

---

Modelo de planeación colaborativa en la cadena de suministro de la piña del municipio de San  
Marcos, Sucre

Yenifer Sofía Cárdenas Díaz  
María Karolina Royeth Angulo

Corporación Universitaria del Caribe-CECAR  
Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería y Arquitectura  
Programa de Ingeniería Industrial  
Sincelejo  
2020

---

Modelo de planeación colaborativa en la cadena de suministro de la piña del municipio de San Marcos, Sucre.

Yenifer Sofía Cárdenas Díaz  
María Karolina Royeth Angulo

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

Director  
José Luis Ruiz Meza  
PhD Student in Logistic and Supply Chain Management

Co-director  
Desmond Mejía Ayala  
Magister en Logística Integral

Corporación Universitaria del Caribe-CECAR  
Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería y Arquitectura  
Programa de Ingeniería Industrial

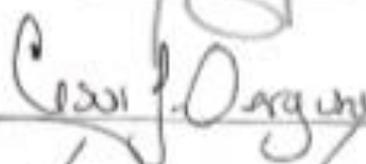
Sincelejo  
2020

**Nota de Aceptación**

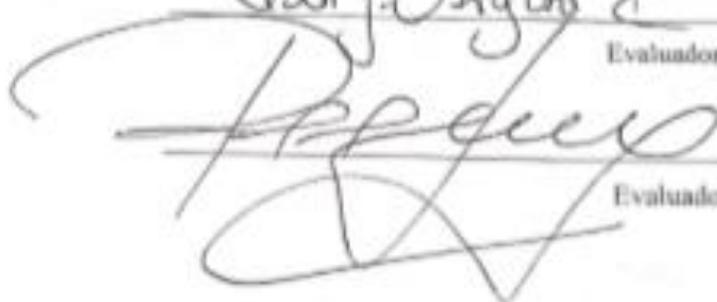
4,35



Director



Evaluador 1



Evaluador 2

Sinvelejo, Sucre, 16 de marzo del 2020

### **Agradecimientos**

*Mis primeras palabras de agradecimiento se dirigen a Dios quien es mi fuerza para alcanzar todas mis metas.*

*Doy inmensas gracias a familia, en particular a mis padres y hermana que me han apoyado en todo momento y animado durante toda mi vida.*

*A mi director de tesis, el magister José Luis Ruiz Meza, que ha sido un colaborador incansable y por el esfuerzo que puso en enseñarnos muchas cosas valiosas para este trabajo, por su apoyo continuamente y su valioso conocimiento enriquecedor determinantes en la calidad y excelencia de este trabajo.*

*Quiero igualmente agradecer a mi compañera María Royeth por todo su apoyo y esfuerzo en esta meta que comenzamos juntas. Por su amistad y compañía en todos estos años.*

*A William Torres un colaborador inigualable que gracias a sus conocimientos y tiempo fueron de gran ayuda para este eminente proyecto.*

## **Agradecimientos**

*En primer lugar, Agradezco a mis padres, Víctor Daniel Royeth Macea y Sandra Patricia Angulo Guerra por ser incondicionales en mi vida, y quienes me brindaron todo su apoyo emocional en este proyecto y realizaron todos aquellos esfuerzos para que yo pudiera continuar sin limitaciones. De ellos heredo la voluntad y la dedicación para lograr cada objetivo que me propongo y sin duda les dedico esta experiencia.*

*Agradezco también a mi compañera, Yenifer Cárdenas Díaz quien fue una excelente colega en esta investigación, con quien viví muchas experiencias satisfactorias y dificultades que logramos enfrentar brindándonos apoyo mutuo. Además, compartimos y aprendimos nuevos conocimientos, como también conocimos lugares muy hermosos y personas amables.*

*De igual forma al magister José Luis Ruiz Meza, quien, aparte de ser el director de la investigación, se ha convertido en un gran amigo y fue de mucha importancia en todo este proceso; siempre nos brindó su atención, tiempo y conocimientos necesarios para realizar un excelente trabajo.*

*A la corporación universitaria del caribe- CECAR por ofrecernos las herramientas necesarias.*

*Agradezco a cada persona que aportó su granito de arena para llevar a cabo la investigación, dándonos a conocer la información necesaria, enseñándonos y ofreciéndonos conocimientos base para esta.*

*De igual manera, agradezco a algunos familiares, amigos y pareja que siempre estuvieron atentos y animándome a ser mejor.*

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	15
Abstract.....	16
Introducción.....	17
1. Planteamiento del Problema .....	19
2. Justificación.....	22
3. Objetivos .....	24
3.1 Objetivo General .....	24
3.2 Objetivos Específicos .....	24
4. Revisión de literatura .....	25
4.1 Aportes a la definición de cadenas de suministro (CS).....	25
4.2 Cadena de suministro frutícola .....	26
4.2.1 Estructura de la cadena de suministro frutícola.....	28
4.3 Cadena de Suministro de la Piña.....	29
4.3.1 Actores de la cadena de suministro de la Piña.....	31
4.4 Generalidades de la piña.....	33
4.4.1 Caracterización química del fruto de la Piña.....	33
4.4.2 Criterios de calidad de la piña. ....	35
4.4.3 Pérdida de peso de la piña. ....	36
4.5 Colaboración en las cadenas de suministros.....	38
4.6 Planeación estratégica, táctica y operativa .....	39
4.7 Principales aportes en los modelos colaborativos de la CS.....	41
4.8 Modelos matemáticos para CS colaborativas .....	46
4.9 Programación entera mixta en cadenas de suministro.....	50
4.9.1 Programación entera mixta en cadenas de suministro agropecuarias. ....	52
5. Metodología.....	54
6. Diagnostico actual de la cadena de suministro de piña en San Marcos, Sucre .....	55

---

6.1	Generalidades del municipio de San Marcos.....	55
6.1.1	Economía de San Marcos.....	57
6.1.2	Economía del sector agrícola de San Marcos.....	60
6.2	Cultivo de piña en San Marcos.....	63
6.2.1	Cadena de suministro actual del municipio de San Marcos.....	63
6.2.2	Actores de la cadena de suministro en San Marcos, Sucre.....	67
6.3	Modelo conceptual para la cadena de suministro colaborativa de la piña.....	69
6.4	Modelo matemático.....	71
6.4.1	Conjuntos.....	71
6.4.2	Parámetros.....	71
6.4.3	Variables.....	74
6.4.4	Función objetivo.....	75
6.4.5	Restricciones.....	76
6.5	Datos para el estudio.....	79
6.5.1	Datos de semilla.....	80
6.5.2	Datos de piña.....	83
6.5.3	Datos de almacenamiento.....	85
6.5.4	Datos de distribución.....	87
6.5.5	Datos de transporte.....	90
7.	Resultados.....	93
7.1	Validación del modelo.....	93
7.1.1	Validación del modelo con instancias iniciales.....	93
7.1.2	Validación del modelo con instancias reales de San Marcos, Sucre.....	104
7.2	Evaluación del modelo.....	116
7.2.1	Primer escenario.....	116
7.2.2	Segundo escenario.....	124
7.2.3	Tercer escenario.....	130
7.2.4	Comparación de los escenarios evaluados.....	136

---

8. Conclusiones.....	138
9. Recomendaciones .....	140
Referencias bibliográficas .....	141
Apéndice.....	148

### Lista de figuras

Figura 1. Sistemas integrados de la cadena de suministro .....	26
Figura 2. perdidas y desperdicio de alimentos a lo largo de las cadenas de suministro .....	28
Figura 3. Estructura de la cadena de suministro frutícola. ....	28
Figura 4. Forma tradicional de la cadena productiva de piña. ....	30
Figura 5. Eslabones de cadena productiva de piña .....	30
Figura 6. Pérdida de peso durante la maduración de fruto de piña nativa .....	37
Figura 7 . Horizonte de planeación .....	39
Figura 8 . Niveles de integración, factores y variables consideradas. ....	41
Figura 9. Mapa político del Departamento de Sucre. ....	55
Figura 10 . Escudo de San Marcos, Sucre. ....	56
Figura 11. Participación porcentual del producto interno bruto por departamento .....	58
Figura 12. Distribución del valor agregado en el departamento de Sucre .....	59
Figura 13. Concentración de actividades económicas en San Marcos.....	60
Figura 14. Cultivos en San Marcos, Sucre-2017 .....	62
Figura 15. Eslabones de la cadena de suministro de piña en San Marcos, Sucre.....	63
Figura 16. Variedad de Piña oro miel. ....	65
Figura 17. Producción de piña anual en el municipio de San Marcos, Sucre .....	66
Figura 18. Relación de actores de la cadena de suministro de la Piña en San Marcos Sucre .....	68
Figura 19. Modelo conceptual de la cadena de suministro de la piña de San Marcos.....	70
Figura 20 .Colino en proceso de crecimiento. ....	81
Figura 21. Colinos listos para la siembra y en la fase de secado. ....	81
Figura 22. Grados de maduración de la piña .....	86
Figura 23. Cantidades enviadas a los clientes. ....	103
Figura 24. Cantidades enviadas a los clientes con datos reales. ....	115
Figura 25. Distribución del producto en el escenario 1.....	124
Figura 26. Distribución del producto en el escenario 2.....	130
Figura 27. Distribución del producto en el escenario 3. ....	136
Figura 28. Bascula manual en los cultivos de piña de San Marcos .....	167
Figura 29 . Piña en tercer grado de maduración. ....	168
Figura 30. Piña en primer grado de maduración.....	169
Figura 31. Piña oro miel. ....	170
Figura 32. Piña en quinto grado de maduración. ....	171
Figura 33. Piñas protegidas del sol con periódicos.....	172
Figura 34. Cultivos de piña oro miel.....	173
Figura 35. Cultivos de piña oro miel.....	173

---

Figura 36. Cultivo de piña en San marcos.....174

**Lista de tablas**

Tabla 1	Valores bromatológicos de la piña .....	33
Tabla 2	Estados de maduración de la piña .....	36
Tabla 3	Aportes a la literatura sobre cadenas de suministro colaborativa .....	41
Tabla 4	Modelos matemáticos en las cadenas de suministro colaborativas .....	46
Tabla 5	Cultivos en San Marcos, Sucre-2017 .....	61
Tabla 6	Tiempos en la producción de colinos .....	82
Tabla 7	hectáreas utilizas por cada productor para cultivar semillas- colinos .....	82
Tabla 8	Insumos utilizados en los cultivos de semilla .....	83
Tabla 9	Costo de cada insumo de semilla .....	83
Tabla 10	Tiempos en la producción de piña .....	84
Tabla 11	Área utilizada por cada productor para cultivos de piña .....	84
Tabla 12	Insumos utilizados en los cultivos de piña.....	85
Tabla 13	Costo de cada insumo para piña .....	85
Tabla 14	Capacidad de almacenamiento para cada productor .....	86
Tabla 15	Costo de almacenamiento para cada productor por kg .....	87
Tabla 16	Demanda de los clientes mayoristas .....	87
Tabla 17	Demanda de los clientes minoristas.....	88
Tabla 18	Precio de venta de los productores a los clientes mayoristas.....	88
Tabla 19	Precio de venta de los productores a los clientes minoristas .....	88
Tabla 20	Capacidad y costo de almacenamiento de los clientes mayoristas.....	89
Tabla 21	tiempo de distribución de productores a mayoristas .....	89
Tabla 22	tiempo de distribución de productores a minoristas .....	90
Tabla 23	tiempo de distribución de mayoristas a minoristas.....	90
Tabla 24	costo de preparación y alistamiento de los vehículos .....	91
Tabla 25	Costo de transporte de productores a clientes mayoristas .....	91
Tabla 26	Costo de transporte de productores a clientes minoristas .....	91
Tabla 27	Costos de transporte de clientes mayoristas a minoristas .....	92
Tabla 28	Costo de insumo por m2 utilizado .....	94
Tabla 29	Cantidad de insumos utilizados por m2 .....	95
Tabla 30	Tiempo distribución desde productores hasta mayorista .....	95
Tabla 31	Tiempo distribución desde productores hasta minoristas .....	95
Tabla 32	Tiempo distribución desde mayorista hasta minorista.....	96
Tabla 33	Costo de transporte de productores hasta mayorista .....	96
Tabla 34	Costo de transporte de productores hasta minorista .....	96
Tabla 35	Costo de transporte de mayorista a minorista .....	97

Tabla 36	Cantidad de semilla a solicitar .....	97
Tabla 37	Cantidad de semilla a cultivar .....	98
Tabla 38	Cantidad de producto a producir .....	98
Tabla 39	Cantidad de producto a cosechar .....	98
Tabla 40	Numero trabajadores por semilla .....	99
Tabla 41	Número trabajadores por producto .....	99
Tabla 42	Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista.....	99
Tabla 43	Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista .....	100
Tabla 44	Cantidad de producto enviados de un cliente mayorista a uno minorista.....	100
Tabla 45	Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista .....	100
Tabla 46	Apertura a los costos de preparación si se usa el terreno.....	101
Tabla 47	Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-c) .....	101
Tabla 48	Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-m) .....	101
Tabla 49	Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (c-m).....	102
Tabla 50	Resumen de resultados.....	102
Tabla 51	Costo de transporte de productores hasta minorista .....	104
Tabla 52	Costo de transporte de productores hasta mayorista .....	104
Tabla 53	Costo de transporte desde mayorista hasta minorista .....	105
Tabla 54	Tiempo distribución desde productores hasta mayorista .....	105
Tabla 55	Tiempo distribución desde productores hasta minorista .....	105
Tabla 56	Tiempo distribución desde mayorista hasta minorista .....	105
Tabla 57	Costo de insumo por m2 utilizado .....	106
Tabla 58	Cantidad de insumos por m2 utilizado .....	106
Tabla 59	Demanda de clientes minoristas y mayoristas y su respectivo precio .....	107
Tabla 60	Scalar o información precisa del modelo.....	108
Tabla 61	Cantidad de semilla a solicitar .....	109
Tabla 62	Cantidad de semilla a cultivar .....	109
Tabla 63	Cantidad de semilla a cultivar .....	109
Tabla 64	Cantidad de producto a cosechar .....	110
Tabla 65	Numero trabajadores por semilla .....	110
Tabla 66	Numero trabajadores por producto .....	110
Tabla 67	Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista.....	111
Tabla 68	Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista .....	111
Tabla 69	Cantidad de producto en el cliente mayorista vendida al cliente minorista.....	111
Tabla 70	Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista .....	112
Tabla 71	Apertura a los costos de preparación si se usa el terreno .....	112
Tabla 72	Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-c) .....	112

Tabla 73 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-m) .....	112
Tabla 74 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (c-m).....	113
Tabla 75 Resumen de resultados.....	113
Tabla 76 Demanda de clientes minoristas y su respectivo precio .....	116
Tabla 77 Demanda de clientes mayorista y su respectivo precio .....	116
Tabla 78 Costo de insumo por m2 utilizado .....	117
Tabla 79 Cantidad de insumos por m2utilizado .....	117
Tabla 80 Tiempo distribución desde productores hasta mayorista .....	118
Tabla 81 Tiempo distribución desde productores hasta minoristas .....	118
Tabla 82 Tiempo distribución desde mayorista hasta minorista.....	118
Tabla 83 Costo de transporte de productores hasta mayorista .....	119
Tabla 84 Costo de transporte de productores hasta minorista .....	119
Tabla 85 Costo de transporte de mayorista a minorista .....	119
Tabla 86 Cantidad de semilla a solicitar .....	120
Tabla 87 Cantidad de semilla a cultivar .....	120
Tabla 88 Cantidad de producto a producir .....	120
Tabla 89 Cantidad de producto a cosechar .....	121
Tabla 90 Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista.....	121
Tabla 91 Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista .....	121
Tabla 92 Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista .....	122
Tabla 93 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-c) .....	122
Tabla 94 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-m) .....	122
Tabla 95 Resumen de resultados de escenario 3.....	123
Tabla 96 Porcentaje pérdida del producto .....	124
Tabla 97 Cantidad de semilla a solicitar .....	125
Tabla 98 Cantidad de semilla a cultivar .....	125
Tabla 99 Cantidad de producto a producir .....	125
Tabla 100 Cantidad de producto a cosechar .....	125
Tabla 101 Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista.....	126
Tabla 102 Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista .....	126
Tabla 103 Cantidad de producto enviados de un cliente mayorista a uno minorista.....	127
Tabla 104 Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista.....	127
Tabla 105 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-c).....	127
Tabla 106 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-m) .....	127
Tabla 107 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (c-m).....	128
Tabla 108 Resumen de resultados de escenario 2.....	128
Tabla 109 Cantidad de semilla a solicitar .....	131

Tabla 110 Cantidad de semilla a cultivar .....	131
Tabla 111 Cantidad de producto a producir .....	131
Tabla 112 Cantidad de producto a cosechar .....	132
Tabla 113 Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista .....	132
Tabla 114 Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista .....	132
Tabla 115 Cantidad de producto enviados de un cliente mayorista a uno minorista .....	133
Tabla 116 Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista .....	133
Tabla 117 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-c) .....	133
Tabla 118 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-m) .....	134
Tabla 119 Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (c-m) .....	134
Tabla 120 Resumen de resultados de escenario 3 .....	135

## Resumen

Colombia se destaca por ser un país con uno de los mejores sectores agrícolas, con terrenos aptos para muchos cultivos, gran diversidad de riquezas naturales y extensa geografía; cada uno de sus departamentos posee atributos agrícolas para brindar y Sucre es uno de los que más se destaca. Sin embargo, son muchas las falencias en la organización y planeación de las cadenas de suministro, con producciones que no poseen una logística apropiada; que generan pérdidas económicas o del producto. Una de las frutas que se cultiva en Sucre es la piña oro miel, siendo San Marcos el segundo municipio con más producción. En esta investigación se diseñó un modelo matemático de planeación colaborativa con programación entera mixta, teniendo en cuenta los eslabones de producción y distribución, con el objetivo de maximizar las utilidades y mejorar la competitividad en la cadena de suministro de piña en el municipio de San Marcos, Sucre. Para ello, se inició con la caracterización del estado actual de esta actividad agrícola, luego se construyó el modelo matemático, y por último, se realizó la evaluación del modelo para tomar decisiones que apunten a las mejoras de la competitividad, concluyendo que este modelo logró aumentar las utilidades en 10,53% y realizar un proceso productivo más organizado.

*Palabras clave:* Colaboratividad, cadenas de suministro, planeación, modelo matemático, piña.

---

### **Abstract**

Colombia stands out as a country with one of the best agricultural sectors, with land suitable for many crops, great diversity of natural resources and extensive geography; each of its departments has agricultural attributes to offer and Sucre is one of the most outstanding. However, there are many shortcomings in the organization and planning of supply chains, with production that do not have appropriate logistics, which generate economic losses or product. One of the fruits that is cultivated in Sucre is the pineapple gold honey, being San Marcos the second municipality with more production. In this research, a mathematical model of collaborative planning with mixed integer programming was designed, taking into account the production and distribution links with the aim of maximizing profits and improving competitiveness in the pineapple supply chain in the municipality of San Marcos, Sucre. For this purpose, we started with the characterization of the current state of this agricultural activity, then we built the mathematical model and finally, we evaluated the model to make decisions that aim to improve competitiveness, concluding that this mathematical model managed to increase profits by 10,53% and make a more organized productive process.

*Keywords:* Collaboration, supply chains, planning, mathematical model, pineapple.

## Introducción

Colombia se ha convertido en una nación muy importante como despensa alimentaria hacia diversos lugares del mundo y para nadie es un secreto los grandes privilegios que esta posee por su ubicación, fauna, flora, geografía, variedad cultural, diversos climas, cuencas hidrográficas y recursos naturales. Así mismo, la agricultura de este territorio es muy diversa, ya que son muchos los productos que se extraen de este, como son las grandes variedades de oleaginosas y leguminosas, donde se pueden encontrar el café, el cacao, la caña de azúcar, papa, flores, muchos tipos de frutas, vegetales, tubérculos, plantas ornamentales y aromáticas, entre otros; convirtiendo a la agricultura en un elemento de gran importancia para el desarrollo económico del país, ya que es la principal fuente de ingresos para las zonas rurales; haciendo un gran aporte al avance económico, la disminución de la pobreza, el desarrollo sostenible del país y seguridad alimentaria (Vargas, 2016).

Sin embargo, en los últimos años a excepción del 2017 el producto interno bruto agrícola ha crecido menos que el total y la agricultura como porcentaje del PIB ha disminuido. Frecuentemente se debe a la forma tradicional e informal en la que se realizan los cultivos, con faltas de conocimiento y pocas tecnologías para lograr una buena producción. También es habitual escuchar situaciones como la sobreoferta de diferentes productos, la caída de los precios a nivel internacional, las abundantes cosechas que se esperan para los siguientes años y que afectan de igual forma con una caída de los precios (Ministerio de agricultura, 2018).

Muchas de estas situaciones o problemas se deben a la falta de planeación con ayuda de los principios de la logística, como la lejanía de las zonas rurales donde se realizan los cultivos hasta el mercado o los centros urbanos, los altos costos por vía terrestre. Además, los costos de producción han venido creciendo a mayor tasa que la de los precios de alimentos; según los datos de la sociedad de agricultores de Colombia, en gran medida el aumento se debe a los costos de insumos, como los fertilizantes y los costos de transporte. Esto ha generado que se disminuya la competitividad del sector tanto interno como internacional (El heraldo, 2014).

Por ende, la logística tiene como objetivo la satisfacción de la demanda en las mejores condiciones de servicio, coste y calidad, encargándose de gestionar los medios necesarios para alcanzar el objetivo y movilizar tanto los recursos humanos como los financieros para que sean los más adecuados. Su función se centra en lograr la satisfacción de las necesidades de los clientes a través de mejores condiciones de servicio y economía, para lograr un determinado nivel de servicios. La logística se fundamenta en la planificación, implementación y control eficiente de flujo de materias primas, productos en proceso y terminados, información, recursos humanos, considerando el punto de origen hasta el punto de destino y agregar valor a cada detalle con el fin de con el fin de satisfacer las necesidades del cliente (Ballou, 2004).

Ahora bien, San Marcos es uno de los municipios con mayor producción de piña en Sucre. Sin embargo, estos cultivos no cumplen con estándares logísticos que a su vez formen una cadena de suministro bien estructurada logrando satisfacer la demanda en las condiciones correctas de entrega de la fruta, aumentando la competitividad y generando utilidades considerables. Por lo cual, en esta investigación se diseña un modelo de planeación colaborativa con la ayuda de la programación entera mixta mejorando la eficiencia de la cadena de suministro de piña en San Marcos, Sucre. En primer lugar, se realiza un diagnóstico actual de los estabones de producción y distribución de la piña con la ayuda de referentes bibliográficos, asimismo, se construye un instrumento, el cual es de gran ayuda para la recolección y el análisis de la información que se recopila en varios cultivos de piña del municipio. En segundo lugar, se recurre a la construcción del modelo matemático con el objetivo de maximizar las utilidades; teniendo en cuenta la información recolectada y cuyo objetivo se refleja en los resultados. Luego, se realiza la validación del modelo en GAMS y por último la evaluación del modelo.

## 1. Planteamiento del Problema

En las últimas décadas el consumo de frutas a nivel internacional dadas sus propiedades nutricionales y funcionales, se ha extendido dando lugar a diferentes cambios y dinámicas que han llevado a una gran diversificación en la oferta, favoreciendo de esta manera el desarrollo y crecimiento del sector agropecuario frutícola, con grandes miras a la exportación (Lasprilla, 2011). Por lo cual, el crecimiento de la demanda en países importadores por los hábitos en el consumo poblacional, hacen necesario el abastecimiento de algunas empresas proveedoras en una amplia canasta de frutas (Bendini y Steimbregger, 2005)

El sector de las frutas en Colombia, reportó una tasa de crecimiento de 2.7%, incrementándose en 25 mil hectáreas con respecto al año anterior, pasando de 1'008.201 hectáreas en 2016 a 1'033.983 en el 2017 (Hortifruticultura, 2018); durante las últimas cuatro décadas el área sembrada en frutas expresa una dinámica de constante incremento, las líneas productivas con mayor dinamismo fueron piña, ñame, aguacate, pasifloras y mora, las cuales crecieron a tasas superiores al 10% respecto al año anterior (Hortifruticultura, 2018).

Siendo Colombia uno de los máximos exponentes en la producción frutícola, cabe resaltar que los problemas logísticos para este tipo de mercado son de carácter general y estructural. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, señaló que el país tiene ventajas comparativas para el cultivo de frutas, por ejemplo, actualmente la cadena de frutas es auto-sostenida y será sostenible en el futuro. Sin embargo, las pérdidas en bienes pueden alcanzar el 40%, de los cuales entre el 20% y el 25% se deben a ineficientes prácticas logísticas (Orjuela-Castro et al., 2017).

El departamento de Sucre cuenta con 15.105 hectáreas, donde el 1,7% de ellas corresponde a las actividades agrarias, destinadas en su mayoría al sector agropecuario; siendo el mercado de mayor exportación con un 45,2% del total producido; este sector, aportó en 2017 el 12,8% del producto interno bruto (PIB) del departamento (Cámara de Comercio Sincelejo, 2018).

Una de las zonas más fértiles del departamento de sucre para actividades agrícolas, es la región del San Jorge, destacándose el municipio de San marcos por sus suelos cenagosos, las cuales ocupan el 27% de la zona (Gobernacion de Sucre, 2016); de acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) 2018 el municipio cuenta con un 62% de su territorio en condiciones aptas para realizar actividades agrícolas.

Entre los cultivos que más se promueven en la zona se encuentra el de Cacao, Piña y Caña panelera, donde la Piña tiene un rendimiento promedio de 40Ton/ha (Ministerio de agricultura, 2013). Dejando al municipio de San Marcos como el segundo mayor productor de piña del departamento, con una producción de 320 ton, por debajo de Ovejas, quien produce 560 ton (Secretaria de Desarrollo Económico, 2017).

Sin embargo, aunque el departamento de sucre cuenta con una buena participación dentro de las labores agrarias, también se ha enfrentado a diferentes problemas logísticos en las cadenas frutícolas, puesto que no se cuenta con una estructuración de la cadena de suministro para el departamento entre ellas, la de la Piña. Esta problemática afecta a la mayoría de los departamentos de Colombia, donde las cadenas alimentarias presentan pérdidas por fallas en los sistemas logísticos, sobre todo en el suministro (Orjuela-Castro et al., 2017). Para el sector agroalimentario los modelos en las cadenas de suministro son una herramienta de gran apoyo para la agricultura, sobre todo en la producción de frutas, pero no hay ningún ejemplo activo en plataformas o software para las cadenas de suministro de estas (Vianchá -Sánchez y Zulma-Hasbleidy, 2014).

Otro factor que afecta a las cadenas de suministro es el territorio o la ubicación, la cual determina la calidad de los productos, si genera o no ventajas competitivas, situación que ha obligado a incorporar en los estudios aspectos no solo operativos sino sociales y culturales (Vianchá -Sánchez y Zulma-Hasbleidy, 2014)..

Adicionalmente, existe desconocimiento de los actores que hacen parte de la cadena y su rol, lo que conlleva a que no exista asociatividad entre los productores; solo los comercializadores mayoristas de frutas son los que cuentan con centros de acopios o se apoyan de herramientas

tecnología para mejorar toda su producción y formas de distribución (Bernal y Diaz, 2016). Por ende, la falta de asociatividad en los pequeños productores y demás actores de la cadena, genera una desorganización logística que atenta contra a productividad y competitividad del sector, que además se ve marcada por el bajo capital de trabajo y poca asistencia técnica. Por lo general, realizan los cultivos en fincas pequeñas que se encuentran alejadas de la zona urbana, cultivando sus productos de manera individual (Bernal y Diaz, 2016).

En este sentido, los modelos de colaboración en la cadena de suministro son cada vez más relevantes en las empresas a la hora de contar con la organización de todos los eslabones, actores y actividades; estos, requieren de una planificación colaborativa para realizar un trabajo coordinado y satisfacer un mercado cada vez más competitivo.

Ahora bien, las integraciones de las cadenas de suministro colaborativas buscan realizar acciones conjuntas que permitan sincronizar los eslabones para mejorar el servicio al cliente y mejorar el desempeño de las empresas en su conjunto, además genera menos costos debido a las operaciones equilibradas, menor nivel de inventarios, se elimina actividades que no generan valor, una mejor planificación y flujo de materiales, tiempos de entrega más cortos, entre otros (Fernández-Lambert et al., 2015).

La gran importancia que tienen los modelos colaborativos y las problemáticas que se presentan en el departamento de Sucre y sobre todo en el municipio de San Marcos con la distribución de piña, originan la necesidad de realizar un modelo matemático de colaboración que sincronice las etapas de producción, almacenaje y distribución de la piña en esta zona, con el fin de estructurar la cadena de suministro y brindar un mejor servicio al cliente, justo a tiempo y de buena calidad, creando que el mercado se expanda en diferentes lugares de sucre y disminuyendo las pérdidas.

Dadas las condiciones problemas que se muestran en cuanto a las condiciones de la cadena de suministros del sector frutícola, caso de la piña, se genera esta investigación, la cual busca responder el interrogante ¿Cómo diseñar un modelo de planeación colaborativa en la cadena de suministros de la Piña, para aportar a la competitividad del sector en el municipio de San Marcos?

## 2. Justificación

Colombia es un país predilecto al poseer variedad de suelos y climas, una gran dotación de recursos agrícolas y una posición geográfica favorable. Lo cual, permite el crecimiento de frutos como la Piña que presentó a 2017 una producción nacional de 755.471 ton y un rendimiento de 41.19 ton/has (Minagricultura, 2016).

En los últimos años, este producto ha obtenido una relevancia significativa por su dinámica económica y por ser una fuente importante de empleo, tanto en la producción y comercialización de la fruta, como en el proceso de industrialización (Lopez, 2010).

En términos de volumen, las exportaciones de Piña en Colombia fueron del 6,04% equivalente a 14,65 miles de toneladas; los principales mercados destino para las exportaciones de piña son Estados Unidos y Países Bajos (Hortifruticultura, 2018). Por consiguiente, es relevante estudiar el sector Piñero, para optimizar todos los procesos, hacer la cadena más productiva y de mayor competitividad (Rúa et al., 2016)

Acorde a esto, la planeación colaborativa en un contexto de cadena de suministro, se ajusta en la coordinación de la planificación, intercambio de información y el control de las operaciones de los diferentes miembros de la cadena. Así mismo, apoya los procesos y la elaboración de las herramientas para la toma de decisiones, trabajar de forma simultánea apoyando la transparencia de los procesos, la mayor flexibilidad, facilita la alineación de los objetivos individuales a los objetivos globales y la reducción de los tiempos de respuesta (Vidal, 2014). La colaboración es una estrategia que permite mejorar el desempeño, mediante acciones conjuntas logrando obtener sinergias que lleven a reducir costos, mejorar la satisfacción de los clientes y hacer frente a los retos de competitividad requeridos para ser exitosos en el entorno actual (Fernández-Lambert et al., 2015).

Ahora bien, estos beneficios se obtienen a través de la coordinación adecuada entre los procesos y los actores para potenciar el desarrollo del sector, disminuyendo así los costos

transaccionales entre los participantes de la cadena. Lo que generaría rentabilidad y posicionamiento del sector de la Piña.

Por otro lado, la validez de los sistemas logísticos radica en la necesidad de mejorar el servicio a un cliente, optimizando la fase de transporte al menor costo posible; algunas mejoras que se pueden encontrar son: aumento de las líneas de producción, niveles altos en la eficiencia en producción, disminución de niveles de inventarios, desarrollo de sistemas de información, entre otras (Mazo et al., 2014).

En el caso del Departamento de Sucre y más concretamente el municipio de San Marcos, la distribución de la Piña por su lógica de funcionamiento comercial presenta ausencia de una estructura productiva que condicione su flexibilidad y su proximidad a la demanda final. Ahora bien, este proyecto engloba aspectos producción, acopio y distribución. Por lo cual, se pueden generar tomas de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo, que contribuyan a la coordinación e integración de fases y actividades asociadas al flujo del producto, de manera que se generen ventajas competitivas en mercados y ámbitos territoriales específicos (Martner et al., 2005).

Para tal efecto, se propone un modelo de planeación colaborativa para la Cadena de Suministro de la Piña en el Municipio de San Marcos, que iniciará con un diagnóstico de la situación actual de los integrantes estratégicos de la cadena de suministro, en aras de generar acciones conjuntas y tomas de decisiones eficientes que les permitan sincronizar y articular sus actividades logísticas para hacer frente a los retos de competitividad del entorno actual.

### 3. Objetivos

A continuación, se describe el objetivo general y los específicos de esta investigación:

#### 3.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de planeación colaborativa mediante la programación entera mixta para mejorar la competitividad de la cadena de suministro de la Piña en el municipio de San Marcos.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar el estado actual de las actividades de producción y distribución de la Piña en el municipio de San Marcos.
  
- ✓ Construir un modelo colaborativo para la cadena de suministros de la Piña con transporte entre eslabones considerando variantes de capacidad y flota heterogénea.
  
- ✓ Evaluar el modelo construido con los datos obtenidos en la cadena de la Piña, para generar toma de decisiones eficientes que apunten a mejorar la competitividad del sector.

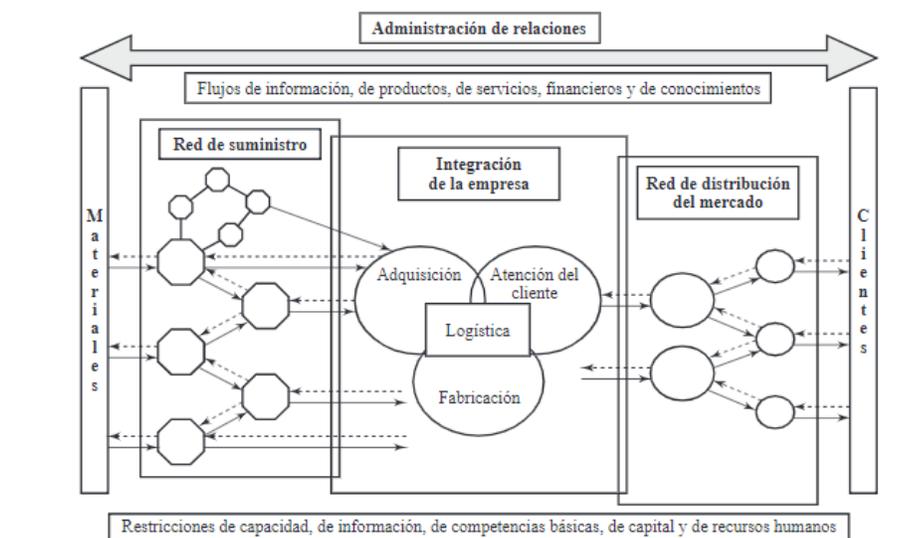
## 4. Revisión de literatura

### 4.1 Aportes a la definición de cadenas de suministro (CS)

Michael Nickl (2005) en su artículo “la evolución del concepto de logística al de cadena de suministro” argumenta la acogida que toman las cadenas de suministro, haciendo énfasis en los cambios que tiene la logística tradicional con la logística que se organizaba a principio de los 2000. La logística tradicional se relacionaba con el movimiento físico de materiales, donde solo las áreas de compras, producción y ventas podían definir su ámbito de actuación, mientras que esta nueva logística se encarga de ampliar las responsabilidades implementando otras metas, como la reducción de los costos de almacenaje, reducción de errores y una logística enfocada en el cliente, atacando sobre costos logísticos implementado herramientas informáticas de apoyo para modelos de ruteo (Nickl, 2005).

Lo anterior concuerda con los argumentos de Sunil Chopra y Peter Meindl, para quienes las gestiones de las cadenas de suministro eran cada vez más importantes para el sector empresarial, las cuales buscan lograr objetivos comunes sobre la base de estrategias comunes y donde se requiere un gran flujo de información para alcanzar un potencial en: la reducción de costos, en las áreas de producción, compras, transportes, ventas y comercio. Ahora bien, podemos definir la cadena de suministro (CS) como la integración de todas las áreas, tanto internas como externas de todas las empresas que presentan problemas logísticos, integrando desde los proveedores de la materia prima hasta los comerciantes, formando una red horizontal (Chopra y Meindl, 2007).

Según Bowersox, Cloos y Coper (2007), manifiestan que las cadenas de suministro se producen a partir de los esfuerzos que permiten cumplir el compromiso operativo de una empresa con sus clientes, al mismo tiempo que apoyan las redes de distribución y de proveedores para obtener una ventaja competitiva. Por lo tanto, se integran las operaciones de negocios desde la adquisición inicial de materiales hasta la entrega de productos y servicios a los clientes, generando un valor a partir de la integración de cinco flujos: información, producto, servicios, finanzas y conocimiento (Bowersox et al., 2007). (Figura 1).



**Figura 1.** Sistemas integrados de la cadena de suministro. Fuente: (Bowersox, Closs, Cooper, & M, 2007)

#### 4.2 Cadena de suministro frutícola

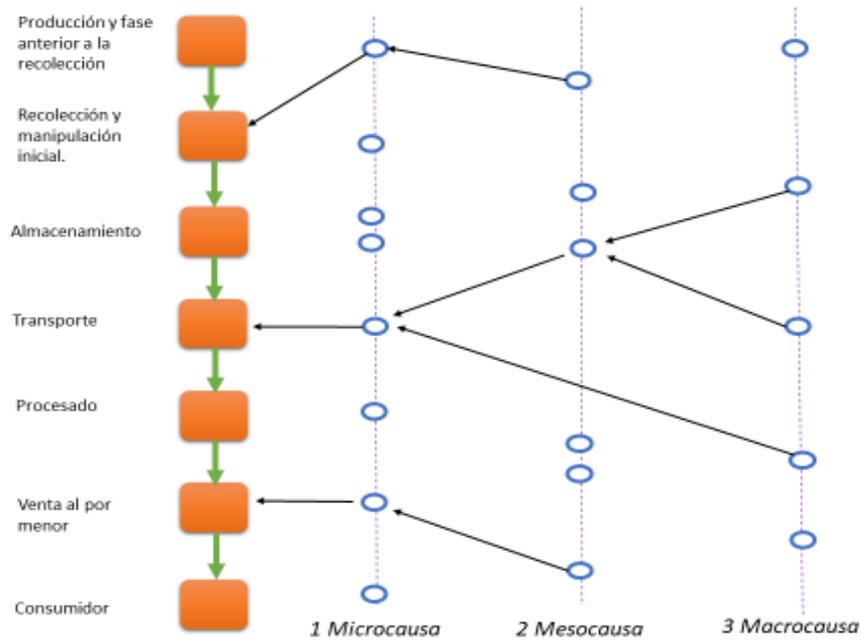
Vianchá Sánchez y Zulma Hasbleidy (2014) estudiaron la configuración para el diseño de modelos que permitan mejorar los procesos logísticos de las cadenas de suministro agrícolas de diversos productos en muchas áreas rurales donde se requiere de una disminución en los costos. Argumentando que las cadenas de suministro son de gran interés, especialmente en el sector agrícola, donde se requiere un gran esfuerzo de la coordinación de los actores, recursos y actividades para cumplir con los requerimientos del cliente. De esta forma, las CS se caracterizan por actuar de forma multidisciplinar, teniendo en cuenta que agrupan diferentes factores como: proveedores, productores, distribuidores, comercializadores minoristas y mayoristas, consumidores, entidades reguladoras ( Vianchá-Sánchez y Zulma-Hasbleidy, 2014).

En la investigación de Paula Bernal y Yina Díaz (2016), titulada “modelo para la gestión de capacidades logísticas en las cadenas de suministro agroindustrial frutícola en Bogotá-Cundinamarca” se desarrolla la investigación de modelos matemáticos y de simulación para la logística en la cadena de frutas, argumentando que Colombia es un país con una gran diversidad

en suelos, climas, dotación de recursos agrícolas y una buena ubicación geográfica, pero a pesar de estas ventajas no hace el mejor uso de las tecnologías para potencializar el sector y así convertirse en una potencia agrícola a nivel mundial, por esta razón se hace necesaria la organización de la logística y modelos que contribuyan al crecimiento de este mercado (Bernal y Díaz, 2016).

Para el 2016, Wilson Adarme, Mauricio Herrera y Javier Orjuela, con su investigación sobre la logística en almacenamiento y transporte de mango en Colombia, señalan la necesidad de integrar la producción con la distribución en las cadenas alimentarias, explicando lo importante que es para el consumidor adquirir productos saludables y frescos, y como de esta forma se ha incrementado la demanda en productos que se encuentren en buen estado. De esta manera, se hace necesario estudiar las cadenas alimentarias debido a las fallas en el sistema logístico, las cuales generan grandes pérdidas o desperdicios. En este artículo se denota la importancia de la coordinación adecuada entre los procesos y los actores para potenciar el sector (Orjuela-Castro et al., 2017).

Diego Fernando Botero (2017) argumenta que Colombia ha tenido un gran crecimiento en el sector de frutas, por lo tanto, las cadenas de suministro representan un campo de estudio muy importante en la economía de Colombia. Botero, analiza algunas de las causas por las cuales se generan pérdidas y desperdicios de alimento, mostrando la cadena de suministro alimentaria mediante siete (7) eslabones, donde se encuentran tres tipos de causas: micro-causa, meso-causa, macro-causa (Botero, 2017). (Figura 2).



*Figura 2. pérdidas y desperdicio de alimentos a lo largo de las cadenas de suministro. Fuente: (Fernando & Manso, 2017).*

**4.2.1 Estructura de la cadena de suministro frutícola.**

Generalmente las cadenas de suministro frutícolas están constituidas por los siguientes eslabones, reflejado un escenario que se muestra en la siguiente figura. (Figura 3).



*Figura 3. Estructura de la cadena de suministro frutícola. Adaptado de : (Castro et al., 2017)*

En la figura anterior, se logra evidenciar como la cosecha pasa del agricultor a los distribuidores de frutas, quienes se encargan de hacerla llegar a las agroindustrias, y de esta forma los distribuidores trasladan el producto hacia su comercialización y así hacerlo llegar al cliente.

### 4.3 Cadena de Suministro de la Piña

Carlos Martner (2006) resaltó que la organización de las cadenas logísticas de la piña había favorecido a diferentes lugares del mundo, brindando múltiples beneficios a la hora de realizar la respectiva distribución del producto. Las incorporaciones de una excelente CS con unas buenas bases logísticas en el mercado de la piña, favorecerían su exportación generando una mayor importancia a la parte agrícola de cada país, como por ejemplo, las exportaciones que se realizan del suroeste de México a estados únicos, donde se reconoció a los principales actores, como los pequeños y medianos productores, los cuales se han encargado de acoger estas metodologías colaborándose entre ellos para lograr una mejor producción y un mejor servicio (Martner et al., 2006).

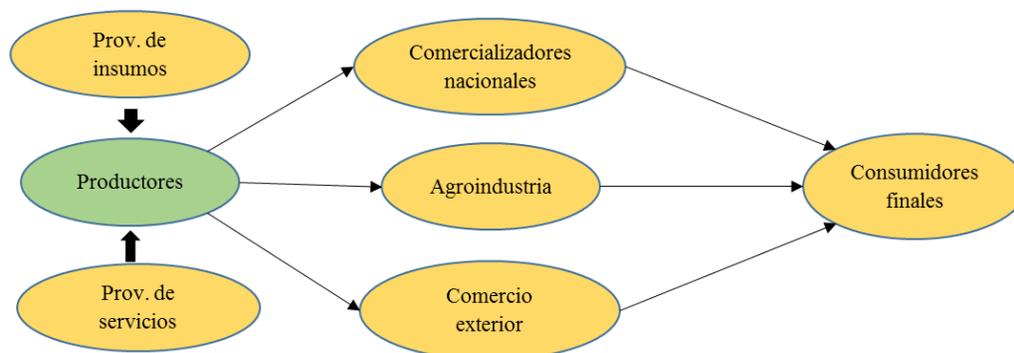
Según Edwin Blasnilo, Andrea Barrera y Benjamín Pinzón (2016) en su investigación caracterización y diagnóstico de la cadena productiva de piña en el departamento del Casanare, establecen que el proceso de comercialización corresponde a un eslabón muy importante dentro de las cadenas productivas, ya que para los productores representa el retorno de su inversión y por esta razón se hace uso de las cadenas de suministro como una estrategia para hacer que el mercado de la piña se pueda expandir, haciendo frente a la competencia. En este artículo se constatan los diferentes actores que participan en las cadenas productivas de piña, desde los proveedores hasta el cliente, obteniendo información para analizar el nivel de competitividad y organización de las CS de piña del Casanare y de esta forma definir la estrategia logística que se puede llevar a cabo ante la situación (Rúa et al., 2016).

Ahora bien, las cadenas productivas son el proceso que sigue un producto o servicio a través de las actividades de producción, transformación e intercambio, hasta llegar al consumidor final. Por lo tanto, una cadena productiva le permite al productor primario de piña identificar las ventajas y limitantes en las oportunidades de creación y apropiación de valor. Estas cadenas pueden tener diferentes fines, depende de la tecnología, capital y organización con la que se cuenta. La cadena productiva de piña tiene una forma tradicional que se muestra en la siguiente imagen (Lopez, 2010). (Figura 4).



*Figura 4. Forma tradicional de la cadena productiva de piña. Fuente: (Lopez, 2010)*

Rogelio López (2010), en su investigación, manifiesta que el productor de piña tiene una relación con proveedores de insumos y de servicios. Según los datos recolectados en su investigación en los lugares que producen más volúmenes de piña en México, como Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Nayarit y Jalisco; los productores comercializan a través de comercializadores nacionales, con agroindustrias y otra parte se exporta. (Figura 5). López argumenta que, para mejorar el precio de la piña es necesario que el nuevo concepto de cadenas productivas reemplace al concepto tradicional de negocios segmentados. Toda esta producción se ha visto afectada por faltas de tecnologías que aporten a una cadena organizada, para lo cual se busca hacer uso de la logística y expandir el mercado solucionando problemas de transporte (Lopez, 2010).



*Figura 5. Eslabones de cadena productiva de piña. Fuente:(Lopez, 2010)*

### **4.3.1 Actores de la cadena de suministro de la Piña.**

Los actores que intervienen en la cadena de suministro de la Piña son los siguientes:

#### **4.3.1.1 Productores.**

La producción es la aplicación de procesos para transformar la materia prima en procesos terminados que cumplen con el objetivo de satisfacer las necesidades de los clientes. Por tanto, la producción es un proceso clave dentro de la cadena de suministro, pues establece el ritmo de elaboración y permite desarrollar funciones que determinan la calidad del producto, (Mazo et al., 2014). Por consiguiente, los productores se encuentran de diferentes tipos, de acuerdo con su producción y nivel de tecnificación. Un productor tradicional es aquel que cultiva individualmente hasta que encuentra sociedades de agricultores para la producción y por lo general lo realizan en pequeñas fincas. Los productores con sistemas tecnificados por lo general tienen un nivel académico medio alto. En Colombia se evidencian estos dos tipos de productores en el sector de frutas. Ahora bien, el sector Piñero cuenta con productores grandes y pequeños que realizan las actividades de siembra, cultivo y cosecha del fruto.

#### **4.3.1.2 Agroindustria.**

La agroindustria permite el desarrollo de actividades posteriores a la cosecha relativas a la transformación, preservación y preparación de la producción agrícola. Algunas características de este actor es que el embalaje en el aprovisionamiento son el 55,5% canastillas plásticas, 22% cajas de madera y 22% cajas corrugadas. La piña principalmente llega a estos centros por medio de bultos y guacales. A lo largo de toda la cadena de piña se encuentra que Colombia tiene el potencial para desarrollar la agroindustria por medio de plantas procesadoras que extraen derivados de las frutas, en este caso de la piña (Mazo et al., 2014).

#### **4.3.1.3 Mayoristas.**

Los comercializadores mayoristas se definen como aquellos que venden productos frescos o procesados en grandes volúmenes a otros mayoristas y /o minoristas, a los mismos productores y a las diferentes agroindustrias (pero no al consumidor final). Por lo general se utilizan centros de

acopio se encuentran ubicados en las diferentes ciudades del país y plazas de mercados. Se puede hacer la comparación que los mayoristas actúan similar a los supermercados y transportadores. Una de las funciones de los mayoristas en la cadena de Piña es la descarga, recepción de frutas, presentación, almacenamiento y preparación de pedidos. Un aspecto importante que determina al mayorista es la calidad del producto, la cual se determina en base a revisiones aleatorias de los bultos y en toda la carga. En cuanto al almacén de la fruta, estos actores poseen cuartos fríos que ayudan en la preservación y cuidado, para una llegada al cliente en las mejores condiciones.

#### ***4.3.1.4 Minoristas.***

Los minoristas participan en la venta de los productos en pequeñas cantidades a los consumidores finales de la cadena de suministro, específicamente se ilustra como un puente entre el consumidor y empresas, incluyendo los supermercados, tiendas de barrio, plazas pequeñas. Los minoristas se pueden clasificar como tradicionales que intervienen en las diferentes plazas de mercado y los minoristas modernos que distribuyen a cadenas de supermercado.

#### ***4.3.1.5 Transportistas.***

El proceso de transporte admite el movimiento físico de los productos a través de diferentes medios como camiones, barcos o aviones; desde un punto de inicio hasta su destino. Una característica relevante consiste en indicar que el adecuado control y desempeño del transporte son claves para la disminución de los costos y aumento de la satisfacción del cliente en toda la cadena. El principal medio de transporte de mercancía en Colombia es por medio terrestre y el 17,4% son productos agrícolas. Los productos frutícolas a excepción del banano se transporta principalmente en una totalidad del 3.42% en vehículos C2, 2.47 en C3, C4 el 1.76% C2S 1.33% y el 0.84% en C3S. Cabe resaltar que se presentan muchas falencias logísticas en la cadena de suministro de la piña, especialmente en los tiempos de entregas.

#### 4.4 Generalidades de la piña

La piña *Ananas comosus*, perteneciente a la familia de las Bromeliáceas es de tipo herbáceo y perenne. Se presume que tiene orígenes en América del sur, específicamente en los países de Brasil y Uruguay, propagándose a otras zonas de Europa y Asia. Este fruto es de forma cilíndrica, es decir, está formada por una agrupación de frutos, es carnoso y termina en una agrupación de hojas, la pulpa que es la parte comestible es amarilla de diferentes tonalidades. Por otro lado, el cultivo de piña se desarrolla en altitudes entre los 800 y los 1200 metros sobre el nivel del mar, temperatura entre los 26°C y 30°C, no obstante, por su ser tropical se puede desarrollar entre los 0 y los 1400 dependiendo de las variedades. Con respecto, al tipo de suelo deben ser permeables de buena aireación, con un pH óptimo de 5 a 5.8 (Villavicencio y Vásquez, 2003).

##### 4.4.1 Caracterización química del fruto de la Piña.

A continuación, se registran los datos referentes a los valores bromatológicas realizadas al fruto de la Piña, la cual presente una importante fuente de ácido ascórbico, rica en carbohidratos, vitaminas y minerales; de igual forma brinda fibra como alternativa de dieta humana y nutricional para las personas:

**Tabla 1**  
*Valores bromatológicos de la piña*

<b>Variable</b>	<b>Contenido</b>
Materia seca	8.46%
Humedad	84.5% - 88%
Proteína	0.78 - 3.20%
Extracto etéreo	1.54 - 5.56%
Pectina	0.86%
Hidratos de carbono	80.36%
Fibra total	6.26%
Fibra cruda	1.29%
Cenizas	0.25 - 6.01%

---

Vitamina C	14.08 mg/100 g
Calcio	134.12 mg/100 g
Potasio	2445.0 mg/100 g
Fósforo	1.41 mg/100 g
Hierro	8.5 mg/100 g

---

Fuente: Elaboración propia 2020.

#### ***4.4.1.1 Semilla.***

particularmente para la semilla se emplean yemas auxiliares de planta, y en algunos casos la corona o parte superior del fruto. Sin embargo, lo más utilizados son los auxiliares que se obtienen de la base del fruto o de la parte de arriba del tallo (hijuelo auxiliar) y el hijuelo de la base de la planta formándose en la parte del tallo que está bajo tierra. La semilla debe seleccionarse entre un peso de 200 y 450 gramos, ya que los que tienen un peso inferior afectan el desarrollo del cultivo. Una vez obtenida la semilla se desinfecta con el fin de impedir una posible infección del suelo y evitar pérdidas al momento de la siembra (Villavicencio y Vásques, 2003)

#### ***4.4.1.2 Siembra.***

Cuando se realiza el proceso de siembra, se debe tener en cuenta que la base de las plantas este completamente en contacto con el suelo, debido a que se pueden generar enfermedades causadas por hongos o que las raíces no tengan un adecuado desarrollo (Villavicencio y Vásques, 2003)

#### ***4.4.1.3 Cosecha.***

se presentan dos cosechas que dependiendo de la variedad y de los factores ambientales se pueden dar una primera de los 15 a los 24 meses y la otra de los 15 a 18 meses posterior a la primera. Este proceso es realizado dependiendo de los requerimientos del comercializador, en cuanto a calidad, tamaño y madurez; que al momento de transportarlo o en la postcosecha no sufra deterioros (Villavicencio & Vásques, 2003).

#### **4.4.1.4 *Poscosecha.***

Es una etapa de gran importancia en todo el proceso donde la calidad del producto juega un importante papel, que depende de las prácticas de cultivo que se desarrollan en esa fase. Un excelente cultivo garantiza un fruto de buen color, de forma cilíndrica, acidez moderada y altos contenido de vitamina C, por lo que se previenen las enfermedades y plagas del fruto.

#### **4.4.2 Criterios de calidad de la piña.**

La calidad de la piña depende de factores de sanidad y aspecto del fruto, la cual no debe presentar golpes de sol ni enfermedades por plagas. Uno de los defectos más visibles es el corazón negro como una mancha en la parte interna. Así mismo, es de suma importancia el tamaño de la corona que no sea mayor que la mitad de la longitud del fruto y si es un producto para exportaciones el tamaño de la corona debe ser reducido.

En el almacenamiento existen unas características primordiales como el cambio de color del fruto en la corteza, el cual se desarrolla de la base del fruto hacia la cúspide. El color externo de la piña en el estado 3 de madurez la pulpa presente una tonalidad amarillo suave emitiendo un fuerte olor penetrante. Luego, en estado 4 (día 15) el color es amarillo-naranja, dando lugar al proceso de senescencia del fruto.

**Tabla 2**

*Estados de maduración de la piña*

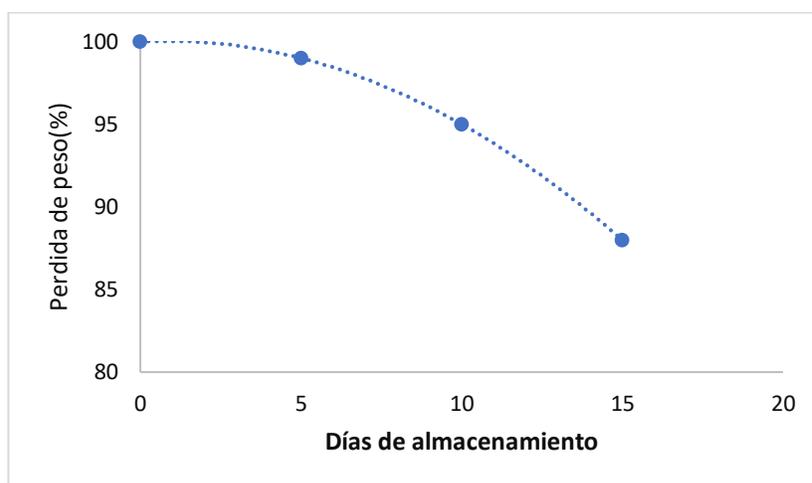
<b>Estado de madurez</b>	<b>Color</b>	<b>Descripción</b>
<b>Estado 1</b>	Verde oscuro	Coloración pardo-amarillo de la base hasta un 25% de la fruta
<b>Estado 2 (día 5)</b>	Pardo rojizo oscuro	25-50% de la fruta con coloración pardo-amarillo
<b>Estado 3 (día 10)</b>	Pardo rojizo oscuro	50-75% de la fruta con coloración amarillo-naranja
<b>Estado 4 (día 15)</b>	Rojo, rojo-amarillo	Más del 75% de la fruta con coloración amarillo-naranja

Fuente: Elaboración propia 2020.

Cada estado de maduración presenta características en cuanto al color y fermentación del jugo de la fruta y este va cambiando a medida que pasan los días. Es muy importante conocer esta información, dado que, se requiere a la hora de realizar la cosecha de la fruta y en todo su proceso para realizar una entrega en el mejor estado de la fruta para que el cliente la consuma.

#### **4.4.3 Pérdida de peso de la piña.**

En el manejo de poscosecha, la fruta interactúa con el medio, donde se crea un periodo de división celular, en el cual, hay un aumento de agua y peso del fruto. Por tanto, es un proceso determinante en el análisis de la cadena de suministro de la piña; permitiendo mantener la calidad de la fruta, logrando una mayor vida útil y amplia distribución del producto. Ahora bien, la pérdida de peso en la piña disminuye durante el transcurso del periodo de maduración; en principio, el fruto presenta un peso promedio de 1809.9 g, específicamente en el día cero, disminuyendo hasta 1519.6 g el día 18. Por tanto, la pérdida de peso presentada es el 12% con respecto al original. (Figura 6).



**Figura 6.** Comportamiento de la pérdida de peso durante la maduración de fruto de piña nativa. Fuente: (Villavicencio y Vásques, 2003)

No obstante, la pérdida de peso tiene una influencia de la temperatura en la conservación del fruto. Pues bien, el peso de los frutos disminuye durante el periodo de almacenamiento, registrándose como mayor pérdida de peso almacenados a 11°C, equivalente a 10.17% para dicho periodo. Igualmente, los frutos almacenados a 6°C generan una pérdida de peso de 5.69% del día cero al día veinte. Por otra parte, en el proceso de maduración complementaria (20°C y 85% H.R) se presentan mayores porcentajes de pérdida, semejante a 7.77% y 11.28% para frutos refrigerados a 6°C y 11°C.

En consecuencia, el uso de un periodo de refrigeración seguido por uno de maduración complementaria establece una elección práctica para reducir las pérdidas de peso en frutos de piña en poscosecha y de este modo cumplir con los requisitos de calidad que diferenciaran el producto en el mercado, permitiendo aumentar la competitividad del sector. Debido, a que las pérdidas de peso a 6 y 11°C son menores que las almacenadas a 20°C.

#### **4.5 Colaboración en las cadenas de suministros**

Las cadenas de suministro a menudo requieren del desarrollo, la cooperación y la colaboración, dado que a largo plazo estas se convierten en una mejora significativa para las CS. Generalmente, muchas empresas asociadas a una red de cadena de suministro colaboran con sus proveedores y clientes, compartiendo información y conocimiento con el objetivo de crear una red articulada que tenga la capacidad para competir eficazmente en el mercado, ya que la colaboración entre las cadenas de suministro resulta ser una estrategia que orienta a la obtención de productos y servicios de calidad, y así enfrentarse a la competencia (Cai et al., 2013).

Las incorporaciones de las cadenas de suministro colaborativas realizan acciones conjuntas que permiten sincronizar eslabones para mejorar el servicio al cliente y responder a la competitividad del entorno actual, logrando una colaboración de todas las partes de la CS con información y recursos compartidos, costos más bajos, menos nivel de inversión, economía de escala y eliminación de actividades que no generan un valor. De esta forma, se mejora el rendimiento por medio de una mejor planificación y flujo de materiales, generando que se pueda llevar a cabo un mejor servicio al cliente, con tiempos de entrega más cortos, y haciendo posible una mejor calidad con menos inspecciones. Por lo tanto, la colaboración se basa en el intercambio de información de funciones, conocimiento y procesos de negocio, que tienen como objetivo crear una ventaja competitiva que beneficie a todos los involucrados (Fernández- Lambert et al., 2015).

En la investigación modelo de colaboración en la cadena de suministro agroindustrial del cacao realizada por Shib Sankar, Germán Herrera y Jaime Acevedo (2017), se afirma que la colaboración busca tener una visión de cómo ocurre la cadena específicamente y que esta se ha convertido en un factor difícil de lograr dentro de los procesos de planificación. Además, una cadena de suministro sin la participación de los participantes genera diferentes problemas de tipo productivo, económico, organizacional. Los autores también dan a conocer a las cadenas de suministro colaborativas como un sistema de relación entre varias empresas que logran identificar la necesidad del cliente, satisfacer la demanda y aumentar sus ganancias (Sana et al., 2017).

### 4.6 Planeación estratégica, táctica y operativa

La planeación está relacionada con el futuro y es preocupación de todos, las organizaciones buscan diseñar sus escenarios futuros basándose en técnicas y modelos donde se logre comprender mejor todo lo que se desea lograr o la meta fijada. Esta se puede conocer mejor mediante su naturaleza, importancia, definiciones, horizonte y niveles; en el horizonte se toma como base de tiempo y nivel de cobertura para clasificarse como estratégica, táctica y operativa (Torres, 2014).(Figura 7).

Planeación	ESTRATÉGICA	TÁCTICA	OPERATIVA
<b>Concepto</b>			
<b>HORIZONTE (TIEMPO)</b>	Largo Años Difícilmente reversible	Mediano Año Puede ser reversible	Corto Mes Semana Día Hora Reversible
<b>COBERTURA (AMPLITUD)</b>	Toda la organización (todas o gran parte de las funciones)	Parte de la organización (alguna o algunas funciones)	Actividad y/o tareas
<b>NIVEL DE RESPONSABILIDAD</b>	Corporativo y/o División	División y/o función	Operación
<b>RESPONSABILIDAD</b>	Definir fines y medios corporativos	-Seguir fines y medios corporativos. -Formular fines y medios propios (en ocasiones)	Operación
<b>EJEMPLO 1 (MILICIA)</b>	Cómo ganar guerra	Cómo ganar la batalla	Cómo manejar el escudo y la espada en la batalla

Figura 7. Horizonte de planeación. Fuente: (Torres, 2014)

La planeación logística, busca responder a las preguntas ¿qué?, ¿cuándo? y ¿cómo?, dando lugar a estos tres tipos de planeación que se diferencian según sus horizontes de tiempo para la toma de decisiones. Cada tipo de nivel requiere de una perspectiva diferente debido a la información que maneja; la planeación estratégica, por lo general trabaja con información que es incompleta o imprecisa y los planes con frecuencia se consideran suficientes si están muy cercanos a lo óptimo, mientras que la planeación operativa trabaja con información muy precisa y los planes

deberán manejar una gran cantidad de esta información y obtener planes razonables. Estos dos tipos de planeación, requieren de un conocimiento muy profundo del problema en particular para realizar un análisis y formar un plan que responda a la situación y enfrentarse a tomar decisiones que aporten al proceso que se lleva a cabo (Ballou, 2004)

Estos factores, se centran en las diferentes dimensiones que integran la medición del nivel de integración en las cadenas de suministro colaborativas. El nivel estratégico se dirige a la planeación a largo plazo y contempla la estrategia del plan de negocio de la empresa, los objetivos, el determinar y regular el flujo de información, definiendo los planes de colaboración y cláusulas de los contratos a realizar con los integrantes estratégicos. También, se encuentra el nivel táctico, el cual se alimenta por medio del nivel estratégico y contempla la planeación a mediano plazo, incluyendo el pronóstico de la demanda, los proveedores y su desempeño, la planeación de la compra y su relación con los niveles de inventarios. Mientras tanto, el nivel operativo considera la distribución de las mercancías y trazabilidad dentro de las CS (Figura 9). (Fernández- Lambert et al., 2015). (Figura 8).

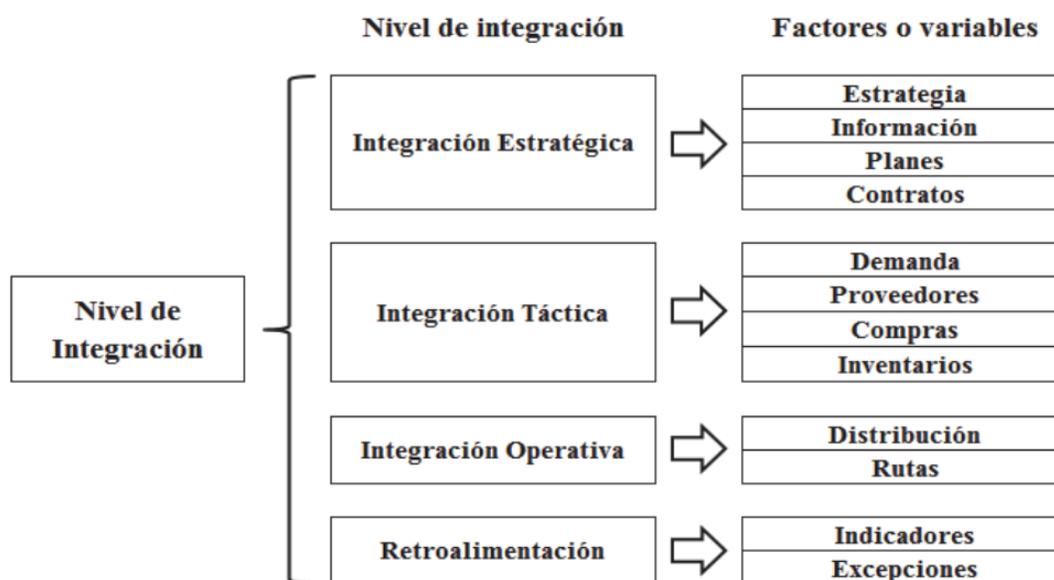


Figura 8. Niveles de integración, factores y variables consideradas. Fuente: (Fernández-Lambert et al., 2015)

#### 4.7 Principales aportes en los modelos colaborativos de la CS

A continuación, se evidencian algunos de los principales aportes a la literatura sobre modelos de colaboración en la cadena de suministro (Tabla 3).

Tabla 3

Aportes a la literatura sobre cadenas de suministro colaborativa

Título	Autores y año	Aporte
<b>A model and a performance measurement system for collaborative supply chains.</b>	(Angerhofer y Angelides, 2006)	El estudio muestra como los componentes, parámetros e indicadores de rendimiento se modelan en una cadena de suministro colaborativa y se pueden usar como soporte de toma de decisiones para mejorar el rendimiento de la cadena.

---

<p><b>Diseño de un esquema de distribución colaborativo en la cadena de suministro de una empresa fabricante de insumos médicos.</b></p>	<p>(Betin y Gomez, 2009)</p>	<p>El proyecto se centra en la búsqueda de soluciones a problemas de coordinación en la CS, mediante el diseño de procesos entre eslabones (fabrica- distribuidor) que permitan la implementación de estrategias de distribución colaborativa.</p>
<p><b>Diagnóstico de prácticas Colaborativas en la cadena de Suministro de una empresa de salud.</b></p>	<p>(Castro et al., 2009)</p>	<p>En la investigación se proponen dos modelos complementarios para mejorar las dificultades en las cadenas de suministro, el DFA (análisis de flujo de datos) y el IDEFO (definición de integración para modelado de funciones) para los eslabones fabricantes y distribuidores.</p>
<p><b>Cadenas de suministro tradicionales y colaborativas.</b></p>	<p>(Campuzano et al., 2010)</p>	<p>Se analizan las ventajas y desventajas de la utilización de una estructura tradicional y colaborativa, estas se modelan utilizando la metodología de la dinámica de sistemas y se simula en el programa vensim.</p>
<p><b>Herramienta informática para el proceso de</b></p>	<p>(Diaz et al., 2010)</p>	<p>El resultado de la investigación es una herramienta informática que</p>

---

**planificación colaborativa  
en cadenas de suministro.**

brinda soporte al usuario en el análisis, caracterización y toma de decisiones apoyándose en modelos de programación matemática.

**Secure collaborative  
supply chain planning and  
inverse optimization –  
The  
JELS model**

(Pibernik et al.,  
2011)

En este trabajo se muestra como la computación multi- party segura, la cual es una técnica criptográfica puede ser empleada con éxito en la toma de decisiones manteniendo la información de los miembros de una cadena de suministro, segura y privada.

**Knowledge sharing in  
collaborative supply  
chains: twin effects of  
trust and power.**

(Cai et al., 2013)

Este trabajo contribuye a la literatura y confirma que el intercambio de conocimiento en las cadenas de suministro es fundamental para el rendimiento de una red de colaboración, por medio de la recolección de información de 800 empresas entren grandes, medianas y pequeñas.

**Integration model of  
collaborative supply chain**

(Fernández-  
Lambert et al.,  
2015)

Se presentó un modelo de integración de cadenas de suministro colaborativas,

---

<p><b>A service-oriented framework for agent-based simulations of collaborative supply chains</b></p>	<p>(Dorigatti et al., 2016)</p>	<p>considerando los aspectos estratégicos, tácticos y operativos.</p> <p>Se realiza una simulación para soportar las interacciones colaborativas en las cadenas de suministro.</p>
<p><b>A framework of Performance Assessment of Collaborative Supply Chain:</b></p>	<p>(Inaam et al., 2016)</p>	<p>Se realiza la caracterización y un modelo analítico para evaluar el desempeño de las dimensiones de las cadenas de suministro.</p>
<p><b>Matriz de selección de estrategias de integración en las cadenas de suministro</b></p>	<p>(Acevedo et al., 2017)</p>	<p>Aborda la importancia de una estrategia de planificación colaborativa para el logro de la integración en las cadenas de suministro.</p>
<p><b>The Effect of Trust in Supply Chain on the Firm Performance through Supply Chain Collaboration and Collaborative Advantage</b></p>	<p>(Ezgi Şahin et al., 2017)</p>	<p>Se demostró la confiabilidad en las cadenas de Suministro colaborativas para la oferta.</p>
<p>(Sana et al., 2017)</p>		

---

<p><b>Collaborative Model on the Agro-Industrial Supply Chain of Cocoa</b></p>	<p>Se propone un modelo de optimización de dos niveles para los centros de producción y recolección para lograr los máximos beneficios de los miembros del canal.</p>
<p><b>A Monitoring Framework of Collaborative Supply Chain for Agility</b> <b>The value of lead time reduction and stabilization: A comparison between traditional and collaborative supply chains</b></p> <p>(Jiang et al., 2017)</p> <p>(Ponte et al., 2018)</p>	<p>Se realiza una comparación de modelos para detectar desviaciones o propagación de desviaciones.</p> <p>Este trabajo cuantifica el impacto financiero de la media y la variabilidad de los plazos de producción y envío en las cadenas de suministro de niveles múltiples.</p>
<p><b>Enterprise benefit game model of collaborative supply chain in logistics industry park</b></p> <p>(Feng, 2018)</p>	<p>Se construye un modelo de optimización para la programación colaborativa.</p>
<p><b>Tactical supply planning in smart manufacturing supply chain</b></p> <p>(Oh y Jeong, 2019)</p>	<p>Se construye Modelo de planificación de suministro táctico para encontrar una compensación óptima entre las ganancias y el tiempo de entrega</p>

Fuente: Elaboración propia 2020.

#### 4.8 Modelos matemáticos para CS colaborativas

En la siguiente tabla se muestran algunas investigaciones donde se realizan modelos matemáticos en las cadenas de suministro colaborativas:

**Tabla 4**

*Modelos matemáticos en las cadenas de suministro colaborativas*

título	autor y año	modelo matemático
<p><b>Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro</b></p>	<p>(Garza y Gonzáles, 2004)</p>	<p>En este trabajo se propone un modelo matemático multiobjetivo que permite satisfacer las demandas de los clientes determinado la cantidad de los recursos necesarios para llevar a cabo la producción, lo cual redundará en minimizar los niveles de inventario.</p>
<p><b>An optimal solution to a three-echelon supply chain network with multi-product and multi-period.</b></p>	<p>(Cárdenas-Barrón y Treviño-Garza, 2014)</p>	<p>Se desarrolla un modelo matemático para la optimización de una red de cadena de suministro de tres niveles con programación lineal entera. Para resolverlo, se aplican cinco algoritmos, cuatro de los cuales se basan en una de optimización de enjambres de partículas y el otro es un algoritmo genético.</p>

<p><b>Modeling collaboration formation with a game theory approach.</b></p>	<p>(Arsenyan et al., 2015)</p>	<p>Modelo matemático que integra confianza, coordinación, aprendizaje compartido y dimensiones de la co-innovación.</p>
<p><b>A bilevel programming model for corporate social responsibility collaboration in sustainable supply chain management</b></p>	<p>(Hsueh, 2015)</p>	<p>Se realiza un análisis con el enfoque de Nash Bargaining para investigar el efecto de varios parámetros en la formación de la colaboración, así como en la distribución de los ingresos.</p>
<p><b>A mathematical programming model for integrating production and procurement transport decisions</b></p>	<p>(Díaz-Madroñero et al., 2017)</p>	<p>Modelo de programación de dos niveles en el que el director de la cadena de suministro determina los niveles óptimos de rendimiento de la responsabilidad social de las empresas y compensación para todos los actores de la SC, maximizando así los beneficios totales de la SC.</p>
<p><b>Modelo de programación matemática para integrar las decisiones de planificación del transporte de producción y aprovisionamiento en los sistemas de fabricación en un modelo de</b></p>	<p></p>	<p></p>

optimización único. Considera simultáneamente los materiales, las capacidades de los recursos de producción y las decisiones de planificación del transporte en la cadena de suministro para evitar resultados subóptimos, que normalmente se generan debido a la aplicación de planes secuenciales e independientes.

**Collaborative Model on the Agro-Industrial Supply Chain of Cocoa**

(Sana et al., 2017)

Se realiza un modelo matemático para la planificación, teniendo en cuenta a quienes participan en la cadena de suministro colaborativas, con el fin de maximizar las utilidades y reducir los costos; y se contribuya a la toma de decisiones.

**Integrating lean systems in the design of a sustainable supply chain model**

(Das, 2018)

Integrar aplicaciones de sistemas esbeltos en el diseño de un modelo para planificar y mejorar el rendimiento de sostenibilidad de la cadena de suministro. El estudio define e identifica antecedentes, facilitadores e ingredientes del

suministro sostenible basada en la literatura. También identifica las prácticas y resultados de los sistemas basados en Lean que pueden ser aplicados

**Enterprise benefit game  
model of collaborative  
supply chain in logistics  
industry park**

(Feng, 2018)

Se construye un modelo de optimización multiobjetivo de programación colaborativa para el problema realizando un análisis a partir de la frontera de Pareto construida.

**Integration of parts  
transportation without  
cross docking in a supply  
chain**

(Shaelaie et al., 2018)

Se evalúan dos modelos de programación de números enteros lineales, que comparan los valores integrados de modelo de transporte con el no integrado. Con el fin, de determinar un cronograma para la integración de los proveedores. El transbordo de productos para minimizar el costo total, que incluye los costos de transporte y de inventario, en función del ritmo de producción de los proveedores y de las exigencias diarias de los clientes.

**Integrating harvesting  
decisions in the design of  
agro-food supply chains**

(Jonkman et al., 2019)

El modelo general se aplica a un estudio de caso de la cadena de procesamiento de la remolacha azucarera en los Países Bajos. Con el objetivo de maximizar el margen bruto total y minimizar el potencial de calentamiento global en CO<sub>2</sub>-eq. Las incertidumbres en la demanda y el rendimiento de la cosecha se tienen en cuenta utilizando una versión estocástica del modelo. Los resultados muestran que un modelo de diseño de la cadena de suministro adaptado a las características específicas de una cadena de suministro agroalimentario con sus incertidumbres conduce a la identificación de configuraciones de la cadena de suministro de mejor rendimiento.

---

Fuente: Elaboración propia 2020.

#### **4.9 Programación entera mixta en cadenas de suministro.**

Hiller y Lieberman (2010), definen la programación entera mixta (PEM) como una de las técnicas de optimización más importantes de la investigación de operaciones, la cual utiliza un modelo programación matemática para describir el problema a través de la consideración de

variables de decisión que tengan valores enteros y el supuesto de divisibilidad se cumple para el resto (Hillier y Lieberman, 2010).

En la investigación “modelación cadenas de suministro mediante programación entera” realizada por Romero A. (2012), puntualiza que la PEM puede contener a los distintos tipos de programas enteros, en donde comprende un conjunto de variables reales, enteras y parámetros. La función objetivo, así como las restricciones, son una suma de varias funciones lineales. De este modo, la PEM satisface supuestos como divisibilidad estableciendo que cada una de las variables continuas ( $x_j \geq 0$ ) puede tomar cualquier valor real. De igual forma, integralidad donde cada una de las variables enteras puede únicamente tomar valores enteros positivos o valores binarios (Romero, 2012).

Según Morales, Soto y Sarache (2015), en su estudio modelo de programación lineal entera mixta para el corte, carga y transporte de caña de azúcar. Propone un modelo para optimizar los costos en las operaciones de corte, carga y transporte para determinar la cantidad de máquinas y trabajadores para satisfacer los requerimientos de la planta de biocombustible. Con el objetivo de minimizar los costos de asignación de equipos, de transporte y costos de penalización por demanda no satisfecha y por ociosidad de los equipos disponibles. Obteniendo como resultado un porcentaje promedio de disminución de costos del 11% al ser comparados con los costos actuales de la empresa. (Morales-chávez et al., 2016)

Pant. A, Singh. A, Pandey. U y Purohit. R. (2017) Proponen un modelo de programación lineal de números enteros mixtos para abordar el problema del diseño de cadenas de suministro de circuito cerrado (CLSC). Con el fin, de minimizar el costo total que engloba cuatro escalones (proveedores, fabricantes, centros de distribución y cliente). Para validar el modelo utilizaron como guía los métodos de Branch y Bound. (Pant et al., 2018)

Adicionarme, Madankumar y Rajendran (2019) formulan un modelo de programación lineal entera mixta para resolver el problema de enrutamiento del vehículo con entrega y recolección simultánea limitado por los plazos, para optimizar el rendimiento y la capacidad de respuesta de

la cadena de suministro, mediante el transporte de mercancías de un lugar a otro en forma eficiente. La evaluación pertinente consiste en una comparación entre el PEM propuesto y un modelo de PEM disponible en la literatura considerando flota heterogénea. El resultado obtenido demuestra que el modelo propuesto se desempeña mejor y es más competitivo en términos de tiempo de ejecución (Madankumar y Rajendran, 2019).

#### **4.9.1 Programación entera mixta en cadenas de suministro agropecuarias.**

He y Wang (2013) en la investigación “modelo mixto basado en la cadena de suministro agrícola sobre la teoría de incentivos”, se centra en la importancia que cumplen los agricultores y las empresas que fabrican productos agrícolas, en el proceso de elaboración de productos agrícolas. Por lo tanto, se hizo necesario organizar la cadena de suministro agrícola, por medio de la técnica de teoría de incentivos y el agente. La teoría de los incentivos es una especie de método para diseñar un contrato entre el principal y el agente. Se utiliza para reducir la selección adversa y el riesgo moral, existente en la cadena de suministro agrícola. De tal modo, el agente se refiere a un agricultor y el principal a un producto agrícola. Ahora bien, se plantea un modelo de programación entera mixta con el objetivo de aumentar los beneficios de toda la cadena de suministro teniendo en cuenta los intereses de las dos partes. El resultado muestra que el enfoque del director en la detección del tipo de agente y la eficiencia operativa debe modificarse en función de los factores adversos (He y Wang, 2013)

Por otra parte, Albornoz, Gonzales, Gripe y Rodríguez (2014) formulan un estudio de modelo de programación lineal de números enteros mixtos para la planificación a nivel operativa en una planta frigorífica, se estipula el estudio de la carne de cerdo, que ha enfrentado varios retos relacionados con la demanda de los consumidores en materia calidad, seguridad, medio ambiente, precios bajos y sostenibilidad del producto. Por lo tanto, se procura organizar la cadena de suministro por medio de la integración o colaboración de los productores de cerdo, mataderos, plantas de empacado de carne y otras partes interesadas para mejorar la competitividad de la cadena y rentabilidad del mercado. Una de las problemáticas consiste en determinar los niveles de producción de cada producto y su determinado inventario. De tal modo, se plantea un modelo

---

matemático de programación entera mixta, con algunas percepciones de un análisis de sensibilidad desarrollado sobre algunos parámetros que experimenten variaciones, como la distribución del tipo de canales que llegan al frigorífico (Albornoz et al., 2014).

En la investigación de Banasik, Kane y Claassen (2016) titulado, Cierre de circuitos en las cadenas de suministro agrícola mediante la optimización multiobjetivos: estudio de caso de una cadena de suministro de hongos industriales. Se expone el interés por el medio ambiente, la escasez de recursos y la relevancia de los responsables de la toma de decisiones en la cadena de suministro para inducir alternativas de producción que incluyan la prevención, reutilización y reciclado de residuos. Por tanto, se utilizó la técnica de cierre de circuitos en las cadenas de suministro de hongos. Por lo cual, se propone un modelo multiobjetivo de programación lineal entera mixta para cuantificar las compensaciones comerciales entre indicadores económicos y medio ambientales, explorando tecnologías alternativas de reciclado. Los resultados muestran que la tecnología de cierre de circuito en la producción industrial de hongos ha sido un éxito, para aumentar la rentabilidad total de la cadena de suministro aproximadamente en un 11%. Sin embargo, al evaluar el rendimiento medioambiental se obtuvo que se requieren herramientas cuantitativas que optimicen la gestión de decisiones a nivel estratégico y táctico (Banasik et al., 2017).

## 5. Metodología

La presente investigación es de carácter cuantitativo, desarrollada en el municipio de San Marcos, Sucre; con una muestra de 3 productores de piña registrados en la zona. Metodológicamente se realizó en cuatro fases. La primera corresponde a una caracterización actual de los eslabones de producción y distribución de la piña en San Marcos para realizar un marco referencial sobre los principales modelos colaborativos y la construcción de un instrumento para la recolección de datos con el objetivo de evaluar el modelo que se proyecta a construir (Apéndice Ay B). La segunda fase consiste en la construcción del modelo matemático colaborativo para la cadena de suministro, permitiendo calcular el beneficio total que se da en torno a los eslabones. Seguido, en la fase tres, se lleva a cabo la validación del modelo, construido con base en datos obtenidos de la literatura. Finalmente, en la fase cuatro, se da la evaluación del modelo, utilizando los datos obtenidos en la primera fase como parámetros clave para alimentar el modelo y obtener así resultados reales en la cadena de suministro de la piña.

**6. Diagnostico actual de la cadena de suministro de piña en San Marcos, Sucre**  
**6.1 Generalidades del municipio de San Marcos**

Para referirse al municipio de San Marcos, primero se inicia con la ubicación, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 9. Mapa político del Departamento de Sucre. Adaptado de: SIGAG, 2012.

El municipio de San Marcos se encuentra ubicado en Colombia, al Suroeste del Departamento de Sucre entre la extensa región de las sabanas del caribe colombiano y la región de La Mojana; limitando por el Norte con los municipios de Caimito y La Unión Sucre, por el Este con los municipios de San Benito Abad y Caimito Sucre, por el Sur con el departamento de Córdoba y por el Oeste con el municipio de la Unión y el departamento de Córdoba. San Marcos está dividido en 11 corregimientos, 40 veredas y numerosos caseríos, bañado por diferentes Ciénegas, el Rio San Jorge y sus afluentes. Para el 2015 el municipio contaba con una población total de 57.071 dentro de la cual el 33.629 pertenece a la zona urbana y el 23.442 a las zonas rurales (Sierra, 2019). (Figura 9).

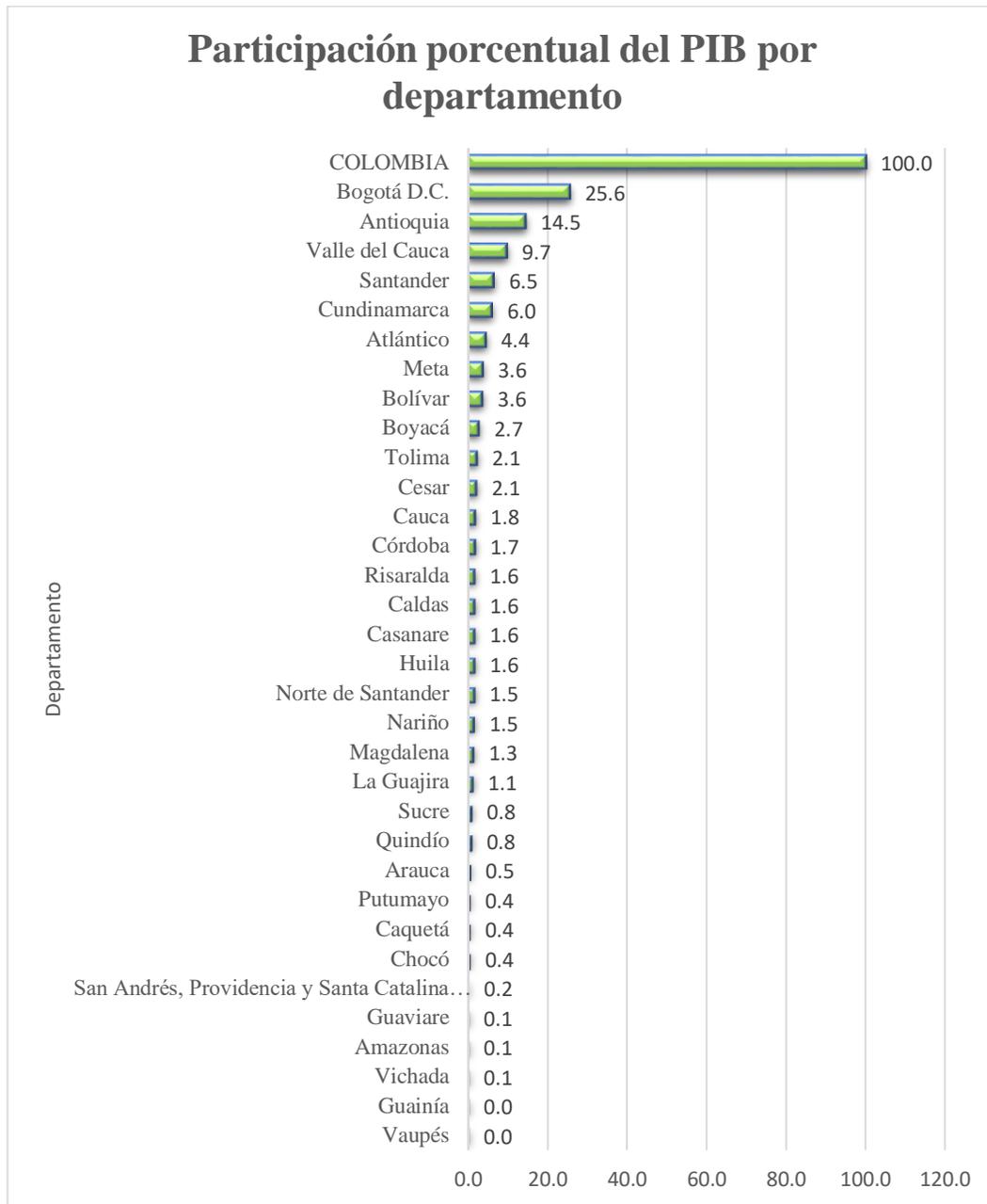
San Marcos se caracteriza por ser un municipio de riqueza agrícola, minera, ganadera y pesquera, por eso su escudo simboliza la riqueza agrícola mediante la planta de maíz y arroz, la riqueza minera por una torre de gas natural, la riqueza ganadera por una cabeza de ganado vacuno. También, se encuentra el sol que representa la vida y en su centro un pergamino que contiene la historia, costumbre y tradición. Además, el fondo azul con un pez mostrando su riqueza pesquera, ríos, ciénegas, caños y arroyos. De igual manera se encuentran el bicolor municipal y tricolor nacional (Alcandía de San Marcos, 2018). (figura 10).



**Figura 10.** Escudo de San Marcos, Sucre. Fuente: (Alcandía de San Marcos, 2018)

### **6.1.1 Economía de San Marcos.**

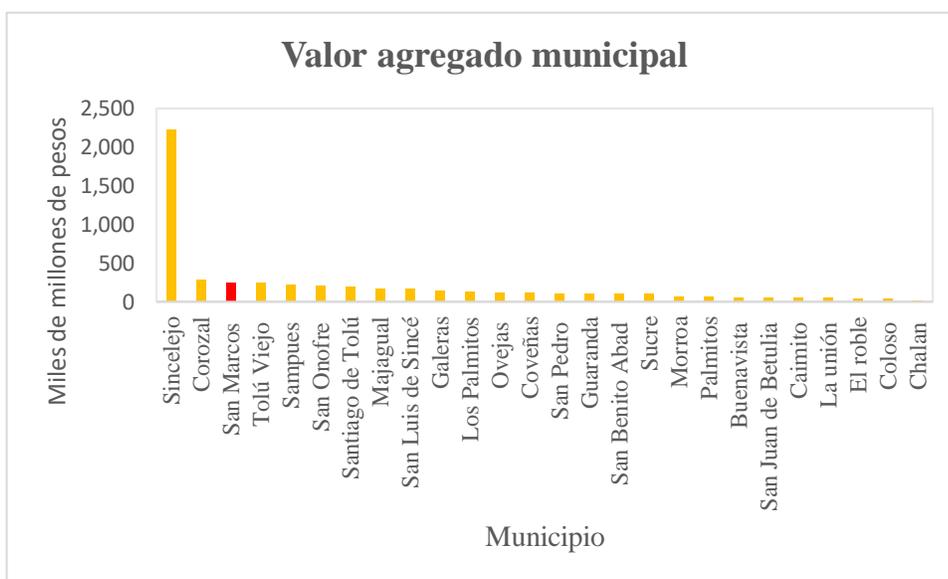
Para referirse al entorno económico del municipio de San Marcos, es necesario analizar el estado en el que se encuentra el Departamento de Sucre frente a la economía del país teniendo en cuenta su aporte al PIB (producto interno bruto) nacional. En el 2018, el PIB del departamento fue de 978.477 miles de millones de pesos, con una participación porcentual de 0,8% frente al nacional (Figura 11). Lo anterior, lo hace ocupar el lugar número 22 de 32 departamentos de Colombia, incluyendo el DC (Distrito capital) según las cuentas nacionales del DANE actualizadas el 25 de junio de 2019. Por lo tanto, Sucre no se encuentra en el mejor lugar frente a la economía nacional, e incluso, esto lo hace uno de los departamentos más necesitados del país.



**Figura 11.** Participación porcentual del producto interno bruto por departamento. Adaptado de:(DANE, 2019)

Ahora bien, según la ley 1551 de 2012, “se entiende por importancia económica el peso relativo que representa el producto interno bruto de cada uno de los municipios dentro del

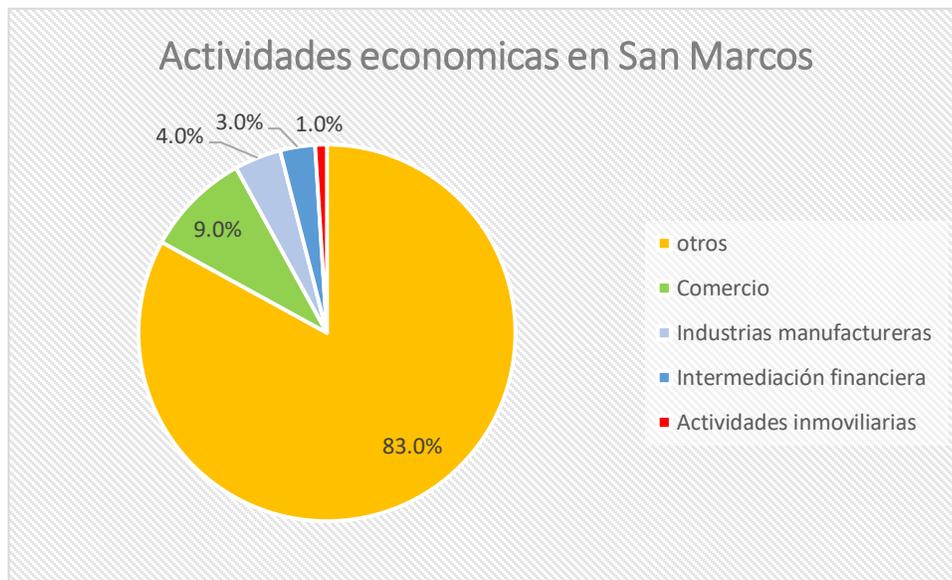
departamento”. Por lo cual, teniendo en cuenta el nivel municipal, no es posible medir el PIB por municipios y se estudia el “peso relativo” siendo la distribución del valor agregado del departamento entre cada uno de sus distritos y municipios (DANE, 2016). Teniendo esto en cuenta, San Marcos se encuentra en el puesto número 3 de 26 municipios del Departamento de Sucre con 249 (miles de millones de pesos) haciéndolo uno de los municipios más importantes para la economía de Sucre (DANE, 2015). (Figura 12).



**Figura 12.** Distribución del valor agregado en el departamento de Sucre. Adaptado de: (DANE, 2015)

El desempleo es uno de los grandes problemas sociales y económicos que afectan a San Marcos, ya que no se cuenta con suficientes ofertas laborales para construir una comunidad económicamente activa. Lo anterior, se encuentra ligado a la informalidad a la hora de trabajar, pocas oportunidades, mala remuneración laboral y poca planeación estratégica para formar empresas con un largo ciclo de vida, lo cual genera un alto nivel de pobreza en el municipio. La estructura económica de este, muestra debilidades con respecto a la existencia de empresas que generen empleo productivo, las microempresas se encuentran en un estado de crecimiento en donde la mayoría se dedican a la producción de arroz y panela (Ortega, 2015).

Las principales fuentes de empleo están constituidas por el comercio, empleos informales y el mototaxismo como transporte ilegal. En las zonas rurales está ligada al sector agrícola, en su gran mayoría con el cultivo de arroz como principal actividad económica junto con otros cultivos de diferentes especies agrícolas, de los cuales también se benefician algunas personas de la zona urbana, las grandes oportunidades se concentran en la agricultura, la ganadería y la pesca (Ortega, 2015). (Figura 13).



**Figura 13.** Concentración de actividades económicas en San Marcos. Fuente:(Sierra, 2019)

### 6.1.2 Economía del sector agrícola de San Marcos.

la presencia de grandes humedales en el municipio de San Marcos, Sucre ha generado con el pasar de los años una gran fuente de ingresos para muchos de sus habitantes, los cuales se benefician de estos con sus “servicios ecosistémicos” que participan en el mejoramiento de los cultivos con insumos naturales para los diferentes productos agrícolas y la ganadería, siendo también, un hábitat importante para la fauna y una zona estratégica para el desarrollo de actividades económicas de sus habitantes. De esta manera San Marcos se convierte en uno de los municipios de sucre más imponentes para la agricultura (Linares y Ramirez, 2018).

Según las dimensiones económicas de la agricultura en San Marcos, los cultivos alimentarios tradicionales siguen ocupando la mayor proporción del área sembrada. Existen zonas con un alto potencial en arroz, maíz, yuca, ñame y patilla, las cuales se constituyen en un polo de desarrollo agroindustrial. Sin embargo, la producción agrícola se caracteriza por la ausencia de cadenas productivas y alianzas estratégicas, lo cual sigue conllevando a la desarticulación de la producción y el mercado, existe una gran producción de alimentos y un terreno con grandes capacidades y vitalidad agrícola, pero poca organización del sector para fortalecer la economía (Ortega, 2015).

La producción de arroz es una de las actividades que más se realiza en esta zona del Departamento de Sucre y en el cual se realiza mayor inversión de tecnologías para el secado, La yuca también es uno de los cultivos con mayor prominencia, de carácter tradicional y gran producción doméstica, pero con bajos niveles tecnológicos, el ñame es uno de los cultivos tradicionales con una producción poco significativa dentro de la producción total municipal, el maíz se encuentra en los cultivos tradicionales de carácter transitorio con un auge de siembra en diferentes corregimientos del municipio, mientras que la patilla representa un nivel bajo y poco representativo para el sector (Ortega, 2015). Dentro de cada una de las especies de cultivo se encuentran diferentes tipos o diferentes mecanismos de producción, tratamiento de cosecha y sistemas de siembra, dependiendo de ello reciben su nombre característico, por ejemplo, el arroz tiene su proceso por medio del secado manual o mecanizado y de esta forma se puede distinguir, por ejemplo, la yuca se maneja como yuca asocio o industrial.

En la siguiente tabla 5 y figura 14, se dan a conocer algunos de los cultivos que se llevan a cabo en San Marcos, mostrando su área de siembra, rendimiento y producción para el año 2017 (Secretaria de Desarrollo Económico, 2017). Cada cultivo aporta a la economía de San Marcos, dado que son actividades que a lo largo generan utilidades a los productores y al municipio:

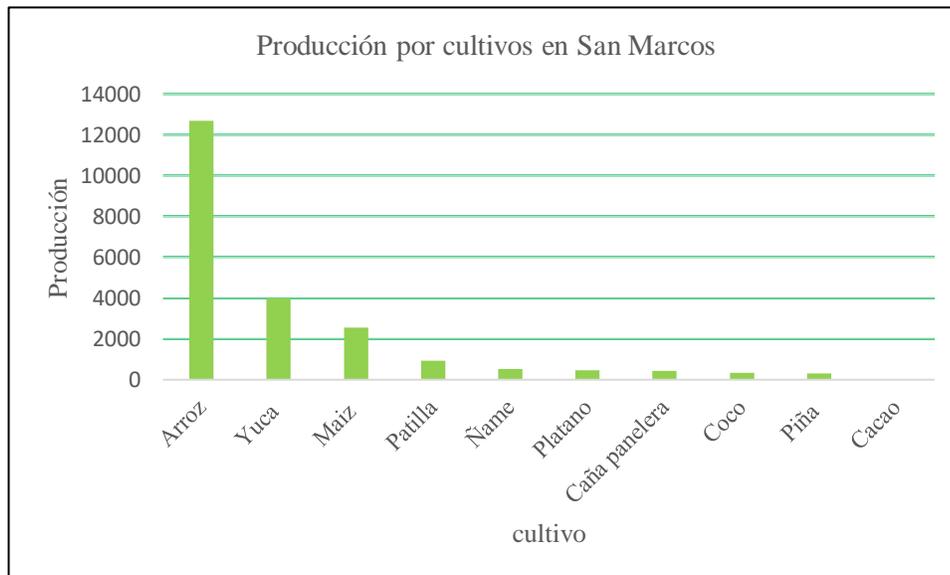
**Tabla 5**

*Cultivos en San Marcos, Sucre-2017*

<b>Cultivo</b>	<b>Área sembrada(has)</b>	<b>Rendimiento (Ton/has)</b>	<b>producción (Ton)</b>
----------------	-------------------------------	----------------------------------	-----------------------------

<b>Arroz</b>	4600	11.30	12690
<b>Yuca</b>	500	8	4000
<b>Ñame</b>	65	8	520
<b>Maíz</b>	1530	7.50	2545
<b>Patilla</b>	115	16	920
<b>Cacao</b>	22	2	16
<b>Caña panelera</b>	93	4.8	422
<b>Coco</b>	43	7	329
<b>Palma de aceite</b>	600	en desarrollo	
<b>Piña</b>	14	40	320
<b>Plátano</b>	69	7	455

Fuente: Elaboración propia 2020.



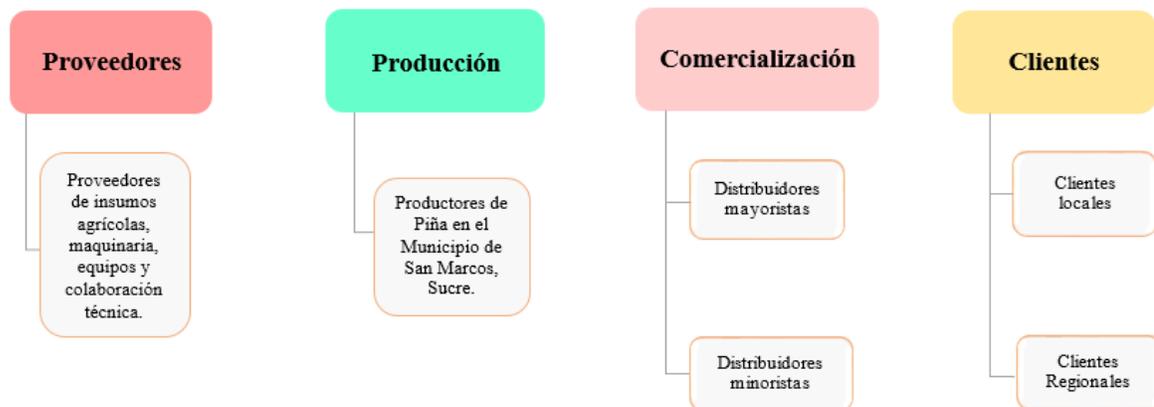
**Figura 14.** Cultivos en San Marcos, Sucre-2017. Fuente: (Secretaría de Desarrollo Económico, 2017)

Como se mencionó anteriormente, San Marcos cuenta con un territorio rural caracterizado por la vocación agrícola por sus tierras con un gran potencial para la agricultura. Sin embargo, la mayoría de las actividades agrícolas presentan baja productividad, en lo que influye la mala organización para llevar a cabo cada una de ellas, deficiente gestión y escasa utilización de herramientas tecnológicas; en la mayoría de los casos los cultivos se realizan con productos de corto ciclo, teniendo en cuenta los beneficios que traen algunos de ellos en poco tiempo; una la menor inversión y corto plazo para su recuperación. Además, el municipio presenta una leve disminución en la siembra de los principales cultivos por la falta de recursos económicos para invertir en la producción agrícola (Ortega, 2015).

## 6.2 Cultivo de piña en San Marcos

### 6.2.1 Cadena de suministro actual del municipio de San Marcos.

La cadena de suministro de la piña en San Marcos es de gran relevancia para la economía de Sucre. Por lo cual, se realiza una revisión de las principales características de los eslabones que la conforman. (Figura 15).



**Figura 15.** *Eslabones de la cadena de suministro de piña en San Marcos, Sucre. Fuente: propia*

### ***6.2.1.1 Proveedores.***

El eslabón de proveedores es de gran relevancia en toda la cadena de suministro de piña, actuando de manera notoria entre eslabones y permitiendo ofrecer productos con requerimientos necesarios por el fabricante. Los proveedores son los encargados de suministrar los insumos agrícolas y servicios técnicos utilizados en la producción de la piña. Por tanto, proveen la cantidad de semilla necesaria para sembrar, los agroquímicos y fertilizantes utilizados en la preservación del cultivo, maquinaria agrícola para fertilizaciones y fumigaciones, material para recolección y empaque de la piña, etc.

### ***6.2.1.2 Productores.***

Este eslabón es el encargado de desenvolver las actividades necesarias para la producción de piña participando en acciones como la siembra de semillas, manutención del cultivo, cosecha y recolección de la piña. En el municipio de San Marcos la variedad de piña cultiva es la Oro miel (Figura 16), quien posee más contenido de azúcares que otras variedades, lo que concede un buen sabor y aroma. Además, es de gran aceptación a nivel mundial para el consumo; la forma es simétrica y uniforme, con una pulpa de color amarillo brillante que la hace resaltar dándole una característica atractiva en el mercado. (DANE, 2016)



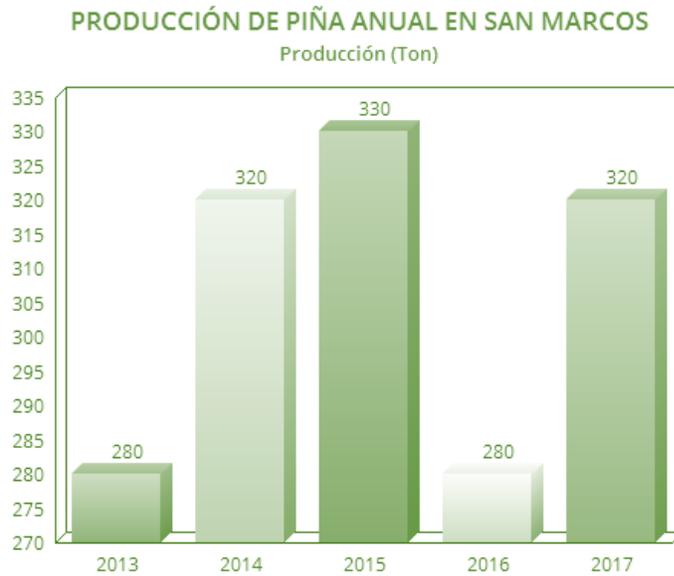
*Figura 16. Variedad de Piña oro miel. Fuente: DANE 2016*

Ahora bien, en los cultivos de piña de este municipio la protección del fruto es indispensable para el manejo de la plantación y se debe tener en cuenta la radiación solar que se presenta en los cultivos para impedir quemaduras en los frutos. Para controlar este problema los productores cubren las plantas con papel periódico para reducir la afectación y pérdida de valor comercial.

Otro aspecto relevante es el almacenamiento del fruto, el cual es de forma artesanal, conservando las frutas en lugares contruidos al nivel de las fincas. Lo cual, expone el producto al ataque de plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas que afectan seriamente su calidad.

Con respecto a la producción, en San Marcos se encuentran pequeños y medianos productores de piña (3 productores) que poseen algunas hectáreas para realizar cultivos, ubicados en los corregimientos de Buenavista y Cañaguatè.

Teniendo en cuenta lo anterior, la producción de piña oro miel del Municipio de San Marcos, Sucre a corte de 2017, es de 160.000 unidades de Piña, equivalente a 320 toneladas, con un rendimiento de 40 t/ha distribuidas en los Corregimientos (DANE, 2017). (Figura 17).



**Figura 17.** Producción de piña anual en el municipio de San Marcos, Sucre.

Fuente: (DANE. 2017)

### 6.2.1.3 Comercialización.

Este importante eslabón en la cadena de suministro de la Piña en San Marcos, es una etapa importante por ser el punto de contacto con el consumidor. La comercialización de este producto es impulsada por distribuidores minoristas y mayoristas; en la actualidad se encuentran dos (2) mayoristas ubicados en el mercado municipal de Sincelejo, Sucre y en Planeta Rica. Existen cuatro (4) minoristas ubicados en el Municipio de San Marcos, específicamente fruterías, restaurantes y supermercados. Un aspecto importante que se maneja en la distribución del fruto, es la disponibilidad que tienen los minoristas y mayoristas de trasladarse a los diferentes cultivos en San Marcos para hacer la compra del fruto, De igual forma, los mayoristas pueden vender productos a los minoristas.

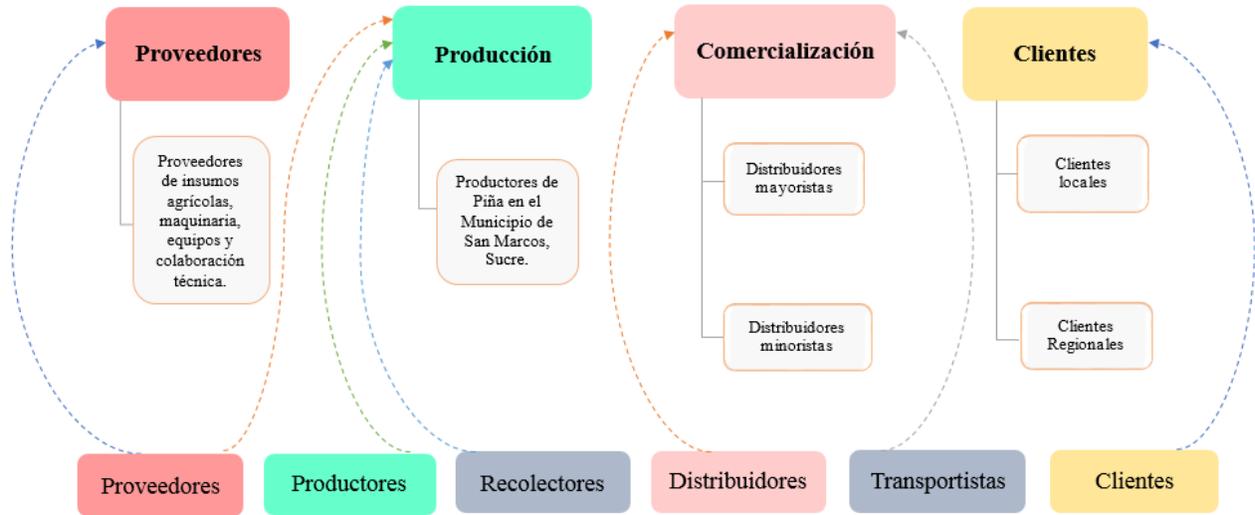
#### **6.2.1.4 Clientes.**

Este eslabón es el último que conforma la cadena de suministro de la Piña en San Marcos y al que se entrega el producto. Es decir, es el fin por el cual se necesita integración de toda la cadena para la satisfacción del cliente. Lo compone clientes regionales y locales.

#### **6.2.2 Actores de la cadena de suministro en San Marcos, Sucre.**

La efectividad de la cadena de suministro es de vital importancia para cualquiera industria, pues si uno de los elementos falla, entonces, se estará afectando el resultado en el servicio al cliente. Por tanto, la cadena de suministro está conformada por actores que son los encargados de coordinar la fabricación y distribución de un producto, según la necesidad específica del mercado. Por consiguiente, debe existir una colaboración en cada uno de los actores, que garantice beneficios cuantificables y estrategias organizacionales de forma rápida, eficiente y eficaz (Mazo et al., 2014).

En relación a lo anterior, la cadena de suministro de Piña en San Marcos, participan actores como los proveedores, productores, recolectores, distribuidores, transportistas, clientes mayoristas y minoristas y cliente final (Figura 18).



**Figura 18.** Relación de actores de la cadena de suministro de la Piña en San Marcos Sucre. Fuente: Propia.

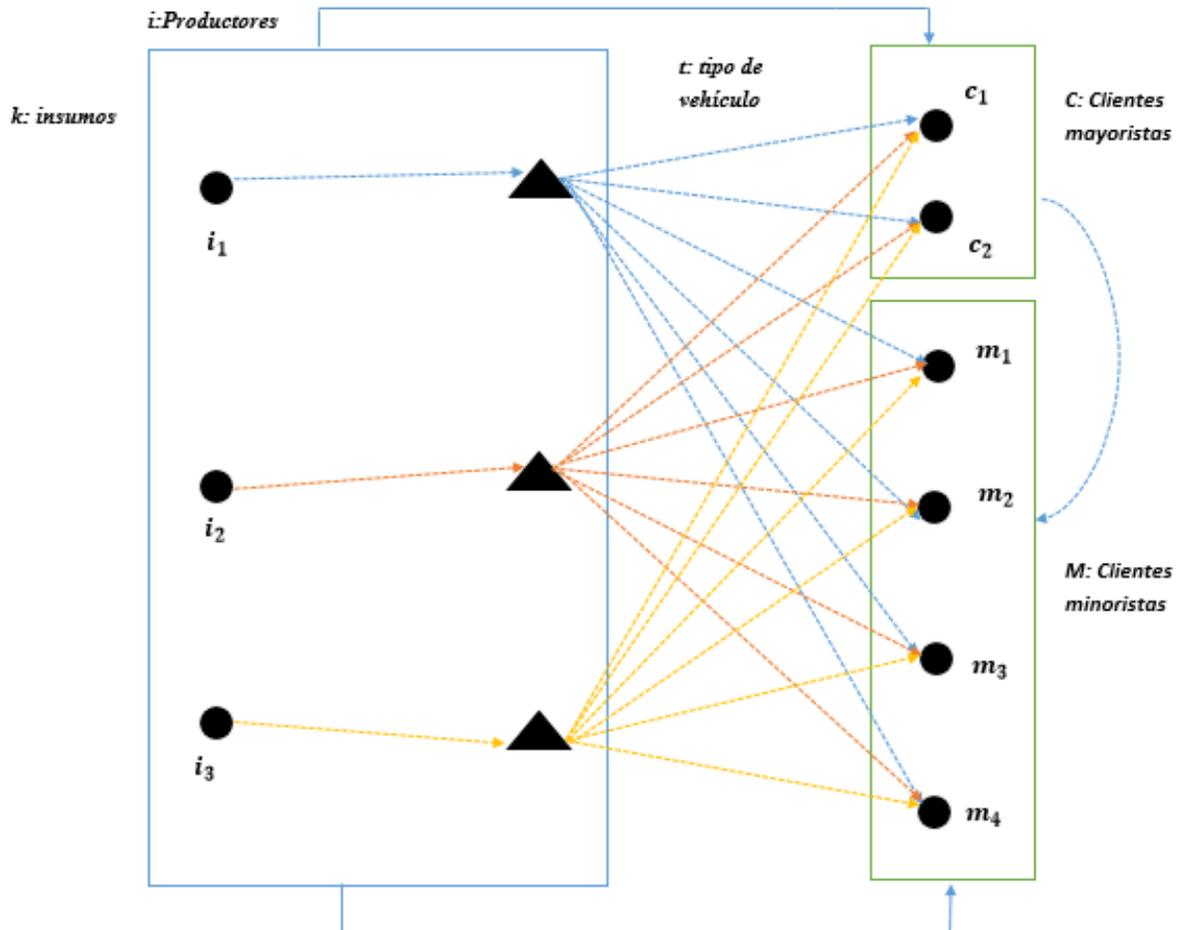
Se describe la relación entre actores de la cadena de suministro de la piña en San Marcos, partiendo del eslabón de proveedores constituidos por los proveedores de insumos agrícolas, maquinaria, equipos y colaboración técnica; los cuales permiten el suministro de productos o servicios necesarios a los productores. Seguido, se encuentra el eslabón de producción compuesto por los productores de piña y recolectores. Los primeros se dedican a desarrollar acciones necesarias para coordinar la siembra, cultivo y cosecha del fruto. Los segundos actúan en la poscosecha de la piña. Además, se localiza el eslabón de comercialización que permite el movimiento físico del producto, conformado por los distribuidores mayoristas, minoristas y transportistas que se encargan de llevar a los clientes locales y regionales el producto.

### 6.3 Modelo conceptual para la cadena de suministro colaborativa de la piña

Teniendo en cuenta los problemas potenciales de organización que enfrenta la cadena de suministro de piña, el objetivo del estudio radica principalmente en diseñar un modelo de planeación colaborativa mediante la programación entera mixta para mejorar la competitividad y maximizar las utilidades de la cadena de suministro de la Piña en el municipio de San Marcos, Sucre. Dentro de esta se analizarán todos sus eslabones tales como producción y distribución, considerando un modelo mono objetivo, con restricciones y discreto. Así como también los actores involucrados en dicha cadena, entre ellos se tienen:

- **Proveedores:** Son los encargados de suministrar los insumos como la semilla, asistencia técnica como el arado y maquinaria y equipos.
- **Productores:** Realizan las actividades necesarias para la producción de piña en San Marcos, como la siembra, cultivo y cosecha del fruto.
- **Transportistas:** Son los encargados de llevar el producto a su destino.
- **Clientes mayoristas:** Son aquellos encargados de llevar el producto en gran cantidad a minoristas.
- **Clientes minoristas:** Actúan llevando la fruta a otros minoristas o cliente final.

A continuación, se ilustra el modelo conceptual de la cadena de suministro de la piña en el Municipio de San Marcos. (Figura 19).



**Figura 19.** Modelo conceptual de la cadena de suministro de la piña en el Municipio de San Marcos.  
Fuente: Propia.

**Supuestos:**

- Se considera transporte desde productores hasta clientes mayoristas y minoristas y desde clientes mayoristas hasta minoristas.

- El almacenamiento contemplado es interno en las diferentes fincas de los productores.
- Se proveen insumos para el cultivo del producto.
- Los datos del modelo están dados en kilogramos de producto.
- Se consideran porcentajes de pérdida en el cultivo de semillas y en el cultivo de piña, de 13% y 7% respectivamente.
- Se consideran los viajes que se realizan desde cada uno de los eslabones para el transporte del producto.

## 6.4 Modelo matemático

### 6.4.1 Conjuntos.

El modelo colaborativo considera cinco tipos de conjuntos:

$i$ : Productores

$c$ : Clientes mayoristas

$m$ : Clientes minoristas

$k$ : Insumos

$t$ : Tipo de vehículo

### 6.4.2 Parámetros.

Los parámetros que alimentan el modelo colaborativo son los siguientes:

$ci_{ik}$ : Costo de insumos desde  $i$  hasta  $k$

$cai_{ik}$ : cantidad de insumo desde  $i$  hasta  $k$

$td1_{ic}$ : tiempo distribución desde  $i$  hasta  $c$

$td2_{im}$ : tiempo distribución desde  $i$  hasta  $m$

$td3_{cm}$ : tiempo distribución desde  $c$  hasta  $m$

$Dist1_{ic}$ : costo de transporte desde  $i$  hasta  $c$

$Dist2_{im}$ : costo de transporte desde  $i$  hasta  $m$

$Dist3_{cm}$ : costo de transporte desde  $c$  hasta  $m$

$ts_i$ : tiempo de secado de la semilla para cada productor  $i$

$trs_i$ : tiempo de recolección de la semilla para cada productor  $i$

$tss_i$ : tiempo de siembra de la semilla para cada productor  $i$

$tcs_i$ : tiempo de cultivo de la semilla para cada productor  $i$

$b1_i$ : porcentaje de pérdida de la semilla por hectarea para cada productor  $i$

$hcs_i$ : area del cultivo semilla para cada productor  $i$

$cs_i$ : costo de semilla para cada productor  $i$

$cpt_i$ : costo de preparación del terreno por hectarea para cada productor  $i$

$nt_i$ : numero semillas cultivadas por trabajador en  $i$

$hcp_i$ : area para cultivo de piña en cada productor  $i$

$tcp_i$ : tiempo cultivo de piña en cada productor  $i$

$tsp_i$ : tiempo de siembra de la piña en cada productor  $i$

$tcp1_i$ : tiempo cosecha de piña en cada productor  $i$

$b2_i$ : porcentaje de pérdida de piña por hectarea en cada productor  $i$

$cmop_i$ : costo mano de obra en cada productor  $i$

$ntk_i$ : numero de piñas por trabajador

$cal_i$ : capacidad de almacenamiento

$tal_i$ : tiempo maximo de almacenamiento

$calp_i$ : costo de almacenamiento

$dem1_c$ : demanda de los cliente mayoristas  $c$  en kilogramos

$dem2_m$ : demanda en cada cliente minorista en kilogramos

$pc1_c$ : precio de venta del producto para cada cliente mayorista  $c$

$pc2_c$ : precio de venta del producto para cada cliente minorista  $m$

$Alm_c$ : capacidad de almacenamieto en  $c$

$calp2_c$ : costo de almanecamiento en  $c$

$Nmax_t$ : número maximo de viajes por cada tipo de vehiculos

$NK_t$ : número de vehiculos por cada tipo

$Q_t$ : capacidad maxima de kilogramos de piña por cada tipo de camión

$SS_t$ : costo de preparacion y alistamiento

$CVV1_{ict}$ : costo de envio hasta los clientes mayoristas en el vehiculo  $t$

$CVV2_{imt}$ : costo de envio hasta los clientes minoristas en el vehiculo  $t$

$CVV2_{cmt}$ : costo de envio desde mayoristas hasta los minoristas en el vehiculo  $t$

$CVV1_{ict} : SS_t + 2CT * NK_t * Dist1_{ic}$

$$CVV2_{imt} : SS_t + 2CT * NK_t * Dist2_{im}$$

$$CVV3_{cmt} : SS_t + 2CT * NK_t * Dist3_{cm}$$

### 7.3.1 Escalares

*as*: area de semilla

*fpp*: factor perdida peso

*vp*: volumen de la piña

*Pep*: peso de la piña en kilogramos

*jrñ*: costo de un jornal

*CT*: costo del transporte por kilogramo

### 6.4.3 Variables.

Este modelo matemático cuenta con las siguientes variables enteras y binarias:

*nts<sub>i</sub>*: número de trabajadores por semilla

*ntp<sub>i</sub>*: numero de trabajadores por piña

*tntp<sub>i</sub>*: numero total de trabajadores a contratar

*V1<sub>ict</sub>*: cantidad de viajes a realizar por el vehiculo de tipo *t* en el arco (*i – c*)

*V2<sub>imt</sub>*: cantidad de viajes a realizar por el vehiculo de tipo *t* en el arco (*i – m*)

*V3<sub>cmt</sub>*: cantidad de viajes a realizar por el vehiculo de tipo *t* en el arco (*c – m*)

*z2<sub>cmt</sub>*: cantidad de producto enviado de un cliente mayorista a uno minorista

*Inv<sub>i</sub>*: cantidad de piña enviada a almacenamiento

$Inv2_c$ : cantidad de piña almacenada por el cliente mayorista

$H_{ict}$  : cantidad de piña en el cultivo vendida al cliente mayorista

$HH_{imt}$ : cantidad de piña en el cultivo vendida al cliente minorista

$caif_{ik}$ : cantidad de insumo para semilla y piña

$tts_i$ : tiempo total del cultivo de semilla

$ttp_i$ : tiempo total del cultivo de piña

$ttcp_i$ : tiempo global del cultivo

$ttc_{ic}$ : tiempo del transporte para llegar al cliente mayorista

$ttc1_{im}$ : tiempo de transporte para llegar al cliente minorista

$V_i$ : cantidad de semilla a solicitar

$X_i$ : cantidad de semilla para cultivar

$Y_i$ : cantidad de piña a producir

$w_i$ : cantidad de piña a cosechar

$bn3_i$  : variable binaria para dar apertura a los costos de preparación si se usa el terreno

#### **6.4.4 Función objetivo.**

En este modelo matemático se plantea una función objetivo con el propósito de maximizar las utilidades en la producción de piña, teniendo en cuenta varios productores y partiendo de las ventas generadas por cada productor. Además, de los costos fijos y variables que influyen en toda la producción, hasta la distribución.

$$\begin{aligned}
 Max Z = & \sum_i \sum_c \sum_t H_{ict} * pc1_c + \sum_i \sum_m \sum_t HH_{imt} * pep * PC2_m + \sum_c \sum_m \sum_t z2_{cmt} * pep \\
 & * pc2_m - \sum_i V_i * cs_i - \sum_i \sum_k caif_{ik} * ci_{ik} - \sum_i cpt_i * bn3_i \\
 & - \sum_i Inv_i * calp_i + Inv_i * 1000 - \sum_i \sum_c \sum_t V1_{ict} * CVV1_{ict} \\
 & - \sum_i \sum_m \sum_t V2_{imt} * CVV2_{imt} - \sum_i tsp_i + tcp_i * 30 * ntp_i * jrn - \sum_i tss_i \\
 & + trs_i + tsc_i + TS_i * 30 * nts_i * jnr - \sum_c Inv2_c * calp2_c + Inv2_c * PC1_c \\
 & - \sum_c \sum_m \sum_t V3_{cmt} * CVV3_{cmt} \tag{1}
 \end{aligned}$$

**6.4.5 Restricciones.**

$$V_i * as \leq hcs_i * bn3_i \quad \forall_{i < 1} \tag{2}$$

$$tss_i + trs_i + tcs_i + ts_i = tts_i \quad \forall_i \tag{3}$$

$$V_i - V_i * b1_i = X_i \quad \forall_i \tag{4}$$

$$V_i / nt_i = nts_i \quad \forall_i \tag{5}$$

$$cai_{ik} * V_i * as = caif_{ik} \quad \forall_i, \forall_{k < 4} \tag{6}$$

$$Y_i * as \leq hcp_i * bn3_i \quad \forall_i \tag{7}$$

$$Y_i \leq X_i \quad \forall_i \tag{8}$$

$$tsp_i + tcp_i + tcp1_i = ttp_i \quad \forall_i \tag{9}$$

$$Y_i - Y_i * b2_i = w_i \quad \forall_i \tag{10}$$

$$cai_{ik} * Y_i * as = caif_{ik} \quad \forall_i, \quad \forall_{k>3} \quad (11)$$

$$Y_i / ntk_i = ntp_i \quad \forall_i \quad (12)$$

$$\sum_c H_{ict} + \sum_m HH_{imt} + Inv_i = w_i \quad \forall_i, \quad \forall_t \quad (13)$$

$$nts_i + ntp_i = tntp_i \quad \forall_i \quad (14)$$

$$ttcp_i = ttp_i + tts_i \quad \forall_i \quad (15)$$

$$tal_i + td1_{ic} = ttc_{ic} \quad \forall_i, \quad \forall_c \quad (16)$$

$$tal_i + td2_{im} = ttc1_{im} \quad \forall_i, \quad \forall_m \quad (17)$$

$$Inv_i * vp \leq cal_i \quad \forall_i \quad (18)$$

$$\sum_i (H_{ict} * pep - H_{ict} * fpp * td1_{ic}) - dem1_c \leq Alm_c \quad \forall_c, \quad \forall_t \quad (19)$$

$$\sum_m (z2_{cmt} * pep - z2_{cmt} * fpp * td3_{cm}) \leq Inv2_c \quad (20)$$

$$Inv2_c = \sum_i \sum_t (H_{ic} * pep - H_{ict} * fpp * td1_{ic}) - dem1_c \quad \forall_c \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & \sum_i \sum_t (HH_{imt} * pep - HH_{imt} * fpp * td2_{im}) \\ & + \sum_c \sum_t (z2_{cnt} * pep - z2_{cnt} * fpp * td3_{cm}) = dem2_m \quad \forall_m \quad (22) \end{aligned}$$

$$\sum_i \sum_c V1_{ict} + \sum_i \sum_m V2_{imt} + \sum_c \sum_m V3_{cmt} \leq NK_t * Nmax_t \quad \forall_t \quad (23)$$

$$H_{ict} * pep \leq Q_t * V1_{ict} \quad \forall_i, \quad \forall_c, \quad \forall_t \quad (24)$$

$$HH_{imt} * pep \leq Q_t * V2_{imt} \quad \forall_i, \quad \forall_m, \quad \forall_t \quad (25)$$

$$Z2_{cmt} * pep \leq Q_t * V3_{cmt} \quad \forall_c, \quad \forall_m, \quad \forall_t \quad (26)$$

$$nts_i, ntp_i, tntp_i, V1_{ict}, V2_{imt}, V3_{cmt}, Z2_{cmt}, Inv_i, Inv2_c, H_{ict}, HH_{imt} \geq 0 \quad (27)$$

$$caif_{ik}, tts_i, ttp_i, ttcp_i, ttc_{ic}, ttc1_{im}, V_i, X_i, Y_i, W_i \geq 0 \quad (28)$$

$$bn3_i = \{0,1\} \quad \forall_i, \forall_c, \forall_m, \forall_t \quad (29)$$

Es importante recordar que en este modelo se tendrán en cuenta varios aspectos de la producción de piña, como la fase de cultivos de semilla (los cuales son independientes al proceso de la fruta), también los cultivos de la piña, su almacenamiento y su distribución. Entonces, en primer lugar, se encuentran las restricciones para la producción de semillas de piña (2) la cual indica que la cantidad de semilla debe ser menor a la capacidad por hectárea, luego las restricción donde se cuantifican todos los parámetros de tiempo de la semilla y de la piña correspondientemente para tener claro el total de tiempo de la producción (3) y (15), las restricciones (4) y (10) están relacionada con el rendimiento de los cultivos de semilla y piña, teniendo en cuenta las perdidas, así mismo, se encuentran las restricciones asociadas al total de trabajadores en cada cultivo (5) y (12), claramente se deben tener las restricciones para la cantidad

de insumos para la semillas y las piñas (6) y (11). También se puede encontrar la restricción (7) para mostrar que la capacidad de piña debe ser menor a la capacidad de hectáreas o área para los cultivos de piña, la restricción número (8) está asociada con la cantidad de piña a cultivar, la cual debe ser menor o igual a la cantidad de semillas aptas para ser sembradas en crecimiento de piñas. La restricción (13) indica que la cantidad de piña enviada a clientes mayoristas y minoristas debe ser igual a la que se cosecha, las restricciones (16) y (17) están asociadas con el tiempo de transporte para llegar a los clientes mayoristas y minoristas correspondientemente, la restricción (18) indica que no se puede extender la capacidad del espacio para el almacenamiento de piñas en el productor, al igual que la restricción (19) donde no se puede extender el espacio para el almacenamiento de piñas en los clientes mayoristas. la restricción número (20) restringe que la cantidad de piña enviada de los clientes mayoristas a minoristas debe ser menor o igual a su inventario, en la (21) se calcula el inventario del cliente mayorista, en la (22) el cumplimiento de la demanda en los clientes pequeños y (23) el número de viajes realizados en cada eslabón, no debe exceder la capacidad de los viajes. Las restricciones (24), (25) y (26) aseguran que no se viole la capacidad del vehículo en el arco correspondiente. Las ecuaciones (27), (28) y (29) definen la naturaleza de las variables.

### **6.5 Datos para el estudio**

A continuación, se dan a conocer los datos más relevantes para realizar la planeación colaborativa de la cadena de suministro de piña en el municipio de San Marcos. Estos datos fueron recopilados a través de un instrumento cargado de una serie de preguntas correspondientes a todo lo relacionado con el cultivo de piña. El instrumento se aplicó a diferentes productores de la zona que nos dieron acceso, con el fin de conocer todo lo relacionado con cada uno de sus cultivos de manera independiente entre sus propietarios. De esta forma, se obtuvieron no solo los datos de la producción, sino también, reconocer todo el proceso productivo que lleva la piña en los cultivos de San Marcos, iniciando con las preguntas sobre los datos generales del propietario, luego la información propia del cultivo; donde se tienen en cuenta los aspectos sobre el proceso de semilla de piña y cultivo de la piña, culminando con los aspectos de comercialización.

En esta investigación se tuvieron en cuenta los cultivos de tres productores de la zona, los cuales están produciendo piña actualmente de manera constante y se encuentran ubicados en diferentes áreas rurales del municipio.

### **6.5.1 Datos de semilla.**

Es importante aclarar que cada uno de estos productores de piña realiza los cultivos para la extracción de la semilla. Es decir, el cultivo de semillas (llamadas colinos) y el cultivo de la piña son totalmente diferentes y se realizan en áreas independientes. (Figura 20-21). Los colinos también requieren de un tiempo de crecimiento y un estado particular para poder ser sembrados en el área de las piñas, luego de extraerlos; estos requieren de algunos días para secarse, después son transportados en carretas y colocados en el área donde se da inicio al cultivo de piñas. A continuación, se dan a conocer los datos más importantes sobre los colinos para la realización de esta investigación.



*Figura 20 .Colino en proceso de crecimiento. Fuente:(Figueroa, 2013)*



*Figura 21. Colinos listos para la siembra y en la fase de secado. Fuente: Propia.*

**6.5.1.1 Tiempos en el proceso de los colinos.**

Los cultivos de semilla de piña tienen un tiempo promedio de 2 meses y 22 días. En donde los colinos pasas por procesos de siembra, cultivo (donde se lleva a cabo el crecimiento y se suministran los insumos), el proceso de recolección o cosecha y por último el secado, donde los colinos son puestos al sol para curar la herida que se prolonga a la hora de desprenderse de la plata madre. (Tabla 6)

**Tabla 6**

*Tiempos en la producción de colinos*

<b>Proceso</b>	<b>Tiempo (meses)</b>
<b>Siembra de los colinos</b>	0.1
<b>Cultivo de los colinos</b>	2
<b>Recolección de los colinos</b>	0.6
<b>Secado de los colinos</b>	0.03

Fuente: Elaboración propia 2020.

**6.5.1.2 Área utilizada para cultivos de semilla.**

A continuación, se muestra en la tabla 7 las hectáreas que se requieren para el proceso de cultivo de las semillas.

**Tabla 7**

*hectáreas utilizas por cada productor para cultivar semillas- colinos*

<b>Productores</b>	<b>Hectáreas cultivas en colinos (ha)</b>
<b><math>i_1</math></b>	4
<b><math>i_2</math></b>	3
<b><math>i_3</math></b>	3

Fuente: Elaboración propia 2020.

### 6.5.1.3 Insumos en los cultivos de semilla

En el proceso productivo de los colinos de piña se utilizan dos tipos de insumo, el triple 15 (en gramos, ya que es un polvo blanco) y una mezcla de ridomil más ráfaga (en litros, ya que se mezclan con agua). A continuación, se muestra la cantidad y los costos de cada insumo en cada metro cuadrado. (Tabla 8-9)

**Tabla 8**

*Insumos utilizados en los cultivos de semilla*

Productor	Cantidad de insumos ( $m^2$ )	
	$k_1$	$k_2$
$i_1$	0.25	0.0535
$i_2$	0.25	0.0535
$i_3$	0.25	0.0535

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 9**

*Costo de cada insumo de semilla*

Productor	Costo de insumos (\$)	
	$k_1$	$k_2$
$i_1$	800	200
$i_2$	800	200
$i_3$	800	200

Fuente: Elaboración propia 2020

### 6.5.2 Datos de piña.

A continuación, se muestran todos los datos sobre el cultivo del fruto, sus tiempos, áreas, costos y otros datos.

### 6.5.2.1 *Tiempos en los cultivos de piña.*

Luego de realizar el proceso de secado de los colinos, estos se transportan en carretas hasta el área de piñas y se inicia la siembra de colinos para que nazca el fruto en ellos, luego pasa a el tiempo de cultivo donde se realiza el suministro de los insumos, algunos de ellos se suministran en varias ocasiones, todo depende del avance del cultivo y por último se hace la cosecha de las piñas o recolección. (Tabla 10).

**Tabla 10**

*Tiempos en la producción de piña*

<b>Proceso</b>	<b>Tiempo (meses)</b>
<b>Resiembra de los colinos para piña</b>	0.2
<b>Cultivo de piñas</b>	15
<b>Cosecha de las piñas</b>	0.6

Fuente: Elaboración propia 2020.

### 6.5.2.2 *Área utilizada para los cultivos de piña.*

En la tabla 11 se dan a conocer las hectáreas utilizadas por los productores para cultivar la piña.

**Tabla 11**

*Área utilizada por cada productor para cultivos de piña*

<b>Productores</b>	<b>Hectáreas cultivas en piña (ha)</b>
<b><math>i_1</math></b>	4
<b><math>i_2</math></b>	3
<b><math>i_3</math></b>	3

Fuente: Elaboración propia 2020.

### 6.5.2.3 *Cantidad de insumo en los cultivos de piña.*

La cantidad de insumos según el productor, se detallan en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Insumos utilizados en los cultivos de piña*

Productor	Cantidad de insumos ( $m^2$ )						
	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$	$k_9$
$i_1$	0.1285	0.0467	0.035	0.027	0.0625	0.006	0.0678
$i_2$	0.1285	0.0467	0.035	0.027	0.0625	0.006	0.0678
$i_3$	0.1285	0.0467	0.035	0.027	0.0625	0.006	0.0678

Fuente: Elaboración propia 2020.

#### 6.5.2.4 Costos en los cultivos de piña.

En el cultivo de la piña existen los costos por preparación del terreno, el cual es de \$300.000 en esa región, además, el costo de mano de obra \$15.000 el jornal (cantidad de dinero que gana un trabajador por un día de trabajo). También, se comprenden los costos de cada insumo en pesos por  $m^2$ . (Tabla 13).

**Tabla 13**

*Costo de cada insumo para piña*

Productor	Costo de insumos (\$)						
	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$	$k_9$
$i_1$	700	150	200	500	1200	250	460
$i_2$	700	150	200	500	1200	250	460
$i_3$	700	150	200	500	1200	250	460

Fuente: Elaboración propia 2020.

#### 6.5.3 Datos de almacenamiento.

Cuando hablamos de almacenamiento en piñas es importante aclarar que esta fruta tiene hasta 7 grados de maduración, por lo cual, es importante que la piña no pase de tres días en almacenamiento para que el cliente pueda adquirirla en las condiciones correctas de consumo, sin

perder su olor, sabor y frescura. Las piñas son cosechadas en el primer grado de maduración y se consideran en buen estado de venta hasta el tercer grado, a partir del cuarto grado se pueden generar pérdidas (figura 22). Esta fruta se puede almacenar en una temperatura normal, la temperatura máxima de San Marcos es hasta de 40°C, sin embargo es importante mantenerlas en áreas sombradas para mayor conservación.

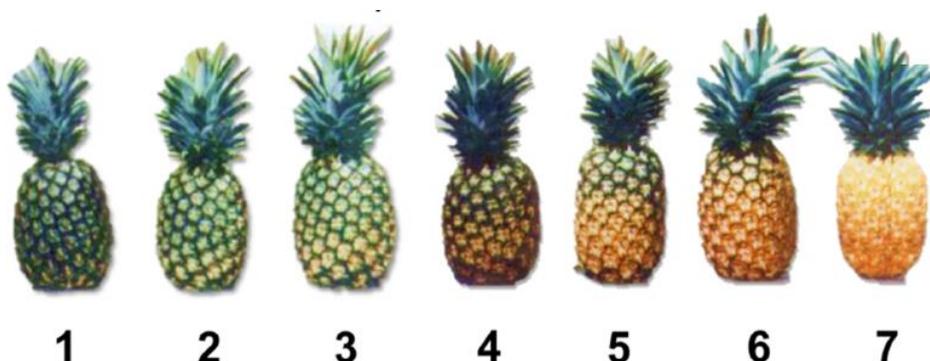


Figura 22. Grados de maduración de la piña. (Garcia et al., 2011)

### 6.5.3.1 Capacidad y costo de almacenamiento.

cada productor cuenta con un área para el almacenamiento en caso de ser necesario, caracterizados por ser una casa con techo de palma y rodeada en nepa (saco verde). A continuación, se muestran las capacidades de almacenamiento en kilogramos de piñas por productor y el costo de este almacenamiento también por kg de piña. (Tabla 14-15).

**Tabla 14**

*Capacidad de almacenamiento para cada productor*

Productor	Capacidad(kg)
$i_1$	4800
$i_2$	4800
$i_3$	4800

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 15**

*Costo de almacenamiento para cada productor por kg*

<b>Productor</b>	<b>Costo (\$)</b>
$i_1$	100
$i_2$	100
$i_3$	100

Fuente: Elaboración propia 2020.

#### **6.5.4 Datos de distribución.**

Luego de tener el producto listo y en condiciones de consumo se procede a realizar la distribución a los clientes, uno de los procesos logísticos más importantes para que la fruta llegue en las condiciones correctas, en el tiempo preciso y el lugar correcto. A continuación, se dará a conocer la demanda de los clientes mayoristas y minoristas, los precios de venta para cada uno, la capacidad de almacenamiento y los tiempos de distribución.

##### **6.5.4.1 Demandas de los clientes.**

Se dan a conocer las demandas de los clientes tanto mayoristas como minoristas en kilogramos. (Tabla 16-17).

**Tabla 16**

*Demanda de los clientes mayoristas*

<b>Cliente mayorista</b>	<b>Demanda (kg)</b>
$c_1$	260000
$c_2$	220000

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 17**

*Demanda de los clientes minoristas*

<b>cliente minorista</b>	<b>Demanda (kg)</b>
<b>m<sub>1</sub></b>	81500
<b>m<sub>2</sub></b>	78000
<b>m<sub>3</sub></b>	74000
<b>m<sub>4</sub></b>	65400

Fuente: Elaboración propia 2020.

#### **6.5.4.2 Precios de venta.**

A continuación, se dan a conocer los precios de venta para los clientes mayoristas y minoristas. (Tabla 18-19).

**Tabla 18**

*Precio de venta de los productores a los clientes mayoristas*

<b>Cliente mayorista</b>	<b>Precio de venta (\$)</b>
<b>c<sub>1</sub></b>	700
<b>c<sub>2</sub></b>	700

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 19**

*Precio de venta de los productores a los clientes minoristas*

<b>Cliente minorista</b>	<b>precio de venta (\$)</b>
<b>m<sub>1</sub></b>	700
<b>m<sub>2</sub></b>	700
<b>m<sub>3</sub></b>	800
<b>m<sub>4</sub></b>	800

Fuente: Elaboración propia 2020.

#### 6.5.4.3 Capacidad y costo de almacenamiento.

En este caso, solo los clientes mayoristas cuentan con un espacio para almacenamiento. (Tabla 20).

**Tabla 20**

*Capacidad y costo de almacenamiento de los clientes mayoristas*

cliente	Capacidad (kg)	costo (\$)
$c_1$	2000	100
$c_2$	3000	100

Fuente: Elaboración propia 2020.

#### 6.5.4.4 Tiempos de distribución.

En este modelo se dan tres formas de distribución, desde los productores hasta los clientes mayoristas, desde los productores hasta los clientes minoristas y de clientes mayoristas a minoristas. (Tabla 21-23).

**Tabla 21**

*Tiempo de distribución de productores a mayoristas*

Productores	Clientes mayoristas (meses)	
	$c_1$	$c_2$
$i_1$	0.03	0.03
$i_2$	0.03	0.03
$i_3$	0.03	0.03

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 22**

*Tiempo de distribución de productores a minoristas*

Productores	Clientes minoristas (meses)			
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
$i_1$	0.03	0.02	0.03	0.02
$i_2$	0.03	0.02	0.03	0.02
$i_3$	0.03	0.02	0.03	0.02

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 23**

*Tiempo de distribución de mayoristas a minoristas*

Clientes mayoristas	Clientes minoristas (meses)			
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
$c_1$	0.03	0.02	0.03	0.02
$c_2$	0.03	0.02	0.03	0.02

Fuente: Elaboración propia 2020.

### 6.5.5 Datos de transporte.

A continuación, se muestran todos los datos correspondientes a el transporte donde se lleva a cabo la distribución de las piñas.

Es importante aclarar que se cuenta con 2 tipos de vehículo ( $t_1$  y  $t_2$ ) con 8 vehículos en cada tipo, los cuales realizan 10 viajes cada uno. La capacidad máxima de cada tipo de vehículo es de 20.000 y 10.000 kilogramos de piña respectivamente. Seguido, se dan a conocer los costos de preparación y alistamiento de los vehículos, como los de transporte:

**6.5.5.1 Costos de preparación y alistamiento.**

En la siguiente tabla 24 se detallan los costos de preparación y alistamiento según el tipo de vehículo.

**Tabla 24**

*Costo de preparación y alistamiento de los vehículos*

<b>Vehículo</b>	<b>Costo (\$)</b>	
<b>t<sub>1</sub></b>	\$	40.000
<b>t<sub>2</sub></b>	\$	30.000

Fuente: Elaboración propia 2020.

**6.5.5.2 Costos de transporte.**

Los costos del transporte por kilogramo de piña se muestran en la tabla 25, 26 y 27.

**Tabla 25**

*Costo de transporte de productores a clientes mayoristas*

<b>productor</b>	<b>Cientes mayoristas (\$)</b>	
	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>
<b>i<sub>1</sub></b>	288	221.6
<b>i<sub>2</sub></b>	288	221.6
<b>i<sub>3</sub></b>	288	221.6

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 26**

*Costo de transporte de productores a clientes minoristas*

<b>productor</b>	<b>Cientes minoristas (\$)</b>			
	<b>m<sub>1</sub></b>	<b>m<sub>2</sub></b>	<b>m<sub>3</sub></b>	<b>m<sub>4</sub></b>
<b>i<sub>1</sub></b>	50	45	288	288

$i_2$	43	45	288	288
$i_3$	42	43	288	288

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 27**

*Costos de transporte de clientes mayoristas a minoristas*

Cliente mayorista	Cliente minorista (\$)			
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
$c_1$	288	288	12	15
$c_2$	288	288	16	13

Fuente: Elaboración propia 2020.

## 7. Resultados

### 7.1 Validación del modelo

#### 7.1.1 Validación del modelo con instancias iniciales.

Con respecto a lo anterior, el modelo matemático de programación entera mixta presentado proyecta dar solución al problema de planeación colaborativa en la cadena de suministro considerando una flota de vehículos heterogéneos, con el objetivo de maximizar las utilidades teniendo cuenta el ingreso por ventas, el costo congruente al insumo por  $m^2$ , de envío y almacenamiento, de semilla y preparación del terreno y por jornal.

Por consiguiente, el modelo muestra una excelente ejecución estimando instancias mínimas las cuales fueron creadas, logrando una solución óptima en un tiempo computacional cuantioso. Las soluciones obtenidas con el Solver CPLEX de GMAS fueron sujetadas a instancias construidas, donde se consideraron (4) productores, (2) clientes mayoristas, (4) clientes minoristas, (9) insumos y (2) tipos de vehículos. También, se estimaron todos los parámetros, matrices y escalares que el modelo necesita, como los costos de semillas que es de \$200 par a los productores 1, 2,3 y 4, costo de preparación del terreno equivalente a \$300000 para los 4 productores, el tiempo de secado en meses para cada productor es de 0,03 meses, el tiempo de recolección de semilla es de 0,6 meses para los 4 productores, el porcentaje perdida de semilla es 0,12 para los 4 productores, para el tiempo de siembra de la semilla en los 4 productores es de 0,1 meses, el tiempo de cultivo de la semilla es de 2 meses para cada productor y el número de semillas por trabajador es de 7232 en los 4 productores.

Ahora bien, los parámetros presentados para los  $m^2$  utilizados en el cultivo del producto de cada productor es (1) 30000, (2) 30000, (3) 30000, (4) 30000, el tiempo de cultivo en meses para los 4 productores es de 15, el tiempo de siembra del producto en meses de cada productor es de 0,2, el tiempo de cosecha del producto es 0,6 en cada productor, la perdida de producto es de 0,07 en los 4 productores, y el número de piñas por trabajadores es de 5202 para los 4 productores.

Para la capacidad de almacenamiento por volumen es de 3940 para productor 1, 2, 3 y 4, el tiempo máximo de almacenamiento en meses es de 0,03, y el costo de almacenamiento es de \$100 para cada productor.

De igual forma, cada cliente mayorista tiene una demanda, las cuales son (1) de 389000 kg y (2) de 388000 kg, cada minorista tiene (1) 38600kg, (2) 37300 kg, (3) 36700 kg, (4) 38900 kg, el precio del producto de mayorista es de (1) \$1000 y (2) \$1000, el precio de los 4 minoristas es de \$1200, la capacidad de almacenamiento en los mayorista es de (1) 3000 y (2) 4000 y el costo de almacenamiento para los 2 mayoristas de \$100.

Además, el número máximo de viajes por cada tipo de vehículos es (1) 8, (2) 8, el número de vehículos para los dos tipos es de 6, la capacidad máxima de cada tipo de camión por viaje es (1) 10000, (2) 10000, el costo de preparación y alistamiento es (1) 99000, (2) 100000.

Sumado a esto, los escalares presentados son el área de semilla que es de 0.135, el factor pérdida de peso 0,013, el volumen de la piña de 0,00578125, el costo de transporte por unidad de kilogramo de 300, el peso de la piña en kilogramos de 2 y el costo de un jornal de \$15000. Otras matrices de datos se muestran en las siguientes tablas. (Tabla 28-35).

**Tabla 28**

*Costo de insumo por m<sup>2</sup> utilizado*

Productor	Costo insumo								
	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>6</sub>	k <sub>7</sub>	k <sub>8</sub>	k <sub>9</sub>
i <sub>1</sub>	100	100	300	100	200	100	300	400	500
i <sub>2</sub>	100	100	300	100	200	100	300	400	500
i <sub>3</sub>	100	100	300	100	200	100	300	400	500
i <sub>4</sub>	100	100	300	100	200	100	300	400	500

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 29**

*Cantidad de insumos utilizados por m<sup>2</sup>*

Productor	Cantidad insumo								
	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>6</sub>	k <sub>7</sub>	k <sub>8</sub>	k <sub>9</sub>
i <sub>1</sub>	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
i <sub>2</sub>	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003
i <sub>3</sub>	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
i <sub>4</sub>	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 30**

*Tiempo distribución desde productores hasta mayorista*

Productor	Tiempo distribución (mes)	
	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>
i <sub>1</sub>	0,02	0,02
i <sub>2</sub>	0,02	0,02
i <sub>3</sub>	0,02	0,02
i <sub>4</sub>	0,02	0,02

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 31**

*Tiempo distribución desde productores hasta minoristas*

Productor	Tiempo distribución (mes)			
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>
i <sub>1</sub>	0,02	0,02	0,02	0,02
i <sub>2</sub>	0,02	0,02	0,02	0,02
i <sub>3</sub>	0,02	0,02	0,02	0,02

<b>i<sub>4</sub></b>	0,02	0,02	0,02	0,02
----------------------	------	------	------	------

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 32**

*Tiempo distribución desde mayorista hasta minorista*

<b>Mayorista</b>	<b>Tiempo distribución (mes)</b>			
	<b>m<sub>1</sub></b>	<b>m<sub>2</sub></b>	<b>m<sub>3</sub></b>	<b>m<sub>4</sub></b>
<b>c<sub>1</sub></b>	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>c<sub>2</sub></b>	0,02	0,02	0,02	0,02

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 33**

*Costo de transporte de productores hasta mayorista*

<b>Productor</b>	<b>Costo de transporte (en miles de pesos)</b>	
	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>
<b>i<sub>1</sub></b>	51	51
<b>i<sub>2</sub></b>	52	52
<b>i<sub>3</sub></b>	55	53
<b>i<sub>4</sub></b>	52	52

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 34**

*Costo de transporte de productores hasta minorista*

<b>Productor</b>	<b>Costo de transporte (en miles de pesos)</b>			
	<b>m<sub>1</sub></b>	<b>m<sub>2</sub></b>	<b>m<sub>3</sub></b>	<b>m<sub>4</sub></b>
<b>i<sub>1</sub></b>	48	51	51	54
<b>i<sub>2</sub></b>	48	53	52	52

$i_3$	48	54	53	54
$i_4$	48	57	58	61

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 35**

*Costo de transporte de mayorista a minorista*

Mayorista	Costo de transporte (en miles de pesos)			
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
$c_1$	11	11	13	14
$c_2$	12	13	14	12

Fuente: Elaboración propia 2020.

En consecuencia, las soluciones para el modelo considerando los anteriores datos de entrada, fueron ejecutados en un computador con un procesador Intel Cori i5 CPU@ 2.8 GHz, 4 GB de memoria RAM y sistema operativo Windows 10 de 64 bits, se muestran a continuación. (Tabla 36-50).

**Tabla 36**

*Cantidad de semilla a solicitar*

	Semilla a solicitar
$V_1$	216960
$V_2$	0
$V_3$	65088
$V_4$	0

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 37**

*Cantidad de semilla a cultivar*

	<b>Semilla a cultivar</b>
$X_1$	190924,80
$X_2$	0
$X_3$	57277,44
$X_4$	0

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 38**

*Cantidad de producto a producir*

	<b>Producto a producir</b>
$Y_1$	187272
$Y_2$	0
$Y_3$	57222
$Y_4$	0

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 39**

*Cantidad de producto a cosechar*

	<b>Producto a cosechar</b>
$W_1$	174162,96
$W_2$	0
$W_3$	53216,46
$W_4$	0

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 40**

*Numero trabajadores por semilla*

	<b>Trabajadores por semilla</b>
$nts_1$	30
$nts_2$	0
$nts_3$	9
$nts_4$	0

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 41**

*Número trabajadores por producto*

	<b>Trabajadores por producto</b>
$ntp_1$	36
$ntp_2$	0
$ntp_3$	11
$ntp_4$	0

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 42**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista*

	<b>Tipo de vehículo</b>	
	<b>t<sub>1</sub></b>	<b>t<sub>2</sub></b>
$H_{11}$	15000	155000
$H_{12}$	9827,13	14673.50
$H_{21}$	29525,29	
$H_{22}$		28903,25

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 43**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista*

	Tipo de vehículo	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
<i>HH</i> <sub>12</sub>	4162,96	4489,46
<i>HH</i> <sub>21</sub>	19302,51	
<i>HH</i> <sub>23</sub>	4388,66	9412,20
<i>HH</i> <sub>24</sub>		14901,01

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 44**

*Cantidad de producto enviados de un cliente mayorista a uno minorista*

	Tipo de vehículo	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
<i>Z2</i> <sub>12</sub>	5000	5000
<i>Z2</i> <sub>23</sub>		4551,62
<i>Z2</i> <sub>24</sub>	4551,52	

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 45**

*Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista*

	Producto almacenado en el cliente mayorista
<i>Inv2</i> <sub>1</sub>	9998,70
<i>Inv2</i> <sub>2</sub>	9101,86

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 46**

*Apertura a los costos de preparación si se usa el terreno*

	<b>Variable binaria para costos de preparación si se usa terreno</b>
$bn3_1$	1
$bn3_2$	1

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 47**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco (i-c)*

	<b>Cantidad de viajes a realizar en el arco (i-c)</b>	
	$t_1$	$t_2$
$V1_{11}$	3	31
$V1_{12}$	31	3
$V1_{21}$	6	
$V1_{22}$		6

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 48**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco (i-m)*

	<b>Cantidad de viajes a realizar en el arco (i-m)</b>	
	$t_1$	$t_2$
$V2_{12}$	1	1
$V2_{21}$	4	
$V2_{23}$	1	2
$V2_{24}$		3

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 49**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (c-m)*

	Cantidad de viajes a realizar en el arco (c-m)	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
V <sub>312</sub>	1	1
V <sub>323</sub>		1
V <sub>324</sub>	1	

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 50**

*Resumen de resultados*

Productores	Mayorista	Minorista	Insumos	Tipo vehículo	Utilidad
4	2	4	9	2	491.270.000

Fuente: Elaboración propia 2020.

En la figura 23 se evidencia la solución arrojada por el modelo considerando las cantidades enviadas desde los productores hacia los clientes mayoristas y minoristas y desde los clientes mayoristas hacia los minoristas teniendo en cuenta el tipo de vehículo a utilizar. Por ejemplo, se puede observar que desde el productor 1 hasta el cliente minorista 2 envían 4162 kg en un vehículo tipo 1 y 4489 kg en uno tipo 2, transportando en total 8651 kg.

En cuanto a los resultados del eslabón de producción con instancias iniciales, se logró observar que la cantidad de semillas solicitada para iniciar el cultivo de esta, es de 282048 y la cantidad de colinos que se obtienen de este cultivo es de 248202,24, es decir, hay una pérdida de la semilla de 33845.76. Por lo tanto, la cantidad total de piña producida por los productores es de 244494,

teniendo una pérdida del producto de 3708,24. Otro rasgo importante es la cantidad de producto almacenado en el cliente mayorista equivalente a 191000,56. A su vez, se considera la cantidad de viajes a realizar con el tipo de vehículo en el arco de productores a mayoristas, donde los dos tipos de vehículos realizan 40 viajes, seguido, la cantidad de viajes desde productor hasta minoristas para los dos tipos de vehículo es de 6 y por último, la cantidad de viajes a ejecutar es de 2 para los dos tipos de vehículo.

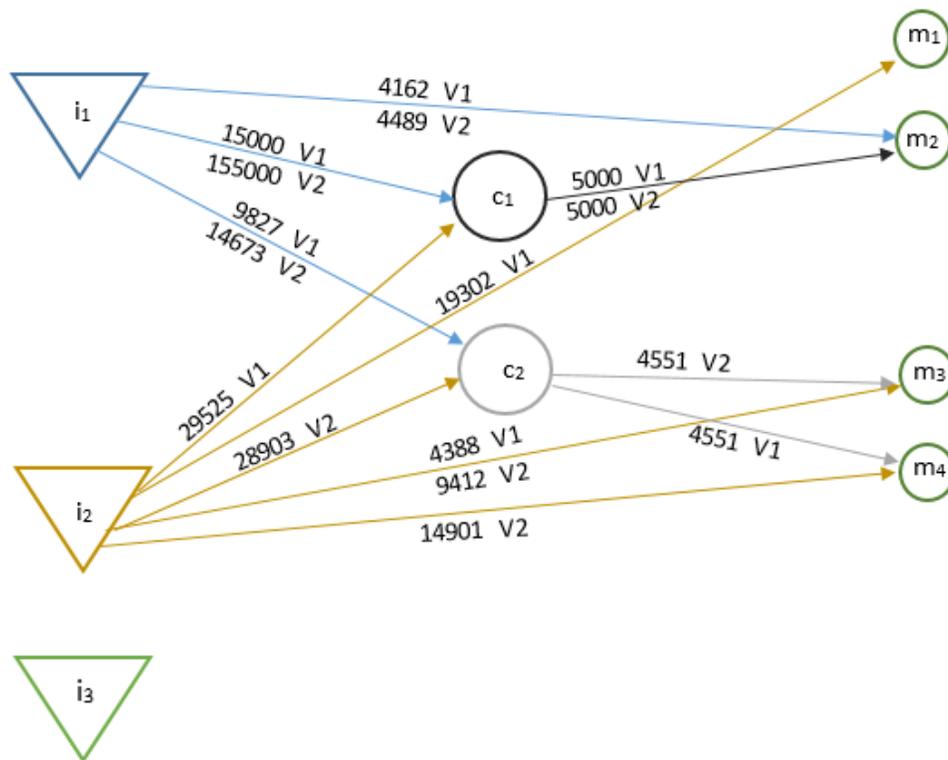


Figura 23. Cantidades enviadas a los clientes. Fuente: propia.

### 7.1.2 Validación del modelo con instancias reales de San Marcos, Sucre.

A partir del estudio de caracterización realizado en el municipio de san Marcos, Sucre, se determinaron los datos reales que comprende el modelo de programación entera mixta de la cadena de suministro de piña. Donde se consideran tres productores, dos clientes minoristas, cuatro clientes mayoristas, nueve insumos y dos tipos de vehículos, como también, los costos de transporte de los diferentes clientes. (Tabla 51-53).

Así mismo, se debe considerar que las utilidades actuales en la producción de piña del municipio de San Marcos, Sucre corresponden a \$70.700.000.

**Tabla 51**

*Costo de transporte de productores hasta minorista*

Productor	Costo transporte (en miles de pesos)			
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>
i <sub>1</sub>	50	45	288	288
i <sub>2</sub>	43	45	288	288
i <sub>3</sub>	42	43	288	288

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 52**

*Costo de transporte de productores hasta mayorista*

Productor	Costo transporte (en miles de pesos)	
	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>
i <sub>1</sub>	288	221.6
i <sub>2</sub>	288	221.6
i <sub>3</sub>	288	221.6

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 53**

*Costo de transporte desde mayorista hasta minorista*

Mayorista	Costo transporte (en miles de pesos)			
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>
c <sub>1</sub>	288	288	12	15
c <sub>2</sub>	288	288	16	13

Fuente: Elaboración propia 2020.

De igual forma, se tienen en cuenta los tiempos de distribución de los productores hasta los mayoristas y minoristas y el tiempo de distribución de clientes mayoristas hasta los clientes minoristas ubicados en la región. (Tabla 54-56).

**Tabla 54**

*Tiempo distribución desde productores hasta mayorista*

Productor	Tiempo distribución (mes)	
	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>
i <sub>1</sub>	0,03	0,02
i <sub>2</sub>	0,03	0,02
i <sub>3</sub>	0,03	0,02

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 55**

*Tiempo distribución desde productores hasta minorista*

Productor	Tiempo distribución (mes)			
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>
i <sub>1</sub>	0,03	0,04	0,04	0,03
i <sub>2</sub>	0,03	0,04	0,04	0,03
i <sub>3</sub>	0,03	0,04	0,04	0,03

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 56**

*Tiempo distribución desde mayorista hasta minorista*

Mayorista	Tiempo distribución (mes)			
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
$c_1$	0,03	0,02	0,03	0,02
$c_2$	0,03	0,02	0,03	0,02

Fuente: Elaboración propia 2020.

Otro aspecto importante son los insumos utilizados en todo el proceso de cultivo del producto, donde el costo y la cantidad de insumos a disponer están tomados por metros cuadrados de cultivo. (Tabla 57-58).

**Tabla 57**

*Costo de insumo por  $m^2$  utilizado*

Productor	Costo insumo								
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$	$k_9$
$i_1$	800	200	700	150	200	500	1200	250	460
$i_2$	800	200	700	150	200	500	1200	250	460
$i_3$	800	200	700	150	200	500	1200	250	460

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 58**

*Cantidad de insumos por  $m^2$  utilizado*

Productor	Cantidad insumo								
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$	$k_9$
$i_1$	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
$i_2$	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003

---

$i_3$	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

---

Fuente: Elaboración propia 2020.

Ahora bien, la semilla del producto es relevante dentro de todo el proceso, porque de ella depende el éxito de todo el cultivo. Por lo tanto, por medio de la caracterización se encontró información en función de los productores como el tiempo de secado en meses del producto es de 0,03, el tiempo de recolección en meses de 0,6, el tiempo de siembra en meses de 0,1, el tiempo del cultivo en meses de 0,13, los metros cuadrados del cultivo para el primer productor de 50000, (2) 30000, (3) 30000, el costo de la semilla de \$300, el costo de preparación del terreno de \$300000 y el número de semillas por cada trabajador de 7142.

Por otro lado, el cultivo del producto presenta información que se tuvo en cuenta para la realización del modelo. Como los metros cuadrados de cultivo en cada productor (1) 50000, (2) 30000, (3) 30000, el tiempo de cultivo es 15 meses, el tiempo de siembra de 0,2 meses, el tiempo de cosecha es 0,6 meses, la pérdida del producto de 0,07, el costo de mano de obra de \$15000 y el número de productos por trabajador es 5102. La capacidad de almacenamiento es 4800 para cada productor, el tiempo máximo de almacenamiento es 0,03 meses y el costo de almacenamiento es de \$100.

En la distribución del producto se tienen en cuenta las demandas de cada cliente por kilogramos del producto y su respectivo precio. (Tabla 59).

**Tabla 59**

*Demanda de clientes minoristas y mayoristas y su respectivo precio*

Parámetro	Clientes			
	1	2	3	4
<b>Demanda minorista (Kg)</b>	81500	78000	74000	65400
<b>Demandas mayoristas (Kg)</b>	260000	220000		
<b>Precio minorista (\$)</b>	700	700	800	800

<b>Precio mayorista (\$)</b>	700	700
------------------------------	-----	-----

Fuente: Elaboración propia 2020.

Para el transporte del producto el número máximo de viajes por cada tipo de vehículo es (1) 10, (2) 10, (3) 10, el número de vehículos por cada tipo es (1) 8, (2) 8, (3) 8, la capacidad máxima de cada tipo de camión por viaje es (1) 20000, (2) 10000, (3) 10000 y el costo de preparación y alistamiento es de (1) 100000, (2) 150000, (3) 100000.

Otra información relevante en el modelo son los datos de área de semilla, factor perdida peso, volumen del producto, costo de transporte por unidad de kilogramo, peso del producto en kilogramos y costo de un jornal. (Tabla 60).

**Tabla 60**

*Scalar o información precisa del modelo*

<b>Área de semilla</b>	0,135
<b>Factor perdida peso</b>	0,13
<b>Volumen del producto</b>	0,00578125
<b>Costo de transporte por unidad de Kg</b>	300
<b>Peso del producto en Kg</b>	2
<b>Costo de un jornal</b>	15000

Fuente: Elaboración propia 2020.

Por consiguiente, la solución para el modelo de colaboración con estos datos de entradas y que se exponen a continuación (Tabla 61-75), fueron ejecutadas en un computador con un procesador Intel core i5 CPU@ 2.8 y sistema operativo Windows 10 de 64 bits.

**Tabla 61**

*Cantidad de semilla a solicitar*

	<b>Semilla a solicitar</b>
$V_1$	0
$V_2$	142840
$V_3$	99988

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 62**

*Cantidad de semilla a cultivar*

	<b>Semilla a cultivar</b>
$X_1$	0
$X_2$	124270,8
$X_3$	86989,65

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 63**

*Cantidad de semilla a cultivar*

	<b>Producto a producir</b>
$Y_1$	0
$Y_2$	122448
$Y_3$	86734

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 64**

*Cantidad de producto a cosechar*

	<b>Producto a cosechar</b>
$W_1$	0
$W_2$	113876,64
$W_3$	80662,62

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 65**

*Numero trabajadores por semilla*

	<b>Trabajadores por semilla</b>
$nts_1$	0
$nts_2$	20
$nts_3$	14

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 66**

*Numero trabajadores por producto*

	<b>Trabajadores por producto</b>
$ntp_1$	0
$ntp_2$	24
$ntp_3$	17

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 67**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista*

	Tipo de vehículo	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
<b>H<sub>21</sub></b>	108862,34	
<b>H<sub>22</sub></b>	5014,3	105000
<b>H<sub>31</sub></b>	16608,19	5000

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 68**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista*

	Tipo de vehículo	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
<b>HH<sub>21</sub></b>	0	4105,47
<b>HH<sub>24</sub></b>	0	4771,17
<b>HH<sub>31</sub></b>	0	36652,48
<b>HH<sub>32</sub></b>	0	39010,14
<b>HH<sub>33</sub></b>	36119,23	0
<b>HH<sub>34</sub></b>	27935,21	0

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 69**

*Cantidad de producto del cliente mayorista, vendida al cliente minorista*

	Tipo de vehículo	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
<b>ZZ<sub>13</sub></b>	445,17	445,17

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 70**

*Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista*

	<b>Cantidad producto almacenado</b>
$Inv2_1$	890,17
$Inv2_2$	0

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 71**

*Apertura a los costos de preparación si se usa el terreno*

	<b>Variable binaria para costos de preparación si se usa terreno</b>
$bn3_2$	1
$bn3_3$	1

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 72**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco (i-c)*

	<b>Viajes a realizar en el arco (i-c)</b>	
	$t_1$	$t_2$
$V1_{21}$	11	0
$V1_{22}$	1	21
$V1_{31}$	2	1

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 73**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco (i-m)*

<b>Viajes a realizar en el arco (i-m)</b>	
---	--

	$t_1$	$t_2$
$V_{2_{21}}$	0	1
$V_{2_{24}}$	0	1
$V_{2_{31}}$	0	8
$V_{2_{32}}$	0	8
$V_{2_{33}}$	4	0
$V_{2_{34}}$	3	0

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 74**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco (c-m)*

	Viajes a realizar en el arco (c-m)	
	$t_1$	$t_2$
$V_{3_{13}}$	1	1

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 75**

*Resumen de resultados*

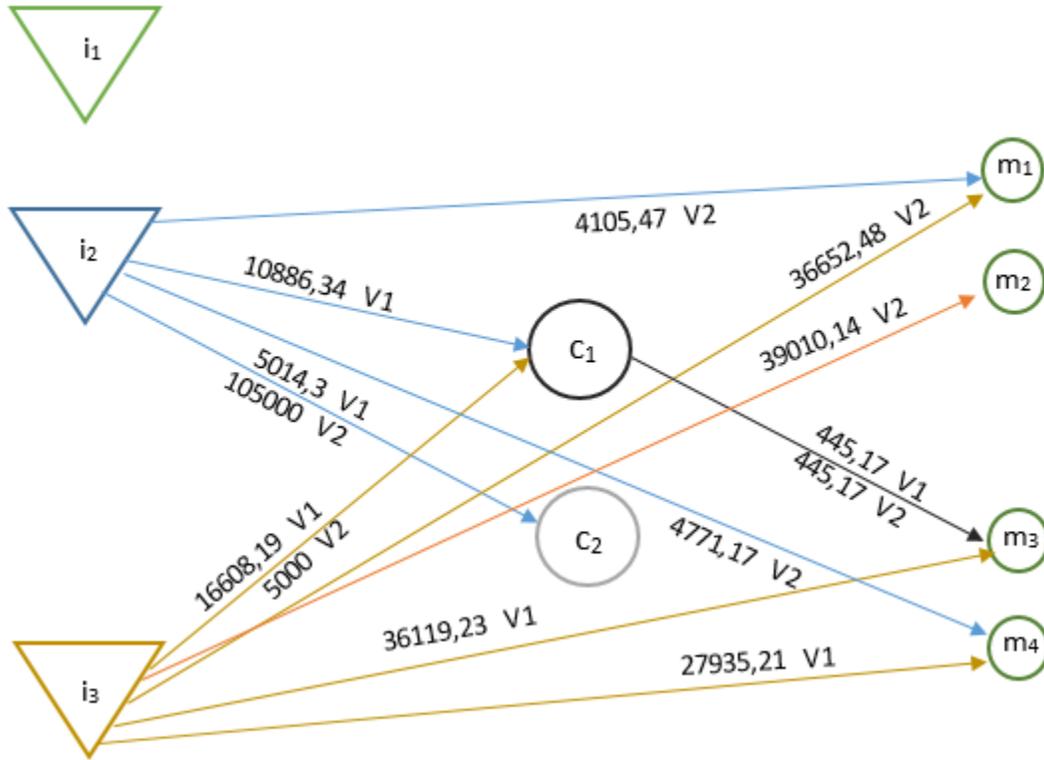
Productores	Mayorista	Minorista	Insumos	Tipo vehículo	Utilidad
3	2	4	9	2	80.684.438

Fuente: Elaboración propia 2020.

La solución obtenida con este modelo para los datos reales del municipio de San Marcos brinda unas utilidades de 80.684.438, lo cual representa un aumento del 10,53% con respecto a las utilidades actuales.

En la figura 24 se muestra la solución arrojada por el modelo considerando las cantidades enviadas desde los productores hacia los clientes mayoristas y minoristas y desde los clientes mayoristas hacia los minoristas teniendo en cuenta el tipo de vehículo a utilizar. Por ejemplo, se puede observar que desde el productor 2 hasta el cliente mayorista 2 se envían 5014,3 kg en un vehículo tipo 1 y 105000 kg en uno tipo 2, distribuyendo en total 110014,3 kg. De igual forma, se evidencia que solo dos productores son los que producen debido a que son capaces de cubrir la demanda sin necesidad de utilizar un tercero.

En cuanto a los resultados de producción con instancias reales, se observó que la cantidad de semillas solicitada por los productores a los proveedores es de 242828 en total y la cantidad de colinos que se obtienen de este cultivo es de 211260,45, es decir, hay una pérdida de la semilla de 31567,55. Por lo tanto, la cantidad total de piña producida por los productores es de 209182, teniendo una pérdida del producto de 2078,45. Otro rasgo importante es la cantidad de producto almacenado en el cliente mayorista equivalente a 890,17. A su vez, se considera la cantidad de viajes a realizar con el tipo de vehículo en el arco de productores a mayoristas, donde el tipo de vehículo 1 realiza 14 viajes y el tipo número 2 hace 22, seguido, la cantidad de viajes desde productor hasta minoristas solo utiliza el tipo de vehículo 2, el cual efectúa 2 viajes y por último, la cantidad de viajes a ejecutar es de 16 para el tipo de vehículo 2 y 7 para el 1.



*Figura 24. Cantidades enviadas a los clientes con datos reales. Fuente: Propia.*

## 7.2 Evaluación del modelo

### 7.2.1 Primer escenario.

Después de efectuar la caracterización de la cadena de suministro de piña en el municipio de San Marcos, Sucre, se consideran en el primer escenario tres productores, dos clientes mayoristas, cuatro clientes minoristas, nueve insumos y dos tipos de vehículos. En este primer escenario se considera un aumento en un 30% de la demanda de los clientes minoristas con respecto a la demanda real, con el fin de analizar el comportamiento del modelo frente a un aumento en la demanda.

Las utilidades actuales de la producción y distribución de la piña en el municipio de San Marcos arrojadas por el modelo con los datos reales son de \$80.684.438. Cabe enfatizar que la utilidad es mensual. Por lo cual, el modelo colaborativo de piña presenta la demanda de los clientes mayoristas y minoristas mensualmente con sus respectivos precios de compra. (Tabla 76-77).

**Tabla 76**

*Demanda de clientes minoristas y su respectivo precio*

Parámetro	Clientes minoristas			
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>
<b>Demanda (Kg)</b>	106000	101400	96200	85000
<b>Precio de compra (\$)</b>	700	700	800	800

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 77**

*Demanda de clientes mayorista y su respectivo precio*

Parámetro	Clientes mayoristas	
	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>
<b>Demanda (Kg)</b>	260000	220000
<b>Precio de compra (\$)</b>	700	700

Fuente: Elaboración propia 2020.

Por otro lado, se considera el costo y la cantidad de nueve clases de insumos por metros cuadrados para los tres productores, utilizados a lo largo del cultivo del producto. (Tabla 78-79).

**Tabla 78**

*Costo de insumo por m<sup>2</sup> utilizado*

Productor	Costo insumo								
	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>6</sub>	k <sub>7</sub>	k <sub>8</sub>	k <sub>9</sub>
i <sub>1</sub>	800	200	70	150	200	500	1200	250	460
i <sub>2</sub>	800	200	70	150	200	500	1200	250	460
i <sub>3</sub>	800	200	70	150	200	500	1200	250	460

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 79**

*Cantidad de insumos por m<sup>2</sup> utilizado*

Productor	Cantidad insumo								
	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>6</sub>	k <sub>7</sub>	k <sub>8</sub>	k <sub>9</sub>
i <sub>1</sub>	0,25	0,0535	0,1285	0,0467	0,035	0,027	0,0625	0,006	0,0678
i <sub>2</sub>	0,25	0,0535	0,1285	0,0467	0,035	0,027	0,0625	0,006	0,0678
i <sub>3</sub>	0,25	0,0535	0,1285	0,0467	0,035	0,027	0,0625	0,006	0,0678

Fuente: Elaboración propia 2020.

El modelo colaborativo cuenta con tiempo de distribución del producto en meses de productores a dos mayoristas y cuatro minoristas y el tiempo de distribución de mayorista a minorista. Así mismo, el costo de transporte de la piña desde productores a mayorista y minorista y desde mayoristas hasta minoristas, ubicados en la región. (Tabla 80-85).

**Tabla 80**

*Tiempo distribución desde productores hasta mayorista*

Productor	Tiempo distribución (mes)	
	$c_1$	$c_2$
$i_1$	0,03	0,02
$i_2$	0,03	0,02
$i_3$	0,03	0,02

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 81**

*Tiempo distribución desde productores hasta minoristas*

Productor	Tiempo distribución (mes)			
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
$i_1$	0,03	0,04	0,04	0,03
$i_2$	0,03	0,04	0,04	0,03
$i_3$	0,03	0,04	0,04	0,03

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 82**

*Tiempo distribución desde mayorista hasta minorista*

Mayorista	Tiempo distribución (mes)			
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
$c_1$	0,03	0,02	0,03	0,02
$c_2$	0,03	0,02	0,03	0,02

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 83**

*Costo de transporte de productores hasta mayorista*

Productor	Costo transporte (en miles me pesos)	
	$c_1$	$c_2$
$i_1$	288	221.6
$i_2$	288	221.6
$i_3$	288	221.6

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 84**

*Costo de transporte de productores hasta minorista*

Productor	Costo de transporte (en miles me pesos)			
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
$i_1$	50	45	288	288
$i_2$	43	45	288	288
$i_3$	42	43	288	288

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 85**

*Costo de transporte de mayorista a minorista*

Mayoristas	Costo de transporte (en miles me pesos)			
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
$c_1$	288	288	12	15
$c_2$	288	288	16	13

Fuente: Elaboración propia 2020.

En cuanto a los metros cuadrados de cultivo de semilla y de producto se tiene para el productor (1) 40000, (2) 30000, (3) 30000.

La solución para el modelo de colaboración de la cadena de suministro de la piña en el municipio de San Marcos, con estos datos de entradas y que se exponen a continuación (Tabla 86-95), fueron ejecutadas en un computador con un procesador Intel core i5 CPU@ 2.8 y sistema operativo Windows 10 de 64 bits.

**Tabla 86**

*Cantidad de semilla a solicitar*

	<b>Semilla a solicitar</b>
$V_1$	71420
$V_3$	199976

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 87**

*Cantidad de semilla a cultivar*

	<b>Semilla a cultivar</b>
$X_1$	62135,40
$X_3$	173979,12

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 88**

*Cantidad de producto a producir*

	<b>Producto a producir</b>
$Y_1$	61224
$Y_3$	173468

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 89**

*Cantidad de producto a cosechar*

	<b>Producto a cosechar</b>
$W_1$	56938,32
$W_3$	161325,24

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 90**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista*

	<b>Tipo de vehículo</b>	
	$t_1$	$t_2$
$H_{11}$		5000
$H_{12}$		44540,04
$H_{31}$	127168,50	
$H_{32}$	5474,26	60000

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 91**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista*

	<b>Tipo de vehículo</b>	
	$t_1$	$t_2$
$HH_{12}$		2398,28
$HH_{13}$	19430,03	
$HH_{14}$	37508,29	5000
$HH_{31}$		53010,34
$HH_{32}$		48314,90
$HH_{33}$	28682,48	

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 92**

*Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista*

	<b>Producto almacenado</b>
$Inv2_1$	8

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 93**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco  $(i-c)$*

	<b>Viajes a realizar en el arco <math>(i-c)</math></b>	
	$t_1$	$t_2$
$V1_{11}$		1
$V1_{12}$		9
$V1_{31}$	13	
$V1_{32}$	1	12

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 94**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco  $(i-m)$*

	<b>Viajes a realizar en el arco <math>(i-m)</math></b>	
	$t_1$	$t_2$
$V2_{12}$		1
$V2_{13}$	2	
$V2_{14}$	4	1
$V2_{31}$		11
$V2_{32}$		10
$V2_{33}$	3	

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 95**

*Resumen de resultados*

<b>Productores</b>	<b>Mayorista</b>	<b>Minorista</b>	<b>Insumos</b>	<b>Tipo vehículo</b>	<b>Utilidad</b>
3	2	4	9	2	94.393.145

Fuente: Elaboración propia 2020.

En relación con lo anterior, los resultados obtenidos en el modelo de colaboración, se evidencia una utilidad de \$94.393.000, lo cual representa un aumento del 16,99% con respecto a las utilidades arrojadas por el modelo con datos reales del municipio de San Marcos.

Además, se puede evidenciar en la figura 25 que, en cuanto a la solución arrojada por el modelo para este escenario, se decide enviar productos tanto a cliente mayoristas como minoristas desde el productor 1 y 3, a diferencia del modelo original que envía desde los productores 2 y 3. Así mismo se puede notar que no se decide enviar productos desde clientes mayoristas hasta minoristas, lo cual se debe a que el productor 1 representa mayor capacidad de producción con respecto al productor 2, debido a que posee mayor cantidad de terrenos y por tal razón puede suplir la demanda de los clientes minoristas sin recurrir a los clientes mayoristas. También, se evidencia que solo dos productores producen debido a que ellos son capaces de cubrir la demanda sin necesidad de utilizar un tercero.

En cuanto a los resultados de producción de este escenario, se logró observar que la cantidad de semillas solicitada es de 271396 y la cantidad de colinos que se obtienen de este cultivo es de 236114,52 es decir, hay una pérdida de la semilla de 35281,48. Por lo tanto, la cantidad total de piña producida por los productores es de 234692, teniendo una pérdida del producto de 1422,52. Otro rasgo importante es la cantidad de producto almacenado en el cliente mayorista equivalente a 8. A su vez, se considera la cantidad de viajes a realizar con el tipo de vehículo en el arco de productores a mayoristas, donde el tipo de vehículo 1 realiza 14 viajes y el tipo número 2 hace 22,

seguido, la cantidad de viajes desde productor hasta minoristas utiliza el tipo de vehículo 1 con 9 viajes y el tipo 2 con 23.

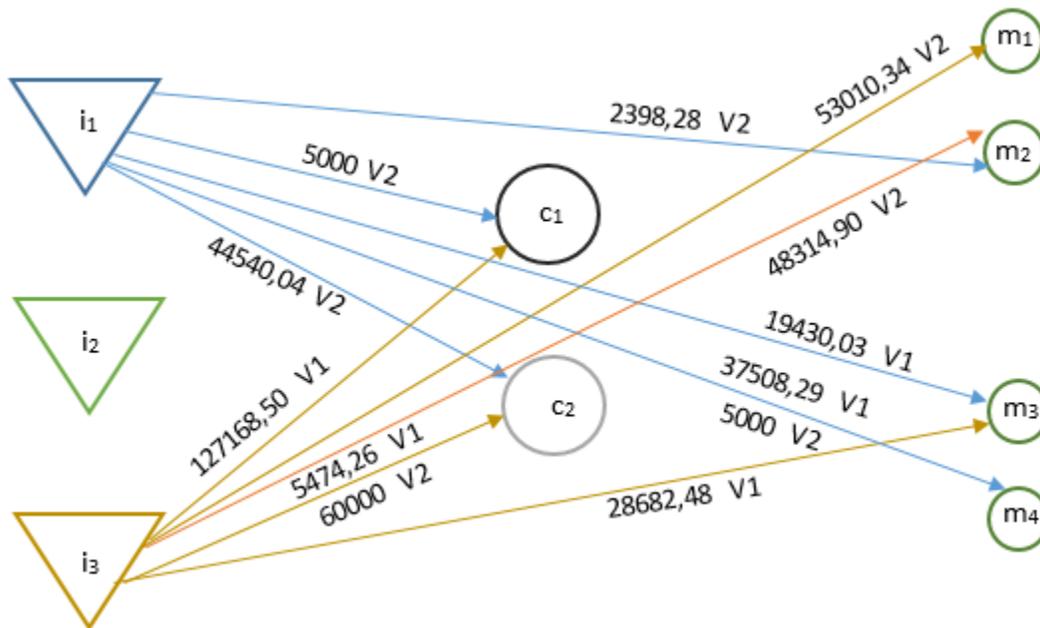


Figura 25. Distribución del producto en el escenario 1. Fuente: Propia.

### 7.2.2 Segundo escenario.

Dentro del segundo escenario del modelo colaborativo se comprenden tres productores, dos clientes mayoristas, cuatro clientes minoristas, nueve insumos y dos tipos de vehículos.

Por lo cual, en el modelo colaborativo se considera una disminución del porcentaje de pérdida del producto del 7% al 3%, que afecta directamente la postcosecha generando menos utilidades por la gran cantidad de piña perdida a lo largo del cultivo. (Tabla 96).

**Tabla 96**

Porcentaje pérdida del producto

	<b>Pérdida del producto (%)</b>
$i_1$	0,03

$i_2$	0,03
$i_3$	0,03

Fuente: Elaboración propia 2020.

La solución para el modelo de colaboración de la cadena de suministro de la piña en el municipio de San Marcos, con estos datos de entradas y que se exponen a continuación (Tabla 97-108), fueron ejecutadas en un computador con un procesador Intel Core i5 CPU@ 2.8 y sistema operativo Windows 10 de 64 bits.

**Tabla 97**

*Cantidad de semilla a solicitar*

	<b>Semilla a solicitar</b>
$V_2$	78562
$V_3$	157124

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 98**

*Cantidad de semilla a cultivar*

	<b>Semilla a cultivar</b>
$X_2$	68248,94
$X_3$	136697,88

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 99**

*Cantidad de producto a producir*

	<b>Producto a producir</b>
$Y_2$	66326
$Y_3$	132652

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 100**

*Cantidad de producto a cosechar*

	<b>Producto a cosechar</b>
$W_2$	64336,22
$W_3$	128672,44

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 101**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista*

	<b>Tipo de vehículo</b>	
	$t_1$	$t_2$
$H_{21}$		4858,89
$H_{22}$	6632,62	115000
$H_{31}$	128672,44	
$H_{32}$		48904,35

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 102**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista*

	<b>Tipo de vehículo</b>	
	$t_1$	$t_2$
$HH_{23}$	29997,22	
$HH_{24}$	27706,38	5000
$HH_{31}$		40757,95
$HH_{32}$		39010,14

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 103**

*Cantidad de producto enviados de un cliente mayorista a uno minorista*

	Tipo de vehículo	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
Z <sub>213</sub>	3505,97	3505,97

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 104**

*Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista*

	Producto almacenado
Inv <sub>21</sub>	7010,58

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 105**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-c)*

	Viajes a realizar en el arco (i-c)	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
V <sub>121</sub>		1
V <sub>122</sub>	1	11
V <sub>131</sub>	13	
V <sub>132</sub>		10

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 106**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (i-m)*

	Viajes a realizar en el arco (i-m)	
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
V <sub>223</sub>	3	
V <sub>224</sub>	3	1

$V_{2_{31}}$	9
$V_{2_{32}}$	8

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 107**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo t en el arco (c-m)*

	Viajes a realizar en el arco (c-m)	
	$t_1$	$t_2$
$V_{3_{13}}$	1	1

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 108**

*Resumen de resultados*

Productores	Mayorista	Minorista	Insumos	Tipo vehículo	Utilidad
3	2	4	9	2	90.918.707

Fuente: Elaboración propia 2020.

En relación con lo anterior, los resultados obtenidos en el modelo de colaboración, se evidencia una utilidad de \$90.918.707, lo cual representa un aumento del 12,68% con respecto a las utilidades arrojadas por el modelo con datos reales del municipio de San Marcos.

Además, se puede evidenciar en la figura 27 que, en cuanto a la solución arrojada por el modelo para este escenario, solo dos productores producen debido a que ellos son capaces de cubrir la demanda sin necesidad de utilizar un tercero. En consecuencia, se decide enviar productos tanto a cliente mayoristas como minoristas desde el productor 2 y 3, al igual que el modelo con los datos reales; pero en este escenario el productor 3 debe producir más que el 2, a diferencia del original. De igual manera se puede notar que en el segundo escenario se requiere que entre ambos productores cosechen un 0,78% menos, lo cual genera el aumento en las utilidades, debido a que

---

se requiere menos inversión a lo largo de todo el proceso productivo de la piña, lo que representa menores costos para suplir la demanda de los clientes y por consiguiente mayores utilidades.

En cuanto a los resultados de producción de este escenario, se logró observar que la cantidad de semillas solicitada es de 235686 y la cantidad de colinos que se obtienen de este cultivo es de 204946,82, es decir, hay una pérdida de la semilla de 30739,18. Por lo tanto, la cantidad total de piña producida por los productores es de 198978, teniendo una pérdida del producto de 596882. Otro rasgo importante es la cantidad de producto almacenado en el cliente mayorista equivalente a 7010,58. A su vez, se considera la cantidad de viajes a realizar con el tipo de vehículo en el arco de productores a mayoristas, donde el tipo de vehículo 1 realiza 14 viajes y el tipo número 2 hace 22, seguido, la cantidad de viajes desde productor hasta minoristas utiliza el tipo de vehículo 1 con 6 viajes y el tipo 2 con 18, y por último, la cantidad enviada de mayorista a minorista es de 1 para los dos tipos de vehículos.

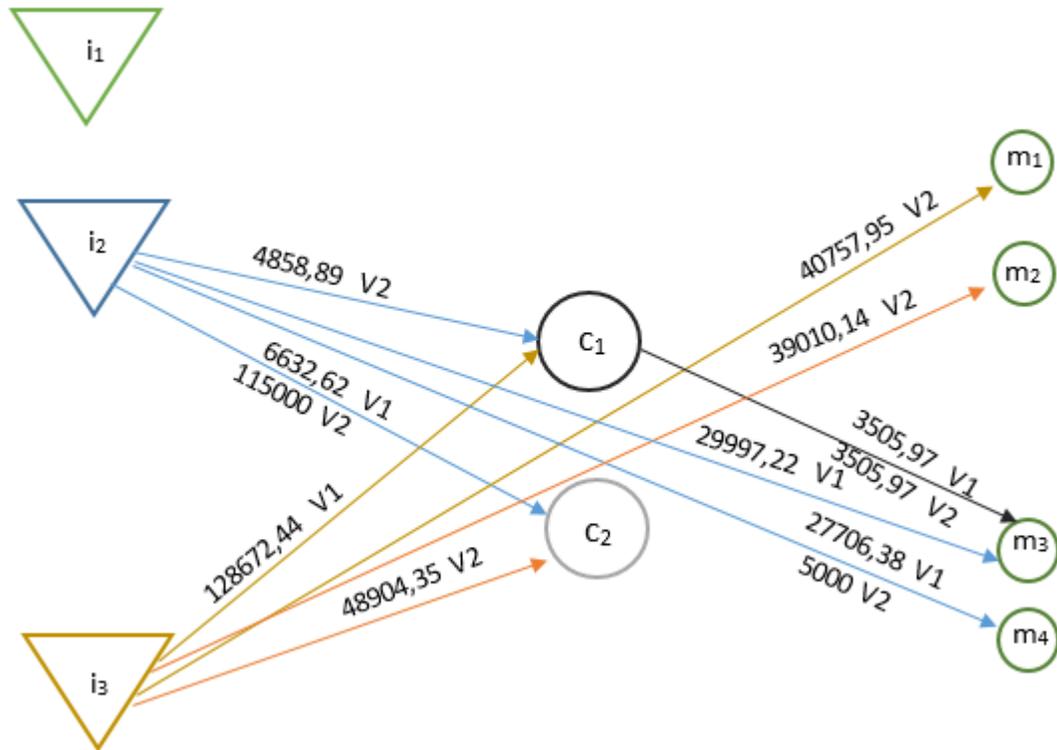


Figura 26. Distribución del producto en el escenario 2. Fuente: Propia.

### 7.2.3 Tercer escenario

El tercer escenario del modelo colaborativo de piña comprende tres productores, cuatro clientes minoristas, dos clientes mayoristas, nueve insumos y dos tipos de vehículos.

Cabe resaltar que en los anteriores escenarios no es necesario que todos los productores generen debido a que solo dos cuentan con la capacidad para cumplir, sin embargo, el modelo si es capaz de calcular soluciones cuando todos los productores requieren producir. Por tanto, se agrega una nueva restricción (29) para establecer que todos los productores generen producción, determinando que las cantidades a producir por cada uno de los productores deben ser mayor que cero. En este caso,  $n$  puede tomar cualquier valor entero positivo mayor a 0.

$$Y_i \geq n \quad \forall_i \quad (29)$$

La solución para el modelo de colaboración de la cadena de suministro de la piña en el municipio de San Marcos, con estos datos de entradas y que se exponen a continuación (Tabla 109-120), fueron ejecutadas en un computador con un procesador Intel core i5 CPU@ 2.8 y sistema operativo Windows 10 de 64 bits.

**Tabla 109**

*Cantidad de semilla a solicitar*

	<b>Semilla a solicitar</b>
$V_1$	35710
$V_2$	99988
$V_3$	107130

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 110**

*Cantidad de semilla a cultivar*

	<b>Semilla a cultivar</b>
$X_1$	31067,70
$X_2$	86989,56
$X_3$	93203,10

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 111**

*Cantidad de producto a producir*

	<b>Producto a producir</b>
$Y_1$	30612
$Y_2$	86734
$Y_3$	91836

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 112**

*Cantidad de producto a cosechar*

	<b>Producto a cosechar</b>
$W_1$	28469,16
$W_2$	80662,62
$W_3$	85407,48

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 113**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente mayorista*

	<b>Tipo de vehículo</b>	
	$t_1$	$t_2$
$H_{12}$		25000
$H_{21}$	75107,82	
$H_{22}$	5554,80	79904,67
$H_{31}$	49917,53	5000

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 114**

*Cantidad de producto en el cultivo vendida al cliente minorista*

	<b>Tipo de vehículo</b>	
	$t_1$	$t_2$
$HH_{12}$		3469,16
$HH_{13}$	28469,16	
$HH_{21}$		757,95
$HH_{31}$		40000
$HH_{32}$		35540,98

$HH_{33}$	8540,46	
$HH_{34}$	26949,48	4866,50

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 115**

*Cantidad de producto enviados de un cliente mayorista a uno minorista*

	Tipo de vehículo	
	$t_1$	$t_2$
$Z2_{24}$	445,17	445,17

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 116**

*Cantidad producto almacenado en el cliente mayorista*

	Producto almacenado
$Inv2_2$	890,22

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 117**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco  $(i-c)$*

	Viajes a realizar en el arco $(i-c)$	
	$t_1$	$t_2$
$V1_{12}$		5
$V1_{21}$	8	
$V1_{22}$	1	16
$V1_{31}$	5	1

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 118**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco  $(i-m)$*

	Viajes a realizar en el arco $(i-m)$	
	$t_1$	$t_2$
$V2_{12}$		1
$V2_{13}$	3	
$V2_{21}$		1
$V2_{31}$		8
$V2_{32}$		8
$V2_{33}$	1	
$V2_{34}$	1	1

Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla 119**

*Cantidad de viajes a realizar con el vehículo tipo  $t$  en el arco  $(c-m)$*

	Viajes a realizar en el arco $(c-m)$	
	$t_1$	$t_2$
$V3_{24}$	1	1

Fuente: Elaboración propia 2020.

La solución obtenida con este tercer escenario del modelo colaborativo de la cadena de suministro de piña en el Municipio de San Marcos, brinda utilidades de \$80.128.792, lo cual representa una disminución del 0,69% con respecto a las utilidades arrojadas por el modelo con datos originales.

**Tabla 120**

*Resumen de resultados*

<b>Productores</b>	<b>Mayorista</b>	<b>Minorista</b>	<b>Insumos</b>	<b>Tipo vehículo</b>	<b>Utilidad</b>
3	2	4	9	2	80.128.792

Fuente: Elaboración propia 2020.

La solución obtenida con este tercer escenario del modelo colaborativo de la cadena de suministro de piña en el Municipio de San Marcos, brinda utilidades de \$80.128.792, lo cual representa una disminución del 0,69% con respecto a las utilidades arrojadas por el modelo con datos originales.

En la figura 27 se muestra la solución arrojada por el modelo para este escenario, se decide a enviar productos desde los 3 productores hacia clientes mayoristas y minoristas, a diferencia del modelo original y los dos escenarios anteriores que generan productos solo 2 productores. Igualmente se puede notar que el productor 3 es quien más produce seguido del 2 y por último el 1. Además, se envían productos desde los mayoristas a minoristas, en contraste con el escenario 1.

En cuanto a los resultados de producción de este escenario, se logró observar que la cantidad de semillas solicitada es de 242828 y la cantidad de colinos que se obtienen de este cultivo es de 211260,36, es decir, hay una pérdida de la semilla de 3156764. Por lo tanto, la cantidad total de piña producida por los productores es de 209182, teniendo una pérdida del producto de 190342,36. Otro rasgo importante es la cantidad de producto almacenado en el cliente mayorista equivalente a 890,22. A su vez, se considera la cantidad de viajes a realizar con el tipo de vehículo en el arco de productores a mayoristas, donde el tipo de vehículo 1 realiza 14 viajes y el tipo número 2 hace 22, seguido, la cantidad de viajes desde productor hasta minoristas utiliza el tipo de vehículo 1 con 5 viajes y el tipo 2 con 19, y por último, la cantidad enviada de mayorista a minorista es de 1 para los dos tipos de vehículos.

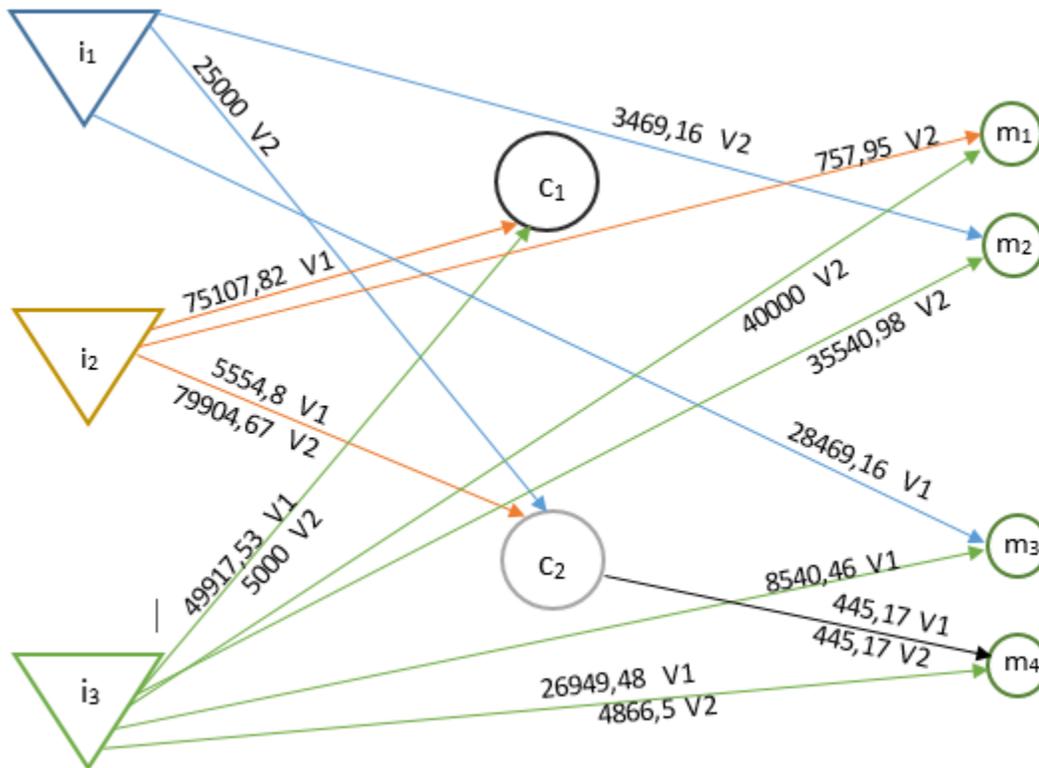


Figura 27. Distribución del producto en el escenario 3. Fuente: Propia.

#### 7.2.4 Comparación de los escenarios evaluados

Considerando los tres escenarios evaluados, en todos se consideran tres productores de piña, dos clientes mayoristas y cuatro clientes minoristas. Así mismo se consideran nueve insumos y dos tipos de vehículos. Teniendo en cuenta el primer escenario, el cual contempla una variación en la demanda de los clientes minoristas, presentando un aumento del 30% con respecto a los valores reales. Comparando los resultados obtenidos, se puede decir que con el primer escenario se obtiene un aumento de las utilidades en un 16,99% con respecto al modelo original. Además,

con el nuevo escenario deben producir los productores 1 y 3, en comparación con el inicial que deben producir los productores 2 y 3, además no se considera un envío desde clientes mayoristas hasta clientes minoristas.

Por otra parte, analizando el segundo escenario, en el que se contempla una disminución del porcentaje de pérdida del producto a postcosecha, pasando de 7% a 3%, se tiene que en cuanto a resultados obtenidos se puede evidenciar un aumento en las utilidades en un 12,68% con respecto al modelo original, lo cual se debe a la variación del porcentaje de pérdida del producto, ocasionando que se requiera una disminución en 0,78% de las cantidades cultivadas para cumplir la demanda de los clientes, reflejándose en menos costos en el proceso productivo y repercutiendo significativamente en mayores utilidades.

Por consiguiente, considerando el tercer escenario, en el que se comprende una nueva restricción para instituir que todos los productores generen producción, en el cual las cantidades a producir por cada uno de los productores deben ser mayor que cero. En cuanto a los resultados alcanzados se evidencia una disminución en las utilidades en un 0,69% con respecto al modelo real, lo cual se debe a la adición de la restricción que exige la producción de los 3 productores.

## 8. Conclusiones

La cadena de suministro de la piña del municipio de San Marcos, no posee una organización definida, convirtiéndola en una cadena poco competente, tampoco existe una producción colaborativa y los actores que participan se desconocen entre ellos ocasionando problemas logísticos, además, no existen plataformas digitales en la región que ayuden a los productores y clientes a la hora de producir y distribuir la fruta, por lo cual, en esta investigación se llevó a cabo una caracterización de dicha cadena haciendo hincapié en los procesos de producción y distribución con flota heterogénea de la piña. Se desarrollo una revisión literaria sobre colaboración en las cadenas de suministros, modelos enteros mixtos de colaboración, generalidades del producto y planeación en la cadena, con suficiente información para todo el proceso que se lleva a cabo a lo largo de la cadena, las variantes que se comprenden se articulan al problema y los métodos de solución óptimos esperados.

Así mismo, se diseñó un modelo matemático de planeación colaborativa con el fin de articular los actores presentes en la producción y distribución de la piña con flota heterogénea en el municipio de San Marcos, priorizando en clientes de la región.

El modelo consideró el objetivo de maximizar las utilidades pertenecientes a la cadena de piña. Lo cual, permitió un logro en la organización y estructuración para esta cadena. Además, se consideraron una muestra de cuatro productores de piña en el Municipio de San Marcos, dos clientes mayoristas y dos minoristas ubicados en Sincelejo, Planeta rica y corregimientos de San Marcos. De igual forma, se consideraron tres escenarios para analizar el comportamiento del modelo ante cambios. Para el cual el primer escenario se planteó un aumento en la demanda de los clientes minoristas en un 30% y para el segundo escenario se contempló la disminución en el porcentaje de perdida, pasando de 7% a 3%, y el tercer escenario comprendió la creación de una nueva restricción que estableciera la producción de los 3 productores, obteniendo aumentos en la utilidad de 16,99% y 12,8% para los dos primeros escenarios y disminución de la utilidad para el tercer escenario respectivamente en relación al modelo con datos originales.

En síntesis, las soluciones se lograron con el Solver CPLEX de GAMS, impulsando resultados con un aumento del 10,53% en las utilidades con relación a las actuales, permitiendo evidenciar la optimización de los resultados y lo relevante del modelo de colaboratividad para la planificación y producción de la piña. De igual forma, con esta investigación se logró la creación de una herramienta que ayude a los productores a mejorar la productividad, en cuanto a las decisiones de cuanto cultivar en torno a semillas y piñas.

## 9. Recomendaciones

Durante la realización de la investigación, se localizó poca información acerca de los productores, por lo cual, es recomendable que el plan de desarrollo territorial del municipio de San Marcos, contemple las zonas rurales con producción de piña; esto, debido a su importancia en el sector económico y los beneficios que estos cultivos traen a la población en empleo y economía.

Por otra parte, a la hora de aplicar el instrumento a los productores y realizar las preguntas sobre los datos de comercialización, se observó la poca organización que se tenía sobre la información de los clientes, por esta razón, es aconsejable la realización de un estudio de mercados que garantice una cadena formal. Además, es importante que los productores mantengan la información de los clientes de forma organizada y segura, de manera tradicional o por medio de software de seguridad.

Es recomendable que exista una buena comunicación entre los productores para alcanzar la colaboratividad, de tal forma que se logre una visión compartida dadas las oportunidades que ofrece el mercado, siendo importante el intercambio de información sobre los precios de venta, clientes y cantidad de producción. Asimismo, es fundamental planificar y proponerse objetivos entre los productores para lograr suplir algunas necesidades en la producción y la comercialización para cumplirle al cliente, teniendo en cuenta todos los criterios logísticos.

Para futuras investigaciones, se puede considerar un sistema de ruteo de vehículo para tratar el modelo de una forma más amplia y optimizar la flota de vehículos con el fin de minimizar costos de transporte. También, se sugiere tomar medidas para mitigar el impacto ambiental negativo, por medio de un conjunto de acciones que aseguren el uso sostenible de los recursos naturales y la eliminación de químicos en el proceso productivo de la piña, evitando que estos afecten a los animales, personas o fuentes hídricas cercanas, de esta forma, contribuir de manera positiva con el medio ambiente y prevenir el calentamiento global o daños en los ecosistemas.

### Referencias bibliográficas

- Acevedo, A., Acevedo, J., Bautista, H., Hernandez, A., Sablón, N. y Urquiaga, A. (2017). Matriz de selección de estrategias de integración en las cadenas de suministro Womb of selection of integration strategies in the supply chains. *Ingeniería Industrial*, 38<sup>a</sup> (3), 333–344.
- Albornoz, V. M., González-araya, M., Gripe, M. C. y Rodríguez, S. V. (2014). A Mixed Integer Linear Programming model for planning at operative level in a meat packing plant. *Scitepress*, 1–9. Scopus. Recuperado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=84945953346&origin=inward>
- Alcandía de San Marcos. (2018). Nuestro municipio. *Alcaldía municipal de San Marcos en Sucre*. <http://www.sanmarcos-sucre.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Angerhofer, B. J. y Angelides, M. C. (2006). A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. *Decision Support Systems*, 42(1), 283–301. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2004.12.005>
- Arsenyan, J., Büyüközkan, G. y Feyzioğlu, O. (2015). Modeling collaboration formation with a game theory approach. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 2073–2085. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.010>
- Ballou, R. (2004). *Logística administración de la cadena de suministro*. (5<sup>a</sup> ed.). Pearson educación.
- Banasik, A., Kanellopoulos, A., Claassen, G., Jacqueline, M., Bloemhof, R. y Vorst, J. (2017). Closing loops in agricultural supply chains using multi-objective optimization : A case study of an industrial mushroom supply chain. *Int. J. Production Economics*, 183, 409–420. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.012>

- Bendini, M. y Steimbregger, N. (2005). Integración agroalimentaria. Trayectorias empresariales comparadas en la fruticultura argentina de exportación. *Acerca de La Globalización En La Agricultura. Territorios, Empresas y Desarrollo Rural En América Latina*. Ediciones CICCUS. Buenos Aires. 187-204 187–204.
- Bernal, M. y Diaz, Y. (2016). *Modelo para la gestión de capacidades logísticas en la cadena de suministro agroindustrial frutícola en Bogotá, Cundinamarca* (Tesis de pregrado). April, 31–48. <https://doi.org/10.13676/j.cnki.cn36-1224/f.2018.02.006>
- Betin, U. y Gomez, R. (2009). *Cadena de suministro de una empresa fabricante de insumos* (Tesis de pregrado). Universidad Del Norte. Barranquilla . 1–132.
- Bowersox, D., Closs, D. y Cooper, M. (2007). *Administración y logística en las cadenas de suministro* (2ª ed.). McGraw-Hill.
- Cai, S., Goh, M., Souza, R. y Gang, L. (2013). El intercambio de conocimientos en las cadenas de suministro de colaboración : doble efecto de la confianza y el poder. *Revista internacional de investigación de producción*.(51) . 2060 a 2076.
- Cámara de Comercio Sincelejo. (2018). *Informe Económico Sucre 2017* (Issue 5). Recuperado de <http://ccsincelejo.org/wp-content/uploads/2017/06/ESTUDIO-ECONOMICO.pdf> <http://ccsincelejo.org/wp-content/uploads/2018/02/Informe-Económico-Sucre-2017.pdf>
- Campuzano, F., Martinez, E. y Ros, L. (2010). Cadenas de Suministro Tradicionales y Colaborativas. *Organización y dirección de empresas*. 85(1). Cartagena: Dyna Recuperado de <http://www.dinamica-de-sistemas.com/cursos/logistica.pdf>
- Cárdenas-Barrón, L. E. y Treviño-Garza, G. (2014). An optimal solution to a three echelon supply chain network with multi-product and multi-period. *Applied Mathematical Modelling*, 38(5–6), 1911–1918. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.09.010>

- Castro, J., Aguilar, F. y Flórez, L. (2017). ¿Cuál es la mejor cadena de suministro para frutas perecederas, lean o ágil?. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 294–305, Bogotá. <https://doi.org/http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v11n2/2011-2173-rcch-11-02-00294.pdf>
- Castro, S., Duarte, J., Escalona, F., Garcia, M., Gutierrez, D. y Orozco, A., (2009). Diagnostico de practicas colaborativas en la cadena de suministros de una empresa de salud. *Revista internacional de investigación de producción*. 1(1), Barranquilla. <https://doi.org/1541-8561>
- Chopra, S. y Meindl, P. (2007). Supply Chain Management. Stratgey, Planning y Operation. *Das Summa Summarum Des Managemen,(1)*.Bogotá:Aguilon. [https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9320-5\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9320-5_22).
- Departamento Nacional de Estadística (DANE,2015). *Metodología para calcular el Indicador de Importancia Económica Municipal*. Cuentas Departamentales – CD. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/fichas/Met\\_indicador\\_import\\_economica\\_mpal\\_oct\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/fichas/Met_indicador_import_economica_mpal_oct_2015.pdf)
- DANE. (2016). *Metodología para calcular el Indicador de Importancia Económica Municipal*. Cuentas Departamentales – CD. 2016. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/fichas/Met\\_indicador\\_import\\_economica\\_mpal\\_oct\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/fichas/Met_indicador_import_economica_mpal_oct_2015.pdf)
- DANE. (2019). *PIB total por departamento*.DANE información para todos. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>
- Das, K. (2018). Integrating lean systems in the design of a sustainable supply chain model. *International Journal of Production Economics*, 198, 177–190. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.003>
- Díaz, M., Mula, J. y Peidro, D. (2017). A mathematical programming model for integrating

- production and procurement transport decisions. *Applied Mathematical Modelling*, 52, 527–543. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.08.009>
- Diaz, M, Valero, F., Cruz, F. y Viudez, J. (2010). Herramienta informática para el proceso de planificación colaborativa en cadenas de suministro. *Ingeniería e industria*, 85. Bogotá: Dyna
- Dorigatti, M., Guarnaschelli, A., Chiotti, O. y Salomone, H. E. (2016). A service-oriented framework for agent-based simulations of collaborative supply chains. *Computers in Industry*, 83, 92–107. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.005>
- El Heraldo. (2014). *Los problemas del agro son más estructurales que coyunturales*. Barranquilla. Recuperado de <https://www.elheraldo.co/noticias/economia/los-problemas-del-agro-son-mas-estructurales-que-coyunturales-124606>
- Ezgi, S., Murat, C., Mustafa E. y Nagehan, U., (2017). The Role of Agility in the Effect of Trust in Supply Chain on Firm Performance. *Management Studies*, 5(4), 215–230. Elsevier. <https://doi.org/10.17265/2328-2185/2017.04.008>
- Feng, W. (2018). Enterprise benefit game model of collaborative supply chain in logistics industry park. *Journal of Computational Science*, 27, 469–475. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.12.002>
- Fernández, G., Martínez, L., Sablón, N., Bautista, H., Sánchez, F. y Bernabé, B., (2015). Integration model of collaborative supply chain. *Ingeniería industrial*, 82(193), 145–154. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n193.47370>
- Fernando, D. y Manso, B. (2017). *Modelo matemático multi-objetivo de ruteo e inventarios para la cadena de suministro de perecederos: Caso sector frutícola*. Universidad distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7419/1/BateroMansoDiegoFernando2017.pdf>
- Figuroa, H. (2013). *La piña endulza al campo de Bolívar*. Economía. El universal. Cartagena

- .Recuperado de <https://www.eluniversal.com.co/economica/la-pina-endulza-al-campo-de-bolivar-144758-GREU234736>
- Garcia, Y., Garcia, A., Hernández, A. y Pérez, J. (2011). Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. *Scielo*, 20. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542011000400002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000400002)
- Garza, R. y Gonzáles, C. (2004). Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro. *Ingenieria Industrial*, 25(2), 26–29. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=26307397&lang=es&site=ehost-live>
- Gobernacion de Sucre. (2016). Plan de desarrollo departamental 2016-2019 “Sucre Progres a Paz”. Gov.co. <http://www.sucre.gov.co/planes/plan-departamental-de-desarrollo-2016--2019>
- He, X. y Wang, X. (2013). Research on the Mixed Model of Agricultural Supply Chain Based on the Incentives Theory. *Contemporary Logistics*. 12, 47–53. <https://doi.org/10.5503/J.CL.2013.12.006>
- Hillier, F. y Lieberman, G. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. (9ª ed). McGraw-Hill. [https://dudasytareas.files.wordpress.com/2017/05/hillier\\_lieberman.pdf](https://dudasytareas.files.wordpress.com/2017/05/hillier_lieberman.pdf)
- Hortifruticultura. (2018). *Balance Del Sector Hortifruticultura. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. Asohofrucol. 11(3), 287–301. [file:///C:/Users/camil/Desktop/BALANCE\\_SECTOR\\_HORTIFRUTICOLA\\_DICIEMBRE\\_2017.pdf](file:///C:/Users/camil/Desktop/BALANCE_SECTOR_HORTIFRUTICOLA_DICIEMBRE_2017.pdf)
- Hsueh, C. F. (2015). A bilevel programming model for corporate social responsibility collaboration in sustainable supply chain management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 73, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.11.006>

- Inaam, Z., Abderrahman, M. y Yasmina, H. (2016). A framework of Performance Assessment of Collaborative Supply Chain. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 845–850. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.880>
- Jiang, Z., Lamothe, J. y Benaben, F. (2017). A Monitoring Framework of Collaborative Supply Chain for Agility. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 13072–13077. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2007>
- Jonkman, J., Barbosa A. y Bloemhof, J. M. (2019). Integrating harvesting decisions in the design of agro-food supply chains. *European Journal of Operational Research*, 276(1), 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.12.024>
- Lasprilla, D. M. (2011). Estado actual de la Fruticultura Colombiana y perspectivas para su desarrollo. *Revista Brasileira*, 199–205. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000500023>
- Linares, J. y Ramirez, W. (2018). Caracterización ecológica de los humedales en la región de la mojana. *Instituto Humboldt Colombia*. Bogotá. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35162>
- Lopez, R. (2010). *Análisis de la cadena productiva de la piña (Ananás Comosus) en la región del Papaloapan en el estado de Veracruz (tesis dePregrado)*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División. Buenavista.
- Madankumar, S. y Rajendran, C. (2019). A mixed integer linear programming model for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup by heterogeneous vehicles, and constrained by time windows. *Academia India de Ciencias*.(39). <https://doi.org/10.1007/s12046-018-1048-y>
- Martner, C., Morales, C., De la Torre, M. y Bustos, A. (2005). Cadenas Logísticas De Exportación En México: Piña Fresca, Generadores Eléctricos, Refrigeradores. Instituto Mexicano del transporte. (276).

- Mazo, A. Z., Montoya, R. A. y Henao, S. A. (2014). Indicadores logísticos en la cadena de suministro como apoyo al modelo scor. *Clio America*, 8(15), 90–110. <https://doi.org/10.21676/23897848.832>
- Ministerio de Agricultura (Minagricultura, 2013). Sistema de información geográfica municipal. Recuperado de <http://www.ministeriodeagricultura.gov.co/>
- Minagricultura.(2016). *Evaluaciones agropecuarias municipales*. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/Documents/Arveja.pdf>
- Minagricultura. (2018). *¿Cuáles cultivos tienen mayor potencial en Colombia?*. Agronet. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/%C2%BFCu%C3%A1les-cultivos-tienen-mayor-potencial-en-Colombia.aspx>
- Morales-chávez, M. M., Soto-mejía, J. A. y Sarache, W. (2016). Modelo de programación lineal entera mixta para el corte , carga y transporte de caña de azúcar. Un caso de estudio en Perú. *DYNA* 83(195), 173–179.
- Nickl, M. (2005). La evolución del concepto “Logística” al de "Cadena de Suministros ” y más allá. *Compras Y Existencias*, 140, 15–19. [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/242008/EntornoConocimiento/2.Unidad\\_1.La\\_evoluciA3n\\_del\\_conceptoDe\\_la\\_cadena\\_de\\_Suministro\\_y\\_mas\\_alla.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/242008/EntornoConocimiento/2.Unidad_1.La_evoluciA3n_del_conceptoDe_la_cadena_de_Suministro_y_mas_alla.pdf)  
[https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38484558/De\\_la\\_logistica\\_a\\_la\\_SCM.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWO](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38484558/De_la_logistica_a_la_SCM.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWO)
- Oh, J. y Jeong, B. (2019). Tactical supply planning in smart manufacturing supply chain. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 55, 217–233. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.04.003>
- Orjuela-Castro, J. A., Herrera-Ramírez, M. M. y Adarme-Jaimes, W. (2017). Warehousing and transportation logistics of mango in Colombia: A system dynamics model. *Revista Facultad de Ingeniería*, 26(44), 71. <https://doi.org/10.19053/01211129.v26.n44.2017.5773>

- Ortega, A. (2015). *Plan Municipal de Desarrollo 2012 - 2015*. Alcaldía municipal de San Marcos, Garantía de un buen gobierno.
- Pant, K., Singh, A. R., Pandey, U. y Purohit, R. (2018). ScienceDirect A Multi Echelon Mixed Integer Linear Programming Model of a Close Loop Supply Chain Network Design. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 4838–4846. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.059>
- Pibernik, R., Zhang, Y., Kerschbaum, F. y Schröpfer, A. (2011). Secure collaborative supply chain planning and inverse optimization - The JELS model. *European Journal of Operational Research*, 208(1), 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.08.018>
- Ponte, B., Costas, J., Puche, J., Pino, R. y de la Fuente, D. (2018). The value of lead time reduction and stabilization: A comparison between traditional and collaborative supply chains. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 111(January 2017), 165–185. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.01.014>
- Romero, R. (2012). *Modelación de cadenas de suministro mediante programación entera* (Tesis). Universidad Autónoma de México. Ciudad de México.
- Rúa, E. B., Barrera, A. I. y Pinzón, B. (2016). Caracterización y Diagnóstico de la Cadena Productiva de la Piña en el Departamento del Casanare. *Revista Estrategia Organizacional*, 5(0), 29–47. <https://doi.org/10.22490/25392786.2099>
- Sana, S. S., Herrera-Vidal, G. y Acevedo-Chedid, J. (2017). Collaborative Model on the Agro-Industrial Supply Chain of Cocoa. *Cybernetics and Systems*, 48(4), 325–347. <https://doi.org/10.1080/01969722.2017.1285160>
- Secretaría de Desarrollo Económico. (2017). *Consenso Departamental EVA 2017*. Sucre.
- Shaelaie, M. H., Ranjbar, M. y Jamili, N. (2018). Integration of parts transportation without cross docking in a supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, 118, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.02.012>

- Sierra, B. (2019). *Plan Municipal De Desarrollo 2016 - 2019*. Alcaldía Municipal De San Marcos.
- Torres, Z. (2014). *Administración estratégica* (1ª ed). Grupo Editorial Patria.  
[https://www.academia.edu/19048745/Administraci%C3%B3n\\_estrat%C3%A9gica\\_Zacarias\\_Torres\\_Hernandez](https://www.academia.edu/19048745/Administraci%C3%B3n_estrat%C3%A9gica_Zacarias_Torres_Hernandez)
- Vargas, K. (2016). La agricultura colombiana en el contexto de la globalización. Elcampesino.Co.  
Recuperado de <https://www.elcampesino.co/la-agricultura-colombiana-en-el-contexto-de-la-globalizacion>
- Vianchá Sánchez, Z. H. (2014). Models and configurations of supply chains in perishable goods. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(1), 138–154. <https://doi.org/10.14482/inde.32.1.4577>
- Vidal, G. H. (2014). Análisis de Modelos de Planificación Colaborativa en la Cadena de Suministros: Una Revisión de la Literatura. *12th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, 2005*. Guayaquil.
- Villavicencio, A. y Vásques, W. (2003). *Guía técnica de cultivos*. Manual 73. INIAP.  
<https://books.google.com.co/books?id=iRrJAgAAQBAJ&pg=PA162&lpg=PA162&dq=porque+los+colinos+de+piña+se+ponen+al+sol&source=bl&ots=cAAcIVN7ul&sig=ACfU3U0JDagv7UPwt2J6grkcwHI91HI5YQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjEleGQ1ZjnAhUr1VvKHUIPByUQ6AEwEnoECAwQAQ#v=onepage&q=p>

## Apéndices

### Apéndice A: Encuesta 001

Encuesta 001 dirigida a: **Productores de piña del municipio de San Marcos, Sucre.**

#### Objetivo:

Caracterizar el estado actual de las actividades de producción, aprovisionamiento y distribución de la Piña en el municipio de San Marcos.

**Investigadores:** Yenifer Cárdenas Díaz y María Karolina Royeth.

#### I. Datos Generales

1. Sexo:

Masculino

Femenino

2. Edad: \_\_\_\_\_

3. Nivel de estudio:

Ninguno

Básica Primaria

Básica Secundaria

Universitarios

Posgrados

4. Ubicación Geográfica

Coordenadas

Coordenadas

#### II. Aspectos de producción

### Información Semilla

1. ¿Tipo de piña que se cultiva?

2. ¿La semilla de la piña la adquiere por cultivo o la compra?

- Cultivo
- Compra

3. ¿Cantidad de semilla cultivada o comprada?

4. En caso de comprar la semilla de la piña ¿Cuál es el costo de la semilla?

5. En caso de cultivar la semilla de la piña ¿Cuáles son los costos de este cultivo y su valor?

6. En caso de cultivar la semilla de la piña ¿Qué cantidad de semilla se siembra por hectárea?

7. ¿Cuánto tiempo tarda el cultivo de la semilla o a los cuantos meses se recoge?

8. Utiliza medio de transporte a la hora de trasladar la semilla al lugar de cultivo de piña ¿Cuál es su costo?

- Si
- No

### **Información cultivo de piña**

9. ¿Cuál es la extensión de la finca productora?

Ejemplo: 5 hectáreas

10. ¿Cuál es la extensión de tierra que utiliza para la producción de piña en la finca?

Ejemplo: 5 hectáreas

11. ¿Cuánto tiempo tarda el cultivo de la piña o a los cuantos meses se recoge?'

12. ¿Almacena la piña luego del cultivo y por cuánto tiempo?

- Si
- No

13. ¿Qué lugar utiliza para su almacenamiento?

14. ¿Con cuánto espacio cuenta para el almacenamiento?

15. ¿Existe alguna pérdida de peso en el producto, durante el proceso de

a

16. ¿Es necesario realizar el almacenamiento en una temperatura estipulada?

¿Cuál?

17. ¿Qué tipo de transporte utiliza hasta el almacenamiento de la piña y cuál es su costo?

18. ¿Recibe apoyo de alguna entidad gubernamental o privada?

Sí.

¿Cuáles?: \_\_\_\_\_

No

19. ¿Utiliza usted insumos para generar una buena producción?

Sí

No

20. ¿Cuál es el costo de estos insumos y en qué cantidad?

21. ¿Cuántos trabajadores realizan las labores, en que tareas están distribuidos y cuál es el costo por cada mano de obra?

22. ¿Cuáles son los costos que se presentan en el transporte de la cosecha y su valor?

23. ¿Qué otros costos se generan en la producción de la cosecha y su valor?

24. ¿Cuáles son los costos por mantenimiento durante el cultivo?

25. ¿Cuál debe ser el estado del terreno para el cultivo?

26. ¿Cuál es la cantidad de producto que se genera por hectárea?

27. ¿Cuál es el periodo del año donde se produce el pico más alto de producción?

28. ¿Cuál es el periodo del año donde se produce el pico más bajo de producción?

### III. Aspectos de Comercialización

29. ¿Qué tipo de transporte utiliza para la comercialización de la piña y su costo?

30. ¿De qué manera comercializa la piña?

- Por unidad
- Por carga

Otra: ¿Cuál?

---

31. ¿Cuál es el precio de la piña comúnmente?

32. ¿Qué factores influyen en el precio de la piña?

33. ¿En qué precios se encuentra la unidad de piña en su cosecha más baja?

34. ¿En qué precios se encuentra la unidad de piña en su cosecha más alta?

35. Si existe otra forma de comercialización, cuáles son los precios:

36. ¿Quiénes son sus principales clientes?

- Personas al menudeo
- Compradores informales

- Almacenes de cadena
  - Plazas de mercados
  - Todos los anteriores
  - Otros: ¿Cuáles?
- 

37. ¿Cómo considera usted el precio de la piña al momento de su comercialización?

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

38. ¿La comercialización la realiza de forma independiente o asociada?

- Independiente
- Asociado

39. ¿Ha quedado con producto en inventario por falta de compradores?

- Si
- No

40. ¿Es necesario realizar el transporte de la piña con ciertas condiciones de temperatura? ¿Cuál?

### **Apéndice B: Encuesta 002**

Encuesta 002 dirigida a: **Productores de piña del municipio de San Marcos, Sucre.**

Objetivos:

- ✓ Caracterizar el estado actual de las actividades de producción, aprovisionamiento y distribución de la Piña en el municipio de San Marcos.

Investigadores: Yenifer Cárdenas Díaz, María Karolina Royeth.

#### **IV. Datos Generales**

Sexo:

- Masculino
- Femenino

Edad: \_\_\_\_\_

Nivel de estudio:

- Ninguno
- Básica Primaria
- Básica Secundaria
- Universitarios
- Posgrados

#### **V. Aspectos de producción**

1. ¿Cuál es la extensión de la finca productora?

Ejemplo: 5 hectáreas

2. ¿La semilla de la piña la adquiere por cultivo o la compra?

Cultivo

compra

3. ¿Cantidad de semilla cultivada o comprada?

4. ¿Qué cantidad de semilla se siembra por hectárea?

5. ¿Cuánto tiempo tarda el cultivo de la piña o a los cuantos meses se recoge?

6. ¿tipo de piña que se cosecha?

7. ¿Cuál es el periodo del año donde se produce el pico más alto de producción?

De Enero a Marzo

De Abril a Junio

De Julio a Septiembre

De Octubre a Diciembre

8. ¿Cuál es el periodo del año donde se produce el pico más bajo de producción?

- De Enero a Marzo
- De Abril a Junio
- De Julio a Septiembre
- De Octubre a Diciembre

9. ¿Utiliza herramientas especializadas para la cosecha de la piña?

Si.

¿Cuáles?: \_\_\_\_\_

No

10. ¿Recibe apoyo de alguna entidad gubernamental o privada?

Si.

¿Cuáles?: \_\_\_\_\_

No

11. ¿Utiliza usted insumos para generar una buena producción?

Sí

No

12. ¿Cuántos trabajadores realizan las labores y en que tareas están distribuidos?

13. ¿Cuáles son los costos que se presentan en el transporte de la cosecha?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

14. ¿Qué otros costos se generan en la producción de una cosecha?

---

---

---

15. ¿cuál debe ser el estado del terreno para el cultivo?

16. ¿cuál es la cantidad de producto que se genera por hectárea?

## VI. Aspectos de Comercialización

17. ¿cuáles son los costos por mantenimiento?

18. ¿De qué manera comercializa la piña?

- Por unidad
  - Por carga
  - Otra: ¿cuál?
- 

19. ¿cuál es el precio de la piña comúnmente?

20. ¿en qué precios se encuentra la unidad de piña en su cosecha más baja?

21. ¿en qué precios se encuentra la unidad de piña en su cosecha más alta?

22. Si existe otra forma de comercialización, cuáles son los precios:

---

---

23. ¿Quiénes son sus principales clientes?

- Personas al menudeo
  - Compradores informales
  - Almacenes de cadena
  - Plazas de mercados
  - Otros: ¿Cuáles?
- 

24. ¿Cómo considera usted el precio de la piña al momento de su comercialización?

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

25. ¿La comercialización la realiza de forma independiente o asociada?

- Independiente
- Asociado

26. ¿Ha quedado con producto en inventario por falta de compradores?

- Si
- No

27. ¿estaría de acuerdo en identificar nuevos clientes y mercados para la comercialización de la piña?

- Si
- No

28. Con la identificación de nuevos mercados y clientes, ¿cree usted que se generarían mayores niveles de producción y comercialización?

- Si
- No

#### **VII. Ubicación Centro de Acopio**

29. En escala de 1 a 10, ¿Qué tan factible considera la propuesta de crear una colaboración entre los productores para generar competitividad?

- 0-4
- 5-6
- 7-8
- 9-10

30. ¿Cuál sería la ubicación que usted cree de mayor pertinencia para la ubicación de un centro de acopio?

- En el casco urbano del municipio
- En la zona rural cerca de las fincas productoras

31. ¿En caso de existir un centro de acopio de piña en el municipio, que beneficios conllevaría?

- Generación de empleo
- Desarrollo económico

- Mayores ganancias en la venta del aguacate
- Sostenibilidad económica y producción para sus miembros
- Ninguna

32. ¿La producción y/o comercialización de piña le genera una estabilidad económica para continuar cosechando?

- Sí
- No

**Apéndice C: Evidencia fotográfica**



**Figura 28.** Bascula manual en los cultivos de piña de San Marcos. Fuente: propia.



**Figura 29 .** Piña en tercer grado de maduración. Fuente: Propia.



**Figura 30.** Piña en primer grado de maduración. Fuente: propia.



**Figura 31.** Piña oro miel. Fuente: propia.



**Figura 32.** Piña en quinto grado de maduración. Fuente: propia.



**Figura 33.** Piñas protegidas del sol con periódicos. Fuente: Propia.



**Figura 34.** Cultivos de piña oro miel. Fuente: Propia.



**Figura 35.** Cultivos de piña oro miel. Fuente: Propia.



**Figura 36.** Cultivo de piña en San marcos. Fuente: Propia.