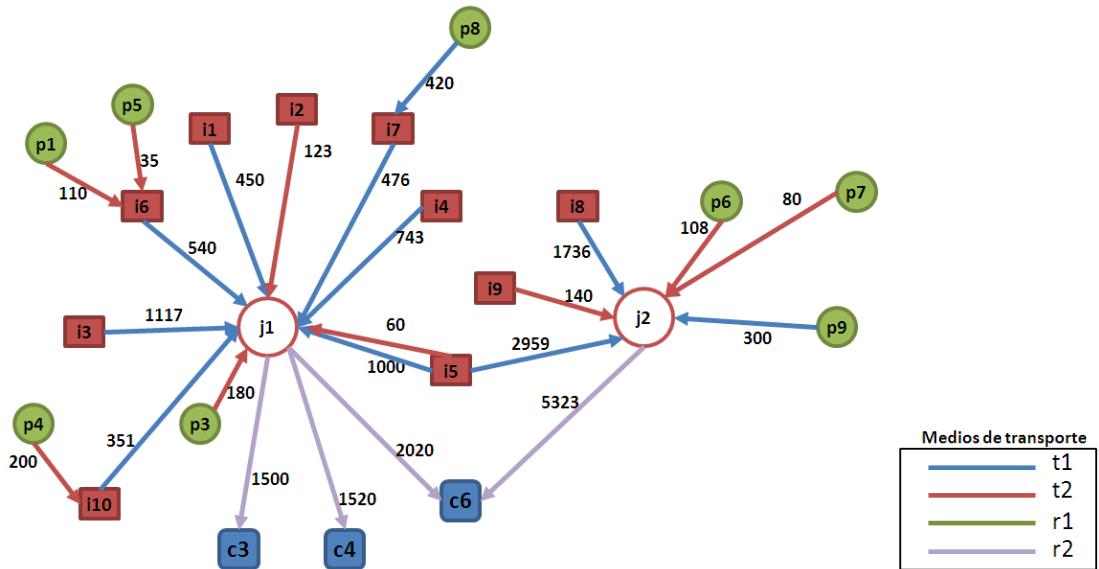
Los movimientos realizados en esta semana se pueden observar en la Figura 18 y 19.

Figura 18. Grafo del plan de acopio para la semana 1. Presentado en kilos



Fuente: Autor

Figura 19. Grafo del plan de acopio para la semana 21. Presentado en kilos



Fuente: Autor

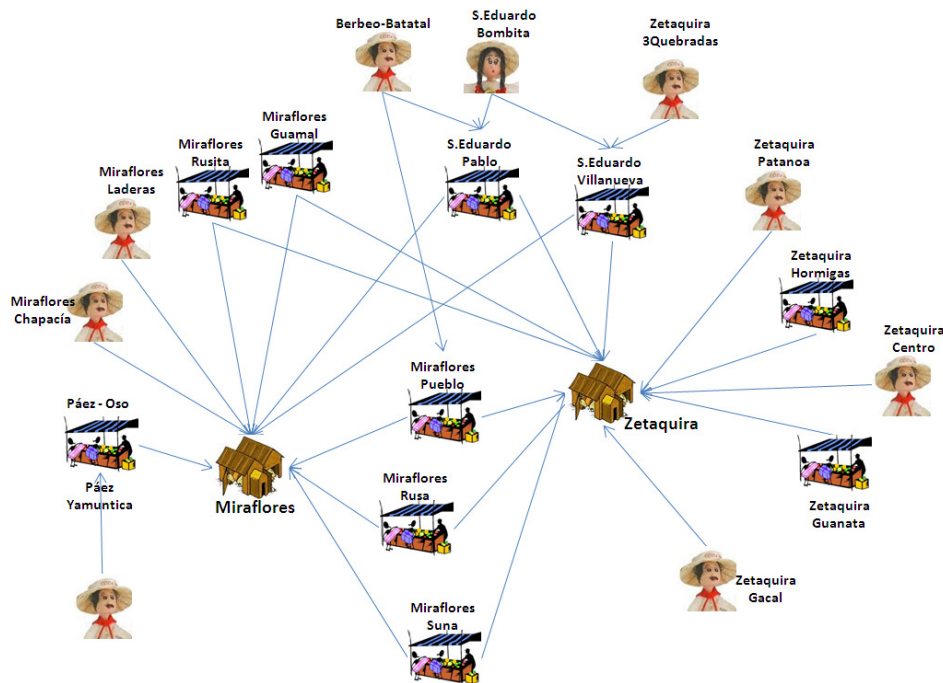
Se observa el movimiento de fruta desde los productores independientes (p) y centros de acopio de nivel 1 (i) hacia los centros de acopio de nivel 2 (j) y de estos hacia los clientes (c).

Teniendo en cuenta que el objetivo de esta investigación es lograr establecer un plan de acopio con el menor costo se evaluó otra configuración tratado de establecer una red de nodos y arcos que permitiera hacer una ruta con los vehículos disponibles, sin embargo en el análisis de conexión de nodos se observo que a nivel de productores y centros de acopio de nivel 1 hacia los centros de acopio de nivel 2, no existe la infraestructura vial para poder definir una ruta entre ellos.

Sin embargo desde los centros de acopio de nivel 2 (Miraflores y Zetaquira) hacia los clientes si existe una vía común entre Miraflores y Zetaquira y entre las ciudades Tunja, Duitama y Sogamoso.

Teniendo en cuenta lo anterior el modelo logístico se dividió en dos configuraciones, el primer nivel es un plan de acopio (ver Figura 20) con 9 productores independientes, 10 centros de acopio de nivel 1 y dos centros de acopio de nivel 2.

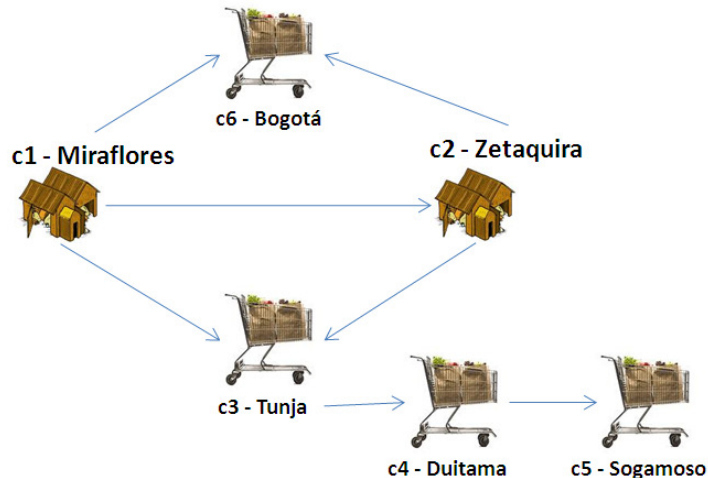
Figura 20. Configuración del modelo logístico para el eslabón primario de la cadena de la pitaya



Fuente: Autor

Con el objetivo de aprovechar la capacidad de los vehículos que transportan la pitaya hacia los clientes, se definió un modelo de red (ver Figura 21) con 6 nodos y 7 arcos.

Figura 21. Configuración del modelo logístico para el eslabón de comercialización de la cadena de la pitaya



Fuente: Autor

Con esta nueva configuración fue necesario cambiar el modelo de programación lineal incluyendo nuevas variables (Tabla 22), redefiniendo algunos parámetros como la matriz de conexiones entre los nodos y recalculando algunos costos de transporte, por ejemplo entre **c1** (Miraflores) y **c2** (Zetaquirá), entre **c2** y **c3** (Tunja), entre **c3** y **c4** (Duitama) y entre **c4** y **c5** (Sogamoso)

Tabla 22. Nuevas variables adicionadas al modelo

| Variable | Descripción |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Y_{crr} | Cantidad de pitaya a transportar desde el nodo c hasta el nodo cp en el medio de transporte r |
| FL_c | Flujo neto de pitaya a través del nodo c |
| FLR_{cr} | Flujo neto de pitaya a través del nodo c en el medio de transporte r |
| U_{crr} | Binaria que indica si se envía o no pitaya desde el nodo c hasta el nodo cp en el medio de transporte r |
| Z_j | Variable de transición que conecta los centros de acopio de nivel 2 j con la red de los nodos c |

Fuente: Autor

La función objetivo del modelo ajustado queda de la siguiente manera.

$$\begin{aligned}
Min Z = & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^b C_t DI_{ij} Q_{ijt} \\
& + \sum_{p=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^b C_t DP_{pj} G_{pjt} \\
& + \sum_{p=1}^o \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^b C_t DE_{pi} B_{pit} + \sum_{c=1}^n \sum_{c'=1}^n \sum_{r=1}^s CV_{ccr} Y_{ccr} \\
& + \sum_{c=1}^n \sum_{c'=1}^n \sum_{r=1}^s CF_{ccr} U_{ccr}
\end{aligned} \tag{1}$$

s.a

Se ajustaron algunas restricciones y se añadieron otras

$$\sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^b X_{ijt} + \sum_{p=1}^o \sum_{t=1}^b W_{pjt} \leq CA_j \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^b X_{ijt} + \sum_{p=1}^o \sum_{t=1}^b W_{pjt} = Z_j \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ijt} + \sum_{p=1}^o \sum_{i=1}^m B_{pit} + \sum_{p=1}^o \sum_{j=1}^b G_{pjt} \leq N_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, b \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^b X_{ijt} = O_i + \sum_{p=1}^o \sum_{t=1}^b A_{pit} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \tag{5}$$

$$Q_{ijt} \leq M * E_{ijt} * matriz_{ij} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, b; \tag{6}$$

$$B_{pit} \leq M * H_{pit} * matriz_{pi} \quad \forall p = 1, 2, \dots, o; i = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, b; \tag{7}$$

$$G_{pjt} \leq M * L_{pjt} * matriz_{pj} \quad \forall p = 1, 2, \dots, o; j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, b; \tag{8}$$

$$X_{ijt} \leq Ca_t * Q_{ijt} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, b \tag{9}$$

$$A_{pit} \leq Ca_t * B_{pit} \forall p = 1,2, \dots, o; i = 1,2, \dots, n; t = 1,2, \dots, b \quad (10)$$

$$W_{pjt} \leq Ca_t * G_{pjt} \forall p = 1,2, \dots, o; j = 1,2, \dots, m; t = 1,2, \dots, b \quad (11)$$

$$Y_{ccrr} \leq CR_{r*} U_{ccrr} \forall c = 1,2, \dots, q; c' = 1,2, \dots, q; r = 1,2, \dots, s; \quad (12)$$

$$Y_{ccrr} \geq CRM_r * U_{ccrr} \forall c = 1,2, \dots, q; c' = 1,2, \dots, q; r = 1,2, \dots, s; \quad (13)$$

$$X_{ijt} \geq CMT_t * Q_{ijt} \forall i = 1,2, \dots, n; j = 1,2, \dots, m; t = 1,2, \dots, b \quad (14)$$

$$A_{pit} \geq CMT_t * B_{pit} \forall p = 1,2, \dots, o; i = 1,2, \dots, n; t = 1,2, \dots, b \quad (15)$$

$$W_{pjt} \geq CMT_t * G_{pjt} \forall p = 1,2, \dots, o; j = 1,2, \dots, m; t = 1,2, \dots, b \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^b A_{pit} + \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^b W_{pjt} = OP_p \forall p = 1,2, \dots, o \quad (17)$$

$$\sum_{c'=1}^n Y_{ccrr} - \sum_{c'=1}^n Y_{c'cr} = FLR_{cr} \forall c = 1,2, \dots, n; r = 1,2, \dots, s; \quad (18)$$

$$\sum_{c'=1}^n \sum_{r=1}^s Y_{ccrr} - \sum_{c'=1}^n \sum_{r=1}^s Y_{c'cr} = FL_c \forall c = 1,2, \dots, n; \quad (19)$$

$$FL_c = -demanda_c \forall 3 > c < 6 \quad (20)$$

$$FL_{c1} = Z_{j1} \quad (21)$$

$$FL_{c2} = Z_{j2} \quad (22)$$

$$Y_{ccrr} \leq M * matrizcon_{ccr} \quad (23)$$

$$\sum_{r=1}^s FLR_{cr} = FL_c \forall c = 1,2, \dots, n; \quad (24)$$

$$FL^{"fic"} = \sum_{c=1}^n demanda_c - FL_{c1} - FL_{c2} \quad (25)$$

$$FLR_{cr} \leq 0 \forall 3 > c < 6; \quad (26)$$

$$FLR_{cr} \geq 0 \forall 2 < c > 7; \quad (27)$$

Descripción de las ecuaciones

- (1) Indica la función objetivo la cual busca determinar un plan de acopio de pitaya al menor costo
- (2) Restricción que garantiza que toda la pitaya que se envía desde el centro de acopio de nivel 1 i al centro de acopio de nivel 2 j , más los que se envía desde los productores independientes p hasta los centros de acopio de nivel 2 j , no exceda la capacidad de almacenamiento de los centros de acopio de nivel 2 j , para cada centros de acopio de nivel 2 j
- (3) Restricción que garantiza que toda la pitaya que llega desde el centro de acopio de nivel 1 i en el medio de transporte t más la enviada por los productores independientes p en el medio de transporte t , es igual a lo que se enviará en la red de nodos para cada centros de acopio de nivel 2
- (4) Restricción que garantiza que la cantidad de viajes realizados desde los centros de acopio de nivel 1 i a los centros de acopio de nivel 2 j , más los viajes desde los productores p a los centros de acopio de nivel 1 i , más los viajes desde los productores p a los centros de acopio de nivel 2 j , no excedan el número máximo de viajes por semana de un vehículo tipo t , para cada vehículo tipo t .
- (5) Restricción para garantizar que la cantidad de pitaya a transportar desde centro de acopio de nivel 1 i al centro de acopio de nivel 2 j en el medio de transporte t es igual a la cantidad de pitaya disponible en el centro de acopio i más la cantidad de pitaya a transportar desde los productores independientes p a los centros de acopio de nivel 1 i en el medio de transporte t , para cada centro de acopio i
- (6) Restricción que garantiza que se realicen o no viajes desde el centro de acopio de nivel 1 " i " hasta el centro de acopio de nivel 2 " j " en el medio de transporte tipo " t ". Para cada centro de acopio i , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t
- (7) Restricción que garantiza que se realicen o no viajes desde el productor " p " hasta el centro de acopio de nivel 1 " i " en el medio de transporte tipo " t ". Para cada productor independiente p , para cada centro de acopio i y para cada medio de transporte t
- (8) Restricción que garantiza que se realicen o no viajes desde el productor " p " hasta el centro de acopio de nivel 2 " j " en el medio de transporte tipo " t ". Para cada productor independiente p , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t

- (9) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya enviada desde el centro de acopio de nivel 1 i hasta el centro de acopio de nivel 2 j no supere la capacidad de carga de los vehículos tipo t . Para cada centro de acopio i , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t
- (10) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya enviada desde el productor p hasta el centro de acopio de nivel 1 i no supere la capacidad de carga de los vehículos tipo t . Para cada productor independiente p , para cada centro de acopio i y para cada medio de transporte t
- (11) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya enviada desde el productor p hasta el centro de acopio de nivel 2 j no supere la capacidad de carga de los vehículos tipo t . Para cada productor independiente p , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t
- (12) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya enviada entre los nodos no supere la capacidad de carga de los vehículos tipo r . Para cada nodo c y para cada medio de transporte r
- (13) Restricción que garantiza el envío de una cantidad mínima de pitaya entre los nodos en el medio de transporte r . Para cada nodo c y para cada medio de transporte r
- (14) Restricción que garantiza el envío de una cantidad mínima de pitaya desde el centro de acopio de nivel 1 i hacia los centros de acopio de nivel 2 j en el medio de transporte t . Para cada centro de acopio i , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t
- (15) Restricción que garantiza el envío de una cantidad mínima de pitaya desde los productores independientes p hacia el centro de acopio de nivel 1 i en el medio de transporte tipo t . Para cada productor independiente p , para cada centro de acopio i y para cada medio de transporte t
- (16) Restricción que garantiza el envío de una cantidad mínima de pitaya desde los productores independiente hacia los centros de acopio de nivel 1 i en el medio de transporte t . Para cada productor independiente p , para cada centro de acopio j y para cada medio de transporte t
- (17) Restricción que garantiza que lo que se envía desde los productores independientes p hacia los centros de acopio de nivel 1 i más lo que se envía desde los productores independientes p hacia los centros de acopio de nivel 2 j sea igual a la pitaya disponible de los productores independientes p . Para cada productor independiente p .

- (18) Restricción que garantiza que lo que se envía entre los nodos sea igual al flujo neto de pitaya a través de los nodos c en el medio de transporte r . Para cada nodo c y para cada medio de transporte r
- (19) Restricción que garantiza que lo que se envía entre los nodos sea igual al flujo neto entre los nodos. Para cada nodo c .
- (20) Restricción que garantiza que lo que fluye a través de los nodos c no supere la demanda de los clientes. Para cada nodo c que esté entre 3 y 6.
- (21) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya que fluye en el nodo 1 sea igual a la pitaya en el centro de acopio Miraflores.
- (22) Restricción que garantiza que la cantidad de pitaya que fluye en el nodo 2 sea igual a la pitaya en el centro de acopio Zetaquira
- (23) Restricción que indica las posibles conexiones entre los nodos.
- (24) Restricción que garantiza que lo que fluye entre los nodos a través del medio de transporte r sea igual a la cantidad de pitaya en cada nodo. Para cada nodo c
- (25) Restricción que establece un nodo ficticio para gestionar la holgura de la demanda de pitaya
- (26) Restricción que garantiza que la demanda de pitaya en los nodos 3 a 6 sea negativa
- (27) Restricción que garantiza que la oferta de pitaya en los nodos 1 y 2 sea positiva

Teniendo en cuenta este modelo, se evaluó el desempeño de las configuraciones de acuerdo al objetivo, ingresando las ecuaciones (1 a 27) en el software GAMS® y usando el solver CPLEX.

Al igual que en el modelo anterior se ingresó la oferta disponible de la semana 1 y 21 del año, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 23.

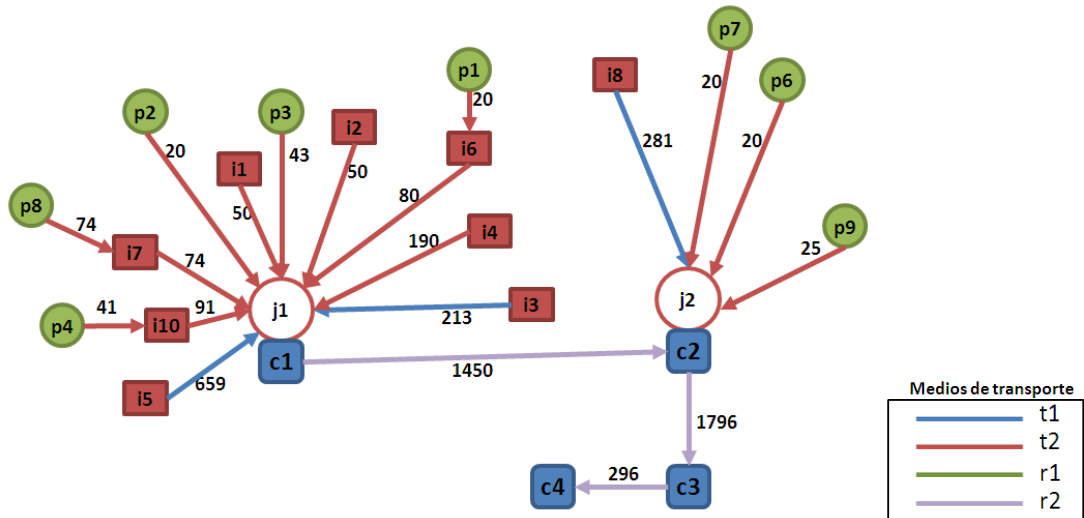
Tabla 23. Resultados del modelo ajustado para las semanas 1 y 21

| | Semana 1 | Semana 21 |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Costo del plan de acopio | 296.196 unidades monetarias | 1'848.096 |
| Costo de envío por tonelada | 164,920 | 178,336 |
| Número de viajes | 20 en las motos | 36 en las motos |
| | 3 en la camioneta | 12 en la camioneta |
| | 2 en el furgón | 1 en camión |
| | | 2 en furgón |

Fuente: Autor

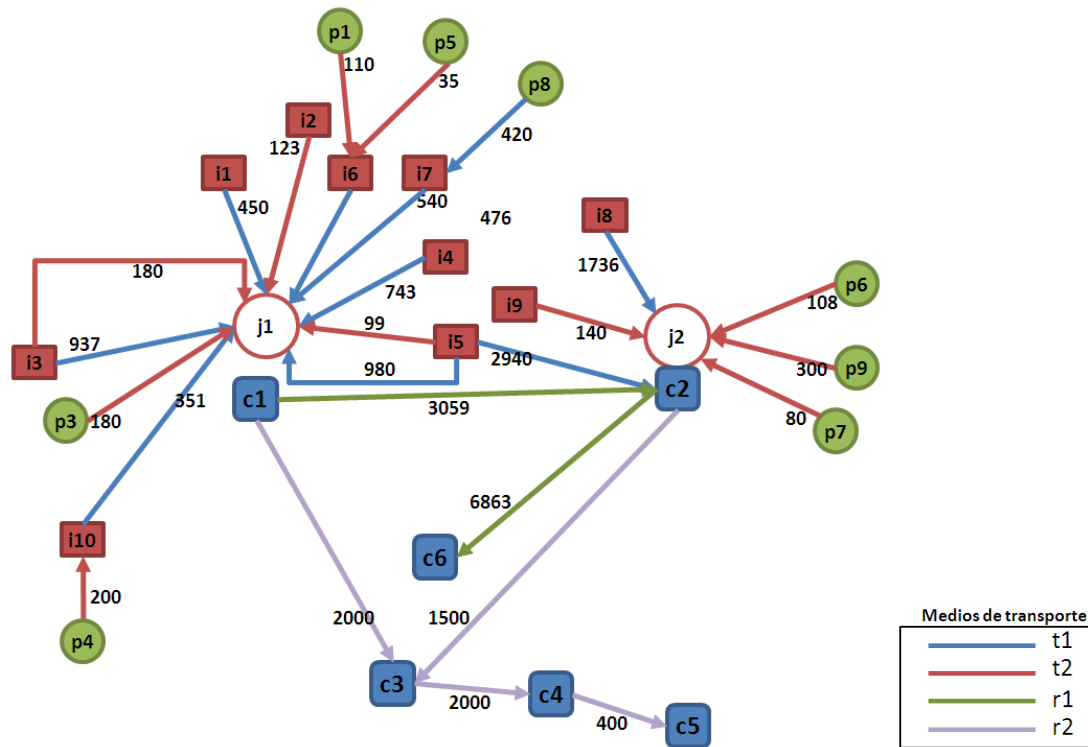
Los movimientos realizados en estas semanas se pueden observar en la Figura 22 y 23

Figura 22. Grafo del plan de acopio y envío para la semana 1 del modelo ajustado. Presentado en kilos.



Fuente: Autor

Figura 23. Grafo del plan de acopio y envío para la semana 21 del modelo ajustado. Presentado en kilos.



Fuente: Autor

Se observa el movimiento de fruta desde los productores independientes (p) y centros de acopio de nivel 1 (i) hacia los centros de acopio de nivel 2 (j) y de estos hacia los clientes (c3, c4, c5, c6).

Se hizo el análisis de las salidas de los modelos para determinar si los datos coinciden con las ofertas disponibles, los costos, las capacidades y las conexiones entre nodos y se verificó que el modelo representa de manera confiable las características de la cadena de suministro de la pitaya para el año analizado.

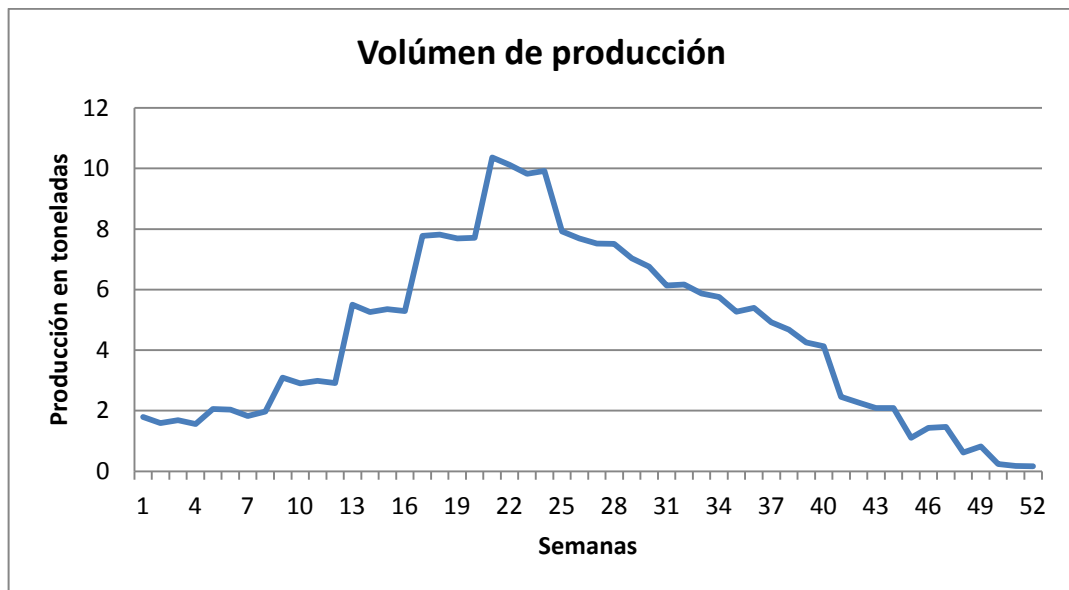
En tal sentido la configuración que se ajusta a las condiciones de la cadena es híbrida, ya que en el eslabón primario se tiene el diseño de la red logística que permite establecer un plan de acopio y en el eslabón de comercialización un modelo de flujo de costo mínimo en red que permite hacer una ruta de los vehículos para disminuir costos.

6.6. PLAN DE TOMA DE DECISIONES

El plan de toma de decisiones se basa en el análisis y evaluación de los resultados para determinar las acciones a tomar con los productores de la pitaya.

La producción de pitaya en Lengupá tiene dos o tres cosechas al año, con una grande hacia la mitad del año y dos pequeñas (o mitacas) como se observa en el Figura 24. Sin embargo de acuerdo a las conversaciones con algunos productores este comportamiento varía año a año debido a los cambios climáticos, pero el estudio del año 2011 sirve de referencia para la planeación de los recursos necesarios para distribuir la fruta.

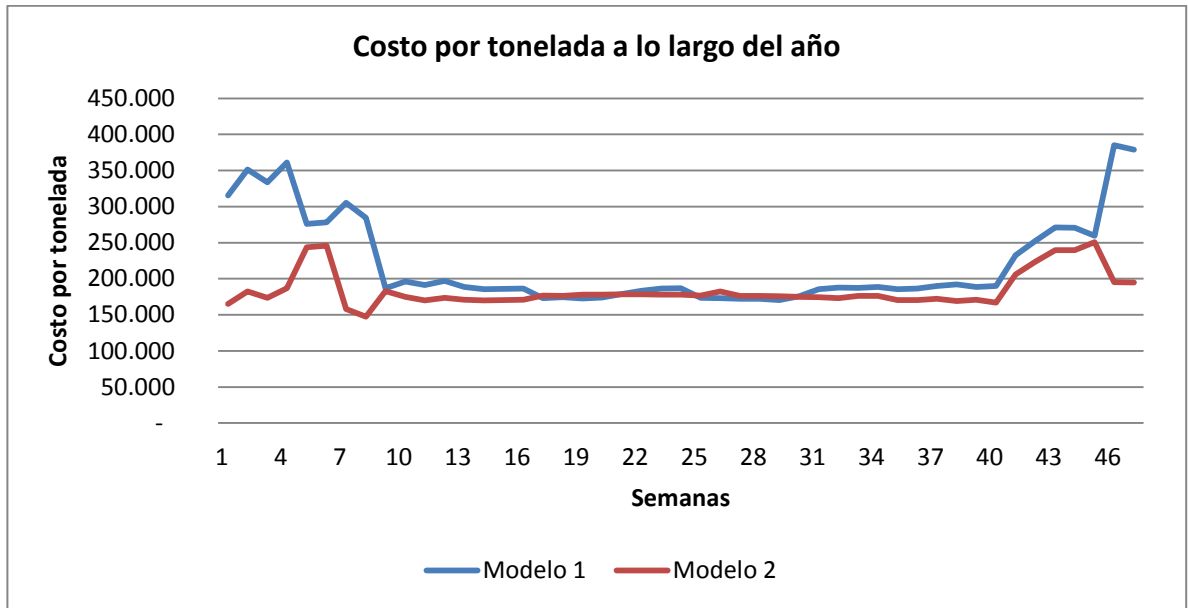
Figura 24. Volumen de producción de pitaya durante el año



Fuente. Autor

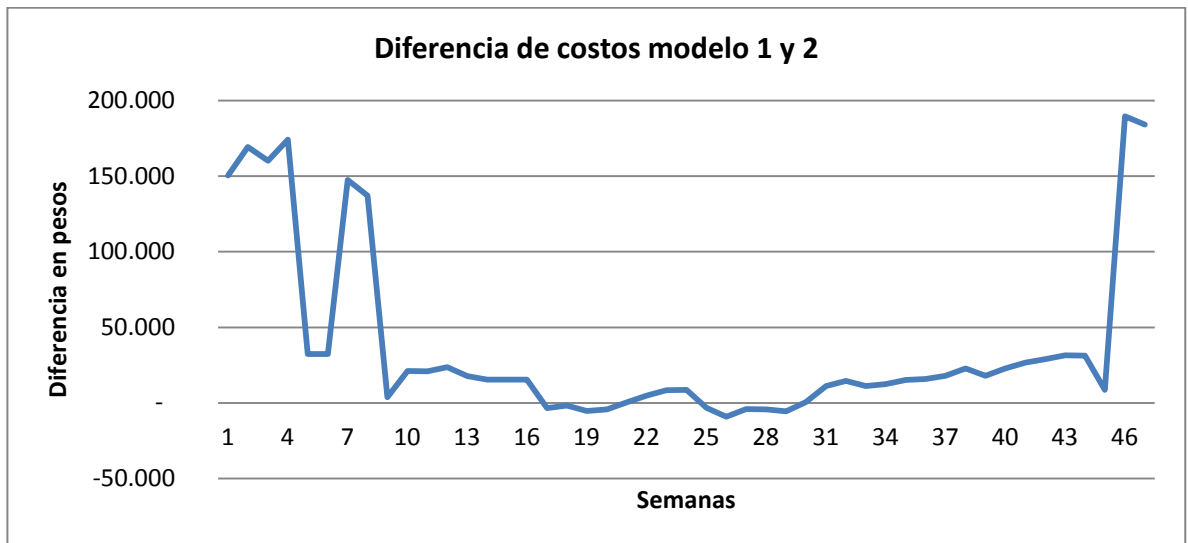
Con base en el volumen de producción, los dos modelos fueron evaluados en cuanto al costo por tonelada, para determinar cual modelo es más conveniente. Ver figuras 25 y 26.

Figura 25. Costo de enviar una tonelada de pitaya durante el año



Fuente: Autor

Figura 26. Diferencia de costos de modelo 1 y 2.



Fuente: Autor

Se observa que el modelo 2 tiene mejores resultados en cuanto a costo y que la diferencia de costo entre un modelo y otro es variable, sin embargo ambos modelos muestra un alto costo en las primeras y últimas semanas del año debido

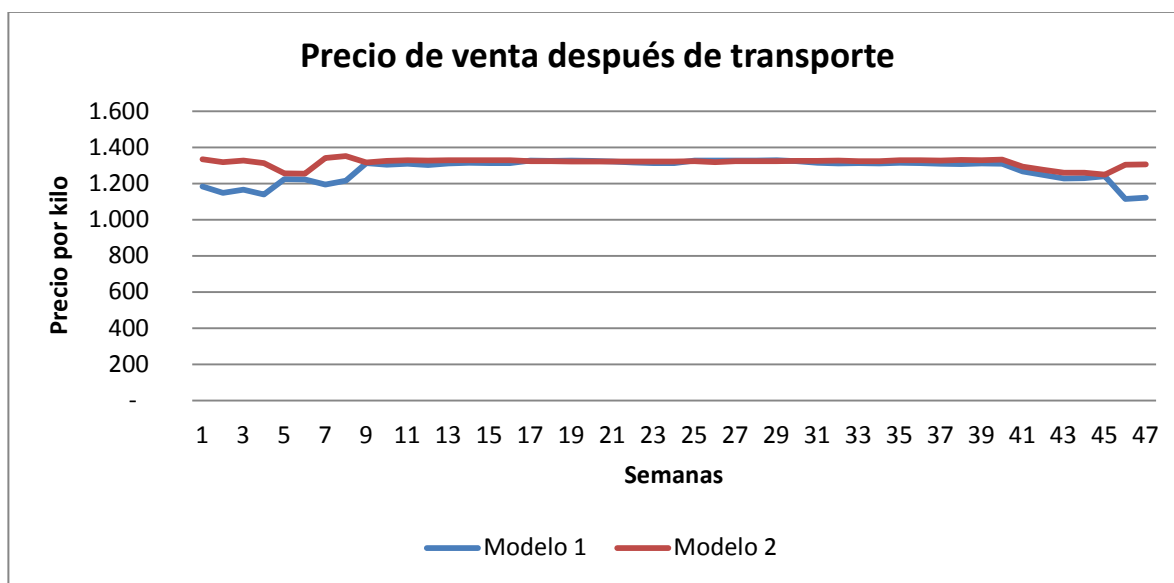
a los bajos volúmenes de producción, por tanto es necesario determinar si vale la pena enviar pitaya durante todo el año.

Para determinar si se envía o no pitaya se hizo el análisis del precio de venta después de transporte, ver Figura 26. Se identificó que los clientes clasifican la pitaya de acuerdo a la presentación y calidad, teniendo las siguientes clasificaciones: de primera, selecta, semi, de segunda, tercera y cuarta. Por supuesto para cada una se tiene establecido un precio de compra distinto.

Las calidad de la pitaya de los productores en Lengupá son variadas y depende no solo de las prácticas en el cultivo si no de las condiciones agroclimáticas, por lo cual en algunas cosechas pueden tener pitaya con calidades selecta, semi hasta de cuarta, el análisis de este modelo se hizo con pitaya de segunda que tiene un precio de compra promedio de 1500 pesos por kilo.

En la Figura 27 se observa el precio de venta después del transporte, con un margen mejor en el modelo 1, sin embargo en las primeras y últimas semanas del año se tiene un margen menor debido al volumen, esto implica que los cultivadores deben considerar que un costo por kilo mayor a 400 pesos en transporte es difícil de mantener por cuanto el margen es casi cero teniendo en cuenta el precio de compra de los supermercados.

Figura 27. Precio de la pitaya por kilo después de transporte durante el año



Fuente: Autor

Con respecto a la diferencia de costos (Figura 26) se observa que los modelos tienen un costo similar cuando el volumen es mayor y que en las primeras y

últimas semanas se incrementa de manera inversamente proporcional a volumen de producción.

Otro aspecto a considerar para la cadena de suministro de la pitaya es el volumen de producción, actualmente la oferta disponible es menor que la demanda incluso en los meses de mayor producción. Se hizo el análisis con el modelo ajustado pensando en un mercado perfecto, para determinar si con los recursos disponibles es posible cumplir la demanda al incrementar la producción en 12 toneladas semanales. Con esta nueva oferta el modelo no es factible por consecuencia de los medios de transporte disponibles en el primer nivel de acopio de la cadena.

El modelo se probó aumentando tanto el número de motos como de camionetas disponibles, para determinar el menor costo, lo cual mostró que el costo es menor al adquirir la camioneta, debido al volumen y capacidad de los vehículos, además de factores como el tiempo de acopio que en moto serían mayores que en la camioneta, disminuyendo el tiempo de vida útil de la pitaya.

Sin embargo la decisión de adquisición de vehículos en esta cadena debe analizarse teniendo en cuenta la fluctuación de la producción, pues en semanas de bajo volumen se usa apenas el 55% de la capacidad de las motos y el 25% de la camioneta.

7. ESTRATEGIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Teniendo en cuenta los resultados del modelo y las necesidades expresadas por los productores en la Tabla 11, se definen las estrategias y acciones para lograr un proceso sistémico que permita mejorar la rentabilidad de la cadena productiva de la pitaya amarilla.

Estrategia 1. Fomentar alianzas estratégicas, procesos de asociatividad e integración para mejorar las condiciones de competitividad.

Tabla 24. Acciones para la estrategia 1

| Acciones | Descripción |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Identificar los líderes de la cadena | Las actividades agrícolas en Boyacá tienen como característica el minifundio, bajos volúmenes de producción y un número de productores alto, por lo cual es necesario identificar interlocutores válidos que faciliten los procesos de acompañamiento y motiven la integración entre los productores. |
| Organizar y/o fortalecer las asociaciones de productores | Se han identificado las Asociaciones de productores, sin embargo actualmente no tienen actividades de manera conjunta, por tanto es necesario revisar la estructura de estas organizaciones y fortalecer sus capacidades gerenciales a través de prácticas concretas de comercialización. |
| Diseñar planes de integración productiva y comercial por municipios | El análisis realizado en la cadena muestra que actualmente los productores venden las frutas de manera individual, la logística es un factor sensible para esta cadena y manejado por los intermediarios. La integración puede darse en principio para mejorar las condiciones de transportación y la gestión de la demanda. |
| Construir el plan estratégico de la cadena | Teniendo en cuenta las necesidades de la cadena es necesario definir un plan estratégico, que le permita a los actores de la cadena establecer la ruta para mejorar la rentabilidad |
| Aumentar el volumen de producción | Esta acción puede orientarse hacia dos alternativas: - identificar los productores y asociaciones en los otros municipios productores del departamento, de acuerdo al URPA y al CREPIB, existe una oferta importante de |

| Acciones | Descripción |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>pitaya en otros municipios como son Chitaraque, Buenavista, Santana, Coper y Otanche, los cuales podrían incrementar el volumen y abastecer la demanda que los productores de Lengupá no pueden atender por las condiciones actuales.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificar otras zonas productoras de pitaya en la Provincia, las cuales pueden estar cerca de los centros de acopio para facilitar el transporte y disminuir los costos. |
| Establecer acuerdos formales de cooperación | Aunque el volumen de producción no es constante, es posible generar acuerdos de compra con algunos supermercados y así estandarizar los precios durante el año. |

Fuente: Autor

Estrategia 2. Definir la gestión comercial de la cadena que permita anticiparse a la dinámica del mercado y aumentar el poder de negociación.

Tabla 25. Acciones para la estrategia 2

| Acciones | Descripción |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Identificar las prioridades de los clientes | A través de la presente investigación se logró establecer los requerimientos de un grupo supermercados de Boyacá, es necesario profundizar en este tema con otros clientes para lograr presentar propuestas comerciales acordes con la demanda. |
| Definir el proceso de gestión de la demanda | Actualmente los productores de pitaya no gestionan su demanda porque la gran mayoría de las ventas se hacen a través de intermediarios. Por tanto es de vital importancia definir funciones comerciales dentro de las asociaciones para diseñar propuestas y negociar directamente con clientes. |
| Analizar la variabilidad y predicción de la demanda | En las entrevistas a los supermercados no fue evidente la variabilidad del volumen de pedidos, sin embargo para las temporadas de alta producción la pitaya tiene un precio menor en los supermercados, por lo cual es necesario establecer esta variabilidad para determinar los precios mínimos de mercado y evitar pérdidas. |
| Identificar un nicho de mercado | Establecer un mercado continuo garantiza ingresos continuos, por tanto hacer segmentación de clientes ayuda |

| Acciones | Descripción |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| constante | en las estrategias de venta, máxime cuando son productos como la pitaya que requiere establecer las preferencias del consumidor final. |
| Disminuir la intermediación | Al definir un canal de distribución propio se disminuyen los costos de transportación y las perdidas por mal manejo en el transporte. También es importante establecer métricas de distribución como (porcentaje de pedidos entregados a tiempo, porcentaje de clientes satisfechos), para identificar oportunidades de mejora. |

Fuente: Autor

Estrategia 3. Desarrollar procesos de fortalecimiento del talento humano que permita contar con un grupo de productores apropiados de modelos de organización y negociación.

Tabla 26. Acciones para la estrategia 3.

| Acciones | Descripción |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Identificar las necesidades de conocimiento | Los productores de pitaya son en su mayoría campesinos con bajos niveles de formación, por tanto es importante para la cadena contar personal cualificado en temas organizacionales y comerciales, que pueda liderar las asociaciones y motivar a los productores para organizarse y mejorar sus condiciones de producción. Otros temas relevantes para la cadena son las Buenas Prácticas Agrícolas, trazabilidad y cumplimiento de normatividad. |
| Diseñar planes de formación | Existe en el departamento entidades como el SENA, la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, la Universidad de Boyacá, la Fundación Universitaria Juan de Castellanos, entre otras, quienes pueden acompañar y definir planes de formación pertinentes para los productores. |
| Medir niveles de apropiación de conocimiento | Algunos productores durante las entrevistas mencionaban haber participado en cursos y capacitaciones, sin embargo estos procesos por falta de seguimiento y pertinencia hacia las necesidades de los productores no han sido aprovechados. |

Fuente: Autor

Estrategia 4. Fomentar programas de investigación para mejorar la calidad de la fruta y la productividad de los cultivos (esta estrategia fue analizada en conjunto con el grupo de investigación EQUIPO CREPIB)

Tabla 27. Acciones para la estrategia 4.

| Acciones | Descripción |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Renovar las plantaciones | Algunos cultivos de pitaya deben ser renovados por lo cual es importante identificar viveros certificados para la producción del material vegetal y el análisis de los suelos para lograr cultivos en mejores condiciones. |
| Mejorar la calidad de las frutas y la productividad de los cultivos | <p>Mejorar la calidad de la fruta y los cultivos implica un gran número de actividades que deben ser implementadas, se mencionan algunas sugeridas por los productores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Implementar mejores prácticas de producción y poscosecha ● Adecuar espacios para el almacenamiento de los insumos agrícolas ● Adecuar espacios para el almacenamiento temporal de la fruta cosechada y también para los trabajadores ● Identificar laboratorios certificados para la realización de análisis de residualidad de plaguicidas en los productos ● Establecer las rutas de acopio que requieran menos tiempo y recursos ● Diseñar e implementar un paquete tecnológico adaptado a las condiciones del cultivo |
| Investigaciones para reducir la estacionalidad de los cultivos | Teniendo en cuenta la gran variabilidad en la oferta de pitaya es necesario empezar a documentar los procesos de planificación y programación de la producción, así como fomentar a través de proyectos de investigación el tema de estacionalidad. |

Fuente: Autor

8. CONCLUSIONES

El modelo de datos, el modelo de red y la representación matemática de la cadena de suministro de pitaya en Lengupá, es una imagen del comportamiento actual de la cadena de suministro de la pitaya, teniendo como base un año de producción, lo que permitió que el modelo logístico defina estrategias a nivel táctico de la cadena, identificando la cantidad de fruta a transportar y la cantidad de viajes a programar entre los eslabones, para determinar un plan de acopio de pitaya con el menor costo. Con esta información los productores podrán decidir, respecto a la definición de canales de distribución propios, que facilita la integración de las capacidades productivas de la región, disminuyendo la intermediación e incrementando el valor percibido por las ventas de pitaya, gracias a establecer mecanismos de negociación directos con los clientes.

El análisis de las capacidades y características productivas en la cadena de las frutas de la Provincia de Lengupá permite determinar la brecha entre el mercado y la oferta productiva, relacionada principalmente con las condiciones de calidad y volumen de las frutas. Estas condiciones hacen que la demanda sea mayor que la oferta, por tanto facilita los procesos de intermediación y crea un ambiente poco favorable para la integración, limitando el fortalecimiento de las organizaciones nacientes, quienes pierden poder de negociación.

Durante el diagnóstico se identificó que la mayor producción de frutas en Lengupá es de mora y lulo y la región tiene gran interés por frutas como la pitaya y la champa, por lo cual la investigación suponía que estas frutas tenían menor brecha entre capacidad productiva y necesidad de la demanda. Para la pitaya este supuesto fue correcto, pero la champa es una fruta que apenas está empezando a domesticarse, por lo cual la mayor parte de producción no tiene un cultivo establecido sino que se encuentra de manera silvestre.

Teniendo en cuenta el análisis de las cadenas productivas de la mora, el lulo y la pitaya y específicamente la capacidad productiva, las organizaciones de productores y las condiciones del entorno, se concluyó que la fruta con mejores condiciones es la pitaya. Esta fruta tiene gran potencial en el mercado nacional e internacional por sus propiedades y características, sin embargo en la investigación se identificó que frente a productos como la mora y el lulo, la pitaya no es la fruta con mayor demanda, pero si cumple en mejor proporción los requerimientos del mercado, aunque el volumen aun no es suficiente para satisfacer la demanda.

Se tenía como hipótesis que los costos disminuyen cuando la cadena es impulsada por la demanda y en general se considera que la producción es

impulsada por la demanda, sin embargo algunos productos agrícolas como la pitaya, parecen no tener este comportamiento, debido a condiciones como la estacionalidad. Si bien el modelo diseñado se adapta a la demanda semanal de fruta por parte de los supermercados durante el año, gran parte del año la demanda no es satisfecha, pues de las 624 toneladas que se requieren al año, Lengupá apenas puede abastecer 230 toneladas. En otro tipo de cadenas de suministro simplemente se identificarían nuevos proveedores que suplieran esta necesidad, pero para el caso de las cadenas de suministro agrícolas y específicamente en productos estacionales como la pitaya, la oferta es la que determina el comportamiento de la demanda, obligándola a consumir de acuerdo a las temporadas de cosecha.

Los modelos de flujo mínimo facilitan la operación y disminuyen los costos de transporte, sin embargo para el caso de la pitaya en Lengupá, las condiciones de la infraestructura vial limitan la implementación, debido a la dificultad para conectar los nodos y determinar los tiempos y distancias, por lo cual se hizo ruteo hasta cierto nivel, logrando un modelo híbrido que se adapta a las condiciones geográficas de la zona y a la disponibilidad de vehículos de los productores. Para tal efecto la configuración fue evaluada a través de un grafo con los resultados generados, lo cual permitió establecer que se requería el diseño de la red logística para el acopio de fruta desde los productores hacia los centros de acopio y el diseño de un modelo de flujo mínimo en red para el envío desde los centros acopio hacia los clientes, con lo cual se optimizara los costos.

Las estrategias definidas para la cadena de suministro están enfocadas en cuatro aspectos como son la integración, el talento humano, el mercado y la calidad de la fruta, las cuales se definen a partir de los análisis realizados a los diferentes eslabones de la cadena. Y aunque el alcance del modelo propuesto es netamente táctico para el eslabón de distribución, se tuvo en cuenta la logística de manera integral la cual identifica aspectos que son relevantes para el funcionamiento de una cadena de suministro.

El diseño de modelos logísticos para cadenas de suministro requiere de un gran trabajo de campo para normalizar los datos e identificar la información pertinente. Este trabajo de campo debe ser interdisciplinario, para este caso del sector agrícola, fue necesario el conocimiento de las ciencias agropecuarias, para definir aspectos técnicos de gran relevancia en la consolidación de la información.

La implementación de los modelos logísticos que apoyan el diseño de la red logística en una cadena de suministro requiere de acompañamiento y apropiación de conocimiento de varias disciplinas hacia los productores agrícolas, ya que el cambio de un proceso de intermediación a un proceso de distribución propia, implica establecer acciones tendientes a mejorar las condiciones del producto desde el origen hasta el destino, garantizando mejores resultados en cuanto a la calidad y vida útil de la fruta.

Esta investigación es un primer paso hacia el estudio de las estrategias para optimizar el suministro de productos agrícolas en regiones caracterizadas por pequeños volúmenes con una considerable distribución geográfica en condiciones adversas en cuanto a infraestructura y clima, este tipo de estudios facilitan la integración y mejoran aspectos requeridos por la demanda como es el tiempo de vida útil de los productos y los volúmenes.

La divulgación de los resultados de la investigación será publicada de dos formas, la primera es la publicación de la revisión bibliográfica acerca de los modelos y configuraciones de cadenas de suministro en productos perecederos, este proceso se está realizando con la Universidad del Norte. La segunda parte es los resultados del diseño del modelo logístico aplicado a la cadena de suministro de la pitaya.

9. RECOMENDACIONES

La presente investigación se centró en el análisis del acopio y distribución de la pitaya como mecanismo para disminuir los costos, sin embargo para las decisiones de mediano y largo plazo de la cadena de suministro es necesario incluir aspectos como la variabilidad del clima, el manejo de productos perecederos, los ciclos de vida, la variabilidad de la demanda, la estacionalidad, el impacto de los fenómenos naturales, las reformas a las leyes del sector, los Tratados de Libre Comercio, entre otros. Para lograr identificar estrategias de gestión para toda la cadena aumentando la competitividad de la misma.

Teniendo en cuenta la inestabilidad de la producción de pitaya debido a la estacionalidad de la fruta, la estrategia de integración con otras zonas productoras puede ser fundamental para suplir las necesidades de la demanda, lo cual implica mapear nuevamente las ubicaciones geográficas y establecer los mecanismos para acopiar y distribuir la fruta, ajustando los medios de transporte y acopio para tal fin.

El modelo diseñado para la Provincia de Lengupá se adapta a las condiciones y características del entorno, pero se pueden diseñar herramientas informáticas que faciliten la toma de decisiones, la implementación y la gestión de la cadena desde los propios cultivadores.

El diseño de la red logística es un tema de amplia aplicación en departamentos como Boyacá, rico en producción agrícola en pequeños volúmenes, sin embargo es necesario sensibilizar a los productores en cuanto a estrategias de integración, importancia del registro de las producciones e identificación de nichos de mercado, lo cual facilita el proceso de gestión de las cadenas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Zachman, «A framework for information systems architecture,» *IBM Systems Journal*, vol. 26, nº 3, pp. 276-292, 1987.
- [2] S. C. Council, «<http://supply-chain.org>,» 21 Septiembre 2010. [En línea]. [Último acceso: septiembre 2010].
- [3] C. Chandra y J. Grabis, *Supply Chain configuration concepts, solutions, and applications*, USA: Spriger, 2007.
- [4] D. M. Dueñas Quintero, L. E. Ochoa y Z. H. Viancha Sanchez, «Avances en la implementación de una estrategia para estudiar y dinamizar la provincia de Lengupá, con enfoque de Sistema Local de Innovación,» Tunja, 2011.
- [5] C. Barreto, J. Dueñas y O. Molina, «Identificación de la oferta exportable agroindustrial de Boyacá. Subsectores Frutasy Hortalizas,» Tunja, 2008.
- [6] B. Hakanson, «Manejo de la cadena de abastecimiento: donde compite los negocios hoy,» *Administración de la Cadena de Suministros*, p. 4, Marzo 2003.
- [7] A. Robinson, «Driving efficiencies in the cold supply chains,» *Food Logistics*, pp. 10-14, 2009.
- [8] R. G. Garcia Cáceres y E. S. Olaya Escobar, «Caracterización de las cadenas de valor y abastecimiento del sector agroindustrial del café,» 2006.
- [9] J. S. Arlbjørn y A. Halldorsson, «Logistics knowledge creation: reflections on content, context and processes,» *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 32, nº 1, pp. 22-40, 2002.
- [10] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park y S. Ram, «Design Science in Information Systems Research,» *MIS Quarterly*, vol. 28, pp. 75-105, 2004.
- [11] C. N. Verdouw, J. M. Beulens, J. H. J. H. Trienekens y J. Wolfert, «Process modelling in demand-driven supply chains: A reference model for the fruit industry,» *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 73, pp. 174-187,

2010.

- [12] S. T. March y G. Smith, «Design and Natural Science Research on Information Technology,» *Decision Support Systems*, pp. 251-266, 1995.
- [13] Supply-Chain Council c, «Supply-Chain Operations Reference-model SCOR Version 9.0,» 2004.
- [14] M. Cardona Acevedo, «La cadena productiva como estrategia de competitividad en la industria del vestido. Los casos de Monterrey (México) y de Medellín (Colombia),» 1999.
- [15] H. B. Fletes Ocón, «Coordinación territorial en las cadenas de producción de la agroindustria de mango en dos regiones de Colima: 1990-1999,» 2000.
- [16] O. Ahumada y J. R. Villalobos, «Application of planning models in the agri-food supply chain: A review,» *European Journal of Operational Research*, pp. 1 - 20, 2009.
- [17] V. Salin, «Information technology in agri-food supply chains,» *International Food and Agribusiness Management Review*, vol. 1, n° 3, pp. 329-334, 1998.
- [18] S. Seuring y M. Müller, «From a literature review to a conceptual framework for sustainable conceptual framework for sustainable.,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, p. 1699–1710, 2008.
- [19] M. Karaan, C. Ham, F. Akinnifesi, K. Moombe, D. Jordaan, S. Franzel y ..., «Baseline Marketing Surveys and Supply Chain Studies for Indigenous Fruit Markets in Tanzania, Zimbabwe and Zambia.,» *World Agroforestry Centre and CPWild Research Alliance*, 2005.
- [20] D. H. Jung y B. C. Lee, «Development of a simple and efficient method for robust optimization,» *International journal of numerical methods in engineering*, vol. 53, n° 9, pp. 2201-2215, 2002.
- [21] C. N. Verdouw, A. J. Beulens, J. H. Trienekens y T. Verwaart, «Mastering demand and supply uncertainty with combined product and process configuration,» *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 23, n° 6, pp. 515-528, 2010.

- [22] N. Arumugam, M. A. Fatimah, E. Chiew y M. Zainalabidin, «Supply chain analysis of fresh fruits and vegetables (FFV): Prospects of contract farming,» *Agric. Econ. – Czech*, p. 435 – 442, 2010.
- [23] X. Zhang, G. Q. Huang, P. K. Humphreys y V. Botta-Genoulaz, «Simultaneous configuration of platform products and manufacturing supply chains: comparative investigation into impacts of different supply chain coordination schemes,» *Production Planning & Control*, p. 609–627, 2010.
- [24] D. J. Glover y K. Kusterer, *Small Farmers, Big Business: Contract Farming and Rural Development*, London: MacMillan Press Ltd., 1990.
- [25] B. Grosh, «Contract farming in Africa: an application of the new institutional economics,» *Journal of African Economies*, vol. 3, p. 231–261., 1994.
- [26] H. Min y G. Zhou, «Supply chain modeling: past, present and future,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 43, nº 1, p. 231, 2002.
- [27] J. E. Epperson y E. A. Estes, «Fruit and vegetable supply-chain management, innovations, and competitiveness: Cooperative Regional Research Project S-222,» *Journal of Food Distribution*, vol. 30, pp. 38-43, 1999.
- [28] D. M. Lambert, S. J. Garcia-Dastugue y Croxton, «An evaluation of process oriented Supply Chain Management frameworks,» *Journal of Business Logistics*, vol. 26, nº 1, pp. 25-51, 2005.
- [29] Supply-Chain Council, «www.supply-chain.org,» Supply-Chain Council, 2008. [En línea]. [Último acceso: Mayo 2011].
- [30] D. M. Lambert y M. C. Cooper, «Issues in supply chain management,» *Industrial Marketing Management*, vol. 29, nº 1, pp. 65-83, 2000.
- [31] S. H. Huan, S. K. Sheoran y G. Wang, «A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model,» *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 9, nº 1, pp. 23-29, 2004.
- [32] A. S. Safaei, S. M. Moattar Husseini, R. Z. Farahani, F. Jolai y S. H. Ghodspour, «Integrated multi-site production-distribution planning in supply chain by hybrid modelling,» *International Journal of Production Research*, vol. 48, p. 4043–4069, 2010.

- [33] T. Reardon y C. B. Barret, «Agroindustrialization, globalization, and international development: An overview of issues, patterns, and determinants,» *Agricultural Economics*, vol. 23, pp. 195-205, 2000.
- [34] P. Y. Le Gal, J. Le Masson, C. N. Bezuidenhout y L. F. Lagrange, «Coupled modelling of sugarcane supply planning and logistics as a management tool,» *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 68, pp. 168-177, 2009.
- [35] A. Patiño Rodríguez, «Tesis de master - Análisis del modelo SCOR y su aplicación en una cadena de suministro del sector del automóvil,» Universidad de Politécnica de Valencia, España, 2008.
- [36] B. M. Beamon y C. P. Chen V, «Performance analysis of conjoined supply chains,» *International Journal of Production Research*, vol. 39, nº 14, pp. 3195-3218, 2001.
- [37] C. H. Fine, «Clockspeed-based strategies for supply chain design,» *Production and Operations Management*, vol. 9, nº 3, pp. 213-221, 2000.
- [38] D. P. Cooper y M. Tracey, «Supply chain integration via information technology: strategic implications and future trends,» *International Journal Integrated Supply Management*, vol. 1, nº 3, p. 237–257, 2005.
- [39] J. G. van der Vorst, S. J. van Dijk y Beulens, «Supply Chain Design in the Food Industry,» *The International Journal of Logistics Management*, vol. 12, nº 2, pp. 73-86, 2001.
- [40] D. P. van Donk, R. Akkerman y T. Vaart, «Opportunities and realities of supply chain integration: the case of food manufacturers,» *British Food Journal*, vol. 110, nº 2, p. 218–235, 2008.
- [41] D. H. Taylor y A. Fearne, «Towards a framework for improvement in the management of demand in agri-food supply chains,» *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 11, nº 5, pp. 379-384, 2006.
- [42] Y. Y. Yusuf, A. Gunasekaran, E. O. Adeleye y K. Sivayoganathan, «Agile supply chain capabilities: Determinants of competitive objectives,» *European Journal of Operational Research*, vol. 159, p. 379–392, 2004.
- [43] S. Cannella, E. Ciancimino, J. M. Framinan y S. M. Disney, «Los cuatro

arquetipos de las cadenas de suministro,» *Universia Business Review*, 2010.

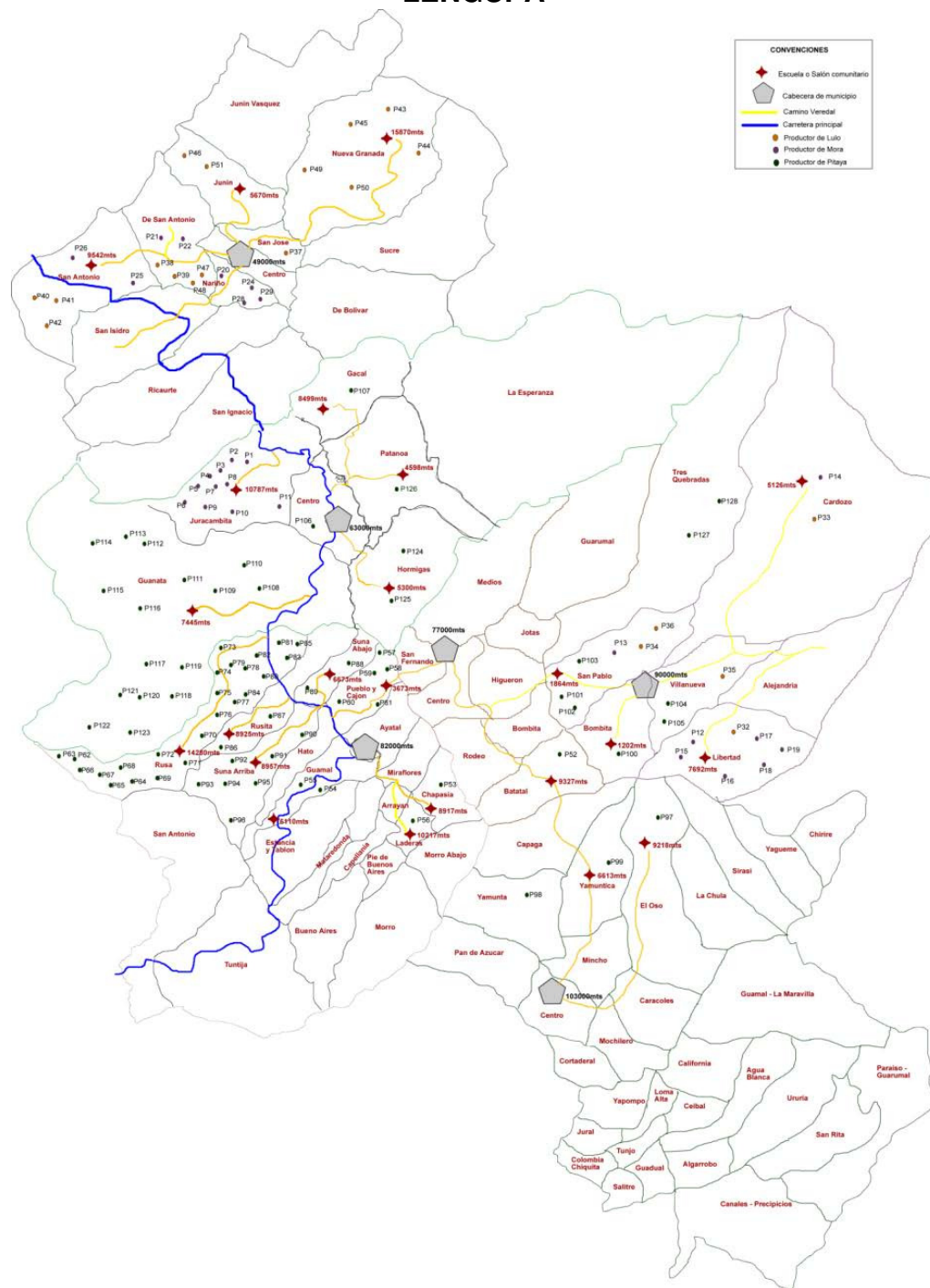
- [44] R. D. Banker y S. & Mitra, «Procurement models in the agricultural supply chain: A case study of online coffee auctions in India,» *Electronic Commerce Research and Applications*, vol. 6, pp. 309-321, 2007.
- [45] S. De Treville, D. Shapiro R y A. Hameri, «From supply chain to demand chain:the role of lead time reduction in improving demand chain performance,» *Journal of Operations Management*, vol. 21, nº 6, pp. 613-627, 2004.
- [46] A. K. Kohli y B. J. Jaworski, «Market orientation—the construct, research propositions, and managerial implications,» *Journal of Marketing*, vol. 54, nº 2, pp. 1-18, 1990.
- [47] T. E. Vollmann, C. Cordon y T. Heikkila, «Teaching supply chain management to business executives,» *Production and Operations Management*, vol. 9, nº 1, pp. 81-90, 2000.
- [48] S. J. Hoekstra y J. M. Romme, *Integral Logistic Structures: Developing Customer oriented Goods Flow*, London: McGraw-Hill, 1982.
- [49] T. Marsden, J. Banks y G. Bristow, «Food supply chain approaches:exploring their role in rural development,» *Sociologia Ruralis*, vol. 40, nº 4, p. 424–438, 2000.
- [50] B. Ilbery, D. Mayea, M. Kneafsey, T. Jenkins y C. Walkley, «Forecasting food supply chain developments in lagging rural regions: evidence from the UK,» *Journal of Rural Studies*, vol. 20, p. 331–344, 2004.
- [51] M. H. Carrillo Ramírez, G. R. Fiorillo Obando y R. G. García Cáceres, «Modelo Analítico para el Estudio de una Cadena de Abastecimiento,» 2001.
- [52] K. Ohmae, *The Mind of the Strategist: Business Planning for Competitive Advantage*, New York: Penguin, 1983.
- [53] J. B. Barney, «Is the resource-based "view" a useful perspective for strategic management research? Yes,» *Strategic Management Journal*, vol. 26, nº 1, pp. 41-56, 2001.
- [54] R. M. Cigolini, Cozzi y M. Perona, «A new framework for supply chain

- management,» *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, nº 1, pp. 7-41, 2004.
- [55] S. Chopra y P. Meindl, *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation* (2 ed.), United States of America: Pearson Education, Inc., Upper Saddle River., 2007.
- [56] L. E. Perea, B. E. Ydstie y I. E. Grossmann, «A model predictive control strategy for supply chain optimization,» *Computers & Chemical Engineering*, vol. 27, nº 8-9, pp. 1201-1218, 2003.
- [57] L. Ochoa y Z. Vianchá S, «Análisis de la cadena de suministro e integración de productos agroindustriales de Boyacá,» Tunja, 2010.
- [58] J. U. Díaz, «Biología y manejo postcosecha de pitahaya roja y amarilla,» Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, 2005.
- [59] M. C. García Muñoz, «AGRONET,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.agronet.gov.co/BibliotecaDigital.html>. [Último acceso: 25 Octubre 2012].
- [60] M. Acero Eslava, «Como hacer un estudio de SCM,» *Administración de la Cadena de Suministro*, p. 5, Diciembre 2003.
- [61] A. Lockamy y K. McCormack, «Linking SCOR planning practices to supply chain performance. An exploratory study,» *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, nº 12, pp. 1192-1218, 2004.
- [62] O. Pons, N. Marín, J. M. Medina, S. Acid y M. A. Vila, *Introducción a las bases de datos. El modelo relacional*, Madrid: Paraninfo, 2005.
- [63] W. Adarme Jaimes, C. Fontanilla Díaz y M. D. Arango Serna, «Modelos Logísticos para la optimización del transporte de racimos de fruto fresco de palma de aceite en Colombia,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 21, nº 1, pp. 89-114, 2011.
- [64] G. Q. Huang, S. K. Lau J y K. L. Mak, «The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature,» *International Journal of Production Research*, vol. 41, nº 7, pp. 1483-1517, 2003.

[65] J. Mula, D. Peidro, M. Díaz-Madroñero y J. E. Hernández, «Modelos para la planificación centralizada de la producción el transporte en la cadena de suministro: una revisión,» *Innovar*, vol. 20, nº 37, pp. 179-194, 2010.

ANEXO 1

MAPA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PRODUCTORES DE FRUTA EN LENGUPÁ



Fuente. Autor con el apoyo de la oficina de Planeación de la Gobernación de Boyacá

ANEXO 2.

GUÍA PARA DETERMINAR GRADOS DE INTEGRACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LOS PRODUCTORES

Área de decisión: Planificación

- Se tiene documentados (descripción de procesos, gráficos, flujos, etc) los procesos de planificación
- Hay un partner dominante en el proceso de planificación de la cadena
- Se tienen definidas las prioridades del cliente
- Se tienen definidas las prioridades del producto
- Se han establecido las métricas de rendimiento de la Cadena de Suministro
- Se usan las herramientas adecuadas de análisis para examinar el impacto antes de la toma de decisiones
- Se mira la rentabilidad del producto
- Los sistemas de información actual soportan el proceso de gestión de demanda
- Se analiza la variabilidad de la demanda de los productos
- Se tiene documentado el proceso de predicción de demanda
- Se utiliza métodos estadísticos en la predicción de la demanda
- El proceso de gestión de la demanda emplea información del cliente
- Se usa la predicción para el desarrollo de planes y para la toma de decisiones

Área de decisión: Aprovisionamiento

- Está documentado el proceso de abastecimiento (descripciones escritas, flujos, etc)
- Están las relaciones de los proveedores (variabilidad, métricas..) entendidas y documentadas
- Es un proceso propio identificado
- Se tiene proveedores estratégicos para todos los productos y servicios
- Se comparte información y planificación con los proveedores
- Hay designado un equipo para el procesos de aprovisionamiento
- La toma de decisiones en esta área proporciona rendimiento

Área de decisión: Producción

- Se tiene documentado (descripciones escritas, flujos..) los procesos de planificación y programación de la producción

- Están los procesos de planificación coordinados e integrados con otras áreas
- Los procesos actuales están adecuadamente adaptados a las necesidades del negocio
- Está la información de los requerimientos del cliente incluida en el proceso de producción
- A qué nivel de detalle son desarrollados los planes

Área de decisión: Distribución

- Los procesos de comprometer pedidos están documentados (descripción, flujos..)
- Se tiene procesos propios de comprometer pedidos
- Qué porcentaje de pedidos entregados a tiempo se tiene actualmente
- Están los clientes satisfechos con el actual rendimiento de entrega
- Se realizan pedidos
- Se compara los requerimientos del cliente con el actual rendimiento de entrega
- Se comprometen pedidos que puede ser satisfechos por los niveles de inventario actuales
- La capacidad disponible responde a la capacidad de respuesta requerida
- Se dispone de procesos de distribución propios
- La gestión de la distribución está integrada en el resto de procesos
- Se mide los procesos de gestión de distribución