

**DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO APLICADO A LA PLANEACIÓN DE  
LA PRODUCCIÓN Y EL TRANSPORTE DE UN PRODUCTO DETERMINADO  
EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS**

**JOSE LUIS PEÑARANDA PERALTA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
PALMIRA  
2019**

**DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO APLICADO A LA PLANEACIÓN DE  
LA PRODUCCIÓN Y EL TRANSPORTE DE UN PRODUCTO DETERMINADO  
EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS**

**JOSE LUIS PEÑARANDA PERALTA**

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

**DIRECTOR:**

**M. ENG. MARIO JOSÉ BASALLO TRIANA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PALMIRA**

**2019**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Palmira, Valle del Cauca,**

**28 de marzo del 2019.**

## DEDICATORIA Y/O AGRADECIMIENTOS

*A mi director de trabajo de grado Mario Basallo por la confianza depositada, el conocimiento que me ha compartido y aportarme una guía para desarrollarme profesionalmente.*

*A mi madre Martha Peralta por el apoyo incondicional en todos los momentos críticos en mi vida.*

*A mi padre Luis Alberto Peñaranda por brindarme implícitamente el amor por la ingeniería.*

*A mi fiel acompañante Yudith Mora por creer siempre en nuestros sueños y contribuir para que se hagan realidad.*

*A la empresa que me abrió las puertas y me dio libertad para desarrollar mis ideas, y en especial a la jefe de recursos humanos Maria Elizabeth Cárdenas que me apoyó en todo este proceso generando un acompañamiento por parte de la empresa, vital para el cumplimiento de los objetivos planteados.*

*Y, por último, a mí querida alma mater (Universidad del Valle), que me convirtió en una persona diferente, me aportó todo el conocimiento, me hizo crecer personal y profesionalmente. Nunca podré demostrar el agradecimiento por permitirme ser parte de esta universidad y tener el privilegio de decir que fue mi escuela de formación.*

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Quien suscribe, Jose Luis Peñaranda Peralta, identificado con cédula de ciudadanía N° 1113645563 de Palmira (Valle del Cauca), hace constar que es autor del trabajo de grado titulado: **DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO APLICADO A LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y EL TRANSPORTE UN PRODUCTO DETERMINADO EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS**, el cual constituye una realización personal, únicamente con la asesoría de **M. ENG. MARIO JOSÉ BASALLO TRIANA**, quien hizo las funciones de asesor. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo, desarrollo del mismo, interpretación de los datos, elaboración de análisis y conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en donde corresponde según el reglamento de la Universidad del Valle para desarrollo de trabajos de grado.

Firmo a los 28 días del mes de marzo del 2019.

---

**JOSE LUIS PEÑARANDA PERALTA**

C.C.1113645564

## RESUMEN

La presente tesis realiza inicialmente la caracterización de una cadena de suministro de una empresa de alimentos con el objetivo de diseñar un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y el transporte, donde su finalidad es facilitar la toma de decisiones en el plan maestro de la producción con un enfoque de reducción de costos, incluyendo una decisión de transporte que tiene en cuenta las posibilidades de envío de la empresa y que contribuye a la visualización holística de una cadena de suministros.

Para lo anterior se usan conceptos, metodologías y herramientas de la ingeniería industrial, como lo es el plan maestro de la producción de un producto determinado, el diseño de un modelo matemático que permita determinar las condiciones y valores indicados para cubrir los objetivos de la empresa y obtener buenos resultados, y por último, el análisis de sensibilidad como herramienta para definir diferentes escenarios en el modelo matemático y los resultados alternos generados a partir de variar algunas condiciones o valores.

Finalmente, como resultado se obtuvo la caracterización de una cadena de suministro que, aplicada al modelo matemático por medio del plan maestro de la producción y el transporte, permite tomar decisiones que contribuyan a buscar resultados orientados a reducir costos, permitiendo percibir como variaciones pequeñas en costos, en restricciones, en capacidades o demandas, pueden terminar afectando las decisiones de una organización, y así mismo, los costos asociados a sus decisiones.

**Palabras Clave:** Modelación Matemática, Análisis de Sensibilidad, Plan Maestro de la Producción, MPS, Transporte, Cadenas de Suministro.

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	12
1. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. OBJETIVOS .....	18
1.2.1. <i>General</i> .....	18
1.2.2. <i>Específicos</i> .....	18
1.3. MARCO TEÓRICO.....	19
1.3.1. <i>Teoría y conceptos básicos</i> .....	19
1.3.1.1. <i>Planeación de la producción</i> .....	19
1.3.1.2. <i>Transporte</i> .....	22
1.3.1.3. <i>Optimización de la planeación de la producción y el transporte</i> .....	23
1.3.2. <i>Estado del arte</i> .....	24
1.3.3. <i>METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS</i> .....	27
1.5. ALCANCE DEL PROYECTO.....	30
2. CARACTERIZACIÓN DE PROTERRA FOODS S.A.S.....	34
2.1. BREVE HISTORIA DE LA EMPRESA.....	34
2.2. INFORMACIÓN BÁSICA DE LA EMPRESA .....	35
2.3. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA EMPRESA.....	36
2.3.1. <i>Fundamentos corporativos de PROTERRA FOODS S.A.S.</i> .....	36
2.3.2. <i>Datos de la empresa</i> .....	36
2.3.3. <i>Ventajas competitivas de PROTERRA FOODS S.A.S.</i> .....	37
2.3.4. <i>Recursos actuales</i> .....	40
2.3.5. <i>Sistemas de gestión de la empresa</i> .....	42
2.4. PRODUCTO SELECCIONADO (BANANO) Y PRODUCTOS ADICIONALES INCLUIDOS (PAPAYA Y FRESA) DE PROTERRA FOODS S.A.S. ....	42
2.4.1. <i>Cadena de suministro de los productos seleccionados</i> .....	44
2.4.1.1. <i>Costos asociados al producto seleccionado (banano) y los productos adicionales de la línea de producción 1 (papaya y fresa) en la cadena de suministro</i> .....	49
2.4.1.2. <i>Características de cadena de suministros del producto seleccionado (banano) y los productos adicionales (papaya y fresa)</i> .....	54
2.4.2. <i>Variables que afectan el desempeño de la cadena de suministro</i> .....	64
3. DISEÑO DEL MODELO MATEMATICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (MPS) Y EL TRANSPORTE EN PROTERRA FOODS S.A.S. ....	66
3.1. HORIZONTE DE TIEMPO.....	66
3.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MODELO MATEMÁTICO.....	66
3.3. COMPONENTES DEL MODELO MATEMÁTICO.....	69
3.3.1. <i>Productos</i> .....	69
3.3.2. <i>Plantas</i> .....	69
3.3.3. <i>Clientes</i> .....	69

3.3.4.	<i>Transporte</i> .....	69
3.4.	FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO .....	70
3.4.1.	<i>Índices</i> .....	70
3.4.2.	<i>Parámetros</i> .....	70
3.4.3.	<i>Variables de decisión</i> .....	72
3.4.4.	<i>Función objetivo</i> .....	72
3.4.5.	<i>Restricciones</i> .....	73
3.5.	SOLUCIÓN INICIAL DEL MODELO MATEMÁTICO (ESCENARIO 0).....	74
4.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO MATEMÁTICO PROPUESTO .....	79
4.1.	ESCENARIO 1: CAMBIOS EN LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DEL EQUIPO IQF.....	79
4.2.	ESCENARIO 2: CAMBIOS EN LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA MANO DE OBRA (REDUCCIÓN DE PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA).....	81
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88
	ANEXOS.....	91



## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. RELACIÓN DE VENTAS ENTRE PAÍSES Y FRUTAS CONGELADAS.....	35
TABLA 2. DATOS GENERALES DE PROTERRA FOODS S.A.S.....	37
TABLA 3. FICHA TÉCNICA: BANANO (SLICES 10MM).....	43
TABLA 4. COSTO POR KILOGRAMO DEL BANANO, PAPAYA Y FRESA DURANTE EL 2018 PARA PROTERRA FOODS S.A.S.....	49
TABLA 5. RESUMEN DE COSTOS DE INSUMOS PARA LOS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1, COSTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN KILOGRAMO DE PRODUCTO.....	50
TABLA 6. RESUMEN DE COSTOS DE TRANSFORMACIÓN PARA LOS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1, COSTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN KILOGRAMO DE PRODUCTO.....	50
TABLA 7. RESUMEN COSTOS DE RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA PARA LOS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1, COSTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN KILOGRAMO DE PRODUCTO.....	51
TABLA 8. RESUMEN COSTOS EN EL ÁREA DE PRODUCTO TERMINADO PARA LOS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1, COSTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN KILOGRAMO DE PRODUCTO.....	51
TABLA 9. RESUMEN COSTOS DE ALISTAMIENTO GENERADOS CADA VEZ QUE SE DECIDE GENERAR UNA PRODUCCIÓN EN UNA SEMANA, PARA UN PRODUCTO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1.....	52
TABLA 10. RESUMEN COSTOS DE TRANSPORTE DESDE CADA UNO DE LOS PUERTOS (BUENAVENTURA O CARTAGENA) A LOS CLIENTES DEL MES DE JUNIO PARA EL CASO DE ESTUDIO APLICADO AL MODELO MATEMÁTICO. VALORES PARA CONTENEDORES REFEER DE 20 PIES.....	53
TABLA 11. PEDIDOS EN KILOGRAMOS PARA EL MES DE JUNIO DEL 2018 PARA LOS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN NÚMERO 1, ESPECIFICADO POR CLIENTE.....	59
TABLA 12. PEDIDOS EN KILOGRAMOS PARA EL MES DE JUNIO DEL 2018 PARA LOS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN NÚMERO 1, PARA EL CLIENTE DE NEW YORK.....	59
TABLA 13. PEDIDOS EN KILOGRAMOS PARA EL MES DE JUNIO DEL 2018 PARA LOS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN NÚMERO 1, PARA EL CLIENTE DE HAMBURG.....	59
TABLA 14. PEDIDOS EN KILOGRAMOS PARA EL MES DE JUNIO DEL 2018 PARA LOS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN NÚMERO 1, PARA EL CLIENTE DE MONTREAL.....	60
TABLA 15. CLIENTES DE LOS PRODUCTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 PARA TODO EL 2018 Y SU UBICACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA EMPRESA PROTERRA FOODS S.A.S.....	63
TABLA 16. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MODELO MATEMÁTICO.....	67
TABLA 17. PLAN MAESTRO DE LA PRODUCCIÓN PARA LOS 3 PRODUCTOS DE LA CADENA DE SUMINISTROS 1 SEGÚN EL ÓPTIMO DEL MODELO MATEMÁTICO SOLUCIONADO EN SOLVER.....	77
TABLA 18. COMPARATIVA ENTRE EL MODELO ACTUAL PARA EL ESTADO 0 Y LOS RESULTADOS DE LA EMPRESA EMULADOS EN EL MODELO MATEMÁTICO.....	78

## LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA 1. FRUTAS LISTAS PARA EXPORTACIÓN CON PROCESO IQF.</i> .....	38
<i>FIGURA 2. MAPA DE UBICACIÓN DE PROTERRA FOODS EN LA CIUDAD DE PALMIRA.</i> .....	39
<i>FIGURA 3. MAPA DE PUERTOS DISPONIBLES PARA EXPORTAR DESDE LA EMPRESA PROTERRA FOODS S.A.S.</i> .....	40
<i>FIGURA 4. CADENA DE SUMINISTROS PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 EN LA EMPRESA PROTERRA FOODS S.A.S.</i> .....	45
<i>FIGURA 5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL BANANO EN LA EMPRESA PROTERRA FOODS SAS TENIENDO EN CUENTA TODA LA CADENA DE SUMINISTRO [NORMA USADA: ISO 9000 PARA SÍMBOLOS DEL DIAGRAMA].</i> .....	46
<i>FIGURA 6. RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO EN SU FUNCIÓN OBJETIVO Y LAS VARIABLES DE DECISIÓN PARA EL CASO INICIAL.</i> .....	74
<i>FIGURA 7. RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LOS CAMBIOS DEL ESCENARIO 1 EN EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.</i> .....	80
<i>FIGURA 8. RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LOS CAMBIOS DEL ESCENARIO 2 EN EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.</i> .....	82

## LISTA DE ANEXOS

<i>ANEXO 1. RESTRICCIONES Y PARÁMETROS DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESTADO ACTUAL DE LA EMPRESA (ESCENARIO 0), SEMANA 1 A LA SEMANA 4, MES DE JUNIO DEL 2018.....</i>	<i>91</i>
<i>ANEXO 2. RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESCENARIO 1 DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD, SEMANA 1 A LA SEMANA 4, MES DE JUNIO DEL 2018.....</i>	<i>94</i>
<i>ANEXO 3. RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL ESCENARIO 2 DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD, SEMANA 1 A LA SEMANA 4, MES DE JUNIO DEL 2018.....</i>	<i>95</i>

## INTRODUCCIÓN

Uno de los ejes fundamentales de las empresas de alimentos es precisamente la planeación de la producción, pues según sean tomadas las decisiones en ese tópico terminan definiendo el manejo de los recursos disponibles, y por consecuencia, limitando la competitividad, ya que castiga o favorece las decisiones tomadas. Desde las pequeñas empresas hasta las multinacionales deben hacer uso de la planeación de la producción y el transporte asociado a la misma, lo cual conlleva a problemas de toda índole: desde asignar muchos recursos a un producto no demandado hasta grandes niveles de insatisfacción de la demanda.

Debido a la importancia de tener la planeación de la producción más acertada a las diferentes necesidades y objetivos de las empresas, existen múltiples herramientas, metodologías y tecnologías que contribuyen desde la base de la ingeniería industrial a resolver esto, según sean los intereses de las organizaciones. Pero en los últimos años, ha crecido una necesidad por adaptarse rápidamente y poder tomar decisiones de manera efectiva, dándole una connotación diferente al tipo de herramientas a usar.

Es por esto, que en el presente proyecto de investigación se usa la modelación matemática, basándose en realizar un diseño acertado del modelo, donde se tenga en cuenta la cadena de suministro y que finalmente contribuya a reducir los costos asociados a la producción y el transporte de un producto determinado en una empresa de alimentos, teniendo en cuenta el plan maestro de la producción.

Sin embargo, hay que entender que existen múltiples causas que obligan a las diferentes organizaciones a mejorar su toma de decisiones de acuerdo a la planeación de la producción y el transporte, donde se puede generalizar desde: el mal uso de los recursos para la producción, inadecuado manejo de la información para la producción, planes mal elaborados para el cumplimiento de la demanda y el

nivel de satisfacción, decisiones inadecuadas en el transporte, entre otros, que se puede abarcar todo como una gestión inadecuada de la planeación de la producción y el transporte. Se considera entonces para resolver esta problemática, el diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción desarrollando un plan maestro de la producción y el transporte de un producto determinado en una empresa de alimentos, que permite determinar cuándo producir, cuánto producir y cómo cubrir la demanda, enfatizando en las características de la producción, y se plantea un análisis de sensibilidad que permite evaluar y estudiar diferentes escenarios según se estipulen diferentes situaciones específicas en el modelo matemático.

La presente temática tiene un amplio campo de uso y cuenta con suficiente conocimiento de la literatura en los temas principales, por lo tanto, se toman las diferentes referencias bibliográficas como asesoría fundamental en el adecuado desarrollo de los objetivos y el cumplimiento del modelo matemático según las condiciones estipuladas, puesto que una de las recomendaciones que se reciben con mayor frecuencia es lograr acotar de manera adecuada la caracterización del proceso, en este caso la cadena de suministros, para no darle un campo muy abierto que no concuerde con el desarrollo de un trabajo de grado de ingeniería quedando extralimitado o en caso contrario, quede muy acotado. Así, el alcance se define para la cadena de suministros, desde su punto de partida hasta el producto terminado, pero con un enfoque de transporte dirigido al cumplimiento de los pedidos según sean las posibilidades de envío de la empresa, entendiendo que se debe acotar según las características que se perciban en el desarrollo del proyecto.

Por último, en el capítulo 1 se definen los aspectos generales de la investigación, enseñando el planteamiento del problema y mostrando además los objetivos del trabajo que se desarrolla junto al marco teórico que lo envuelve. El segundo capítulo entra directamente en el desarrollo de los objetivos, resolviendo la caracterización de la cadena de suministro del producto seleccionado, el tercer capítulo especifica

el modelo matemático diseñado y, por último, en el capítulo 4 se estipula el análisis de sensibilidad, culminando con los resultados, conclusiones, referencias y anexos.

## **1. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En un mundo globalizado y extremadamente competitivo como en el que las empresas deben sobresalir en la actualidad, existen múltiples elementos que dentro de la organización son indispensables para funcionar y poder ser competitivos, destacando uno de los pilares más importantes: la producción, particularmente lograr un buen desempeño en esta área, alcanzando los objetivos que la representen, ya sea reduciendo costos o maximizando utilidades pero usando los recursos con los cuales dispone de manera efectiva. Para esto, la planeación de la producción permite gestionar dichos recursos, planificando las actividades productivas y mejorando la toma de decisiones en cuanto a las variables de decisión, ya que son estas las que más influyen en cada situación específica, por lo tanto, una manera que permite lograr resultados favorables con la gran diversidad de decisiones que se pueden tomar, es diseñando un modelo en el plan maestro de la producción, que permita decidir aspectos puntuales de producción, en búsqueda de la reducción de costos o aumento de utilidades según sean las características de la empresa estudiada.

Por lo tanto, se debe enfatizar en que una mala planificación tiene consigo unos costos que tienen un factor básico en común, siendo este el desperdicio, ya sea el desperdicio de dinero, tiempo u oportunidades (Díaz Santos, 1994), sabiendo que al existir tantas posibilidades para la toma de decisiones en cuanto a las variables de la planeación de la producción, existe la posibilidad de cometer errores y realizar dicha mala planificación, y esto puede llevar al fracaso en alcanzar las metas y objetivos de las empresas, como lo refiere Garmendia (2009) donde una mirada

cortoplacista y la falta de planificación son las principales falencias que presentan las pequeñas y medianas empresas, una deficiencia que llevaría a que cerca del 70% de ellas no pueda alcanzar las metas del negocio.

Igualmente, buscando acercarse lo máximo posible a la realidad, se vincula el transporte como problema de envío de contenedores, que determine cuando hay que enviar los pedidos requeridos por los clientes para así cumplir satisfactoriamente con la demanda, dándole un enfoque de cuando enviar, cuanto enviar, y para donde enviar. Por ende, se vincula este concepto en las características del modelo, que finalmente buscan conseguir resultados sin aislar variables importantes que pueden influir de forma positiva o negativa en la consecución de objetivos dependiendo de las decisiones que se tomen.

Es por esto que cuando se observan empresas que deben tomar múltiples decisiones cada vez que desean satisfacer una demanda en un determinado tiempo, resalta entonces una situación que los obliga a tomar las mejores decisiones posibles, para así generar una reducción de costos o un aumento de la utilidad. Para el caso de la empresa PROTERRA FOODS SAS, se puede deslumbrar un punto de inflexión muy importante en este tema, donde se evidencia como recientemente por varios factores, se toma la decisión de descartar la piña dentro del abanico de productos a producir y exportar. La razón principal, expuesta desde presidencia de la compañía en diciembre del 2018, fue la no generación de utilidades durante el primer semestre del 2018 para este producto, que si bien, no son afectados únicamente por las decisiones de la empresa, puesto que muchas veces no tienen la potestad de modificar el precio del mercado a su discreción; si hay factores importantes que se ven afectados desde la compañía, algunos girando entorno al cumplimiento de pedidos y otros en decisiones de producción, almacenamiento y transporte del producto.

Al final, termina afectando significativamente los intereses de la compañía, dado que, durante los últimos 2 años, se disminuyeron del 34% en la cantidad de pedidos

para este producto, consecuencia en su mayoría por el incumplimiento de acuerdos comerciales por desfases en los cumplimientos de entregas.

Por lo tanto, desde las variables que la empresa puede afectar directamente, se permitieron altos niveles de inventario esperando que la demanda tuviera un crecimiento que no fue reflejado en los pronósticos ni en los pedidos, generando esto un aumento de los costos del producto por sobrecostos de inventarios, almacenamientos innecesarios por planeación inadecuada de la producción, mala lectura del mercado o simplemente riesgos muy altos que fueron asumidos al momento de generar dichas planeaciones, lo que finalmente en el segundo semestre del 2018 llevó a retirar paulatinamente del mercado la piña para exportación, con el objetivo que para el 2019 ya no se ofertara a ninguno de los clientes actuales. Ahora bien, una óptima planeación de la producción puede no garantizar la permanencia de un producto en el mercado, pero si permite tomar decisiones acertadas a tiempo y evitar sobrecostos innecesarios.

Y por último, los modelos matemáticos permiten encontrar estos resultados favorables determinando cuáles variables de decisión logran reducir los costos incurridos que sean parte, en este caso, de la planeación de la producción, esto buscando contribuir a las empresas de alimentos una visión más concreta de la importancia del uso de herramientas matemáticas y su interpretación para poder alcanzar los objetivos que se plantean como organización, todo esto demostrando la problemática que se genera al no realizar una planeación de la producción y su transporte a los clientes de manera adecuada, donde se crea entonces una pregunta que envuelve todo lo mencionado: ¿Cómo el diseño de un modelo matemático contribuye a la reducción de costos asociados a la planeación de la producción desarrollando un plan maestro de la producción y el transporte de un producto determinado en una empresa de alimentos?



## PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son los elementos y variables importantes que se deben considerar para la cadena de suministro objeto de estudio que puedan afectar el desempeño en una empresa de alimentos?
- ¿Cómo estructurar un modelo matemático en una empresa de alimentos que permita optimizar la planeación de la producción, reduciendo los costos de producción y transporte de un producto determinado, que además permita determinar qué producir, cuándo producir, cuánto producir y cómo cubrir la demanda, según sea el desarrollo del plan maestro de la producción?
- ¿Cómo el análisis de sensibilidad permite estudiar y evaluar diferentes escenarios según se planteen situaciones específicas en una empresa de alimentos de un producto determinado?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. General**

Diseñar un modelo matemático con el propósito de reducir los costos asociados a la planeación de la producción, desarrollando el plan maestro de la producción y el transporte de un producto determinado en una empresa de alimentos.

### **1.2.2. Específicos**

- Caracterizar la cadena de suministro objeto de estudio en una empresa de alimentos, con la finalidad de establecer cuáles variables afectan más su desempeño.
- Estructurar un modelo matemático que reduzca los costos de producción y transporte de un producto determinado en una empresa de alimentos que permita establecer cuándo producir, cuánto producir y cómo cubrir la demanda, según sea el desarrollo del plan maestro de la producción.
- Analizar diferentes escenarios por medio de análisis de sensibilidad según diferentes situaciones específicas de un producto determinado en una empresa de alimentos con el fin de evaluar el desempeño del modelo frente a diferentes escenarios posibles.

### **1.3. MARCO TEÓRICO**

Para el desarrollo del presente trabajo se usan conceptos de ingeniería, que, al ser planteados, ejecutados, analizados e integrados, buscan contribuir al diseño del modelo matemático cuyo objetivo principal es reducir los costos asociados a la planeación de la producción y el transporte en una empresa de alimentos, por lo tanto, se desglosan a continuación todos aquellos conceptos para darle continuidad al desarrollo de los objetivos.

#### **1.3.1. Teoría y conceptos básicos**

##### **1.3.1.1. Planeación de la producción**

Dado que se va a centrar en la planeación de la producción, incluyendo a los diversos elementos que puedan afectar los resultados de la misma, es indispensable tener conocimiento de las definiciones que rodean esta área de la ingeniería industrial, por lo tanto, se da una primera pauta de los conceptos básicos, comenzando con la de planeación de la producción: que nace de la necesidad de definir cuánto y cuándo producir, teniendo como base la demanda y los niveles de producción, resaltando la importancia de los horizontes de tiempo que deben ir orientados al cumplimiento de los pronósticos o los pedidos de los clientes. Sin embargo, se debe entender que al basarse en la incertidumbre; el tamaño del horizonte de tiempo aumenta sustancialmente dicha incertidumbre y exige planes mucho más elaborados que intenten controlar o predecir comportamientos de la demanda (Sipper y Bulfin, 1998).

- ***Pronóstico***

Para esto, el primer término a aclarar es el pronóstico, ya que es usado ampliamente en la planeación de la producción; siendo este una técnica que usa experiencias pasadas con la finalidad de poder predecir expectativas del futuro (Chapman, 2006). Aunque hay una leve diferencia entre el término pronóstico y el término predicción,

donde el pronóstico solo puede hacerse con la ayuda de datos históricos e información recolectada del pasado, mientras que predicción suele basarse en consideraciones de tipo subjetivo (Everet y Ebert, 1991).

Por lo tanto, en el caso de estudio del presente proyecto, el pronóstico como concepto, se fundamenta desde la ciencia y el arte para ser capaz de determinar eventos futuros, o por lo menos predecirlos; y muchas veces esto implica no sólo usar los datos históricos, sino también, tener la capacidad de proyectarlos por medio de algún tipo de modelo matemático (Heizer y Render, 2004). Sabiendo por ejemplo que, en el caso específico de los planes agregados de la producción y los planes maestros de la producción, la programación lineal es una metodología ampliamente usada (Sipper y Bulfin, 1998).

- ***Planeación agregada de la producción***

Generalmente cuando se buscan determinar decisiones de producción a mediano plazo, garantizando o aproximando la oferta con la demanda; es cuando se necesita la planeación agregada, dado que contribuye principalmente en temas de producción, manejo de inventarios, y establece algunas políticas como lo son: contrataciones, despidos, horas extras, niveles de inventario, niveles de producción, entre otros. Sin embargo, hay que aclarar que el horizonte de tiempo al ser mediano plazo, no permite tomar decisiones cortoplacistas, es decir, de días o semanas.

Aunque, dicha planeación no es un elemento aislado, necesariamente debe ir conectada con otras áreas de la empresa, áreas que también toman decisiones importantes y pueden afectar los resultados, tales como el presupuesto, los recursos humanos, su disponibilidad y la comercialización (Schoroeder, 2005).

- ***Plan maestro de la producción***

Para la ejecución de los planes estratégicos y de la planeación agregada hay que desglosar a tal punto las decisiones para que sean ejecutables en las

organizaciones, y planificar los productos de demanda independientes hacen parte de la planificación maestra de la producción, que a su vez es consecuencia de la planeación agregada, pero su horizonte de tiempo es mucho menor y sus funciones más específicas, ya que oscilan entre 1 semana y 1 mes en la mayoría de los casos (García, 2007).

- ***Requerimiento de materiales o planificación detallada***

Así mismo, el requerimiento de materiales nace de la planificación maestra, y busca ser más específica, pero enfocándose en los productos de demanda dependientes, donde se tiene un horizonte de tiempo que oscila entre 1 semana y 1 mes (García, 2007).

Por lo tanto, viendo de una manera global la planeación de la producción, se puede aclarar que a medida que se mueven los diferentes niveles de planeación y horizontes de tiempo; la planificación tiende a ser mucho más compleja al incluir comportamientos y variables que requieren de una muy buena gestión y buen uso de las metodologías y herramientas disponibles para no verse afectados fuertemente por la inherente variación natural respecto a los datos históricos.

Por último, en este primer tema global, se requiere especificar que existen diferentes tipos de planificación y capacidades, siendo principalmente 2 tipos de planificación los que se usan actualmente en las empresas: contra stock y contra pedido, pero pueden existir combinaciones de estas. Siendo contra stock el tipo de planificación que requiere que los productos sean retirados del almacén de productos terminados de acuerdo con la demanda del cliente y contra pedido que el cliente es quien origina la orden de compra y activa la producción de dicho producto. Ya en cuanto a la capacidad, hay que enfatizar en la restricción que se puede tener al crear planes de producción, puesto que muchas veces se supera la capacidad de producción real de la empresa y al final se deben hacer replanificaciones. (García, 2007).

### **1.3.1.2. Transporte**

Desde la perspectiva de planeación y ejecución del transporte de mercancía, se encuentran gran variedad de problemáticas, desde ruteos de transportes hasta decisiones elementales del transporte, siendo un punto importante en el presente trabajo de investigación al querer asociar un aspecto integral, ya que en muchos casos las decisiones de producción no solo están afectadas por las capacidades de las plantas, costos de producción o los recursos humanos, sino por las decisiones en costos de transporte, capacidad de vehículos y posibilidades de envío. Por esto, existe una necesidad vital entre producir y transportar los bienes de consumo desde cualquier punto de producción y/o centro de distribución hasta el cliente o mercado específico, sabiendo además que existen múltiples modos de transporte, como lo son el férreo, marítimo, aéreo, carretera o fluvial (Estrada, 2007).

Ahora bien, un concepto muy arraigado cuando se hablan de decisiones de transporte, es el problema de ruteo de vehículos o VRP, que radica en determinar las mejores rutas para que los productos o servicios sean entregados a los clientes distribuido de manera geográfica, logrando generalmente una minimización de tiempo, dinero y distancia (Bodín, Golden y Assad, 1983). Sin embargo, visto desde el concepto de transportar un producto, se tienen algunos elementos descritos por el anterior autor, donde se usa la capacidad de transporte y las fechas de entregas para garantizar el cumplimiento en la entrega, permitiendo gestionar los recursos de manera integral en una organización.

Todo esto conlleva a un tema más, relacionado con la investigación de operaciones y por ende con la modelación matemática, que va en búsqueda de solucionar una de las necesidades de las empresas al poder determinar cómo cumplirle los pedidos o pronósticos al mercado actual con las condiciones estipuladas en la empresa, por lo que, dependiendo del tipo de problema de transporte, hay diferentes métodos de solución, donde cada uno presenta sus ventajas y desventajas según el problema inicial, permitiendo aclarar problemas desde tamaños de flota, de ruteo de

vehículos, combinaciones y, cómo se plantean matemáticamente para buscar la minimización de costos en decisiones de transporte. Aportando para el presente trabajo este último concepto, donde permite visualizar según metodologías, cómo debe ser su respectiva formulación para cubrir la caracterización de empresas según sean sus necesidades de transporte (Bodín, Golden y Assad, 1983). Pero haciendo énfasis en que, para el desarrollo del modelo matemático del presente trabajo, es de gran relevancia este punto, incluyendo decisiones en temas de transporte que no necesariamente sean de ruteo, sino, enfocados a envíos de los pedidos que cumplan con demandas de clientes.

### **1.3.1.3. Optimización de la planeación de la producción y el transporte**

La optimización es un concepto clave y complejo de ejecutar en la toma de decisiones, pero altamente útil, debido a su capacidad para encontrar una solución ideal entre las distintas soluciones posibles, acotadas por un gran número de variables disponibles, junto a sus restricciones y parámetros. Es por esto que, este concepto juega un papel importante en las empresas, creando modelos matemáticos que, conformados por un sistema de ecuaciones y expresiones matemáticas, terminan describiendo en esencia: una aproximación del problema a tratar. Teniendo entonces, una estructura conformada por variables de decisión, que serán los valores a asignar y reflejarán el resultado de las decisiones tomadas, que, al ser incluidas en la función objetivo, generan un resultado el cual debe ser minimizado o maximizado, pero teniendo en cuenta las restricciones o limitaciones, representadas en igualdades o desigualdades, y los parámetros, que son las constantes conocidas del modelo (Hillier, 2010).

Sin embargo, los modelos matemáticos de optimización no son un tema de fácil elaboración, ya que en síntesis se trata de una idealización abstracta de un problema, por lo que para muchos casos se requiere de aproximaciones y/o supuestos, pero si se desea ser lo más acertado posible a la realidad, se tendrían

un modelo con un número muy elevado de variables, parámetros y restricciones, llevando a que el análisis y la solución del mismo tengan una complejidad mayor (Hillier, 2010). Es por esto que la complejidad de un modelo matemático va direccionada en la cantidad de decisiones controlables por la organización o el alcance que se limite en la caracterización de la empresa, dado que, en muchas ocasiones, puede que termine requiriendo modelos multiobjetivo.

Por último, existen muchas clasificaciones de los modelos matemáticos, desde su aleatoriedad, información de entrada, tipo de representación, su objetivo. Pero se define como 2 grandes grupos, el primero como métodos clásicos, que engloba la programación lineal, programación lineal entera mixta, programación cuadrática, programación no lineal, optimización estocástica y programación dinámica, y un segundo grupo que son los métodos metaheurísticos, que son los algoritmos evolutivos o genéticos, templado simulado, búsqueda tabú, sistemas multiagente (Ramos, 2009).

### **1.3.2. Estado del arte**

En la exploración de los temas relacionados a la hipótesis planteada desde los objetivos, se evidencia un desarrollo significativo en cuanto a la modelación matemática para resolver decisiones enfocadas a la planeación de la producción en sus diferentes niveles de planeación, así mismo, para la determinación de decisiones relacionadas al transporte con enfoques en sus diferentes metodologías de solución. Por lo tanto, se exponen los artículos científicos y tesis que fueron desarrollados previamente y aportan de forma significativa al cumplimiento del presente trabajo en cuanto a los temas que competen.

Para modelos matemáticos cuyo enfoque es exclusivamente la planeación de la producción, se tiene un tema que en algunas ocasiones es incluido desde las variables de decisión, siendo este tema la mano de obra, sin embargo, no siempre es desarrollado de la misma manera, observando que Garza (2004) expone los requerimientos de personal desde el tiempo requerido para producir la cantidad



planeada, pero lo desarrolla desde un modelo multiobjetivo que estipula prioridades en cumplimiento de la demanda, tiempo de equipos y tiempo de operarios. Por otro lado, Peña (2001) desarrolla un modelo similar para productos agroindustriales, pero con una función de un solo objetivo, pero incluyendo la demanda y la cantidad de trabajadores a destajo para cumplir dicha demanda. Para ambos casos, al profundizar en sus cadenas de suministro, se denota una necesidad importante en la reducción de costos en temas relacionados con la mano de obra, dado que, se tienen altos niveles de ocio si se toman decisiones no acertadas en esta variable, por lo tanto, no se pueden excluir. Sin embargo, el objetivo de incluir la mano de obra es consolidar un costo junto a una restricción de recursos, que para el desarrollo de este trabajo es tomado no como variable de decisión para determinar algunos criterios de personal, sino, que se relaciona la cantidad de productos a producir con el costo requerido de mano de obra para cumplir con dichos pedidos y es separada por áreas, por lo que, se busca su reducción sin incumplir el objetivo global del modelo matemático.

En cuanto a modelos matemáticos que incluyan la cadena de suministro y la producción se tiene un avance regional importante, Tabares (2012) desarrolla un trabajo de grado para maestría que nos da una visualización global del uso de lenguaje de programación algebraica para describir y solucionar problemas matemáticos, siendo AMPL su principal herramienta para determinar soluciones óptimas. Evidenciando además las dificultades que puede contener el incluir una cadena de suministros muy amplia en problemas de ruteo con centros de distribución. Sin embargo, uno de sus aportes más significativos para el desarrollo del presente trabajo, es la metodología usada para el análisis de sensibilidad, donde expone cada una de las situaciones a variar y plantea cuales son los métodos más usados y que tipo de desarrollo se puede conseguir con ellos. Sin duda, este documento plantea una visión holística de un modelo matemático en la planeación de la producción junto a problemas de ruteo, donde se puede llegar a resolver hasta 3150 variables con el uso de AMPL.

Esto lleva entonces a analizar el punto base de la elaboración de cualquier modelo matemático que busca aproximarse lo suficiente a la cadena de suministro, empresa, proceso o actividad: la recolección de la información para elaborar el modelo matemático. Por lo que Escobar (2017), nos permite entender como un modelo matemático nos puede contribuir a garantizar el cumplimiento de los objetivos de una empresa que se enfoca a planificar rutas y servicios, donde se evidencia la importancia de tener la mayor información posible, aunque en muchas ocasiones no estén tan dispuestos a completar la información de la cadena de suministro. El autor muestra cómo se podrían lograr reducciones en tiempos de ocio al 50%, pero que lograr completar la cadena de suministro generó un reto importante para el desarrollo del trabajo mencionado. Por lo tanto, nos da una visión global de los requerimientos que se deben ir solucionando, debido a que es vital contar con la información necesaria para el desarrollo adecuado del modelo matemático, que al final busca aproximarse a la realidad.

Además, Reyes (2015) nos permite ver con el desarrollo de su artículo científico enfocado a un modelo matemático para la planeación de requerimientos de materiales, el cómo se debe reducir costos de inventarios, permitiendo por medio de una programación entera mixta y las distintas características especiales de la materia prima, avances importantes en la toma de decisiones rápidas para garantizar una reducción de costos, logrando un 49,7% de reducción en costos de mantener inventarios, situación que en comparación con el presente trabajo se puede apoyar en los criterios definidos para el almacenamiento dentro de la formulación matemático, puesto que al tener movimiento de materia primas constantes y exportaciones, es necesario lograr conocer las cantidades exactas de inventario requeridas para cubrir inventarios como lo muestra el autor en el artículo científico.

En cuanto a las capacidades de un modelo matemático, Peña (2001) nos logra mostrar como la asignación de los recursos es un aspecto determinante en la productividad, debido que cualquier elemento dentro de la cadena de suministro

debe ser aprovechado de la mejor manera, sobre todo en empresas manufactureras que tienen recursos limitados. Sin embargo, el aporte más importante de Peña corresponde a demostrar en la determinación de cadenas de suministros, el cómo es requerido determinar todos los elementos que lo componen y pueden facilitar interpretar su funcionalidad, restricciones y capacidades por medio de fórmulas matemáticas, pero, el lograr añadir algunos elementos cualitativos que logran comprender el consenso entre los grupos y sus manejos del inventario, permite entonces estructurar un modelo que sea realmente útil para la empresa que contribuye al desarrollo del modelo.

Por último, Boirivant (2009) en su artículo científico aporta significativamente haciendo una revisión de las aplicaciones de la programación lineal como un método matemático ideal para lograr aportar la información necesaria para la gestión de las organizaciones, en especial en la toma de decisiones complejas de las PYMES, argumentando que esta técnica no ha sido lo suficientemente aprovechada para los planificadores ni los asesores encargados de este grupo de empresas, donde concluye que se pueden proponer formas particulares de abordar problemas empresariales teniendo en cuenta todos los elementos de las empresa. Lo cual deja una oportunidad para aprovechar en el ámbito manufacturero con condiciones similares en Colombia.

### **1.3.3. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS**

Al ser un trabajo de grado profesional, se busca desarrollar sistemáticamente diferentes elementos conceptuales y prácticos de ingeniería con la finalidad de resolver una problemática o aprovechar una oportunidad de mejora. Esto, teniendo en cuenta hechos y datos relevantes de una empresa de alimentos, para argumentar con elementos prácticos, teóricos y metodológicos, el cumplimiento de una hipótesis, que, en este caso, está orientada a un modelo matemático que satisfaga una demanda y el transporte de un producto determinado.

Por lo tanto, la metodología planteada se encuentra enfocada al cumplimiento de los objetivos estipulados con anterioridad, pero primero, se determina entre las empresas del grupo PROTERRA, la empresa que permita tener un mejor desarrollo en el tema tratado y que cuente con la disposición, tiempo e información necesaria para llegar a formular todas las características que contribuyan al cumplimiento de los objetivos de forma acertada. Además, se busca una revisión completa a todos los procesos productivos y los diferentes productos, para así determinar el producto objeto de estudio y muy importante a su vez, delimitar según sea necesario para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Ahora bien, teniendo en cuenta que al diseñar un modelo matemático que busca reducir costos asociados a la planeación de la producción, con un enfoque de plan maestro de la producción, y añadiendo el transporte de un producto determinado en una empresa de alimentos; se requiere como primera necesidad, una recolección directa de información con visitas periódicas en las diferentes áreas involucradas (administrativas, producción, empaque, recepción de materia prima, exportación, zona franca y sistemas de gestión), usando la observación directa y las entrevistas como principales mecanismos de recolección de información, para crear una base sólida de información que contribuya a caracterizar la cadena de suministros de un producto.

Posteriormente, se ilustra la cadena de suministro del producto objeto de estudio representando las diferentes etapas necesarias para darle total cumplimiento a las necesidades del modelo matemático, usando una representación gráfica con Microsoft Visio de la cadena de suministro y después desarrollando un diagrama de flujo que permita visualizar con claridad las diferentes etapas necesarias, entendiendo que la finalidad es determinar cuáles variables afectan de mayor manera la cadena de suministros del producto seleccionado. Dentro de la cadena de suministro se establecen todos los aspectos que, de una manera u otra, van a afectar los costos asociados a la misma, teniendo en cuenta que las capacidades de producción son determinadas por los equipos y la mano de obra presupuestada,

restringiendo capacidades para equipos únicamente en aquel que determina el tiempo de ciclo (en este caso el equipo IQF), y para la mano de obra, se calcula la disponibilidad de la semana en horas planeadas para laborar junto al tiempo requerido para producir un kilogramo del producto, resultando en la cantidad máxima a producir según la capacidad de esta mano de obra presupuestada en el balanceo de línea estipulado por la empresa. Para los costos de producción, se incluyen todos los elementos necesarios especificados con detalle en el capítulo 2. Sin embargo, se aclara que, la mano de obra es tomada como el costo para producir una unidad, definido por la empresa para las semanas que se realiza la modelación, sabiendo que, este costo se determina considerando el tiempo empleado y la cantidad de colaboradores para realizar cada labor según corresponda en cada área para un kilogramo producido. Por tal razón, se costea por área lo que se requiere en mano de obra para la producción de un kilogramo del producto seleccionado y que, a su vez, permita dar cumplimiento con las capacidades de mano de obra para garantizar el cumplimiento de la producción según sea necesario.

Para el diseño del modelo matemático se fundamenta con la revisión documental y según las características de la cadena de suministro del producto objeto de estudio, plantear la implementación de un modelo matemático con base en programación lineal, pero primero verificando que las condiciones, elementos, características y alcances sean adecuados para el caso de estudio, para así, realizar las diferentes formulaciones que se adapten a la información recolectada y a cada uno de las características que permitan representar la cadena de suministro de la mejor manera para así reducir costos, esto conlleva entonces la determinación de la función objetivo, las variables de decisión, las restricciones, parámetros y suposiciones, puntos claves para llegar a plasmar de la forma más exacta la situación actual al modelo matemático. Enfatizando en que se apoya en la revisión documental teniendo en cuenta las recomendaciones para así determinar los elementos necesarios, las metodologías planteadas y los posibles resultados para formular un modelo que cuente con las variables a través de un horizonte de tiempo

en una cadena de suministros e incluya la planeación de la producción con base en el plan maestro de la producción y el transporte como decisión de reducir costos, pero cumpliendo con la demanda a los clientes.

La construcción de un modelo matemático adecuado para las características esenciales de una empresa es un proceso largo que debe realizarse con amplitud, donde en muchas ocasiones se debe regresar a revisar las bases del modelo para replantearlo hasta tener un modelo adecuado y correspondiente a todas las condiciones planteadas de una organización, por lo tanto, partiendo de la base de contar con una cadena de suministros bien delimitada pero investigada de forma pertinente, se establece la determinación de cada una de sus condiciones necesarias para plasmar de la mejor manera posible la realidad de la empresa en cuanto al tema que se profundiza: plan maestro de la producción y el transporte.

Por último, para la culminación de los objetivos, se plantea un análisis de sensibilidad creando diferentes escenarios a partir de la resolución del modelo matemático en la herramienta ofimática (SOLVER) que contribuya al cumplimiento de todos los requerimientos del modelo y pueda generar soluciones óptimas viables, para así especificar sus resultados y argumentar que tipo de decisiones pueden contribuir a la reducción de costos, esto además permite medir el desempeño del modelo matemático en cuanto a su principal objetivo.

Teniendo entonces una vista global del desarrollo de los objetivos clasificados en los capítulos 2, 3 y 4, que siguen todas las técnicas, métodos, procedimientos y/o cálculos necesarios para cumplir con el rigor técnico o científico necesario y requerido para el cumplimiento de los estándares de un trabajo de esta índole en el campo de la ingeniería.

## **1.5 ALCANCE DEL PROYECTO**

Si bien los objetivos, la metodología y el desarrollo de cada uno de los capítulos explica de alguna manera el alcance que se tiene en todos los aspectos del

proyecto, es relevante comunicar de forma precisa algunos de los alcances principales, siguiendo recomendación de diferentes docentes, directores y especialistas en los temas tratados en el trabajo de grado. Comenzando por la acotación en cuanto a la cantidad de productos a trabajar, donde se realiza todo el desarrollo del proyecto principalmente al banano como producto determinado debido a su gran importancia en la empresa, pero se incluyen la papaya y la fresa en las decisiones y costos del modelo matemático. Estos 3 productos comparten la línea de producción 1 por ende sus recursos.

También, al trabajar en un grupo empresarial, se limita a una sola de sus empresas, siendo esta PROTERRA FOODS con actividad económica dedicada a la producción de frutas ultracongeladas para exportación. Por lo tanto, dentro de las 2 líneas de producción de esta empresa, se selecciona la línea de producción 1 debido a que comparte recursos con diferentes productos y más clientes, permitiendo un alcance mayor en el plan maestro de la producción.

En cuanto a los productos seleccionados, los requerimientos de sus insumos dependen del mismo MPS, esto llevando a activar la cadena de suministro con su ingreso, por lo que, no se tiene en cuenta los requerimientos de tiempo dado que se debe garantizar el cumplimiento de los insumos cuando se estipula la producción del mes. Adicional, todos los costos de los insumos requeridos son tenidos en cuenta en el desarrollo del modelo. Haciendo énfasis en que el modelo tendrá en cuenta los 3 productos para un periodo de 4 semanas, dado que es el tiempo usado para programar la producción dentro de planta según itinerarios de envíos y por ende acuerdo entre la empresa y los clientes para el cumplimiento semanal segregado de los pedidos mensuales para el 2018.

Ya la exportación se basa en enviar los pedidos desde el puerto de Buenaventura, debido a que, al analizar los costos entre los demás puertos y Buenaventura, se tiene una única opción de envíos por este puerto debido a cercanía, esto es analizado en el capítulo 2 con mayor detalle, enfatizando en el sobrecosto de

transportar vía terrestre en Colombia. Adicional, las decisiones de envío corresponden únicamente a donde enviar según el cliente, cuanto enviar según sus pedidos y, por último, cuándo enviar según los acuerdos comerciales. Se excluye cualquier otra decisión de transporte por las condiciones de la empresa.

Se recalca entonces que, según las condiciones del transporte de los pedidos en la empresa seleccionada, no se realiza una metodología de ruteo para el transporte, sino una que busque dar cumplimiento a lo mencionado, donde al final, relacionando sus respectivos costos de transporte vía terrestre y marítimo, se plantea un modelo que incluye estas decisiones y se reduzca el costo total.

Ahora bien, para la cadena de suministro se tienen varias consideraciones, la primera gira entorno a las capacidades de producción, donde se tiene en cuenta aquel equipo que nos determina el tiempo de ciclo, sabiendo que, las bandas transportadoras, los detectores de metal, los elevadores de cangilones, empacadoras y demás, pueden trabajar a un ritmo de trabajo mucho más alto y por lo tanto, se ven limitados a la capacidad del IQF, siendo este equipo el incluido en la determinación de capacidad de la empresa dentro de los criterios de capacidad en el modelo matemático, dado que nos define la capacidad máxima de producción.

Situación similar ocurre con la mano de obra, donde la empresa determina el costo de mano de obra por unidad producida para las semanas establecidas, en este caso, las semanas donde se simula para el plan maestro de la producción; valor que es costado por la empresa para cada unidad de kilogramo producido. Pero se resalta la capacidad máxima que se tiene en la mano de obra, incluyendo en el modelo una restricción enfocada al presupuesto designado por la empresa para las semanas del horizonte de tiempo, como también, se incluye la mano de obra como costo en los coeficientes de la función objetivo, valor que está relacionado con la cantidad de kilogramos producidos por cada tipo de producto para cada semana.

Por último, es muy importante recalcar que, al basarse en el plan maestro de la producción y el transporte, no se profundiza en el MRP (Planeación de



Requerimientos de Materiales), el CRP (Planeación de Requerimientos de Capacidad) ni en decisiones en el PAP (Plan Agregado de la Producción) que corresponden a recursos que deben ser usados por cada periodo de tiempo (cantidad de personal y cantidad de equipos), para el MPS se determinan algunos criterios indispensables que generan restricciones o costos, tales como la capacidad de la planta y de la mano de obra, los costos de mano de obra, costos de la materia prima, costos de transportes hasta Buenaventura, entre otros que son nombrados en el desarrollo del capítulo 2.

## **2. CARACTERIZACIÓN DE PROTERRA FOODS S.A.S.**

### **2.1. BREVE HISTORIA DE LA EMPRESA**

Oriente S.A. fue fundada en 1912 por la familia Villegas en la ciudad de Palmira (Valle del Cauca), con una clara vocación agrícola, que inició con cultivos de caña de azúcar para la venta y transformación en panela, además de la prestación de servicios agrícolas y la construcción. Sin embargo, Oriente en una búsqueda de nuevos negocios, logra unirse junto a Frutícola Olmué de Chile para incursionar en el mercado de frutas y hortalizas subtropicales congeladas con tecnología IQF (Individual Quick Frozen) para exportación. Creando así, a Olmué Colombia ubicada en La Hacienda La Italia (Palmira, Valle del Cauca), que, para julio del 2011, la DIAN declara la primera Zona Franca Permanente Especial Agroindustrial en sus instalaciones, y para julio del 2012 inicia operaciones Olmué Colombia.

Es importante recalcar, que Oriente cuenta con varias unidades de negocio, teniendo a:

- Oriente S.A. (área corporativa de todas las unidades de negocio).
- AIPSACOL S.A. (Agroindustria Panelera San Antonio Colombia).
- Olmué Colombia S.A.S. (productora y comercializadora de frutas congeladas con la tecnología IQF).
- Oriente agrícola (1100 hectáreas de cultivos de caña de azúcar y 85 hectáreas de cultivo de piña).

Pero, para el año 2018, Oriente y sus diferentes unidades de negocio, tuvieron un cambio de imagen debido a renovación de la empresa y dado que ya no existía una sociedad con Frutícola Olmué de Chile, creando así las unidades de negocio que operan actualmente:

- PROTERRA COLOMBIA SA (área corporativa de todas las unidades de negocio), ubicada en La Hacienda La Italia, Palmira.

- PROTERRA FOODS SAS (anterior Olmué), ubicada en La Hacienda La Italia, Palmira.
- PROTERRA PANELA SAS (anterior AIPSACOL), ubicada en La Hacienda San Antonio, Barrancas, Palmira.
- PROTERRA CAMPO (cosechas de alimentos étnicos: caña de azúcar, piña y papaya), ubicada en La Hacienda Oriente, Palmira, pero con cultivos en todo el Valle del Cauca.
- PROTERRA HABITAT (gestores de proyectos de vivienda con alianza de Constructora Jaramillo Mora), ubicada en La Hacienda La Italia, Palmira.

## 2.2. INFORMACIÓN BÁSICA DE LA EMPRESA

El grupo PROTERRA cuenta con 436 empleados (juntando todas las unidades de negocio) y actualmente uno de sus pilares es PROTERRA FOODS S.A.S cuenta con 183 empleados (temporales y fijos) y exporta sus productos, ver ilustración 1; a diferentes países del mundo como lo evidencia la tabla 1 construida con información actual de la empresa.

*Tabla 1. Relación de ventas entre países y frutas congeladas.*

<b>FRUTA</b>	<b>PAÍS</b>
Banano	Estados Unidos, Canadá, Australia, Holanda, Israel, Alemania y Argentina.
Piña	Estados Unidos, Canadá, Australia, Holanda, Israel, Alemania y Argentina.
Papaya	Estados Unidos, Canadá, Australia, Holanda, Israel, Alemania y Argentina.
Fresa	Estados Unidos, Canadá y Colombia.
Mora	Colombia.
Aguacate	Estados Unidos, Canadá y México.

*Fuente: Elaboración propia (2019).*

## **2.3. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA EMPRESA**

Para el desarrollo de la propuesta de trabajo de grado, es necesario establecer información que contribuya al entendimiento de la empresa y el producto principal a seleccionar junto a los productos adicionales que compartan recursos, por lo tanto, lo primero en definir es la unidad de negocio a manejar, que por las condiciones que conlleva, y que mejor información puede ofrecer para el desarrollo de los demás objetivos es: PROTERRA FOODS S.A.S., antiguamente llamado OLMUÉ COLOMBIA, dado que cumple a cabalidad con todos los requerimientos para garantizar un modelo matemático que permita tener en cuenta una cadena de suministro completa y que tenga decisiones de producción y de transporte.

### **2.3.1. Fundamentos corporativos de PROTERRA FOODS S.A.S.**

#### ***MISIÓN***

PROTERRA FOODS S.A.S. busca ser en Colombia la empresa líder en procesamiento y conservación de frutas para exportación, brindando inocuidad alimentaria, altos estándares de calidad y excelentes precios para el consumidor.

#### ***VISIÓN***

PROTERRA FOODS S.A.S. busca posicionarse para el 2020 dentro de las 10 organizaciones familiares agroindustriales más destacadas en Colombia teniendo como fundamento el desarrollo sostenible.

### **2.3.2. Datos de la empresa**

Con base a la información proporcionada por PROTERRA FOODS S.A.S. se realiza la tabla 2 que resume la información básica de la empresa.

**Tabla 2. Datos generales de PROTERRA FOODS S.A.S.**

GRUPO:	PROTERRA
EMPRESA:	PROTERRA FOODS S.A.S.
NIT:	900343099-5
LOGO:	
LOCALIDAD:	Palmira, carrera 32 con calle 10 Hacienda La Italia, vía al Bolo.
DEPARTAMENTO:	Valle del Cauca.
ACTIVIDAD:	Procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos.
NRO DE TRABAJADORES:	183.
VISTA DE PLANTA:	

Fuente: Elaboración propia (2018).

### **2.3.3. Ventajas competitivas de PROTERRA FOODS S.A.S.**

Como se mencionó anteriormente, PROTERRA FOODS S.A.S. es una productora y comercializadora de frutas congeladas con la tecnología IQF (Individual Quick Freezing o congelación rápida de manera individual), tecnología que permite congelar frutas u hortalizas rápidamente a temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$  ayudando a conservar el color, sabor y la forma (como se observa en la *figura 1*), siendo más específicos, esta tecnología ayuda a mantener intactas las características

organolépticas de las frutas y verduras, teniendo además características especiales como el buen rendimiento gracias a la congelación extremadamente rápida de la superficie que reduce la deshidratación y permite mantener la separación de productos muy pegajosos que conllevan alto contenido de azúcar.

**Figura 1. Frutas listas para exportación con proceso IQF.**



*Fuente: PROTERRA FOODS S.A.S. (2018).*

Adicional, la empresa se encuentra ubicada estratégicamente dado que se cedió una zona franca especial ubicado dentro de las instalaciones de PROTERRA FOODS SAS, ver figura 2; lo cual permite realizar cargue de contenedores desde las instalaciones de la empresa y ser revisado, verificado y autorizado desde la misma empresa por la Zona Franca del Pacífico para su envío a Buenaventura, exportando a los diferentes clientes según sus necesidades y costos, partiendo desde las opciones de puerto vigentes para la empresa, ver figura 3. Esto orienta mucho mejor el entendimiento de las variables a seleccionar, dado que no existe la necesidad y el alcance de enfocarse en un problema de ruteo, sino, especificar el transporte desde una base de decisión en cuanto al cumplimiento de los pedidos y envío de contenedores. Sin embargo, se tiene en cuenta la importancia de los

mismos clientes, los beneficios, los acuerdos y las utilidades a generar, donde cada uno de estos elementos pueden tener diferentes afectaciones dependiendo de cada caso en específico. Aun así, la decisión se orienta a determinar cuándo enviar un contenedor y a que cliente se le debe dar cumplimiento con dicho contenedor, pero teniendo en cuenta los inventarios, sus fechas de entrega, la producción, las capacidades, entre otros, con el objetivo de garantizar que la empresa siga teniendo un alto grado de cumplimiento en la productividad y las fechas de salida de contenedores.

**Figura 2. Mapa de ubicación de PROTERRA FOODS en la ciudad de Palmira.**



Fuente: Google Maps (2018).

**Figura 3. Mapa de puertos disponibles para exportar desde la empresa PROTERRA FOODS S.A.S.**



*Fuente: Google Maps (2018).*

#### **2.3.4. Recursos actuales**

Buscando caracterizar de la mejor manera el proceso productivo, es indispensable establecer los recursos que tiene la organización actualmente para con ello poder estipular una planeación de la producción y unas decisiones de transporte que contribuyan a disminuir costos, pero a su vez, sean propuestas reales, aplicables y bajo las limitaciones y/o restricciones de la empresa.

##### **2.3.4.1. Recursos físicos**

PROTERRA FOODS S.A.S. siendo empresa del grupo PROTERRA, cuenta con edificación administrativa: nivel 1: comedores, nivel 2: administración, zona de vestier y lockers, zona de mantenimiento y máquinas (refrigeración), planta de producción: área de recepción de materia prima, área de corte, pelado, IQF, empaque, almacenamientos y área de carga de contenedores. Adicionalmente cuenta con zona de parqueadero administrativo, zona de parqueadero de visitantes,



zona de parqueadero de propietarios, PTAR, área para DIAN, Zona Franca y laboratorios.

En cuanto a la maquinaria y equipos, cuenta con hidrolavadoras, bandas transportadoras, canastillas para diferentes productos, equipos de corte para diferentes frutas, elevadores de producto, IQF, equipos para sellado de cajas, equipos para detección de metales, balanza para vehículos que ingresan, entre otros. Así mismo, se cuentan con todos los equipos necesarios para el cumplimiento de sus políticas, incluyendo las necesarias para los sistemas de gestión.

#### **2.3.4.2. Talento humano**

En la actualidad se tienen 183 empleados contratados en PROTERRA FOODS S.A.S para las diferentes actividades necesarias dentro de la empresa (de 35 a 45 empleados usados para la línea de producción 1 dependiendo de presupuesto de personal asignado por la compañía), que vienen desde lo administrativo, seguridad hasta la producción. Con una rotación menor al 5% y con el área de Recursos Humanos enfocado en darle cumplimiento a las diferentes necesidades de personal de la empresa. El personal se encuentra capacitado y/o entrenado en las diferentes áreas de desempeño, teniendo además un plan anual de capacitaciones que busca optimizar los recursos empleados y darles cumplimiento a las distintas necesidades en cuanto a capacitaciones de personal.

#### **2.3.4.3. Recursos económicos**

Entendiendo la confidencialidad en este aspecto, se especifican solo decisiones estratégicas al respecto comunicadas desde la alta gerencia de la organización, donde dadas algunas inversiones en los últimos años, no es recomendable sugerir la adquisición de equipos, ampliación de áreas, construcción y/o adecuación de áreas que impliquen recursos económicos adicionales o cualquier decisión siguiendo esta idea. Sin embargo, PROTERRA FOODS S.A.S. ha logrado un crecimiento desde su creación, que va en cumplimiento de sus objetivos a mediano

y largo plazo: posicionarse en el mercado internacional como una de las empresas líder en exportación de frutas congeladas.

### **2.3.5. Sistemas de gestión de la empresa**

Del grupo de empresas de PROTERRA, es PROTERRA FOODS S.A.S. la que se encuentra más actualizada por su enfoque de mejoramiento continuo, esto implica además la adaptación de diferentes sistemas de gestión a los procesos y al área administrativa, teniendo así actualmente Sistema de Gestión de Calidad y Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo en funcionamiento y con miras al cumplimiento de la legislación actual y a diferentes certificaciones. Para el caso del Sistema de Gestión de Calidad se cuenta además con programa de BPM (Buenas Prácticas de Manufactura) y HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control), adicional a la certificación de BRC (British Retail Consortium).


Esto demuestra un interés por crecer productivamente, pero teniendo en cuenta elementos clave para la internacionalización de una empresa, basándose en la inocuidad como fundamento principal de la organización y relacionado con los diferentes sistemas de gestión, lo cual presenta un reto para la organización.

## **2.4. PRODUCTO SELECCIONADO (BANANO) Y PRODUCTOS ADICIONALES INCLUIDOS (PAPAYA Y FRESA) DE PROTERRA FOODS S.A.S.**

Como se establece desde el comienzo del proyecto, se determina un producto para caracterizarlo y posteriormente consolidar el modelo matemático que permita darle cumplimiento a la hipótesis planteada, es por esto que se define el banano como producto a trabajar, dado que por decisiones estratégicas de la empresa planteadas para los próximos años, este producto tendrá mayor priorización debido a los bajos costos de adquisición en los últimos 5 años y por ende, menor requerimientos de cartera en grandes volúmenes comparado a otros productos trabajados en la empresa, especificando que los proveedores estratégicos de la actualidad tienen

convenios que no contemplan crédito en sus cartera, pero a su vez se les exige condiciones mínimas de entrega de materia prima (lavado, producto no madurado y sin lixiviados). El producto seleccionado cuenta con las siguientes características:

**Tabla 3. Ficha técnica: banano (slices 10mm).**

<b>FICHA TÉCNICA: BANANO (SLICES 10MM)</b>				
<b>PROTERRA FOODS S.A.S.</b>				
Fecha Vigencia	31/12/2018	Fecha Actualización	10/01/2018	Vista del Producto 
PRODUCTO	Banana	ESTILO	Rodajas 10 mm	
Origen	Colombia	Tamaño	9-11 mm espesor.	
			26-36 mm diámetro.	
Variedad	Cavendish	Nombre científico	Musa sp	
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>				
El producto es elaborado con banano fresco, cortado en rodajas, congelado individualmente y empaclado.				
<b>COMPOSICIÓN</b>				
Banano, ácido ascórbico, ácido cítrico.				
Fisicoquímico	Descripción		Métodos	
*Brix (20°C)	>18		Refractometría	
pH (20°C)	4.0 – 5.0		Potenciómetro	
Organoléptico	Descripción			
Color	Color característico de banana			
Olor	Fresco y típico del producto			
Sabor	Característico del banano			
Textura	Uniforme suave			
Atributos	Descripción			Tolerancia
Material Extraño	Cualquier material no proveniente de la fruta			Ausencia
Material Vegetal	Material vegetal proveniente de la fruta			< 5 und / kg
Fuera de forma	Piezas sin forma de rodaja			<10 und / kg
Manchas	Piezas con manchas oscuras que superen los 4mm de diámetro			< 5 und / kg
Cáscara	Restos de cáscara adheridos a la fruta			Ausencia
Piezas fuera de dimensión	Cualquier pieza > 11mm o < 9mm de espesor			15%
	Cualquier pieza > 36mm o < 26mm de diámetro			
Bloque	Tres o más piezas pegadas que no se pueden despegar			10%
<b>Estándares Microbiológicos</b>				
Análisis	Tolerancia		Métodos	

Aérobicos mesófilos (UCF/g)	<100.000	AOAC 966.23 & FDA (Bacteriological Analytical Manual) Latest Edition.
--------------------------------	----------	---

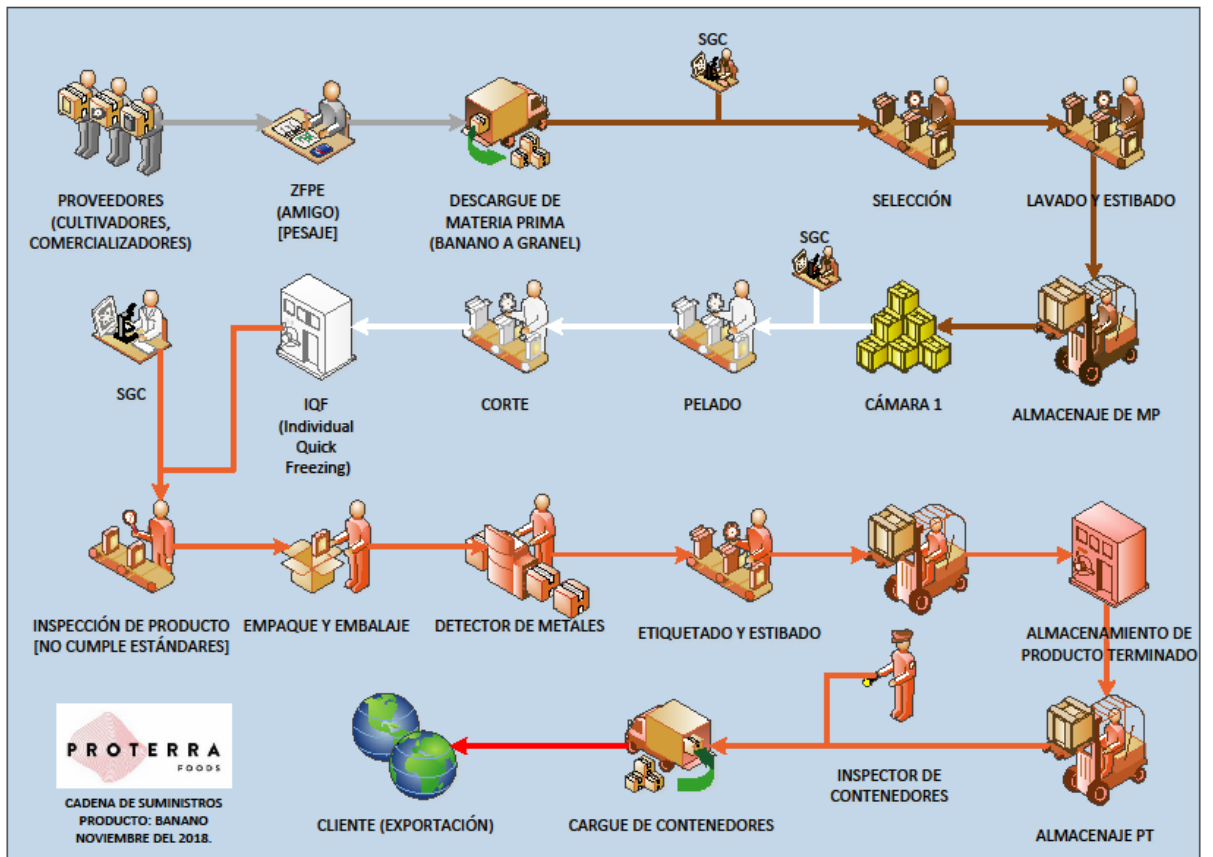
*Fuente: PROTERRA FOODS SAS (2018).*

Sin embargo, se incluye la papaya y la fresa como productos adicionales en la caracterización del modelo, con el propósito de lograr un resultado mucho más aplicable a la gestión de los recursos disponibles para la cadena de suministro número 1, esto entendiendo que, estos 2 productos junto al banano, cubren todos los pedidos a desarrollar en dicha línea de producción.

#### **2.4.1. Cadena de suministro de los productos seleccionados**

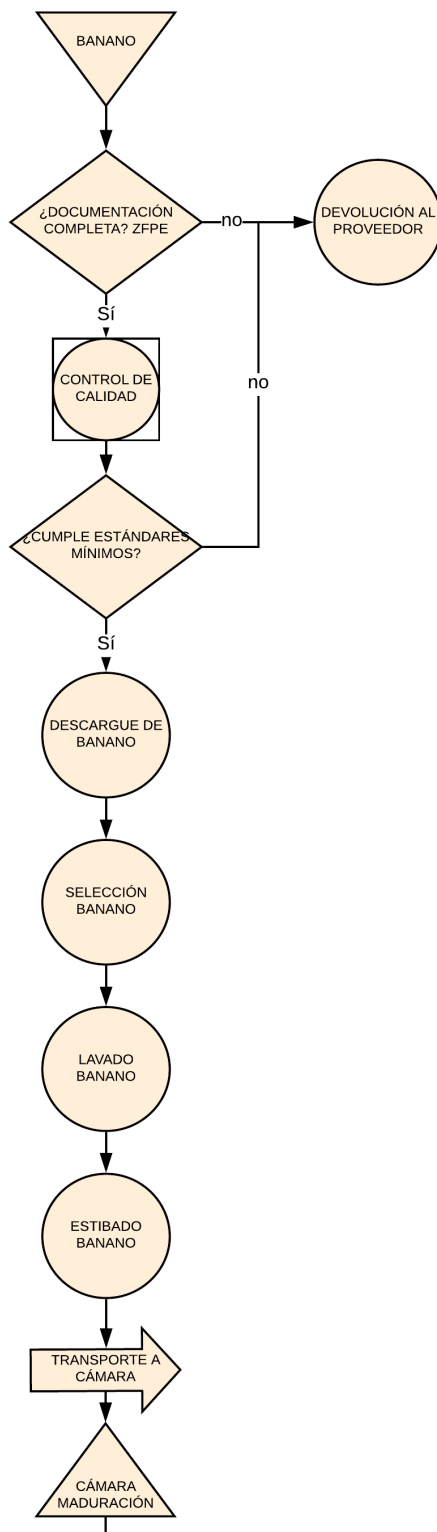
Si bien hay múltiples productos con múltiples presentaciones, se tienen las mismas actividades para todos los productos, con excepción del aguacate que funciona en un módulo adicional en el área de producción que no afecta ningún otro proceso productivo. Enfatizando entonces que el producto a trabajar es el banano en su presentación de slices 10mm (producto principal para la empresa en la actualidad), cuya cadena de suministros es la mostrada en la figura 4 y su diagrama de flujo se encuentra en la figura 5, usando para la elaboración del diagrama de flujo la simbología de la norma ISO 9000.

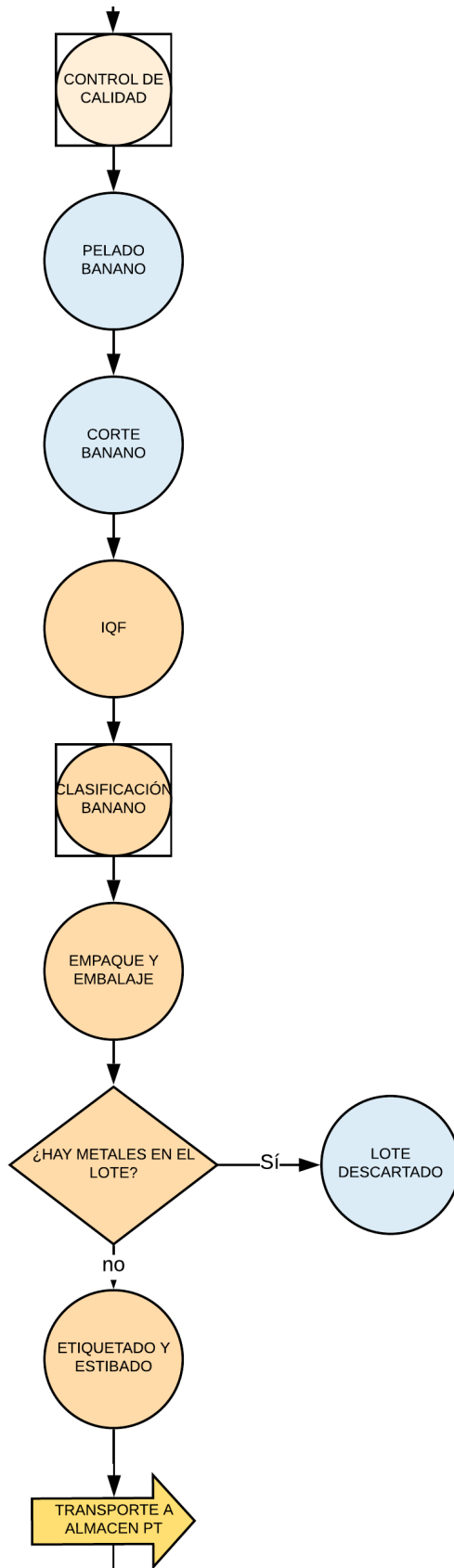
**Figura 4. Cadena de suministros para la línea de producción 1 en la empresa PROTERRA FOODS S.A.S.**

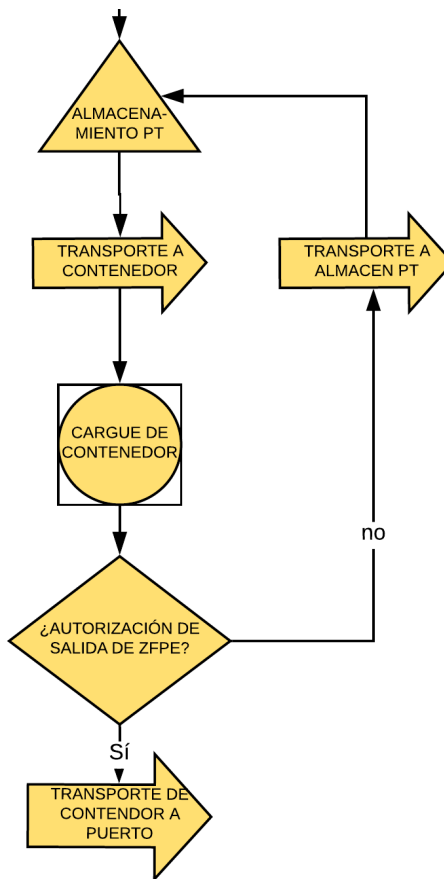


Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura 5. Diagrama de flujo del banano en la empresa PROTERRA FOODS SAS teniendo en cuenta toda la cadena de suministro [norma usada: ISO 9000 para símbolos del diagrama].







Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los equipos usados en la cadena de suministros mencionada, la empresa cuenta con 4 hidrolavadoras, IQF 1 (Individual Quick Freezing), 8 gatos hidráulicos, 2 montacargas (1 para recepción de materia prima y 1 para producto terminado), empacadora semiautomática y selladora semiautomática de cajas, detector automatizado de metales, equipos de laboratorio, pesa electrónica en recepción de materia prima y balanza de pesaje en zona franca.

Finalmente, la cadena de suministros y diagrama de flujo de la papaya y la fresa, son muy similares a la del banano, teniendo principalmente la diferencia en la cámara de maduración, debido a que los productos mencionados comparados con el banano, no requieren maduración para su ingreso en planta. En cuanto a la papaya, las demás actividades dentro de su cadena de suministro, corresponden a



las mismas del banano, pero, la fresa tiene adicionalmente la exclusión del pelado y corte, siendo reemplazada por una actividad de preparación de fruta donde se realiza una manipulación del producto para eliminar los elementos que no son parte del control de calidad del producto. Estas actividades, para los 3 productos, se ven reflejadas en los costos asociados a las diferentes actividades, donde varían respecto al tipo de producto y sus insumos.

#### 2.4.1.1. Costos asociados al producto seleccionado (banano) y los productos adicionales de la línea de producción 1 (papaya y fresa) en la cadena de suministro

En la tabla 4 se define el costo de la materia prima principal: el banano Cavendish y para la papaya y la fresa durante todo el 2018, según los acuerdos comerciales pactados con los proveedores de este insumo para todo el año, generado a partir de historiales de costos, fluctuaciones de la materia prima y pronósticos, información suministrada por la empresa.

**Tabla 4. Costo por kilogramo del banano, papaya y fresa durante el 2018 para PROTERRA FOODS S.A.S.**

Mes	Costo/Kg		
	BANANO	PAPAYA	FRESA
Enero	\$ 311	\$ 1,015	\$ 3,005
Febrero	\$ 351	\$ 969	\$ 2,856
Marzo	\$ 321	\$ 982	\$ 2,321
Abril	\$ 309	\$ 1,019	\$ 2,343
Mayo	\$ 289	\$ 989	\$ 2,256
<b>Junio</b>	<b>\$ 269</b>	<b>\$ 1,002</b>	<b>\$ 2,283</b>
Julio	\$ 269	\$ 980	\$ 2,615
Agosto	\$ 272	\$ 971	\$ 2,958
Septiembre	\$ 302	\$ 987	\$ 2,277
Octubre	\$ 272	\$ 971	\$ 2,786
Noviembre	\$ 302	\$ 1,005	\$ 2,410
Diciembre	\$ 312	\$ 998	\$ 2,841
<b>Costo promedio año 2018</b>	<b>\$ 298</b>	<b>\$ 991</b>	<b>\$ 2,579</b>

Fuente: Elaboración propia (2018).

Adicional, se especifica el resumen de todos los costos de los insumos (incluyendo el costo de cada fruta de la tabla 4) para la producción de un kilogramo de cada tipo de producto de la línea de producción 1, costos dados por el área de planeación y

costos de producción y que se encuentran actualizados para el segundo periodo del 2018, ver tabla 5. Teniendo en cuenta que este costo de fruta ya tiene incluido el porcentaje de desperdicio en el proceso productivo, es decir, el costo que se evidencia en la tabla es el costo de 1 kilogramo de producto que ingresa a planta.

**Tabla 5. Resumen de costos de insumos para los productos de la línea de producción 1, costos para la elaboración de un kilogramo de producto.**

INSUMOS	COSTOS		
	BANANO	PAPAYA	FRESA
Banano/Papaya/Fresa	\$ 269.00	\$ 1,002.00	\$ 2,283.00
Etiqueta Poliulefi blanca	\$ 1.07	\$ 2.31	\$ 4.48
Ácido Cítrico Grado Alimenticio	\$ 2.25	\$ 2.25	\$ 2.25
Ácido Ascórbico Grado Alimenticio	\$ 38.00	\$ 25.00	\$ 32.00
Bolsa BD Fuelle Azul	\$ 17.50	\$ 17.50	\$ 17.50
Caja fruta -20°C 13Kg	\$ 64.46	\$ 64.46	\$ 64.46
Bolsa PT	\$ 3.19	\$ 5.44	\$ 2.54
Max Cleaner	\$ 1.30	\$ 4.01	\$ 1.02
Tsunami	\$ 11.61	\$ 17.24	\$ 23.21
TOTAL	<b>\$ 408.38</b>	<b>\$ 1,140.21</b>	<b>\$ 2,430.46</b>

Fuente: Elaboración propia (2018).

Así mismo, en acompañamiento de las áreas de planeación y costos, recepción de materia prima y dirección de logística, se detallan los costos de transformación, recepción de materia prima, y almacenamiento de producto terminado para el segundo periodo del 2018 para la presentación de cada producto de la línea de producción 1, enfatizando en que todos estos costos representan la realización de un kilogramo, para así realizar las proyecciones necesarias de costos en los capítulos subsiguientes. Por lo tanto, la tabla 6, 7 y 8 muestran esta información resumida para la empresa PROTERRA FOODS S.A.S.

**Tabla 6. Resumen de costos de transformación para los productos de la línea de producción 1, costos para la elaboración de un kilogramo de producto.**

ÁREA	BANANO		PAPAYA		FRESA	
	M.O.	C.I.F	M.O.	C.I.F	M.O.	C.I.F
LAVADO Y ESTIBADO	\$ 10.29	\$ 59.79	\$ 34.32	\$ 87.00	\$ 21.45	\$ 78.54
PELADO	\$ 86.06	\$ 59.79	\$ 45.43	\$ 87.00	\$ -	\$ -
CORTADO	\$ 20.65	\$ 59.79	\$ 41.43	\$ 87.00	\$ -	\$ -
CONGELADO (IQF)	\$ 5.85	\$ 110.45	\$ 5.85	\$ 110.45	\$ 5.85	\$ 110.45
EMPAQUE	\$ 31.20	\$ 77.73	\$ 35.43	\$ 87.42	\$ 163.00	\$ 112.20
TOTAL	<b>\$ 154.05</b>	<b>\$ 367.55</b>	<b>\$ 162.46</b>	<b>\$ 458.87</b>	<b>\$ 190.30</b>	<b>\$ 301.19</b>

Fuente: Elaboración propia (2018).

**Tabla 7. Resumen costos de recepción de materia prima para los productos de la línea de producción 1, costos para la elaboración de un kilogramo de producto.**

ÁREA	BANANO		PAPAYA		FRESA	
	M.O.	C.I.F	M.O.	C.I.F	M.O.	C.I.F
ZONA FRANCA	\$ 48.04	\$ -	\$ 48.04	\$ -	\$ 48.04	\$ -
CONTROL DE CALIDAD 1	\$ 16.33	\$ 17.95	\$ 16.33	\$ 17.95	\$ 16.33	\$ 16.33
DESCARGUE	\$ 20.65	\$ -	\$ 15.43	\$ -	\$ 25.43	\$ -
SELECCIÓN	\$ 11.92	\$ 110.45	\$ 10.12	\$ 85.54	\$ 54.30	\$ 225.21
MONTACARGA 1	\$ 1.92	\$ -	\$ 1.92	\$ -	\$ 1.92	\$ -
CÁMARA DE MADURACIÓN	\$ 10.29	\$ 52.29	\$ -	\$ -	\$ 15.42	\$ 76.54
CONTROL DE CALIDAD 2	\$ 16.33	\$ 17.95	\$ 16.33	\$ 17.95	\$ 16.33	\$ 17.95
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 125.48</b>	<b>\$ 198.64</b>	<b>\$ 108.17</b>	<b>\$ 121.44</b>	<b>\$ 177.77</b>	<b>\$ 336.03</b>

Fuente: Elaboración propia (2018).

En cuanto a los costos dentro del área de producto terminado, la tabla 8 muestra detalladamente todos los costos de un producto que es procesado por las diferentes áreas que dejan listo el producto para ser embarcado, pero no incluyen los costos de preparación de exportación, dado que se toman como alistamiento más adelante.

**Tabla 8. Resumen costos en el área de producto terminado para los productos de la línea de producción 1, costos para la elaboración de un kilogramo de producto.**

ÁREA	BANANO		PAPAYA		FRESA	
	M.O.	C.I.F	M.O.	C.I.F	M.O.	C.I.F
CLASIFICACIÓN	\$ 26.32	\$ 7.47	\$ 26.32	\$ 7.47	\$ 18.21	\$ 9.54
EMBALAJE	\$ 7.42	\$ 7.47	\$ 7.42	\$ 7.47	\$ 7.42	\$ 7.47
DETECTOR DE METALES	\$ 5.16	\$ 14.62	\$ 5.16	\$ 14.62	\$ 5.16	\$ 14.62
ETIQUETADO Y ESTIBADO	\$ 7.42	\$ 7.47	\$ 7.42	\$ 7.47	\$ 7.42	\$ 7.47
MONTACARGA 2 A CAVA	\$ 1.92	\$ 17.71	\$ 1.92	\$ 17.71	\$ 1.92	\$ 17.71
MONTACARGA 2 A CONTENEDOR	\$ 1.92	\$ 17.71	\$ 1.92	\$ 17.71	\$ 1.92	\$ 17.71
OTROS	\$ 14.56	\$ 7.47	\$ 16.76	\$ 7.47	\$ 22.21	\$ 7.47
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 64.72</b>	<b>\$ 79.92</b>	<b>\$ 66.92</b>	<b>\$ 79.92</b>	<b>\$ 64.26</b>	<b>\$ 81.99</b>

Fuente: Elaboración propia (2018).

En cuanto a los costos de alistamiento, se determina como todos aquellos costos asociados al funcionamiento inicial del proceso productivo para cada tipo de producto, siendo costado por semana de producción si es tomada la decisión de producir. Estos costos son planteados para cada semana, correspondientes al alistamiento de clasificación, lavado, pelado, cortado, empaque, embalaje, etiquetado, estibado, congelado, entre otros, requeridos para tener en funcionamiento la línea de producción 1 para cada decisión de producir banano, papaya o fresa. Entre ellos hay insumos usados únicamente cuando la línea se está

organizando para funcionar, costos que se evidencian de manera resumida en la tabla 9, información que fue entregada por la empresa para el costo de una semana cualquiera de junio del 2018.

**Tabla 9. Resumen costos de alistamiento generados cada vez que se decide generar una producción en una semana, para un producto de la línea de producción 1.**

DESCRIPCIÓN COSTOS DE ALISTAMIENTO	BANANO	PAPAYA	FRESA
COSTO INSUMOS DE LIMPIEZA	\$ 122,820.00	\$ 122,820.00	\$ 115,481.00
COSTO EPP	\$ 2,406.00	\$ 2,406.00	\$ 1,203.00
COSTO MANO DE OBRA	\$ 145,000.00	\$ 145,000.00	\$ 72,500.00
COSTO SERVICIOS GENERALES	\$ 101,341.00	\$ 101,341.00	\$ 50,670.50
COSTO DE MANTENIMIENTO	\$ 90,314.00	\$ 90,314.00	\$ 45,157.00
COSTO ASOCIADOS A IQF	\$ 180,350.00	\$ 180,350.00	\$ 180,350.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 642,231.00</b>	<b>\$ 642,231.00</b>	<b>\$ 465,361.50</b>

Fuente: Elaboración propia (2018).

Para cualquier decisión de exportación, se consolida en la tabla 10 todos los costos asociados al desplazamiento de los pedidos por medio de contenedores de 20 pies tipo Reefer, teniendo las diferentes variaciones de costos, teniendo 2 opciones en puertos de salida, pero, como se menciona anteriormente y con un análisis sencillo de costos, se puede visualizar un incremento de \$5'091.502 al decidir exportar un contenedor hacia New York por Cartagena, un incremento en costos de \$3'113.090 al elegir a Cartagena para exportar a Hamburg y un incremento de \$5'046.878 al decidir exportar a Montreal por Cartagena. Por esto, se delimita exclusivamente la salida de exportaciones desde Buenaventura al no existir criterios adicionales que contribuyan a determinar un ahorro en transportes o un incentivo adicional. Sin embargo, se tiene en cuenta cada costo dependiendo del destino del cliente y sus costos terrestres, marítimos y de preparación, contribuyendo a las decisiones de exportación en cuanto a cumplir con la fecha de pedido, el tipo de producto y la cantidad solicitada por cada cliente.

Para los costos de transporte, se consolidan en la tabla 10 todos los costos asociados al desplazamiento de los pedidos por medio de contenedores de 20 pies tipo Reefer, teniendo las diferentes variaciones de costos, siendo 2 puertos de salida y 3 clientes para el mes de junio, dado que es este mes el seleccionado para el

horizonte del tiempo del modelo, puesto que cumple con todos los requerimientos para plantear un buen desarrollo del modelo cumpliendo a cabalidad con los requerimientos, parámetros, variables y permite ser solucionado por medio de SOLVER. Recordando también que estos valores son para el segundo periodo del 2018 y permiten 22.000 kilogramos por contenedor.

**Tabla 10. Resumen costos de transporte desde cada uno de los puertos (Buenaventura o Cartagena) a los clientes del mes de junio para el caso de estudio aplicado al modelo matemático. Valores para contenedores Reefer de 20 pies.**

<b>BUENAVENTURA A EEUU (NEW YORK)</b>		<b>COSTO</b>
COSTO TERRESTRE	\$	1,025,012.00
COSTO MARITIMO	\$	7,098,784.00
COSTO DE PREPARACIÓN	\$	124,306.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>8,248,102.00</b>
<b>CARTAGENA A EEUU (NEW YORK)</b>		
COSTO TERRESTRE	\$	6,882,860.00
COSTO MARITIMO	\$	6,332,438.00
COSTO DE PREPARACIÓN	\$	124,306.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>13,339,604.00</b>
<b>BUENAVENTURA A ALEMANIA (HAMBURG)</b>		<b>COSTO</b>
COSTO TERRESTRE	\$	1,125,012.00
COSTO MARITIMO	\$	8,006,299.00
COSTO DE PREPARACIÓN	\$	124,306.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>9,255,617.00</b>
<b>CARTAGENA A ALEMANIA (HAMBURG)</b>		
COSTO TERRESTRE	\$	6,882,860.00
COSTO MARITIMO	\$	5,361,541.00
COSTO DE PREPARACIÓN	\$	124,306.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>12,368,707.00</b>
<b>BUENAVENTURA A CANADÁ (MONTREAL)</b>		<b>COSTO</b>
COSTO TERRESTRE	\$	1,125,012.00
COSTO MARITIMO	\$	8,540,320.00
COSTO DE PREPARACIÓN	\$	124,306.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>9,789,638.00</b>
<b>CARTAGENA A CANADÁ (MONTREAL)</b>		
COSTO TERRESTRE	\$	6,882,860.00
COSTO MARITIMO	\$	7,829,350.00
COSTO DE PREPARACIÓN	\$	124,306.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>14,836,516.00</b>

Fuente: Elaboración propia (2018).

Se aclara que, para los costos relacionados en las tablas anteriores se realiza un acompañamiento directo con el área de logística, producción y ventas de la empresa, permitiendo tener la mayor precisión posible y veracidad en la información

suministrada y al mismo tiempo acompañamiento para generar aquella información de costos para el desarrollo de los elementos necesarios en el modelo matemático a construir. Logrando así, tener resultados posibles de aplicar y brindando una visualización holística para la toma de decisiones y el manejo de los recursos.

#### **2.4.1.2. Características de cadena de suministros del producto seleccionado (banano) y los productos adicionales (papaya y fresa)**

##### ***Materia prima***

La principal materia prima es la fruta, que para el banano y la fresa no son cultivados por la empresa, son adquiridos por medio de sus proveedores estratégicos y para ello se cuentan con algunos proveedores principales que dan cumplimiento a los pedidos según sus cosechas. Pero para la papaya, la empresa cultiva dicha fruta que es generalmente vendida al mercado o ingresada a planta según requerimientos de la misma.

Se hace énfasis en que los proveedores son aliados estratégicos y hacen parte de la cadena de suministros de la empresa, debido a que, se tiene un convenio para darle cumplimiento a los requerimientos dentro del sistema de gestión de calidad de PROTERRA FOODS SAS, garantizando que se cumplan con las normas requeridas en proveedores para no afectar la calidad del producto y la certificación BRC para exportación.

El resto de insumos son hipoclorito, Max Cleaner, cajas, canastillas, cintas, bolsas plásticas de empaque, agua, energía eléctrica y etiquetas, que por efectos de protección solicitado por la empresa al proceso productivo, no se especificarán marcas ni referencias de estos insumos, anexando que es responsabilidad de compras siguiendo los planes de producción cumplir con todos los requerimientos de materiales para cada mes de trabajo. Para el desarrollo del modelo matemático y de los diferentes escenarios, se enfatiza en las tablas ya mencionadas con

anterioridad que especifican todos los costos de la cadena de suministro para cada tipo de producto.

Un aspecto importante dentro de la materia prima, es aclarar que existen condiciones para el ingreso del banano: PROTERRA FOODS S.A.S. exige ingreso lavado, sin maduración y sin lixiviados, por tal razón, la importancia de la vinculación a los requerimientos de certificación de los proveedores según los estándares de la empresa.

Sabiendo entonces que el banano ingresa sin maduración como lo especifica el diagrama de flujo de la ilustración 3, se tiene un proceso importante antes de ingresar a la producción: la cámara de maduración, entendiendo que el proceso de maduración dura 3 días incluyendo el día de ingreso. Es importante enfatizar que, el área de recepción de materia prima se encuentra enfocada en función de la planeación agregada de la producción y plantea sus cronogramas de trabajo según los requerimientos de cada mes que surgen del plan maestro de la producción, garantizando la disponibilidad a tiempo de este insumo cuando la planta decide operarlo.

En cuanto a la fresa y la papaya, como se menciona anteriormente, no requiere de este proceso de maduración, ya que la fresa es procesada el mismo día de su ingreso y la papaya es enviada desde la cosecha que se encuentra en las hectáreas aledañas a la planta de producción. Únicamente el banano es enviado a cámara de maduración junto al aguacate debido a que se adquiere materia prima verde (faltando días para su proceso de maduración natural).

Adicional, en la selección al ingresar, se descartan productos que no cumplan con los estándares del sistema de gestión de calidad para recepción de materia prima, por lo que el promedio para el 2018 de producto rechazado por lote es del 8% en la selección de banano, 10% para la fresa y 0% para la papaya (para este producto se realiza pre-selección en cosecha por parte de la empresa). Este punto es mencionado en el costeo de materia prima, donde se valida que el kilogramo de

producto que ingresa a planta ya se encuentra como kilogramo neto, es decir, según porcentajes de desperdicio, cascaras o rechazos, así mismo como cualquier desperdicio adicional dentro de planta, por lo que es costado para recibir un kilogramo de fruta que pasa por los requerimientos y estándares a producción y no va a ser descontado nuevamente,

Recordando además que el alcance del proyecto hace referencia a la planeación de la producción y el transporte de producto terminado, por lo que las decisiones relacionadas al transporte de materia prima no son incluidas como variables de decisión, pero si sumadas al costo en recepción de materia prima por kilogramo seleccionado.

### ***Proceso productivo (personal y capacidades)***

Actualmente la empresa tiene 183 empleados en PROTERRA FOODS S.A.S., de los cuales 57 son administrativos y de seguridad física, 114 para las líneas de producción, y 12 para limpieza y desinfección. Por lo que, para la línea de producción 1 diagramada anteriormente en la ilustración 5, se tienen entre 35 a 45 colaboradores que se encuentran operando banano, papaya y fresa (dependiendo del presupuesto asignado por la empresa para cada mes), y los restantes operan la línea de producción 2 para aguacate. En cuanto a los operarios de producción, dependen del presupuesto asignado por la empresa para cada semana, por lo tanto, para el horizonte de tiempo estipulado (mes de junio del 2018), se tiene un presupuesto para la línea de producción 1 de 42 trabajadores para las semanas 1 y 2, y 39 trabajadores para las semanas 3 y 4.

Para el desarrollo de la caracterización, el costeo de toda la cadena de suministros y el diseño del modelo matemático, se utiliza al personal y la mano de obra bajo dos principios, el primero construyendo cada uno de los costos como actualmente lo realiza la empresa, y es costeando según producción, es decir, el tiempo empleado por el personal en cada actividad requerida para producir un kilogramo de producto según el balanceo de fruta determinado por coordinadores de producción, por lo



que es costeado y cargado en todas las actividades de la cadena de suministro que tenga requerimientos de personal. El segundo principio se basa en la capacidad de producción según la mano de obra para la línea balanceada con el número de trabajadores presupuestados, teniendo en cuenta que se usan 42 colaboradores para las semanas 1 y 2, y 39 colaboradores para las semanas 3 y 4. Se tendrá entonces, una capacidad de producción en cuanto a la mano de obra de 103.680 kilogramos para las primeras dos semanas y 97.920 kilogramos para las últimas 2 semanas del mes de junio del 2018, que resultan de la tasa de producción con la línea balanceada según sea la cantidad de operarios y la disponibilidad horaria laborada para una semana.

Basándose en la ética profesional y el alcance del plan maestro de la producción, no se sugiere modificación del personal por reducción del nivel de ventas o del pronóstico de la demanda, principalmente por las limitaciones del plan maestro de la producción que debe determinar las decisiones de cuánto y cuándo producir, teniendo en cuenta la capacidad de la planta (incluyendo capacidad del personal, que para este caso se encuentra por encima del equipo cuello de botella), caso contrario ocurre con el plan agregado de la producción, que determina decisiones tácticas respecto a los recursos que deben usarse según las necesidades de la empresa para el cumplimiento de los pronósticos globales o las ventas aseguradas, pero dando una visión más global, es decir, con un horizonte de tiempo de mediano y largo plazo.

Para la capacidad de producción por equipos, se rige entorno al IQF, debido a que, si todos los demás equipos operaran a su máxima capacidad, sería el IQF el que generaría un cuello de botella, ya que, a su máximo rendimiento tiene una producción de 171.200 kilogramos por semana laborada. Se hace énfasis en que la empresa adquirió 2 IQF de alta capacidad para optar por un crecimiento a futuro que permita dar respuesta a las demandas que se presenten, operando cada IQF en cada línea de producción, por lo tanto, la línea de producción 1 tiene como capacidad máxima por equipos una cantidad de 171.200 kilogramos por semana.

Para recepción de materia prima, el proceso de maduración es coordinado por el área de recepción de materia prima con anterioridad para tener disponibilidad en el momento de requerirlo y así evitar un cuello de botella de 3 días por el proceso de maduración (cuando se produce banano), atendiendo un requerimiento de materiales del área de producción cuando se defina el plan maestro de la producción. Se enfatiza entonces, que la cadena de suministro es tomada desde la recepción de materia prima para costeo, incluyendo insumos, mano de obra y otros requerimientos, sin embargo, el plan de requerimiento de materiales que necesita el área de recepción de materia prima se encuentra fuera del alcance del presente trabajo, teniendo en cuenta que esta área debe garantizar que cualquier fruta requerida ingrese con el tiempo necesario para que sea usado por producción cuando se solicite.

Adicional, para los pedidos, se establece que la empresa busca siempre el cumplimiento total de los pedidos, por lo que cualquier planeación debe ir enfocada al cumplimiento de las fechas acordadas con los clientes según los acuerdos comerciales y las cantidades solicitadas para cada mes, ver tabla 11; y consecuentemente, segregado para cada semana como se puede ver en la tabla 12, 13 y 14; que resulta del acuerdo comercial entre la empresa y cada cliente según los itinerarios disponibles entregados para los 30 días siguientes por el puerto de exportación y las necesidades de los clientes.

Es importante aclarar además que, al conocer los pedidos de cada mes previamente, la empresa designa los presupuestos para la realización de la producción y, por ende, establecen un presupuesto de mano de obra, un costeo de mano de obra, costeo de insumos y/o de cualquier otro requerimiento en planta. Pero, las decisiones de producción semanales son el tema tratado en el presente trabajo, donde dependiendo de las decisiones tomadas bajo los costos que van en función de los pedidos, las semanas de producción, las capacidades, entre otros, terminan dándole cumplimiento a los compromisos de la empresa, pero con una gestión adecuada de los recursos.

**Tabla 11. Pedidos en kilogramos para el mes de junio del 2018 para los productos de la línea de producción número 1, especificado por cliente.**

PEDIDOS DE CLIENTES EN KILOGRAMOS						
MES: JUNIO						
CLIENTE	PAÍS	DESTINO	BANANO	PAPAYA	FRESA	TOTAL
KH JAMBA, RESTAURANT DEPOT SUN MARK FOODS	ESTADOS UNIDOS	NEW YORK	198,000.00	0.00	0.00	<b>198,000.00</b>
SIEMSEN TIEFKUHLPRODUKTE GmbH	ALEMANIA	HAMBURG	66,000.00	66,000.00	0.00	<b>132,000.00</b>
CANADA INC - DISTRIBUTION FARINEX	CANADÁ	MONTREAL	0.00	0.00	22,000.00	<b>22,000.00</b>
TOTAL			<b>264,000.00</b>	<b>66,000.00</b>	<b>22,000.00</b>	

Fuente: Elaboración propia (2018).

**Tabla 12. Pedidos en kilogramos para el mes de junio del 2018 para los productos de la línea de producción número 1, para el cliente de New York.**

PEDIDOS DE CLIENTES EN KILOGRAMOS							
MES: JUNIO							
CLIENTE	DESTINO	PRODUCTO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL
KH JAMBA, RESTAURANT DEPOT SUN MARK FOODS	NEW YORK	BANANO	44,000.00	88,000.00	44,000.00	22,000.00	<b>198,000.00</b>
		PAPAYA	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
		FRESA	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
TOTAL			<b>44,000.00</b>	<b>88,000.00</b>	<b>44,000.00</b>	<b>22,000.00</b>	

Fuente: Elaboración propia (2018).

**Tabla 13. Pedidos en kilogramos para el mes de junio del 2018 para los productos de la línea de producción número 1, para el cliente de Hamburg.**

PEDIDOS DE CLIENTES EN KILOGRAMOS							
MES: JUNIO							
CLIENTE	DESTINO	PRODUCTO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL
SIEMSEN TIEFKUHLPRODUKTE GmbH	HAMBURG	BANANO	44,000.00	0.00	22,000.00	0.00	<b>66,000.00</b>
		PAPAYA	22,000.00	0.00		44,000.00	<b>66,000.00</b>
		FRESA	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
TOTAL			<b>66,000.00</b>	<b>0.00</b>	<b>22,000.00</b>	<b>44,000.00</b>	

Fuente: Elaboración propia (2018).

**Tabla 14. Pedidos en kilogramos para el mes de junio del 2018 para los productos de la línea de producción número 1, para el cliente de Montreal.**

PEDIDOS DE CLIENTES EN KILOGRAMOS							TOTAL
MES: JUNIO							
CLIENTE	DESTINO	PRODUCTO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	
CANADA INC - DISTRIBUTION FARINEX	MONTREAL	BANANO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		PAPAYA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		FRESA	0.00	0.00	0.00	22,000.00	22,000.00
TOTAL			0.00	0.00	0.00	22,000.00	

Fuente: Elaboración propia (2018).

Por lo tanto, la demanda neta en este caso de estudio corresponde a los pedidos de los clientes para cada semana, resultado de las decisiones de la dirección de planta con acompañamiento de planeación y costos, que termina activando las diferentes áreas internas de la compañía para coordinar los requerimientos que permitan cumplir la fecha de salida, dado que la fecha estipulada por los clientes para cada semana hace referencia a la fecha que debe salir el contenedor de la empresa para darle cumplimiento a las solicitudes de los clientes, donde al mismo tiempo el área de recepción de materia prima, de calidad, de laboratorio, de recursos humanos y demás, se ven directamente afectadas y deben funcionar entorno a los cambios que plantea cada planeación agregada de la producción.

Como política de la empresa, los pedidos de cada mes son entregados equilibrando los niveles de producción, es decir, se agenda cada mes garantizando cubrir las 4 semanas de producción y salida a puerto con el objetivo de contar específicas para cada semana, pero generando libertad para tomar decisiones de si la empresa debe activar la producción una semana, si debe almacenar en inventario o si se produce según la demanda de la semana vigente

### **Almacenamiento**

La empresa no requiere cumplir niveles de inventario mínimo, sin embargo, dependiendo de las necesidades de producción, pedidos de clientes o situaciones

adversas, puede generar inventario, entendiendo que se cuenta para el ejercicio con un inventario inicial de 32.100 kg para el banano, 0kg para la papaya y 5.500 kg para la fresa, teniendo este inventario disponible para la primera semana del mes de junio del 2019, sabiendo que, estos inventarios fueron generados en la producción de la última semana del mes de mayo del 2019. Así mismo, la capacidad del inventario corresponde a 145.600 kilogramos.

### ***Cargue de contenedores, exportación y zona franca***

La llegada de un contenedor a la zona de exportación habilita la salida de estibas hacia el área de contenedores para evitar pérdidas de productos terminados por incumplimiento en la cadena de frío. Esto conllevaría a desperdicios innecesarios por incumplimiento de procedimiento.

Para cargar un contenedor es indispensable la presencia de 5 colaboradores de cargue, un coordinador de exportaciones y un inspector de contenedores (costeados ya como costo de preparación), así mismo se requiere la grabación de todo el procedimiento y los sellos de contenedor cumpliendo el proceso de puerto y todos los protocolos de exportación requeridos por zona franca. Por lo que la falta de coordinación puede retrasar el cargue de un contenedor y/o el incumplimiento en documentación puede inhabilitar la salida de contenedor hacia puerto de Buenaventura, en ambos casos la empresa debe incurrir en costos adicionales al transportador del contenedor por mala logística en el proceso de cargue de contenedores y exportación. Durante el 2018 no se ha presentado ningún caso de retraso de contenedores.

Cuando se desea exportar un producto, de estas categorías que requiere un tipo de almacenamiento dentro del interior del contenedor, con unas condiciones de frío y de organizado especiales, se debe enfatizar en que los requerimientos de los clientes van a ser cumplidos dependiendo en la capacidad de los contenedores, donde en la mayoría de las veces se envían contenedores con el 100% de ocupación por acuerdo comercial.

### ***Clientes actuales y pedidos***

Para pedidos nuevos, puede cubrirse aumentando los niveles de producción y dependiendo del nivel de inventario sin generar muchos contratiempos dadas las capacidades de producción, por lo que generalmente puede cubrirse dicho pedido. Lo cual indica, que, en la práctica, la planeación puede ser modificada si ocurren cambios bruscos en los requerimientos de los clientes que superen los inventarios para esa semana, sin embargo, el modelo matemático planteado puede ser usado con mayor brevedad para resolver las necesidades de la empresa para dar cumplimiento a situaciones atípicas como la sugerida en este párrafo, actualizando los valores y generando una planeación para las semanas restantes con el incremento en ventas. Por esto, los nuevos pedidos deben agregarse al plan agregado de la producción y consecuentemente el plan maestro de la producción, adaptándose ante esta necesidad.

Los niveles de inventario de producto terminado para el 2017 eran de 31,2 toneladas mínimo para cada semana, sin embargo, para el 2018 no se establece una política de inventario mínimo, sino que, se determina que el inventario debe ir orientado a la reducción de costos, que, en algunos casos, mantener un inventario puede ocasionar un sobre costos del producto, pero en algunos otros, los costos de alistamiento y de producción pueden ayudar a tener inventarios leves en algunas semanas.

Para esto se establecen los clientes actuales de la empresa para el 2018, determinados en la planeación agregada de la producción para el año mencionado, ver tabla 16; pero de estos clientes, los utilizados en el horizonte de tiempo del trabajo de grado, son los del mes de junio del 2018, que se pueden observar en la tabla 11, donde determinan sus requerimientos, su ubicación y costos de transporte. Así mismo, con esta información y las tablas 12 al 14, se determinan los contenedores necesarios a enviar según los pedidos solicitados, recordando que la capacidad de cada contenedor es de 22.000 kilogramos. Esto arroja como

resultado, la necesidad de enviar 12 contenedores para el banano, 3 para papaya y 1 para la fresa.

**Tabla 15. Clientes de los productos de la línea de producción 1 para todo el 2018 y su ubicación geográfica para la empresa PROTERRA FOODS S.A.S.**

Cliente	PUERTO	PAÍS
113712 CANADA INC - DISTRIBUTION FARINEX	Montreal	Canadá
ALL GOLD IMPORTS INC	Toronto	Canadá
ASCENT FOODS LLC	San Antonio	Estados Unidos
FROZEN CANUCK IMPORT CORP (BOOSTER JUICE)	Toronto	Canadá
FRULIKA SRO	Rotterdam	Holanda
FRUTEX AUSTRALIA PTY LTD	Fremantle	Australia
JASPER WYMAN & SON	Houston	Estados Unidos
KH JAMBA	New York	Estados Unidos
MIKI OZ ASAKIM LT	Ashdod	Israel
NATURE´S TOUCH FROZEN FOODS INC	Montreal	Canadá
PATAGONIA FOODS, LLC	Los Ángeles	Estados Unidos
RESTAURANT DEPOT	New York	Estados Unidos
SIEMSEN TIEFKUHLPRODUKTE GmbH	Hamburg	Alemania
SUN MARK FOODS LTDA	New York	Estados Unidos
VLM BIOMAC	Buenos Aires	Argentina
VLM REDDY RAW	New York	Estados Unidos

Fuente: Elaboración propia (2018).

### **Transporte de contenedores**

Todo esto añade un componente más para incluir la cadena de suministro como lo plantean los objetivos iniciales, siendo el transporte un requerimiento importante a cumplir según los clientes, pedidos y cantidad de contenedores mencionados anteriormente. Por lo que se plantea la necesidad de resolver esta decisión en el modelo matemático, teniendo en cuenta que existe ya un costo por transporte (terrestre, marítimo y de preparación) asociado a una decisión de cuándo enviar, a donde enviar y qué producto enviar. Generando así la opción de incluir decisiones de transporte fundamentadas en reducir estos costos pero que al mismo tiempo esté en función de la producción y la demanda, tema determinante para encontrar

soluciones óptimas al incluir 2 objetivos como lo establece el modelo matemático planteado: plan maestro de la producción y transporte.

#### **2.4.2 Variables que afectan el desempeño de la cadena de suministro**

Entendiendo cada uno de los elementos dentro de la cadena de suministro, se puede determinar una gran cantidad de variables que afectan de alguna manera a la cadena de suministro del producto seleccionado, lo cual a futuro puede permitir ser mucho más precisos para tomar cualquier decisión, pero el primer paso para diseñar un modelo matemático que contribuya a la determinación de decisiones claves para minimizar costos es establecer cuáles de estas variables van a impactar mucho más, llevando a resultados favorables o desfavorables, siendo este caso el de reducir costos relacionados a la planeación de la producción (plan maestro de la producción) y el transporte. Adicional, algunos elementos dentro de la cadena de suministros tienen comportamiento de variables, sin embargo, su fluctuación es mínima o su impacto es poco significativo, por lo cual, son manejados como constantes en un horizonte de tiempo no muy largo. Al final, esto permite destacar y visualizar aquellas variables sí afectan significativamente el desempeño de la cadena de suministro y sus costos, por lo que, según los datos recolectados durante el año 2018, las variables más importantes son las siguientes:

- Variable 1: kilogramos a producir de cada producto de la línea de producción 1 para cada semana.
- Variable 2: kilogramos a almacenar de cada producto de la línea de producción 1 para cada semana.
- Variable 3: cantidad de contenedores a enviar de 20 pies refrigerados según el tipo de producto desde Buenaventura hasta su destino para cada semana.
- Variable 4: decisión de producir o no producir cada producto en cada semana.

Esto no implica que se omitan características relevantes ignorando el comportamiento de algunos datos, lo que se busca es controlar las decisiones bajo



las variables de decisión y consolidar las restricciones de las restantes. Recordando así, que todo modelo matemático busca establecer restricciones a estas variables de decisión que limiten a valores constantes (o que fluctúen muy poco en el horizonte de tiempo de la planeación de la producción), enfatizando en que para llegar a un óptimo es indispensable tener una visión completa del proceso enfocándose en entenderlo como un proceso dinámico y así mismo se comportan todos sus elementos, por lo que según el comportamiento se determina si una característica se puede considerar constante para un horizonte de tiempo de planeación de la producción para el plan maestro de la producción o definitivamente es una variable.

### **3. DISEÑO DEL MODELO MATEMATICO PARA LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (MPS) Y EL TRANSPORTE EN PROTERRA FOODS S.A.S.**

La formulación del modelo matemático que se adapta mejor a las condiciones del capítulo 2, teniendo en cuenta las variables principales y cada uno de los elementos que pueden afectar positiva o negativamente los costos de producción y/o transporte en la empresa PROTERRA FOODS S.A.S. son enfocados en un modelo de programación lineal, dado que cumple con todas las características del mismo. Esto con la finalidad de llegar a soluciones factibles dependiendo de los escenarios planteados posteriormente en el capítulo 4.

#### **3.1. HORIZONTE DE TIEMPO**

Se cuenta con una planeación agregada de la producción que segregada permite tener en cuenta los pedidos para el mes de junio del 2018, se establece entonces un horizonte de tiempo de 4 semanas según como lo sugiere la revisión documental en diversos casos (determinar el MPS para un horizonte de un mes) para así demostrar el funcionamiento del modelo matemático y los beneficios que puede generar en un mes de implementación, argumentando que el objetivo es replicar esta metodología para los siguientes meses según se vaya progresando en el tiempo ejecutado y se cumplan los meses programados, dado que se recuerda que el plan maestro de la producción es en muchos casos una segregación de la planeación agregada de la producción pero permite mucho más dinamismo y reacción ante cambios en el cumplimiento de los pronósticos y/o pedidos según sea el caso. Se comienza desde la primera semana del mes de junio, y se culmina en la última semana del mismo mes, teniendo en cuenta el inventario inicial de los productos terminados.

#### **3.2. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL MODELO MATEMÁTICO**

En el capítulo 2 se detalla la cadena de suministro del producto objeto de estudio, que visualizándolo globalmente se tiene:

Tabla 16. Características principales del modelo matemático.

<p>Modelo: Determinístico.</p> <p>Producto principal: Banano.</p> <p>Productos adicionales: Papaya y fresa.</p> <p>Unidad de medida del producto terminado: Kilogramos.</p> <p>Mes seleccionado para modelar: junio del 2018.</p> <p>Horizonte de tiempo: 4 semanas.</p> <p>Total productos a producir: 3.</p> <p>Número de plantas de producción: 1.</p> <p>Número de clientes (destinos): 3.</p> <p>Contenido por contenedor: 22.000 kilogramos (contenedor tipo reefer de 20 pies).</p> <p>Políticas de inventario: se permite generar inventario hasta su capacidad máxima, no existe capacidad mínima de inventario.</p> <p>Política de pedido: todos los pedidos deben cumplirse en la fecha acordada entre la empresa y los clientes para cada semana, por lo tanto, el modelo trabaja make to order, dado que es el cliente quien origina la orden de producción. Anteriormente, en el capítulo 2, se explica cómo se segrega de unos pedidos mensuales a los requerimientos para cada cliente por semana.</p> <p>Capacidad máxima de la planta de producción según el IQF: 171.200 kilogramos/semana.</p> <p>Capacidad máxima de la planta de producción según el presupuesto de operarios: 103.680 kilogramos para la semana 1 y 2 (con 41 operarios), y 97.920 kilogramos para la semana 2 y 3 (con 38 operarios).</p> <p>Capacidad máxima de inventario: 146.500 kilogramos.</p> <p>Variables: 72.</p> <p>Total parámetros: 10 (varios de ellos en función del tiempo, el producto y/o el cliente).</p> <p>Total restricciones: 3 ecuaciones y 5 inecuaciones de restricción.</p> <p>Total coeficientes de función objetivo: 3 en función del producto, 2 en función del producto y el tiempo y 1 en función del cliente, el producto y el tiempo.</p> <p>Función objetivo: 1, minimización.</p> <p>Supuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- La disponibilidad de materia prima se encuentra sin limitaciones comparándolo con la capacidad de producción de la planta debido a lo caracterizado en el capítulo 2, donde se</li></ul>
---

evidencia que se encuentra en capacidad de responder por insumos a máxima capacidad durante las semanas propuestas en el presente modelo matemático, por lo tanto no está establecido dentro del alcance del modelo, y los requerimientos de materiales e insumos no se desarrollaron en el presente trabajo (ver delimitaciones del alcance), sin embargo se tienen en cuenta todos los costos de esta área asociados a la producción.

- Se dispone de un inventario inicial para el banano de 32.100 kilogramos de banano y de 5.500 kilogramos de fresa para ser usados desde la primera semana del mes de junio del 2018 o posteriores. Sin embargo, no se cuenta inventario inicial para la fresa.
- Para la salida de contenedores se tiene como única salida el puerto de Buenaventura por ser el puerto más económico en cuanto al total de costos terrestres y de puerto en Colombia para la ubicación geográfica de la empresa. Pero, el modelo incluye los costos marítimos dependiendo de la ubicación de cada cliente.
- Las decisiones de personal en cuanto a contratación, retiro de personal, subcontratación u otras decisiones de gestión de personal no son tenidas en cuenta dentro del alcance del modelo, sin embargo, se costea la mano de obra por kilogramo producido para cada una de las áreas, actividades de la cadena de suministro y productos seleccionados. Aclarando que, la mano de obra es añadida como presupuesto determinado para las diferentes semanas modeladas, esto con la finalidad de contemplar este requisito y poder evaluarse.
- Los tiempos de llegada de contenedores no son contemplados dentro del modelo matemático debido a que el área de logística de la empresa es la encargada de asegurar el cumplimiento de llegada según el plan maestro de la producción socializado para cada mes, por lo tanto, se parte del supuesto que la fecha planeada por cliente para los pedidos corresponde al momento que debe salir el contenedor desde la empresa. Por tal razón, se descartan los tiempos de transporte y se da respuesta a los objetivos planteados inicialmente, determinando como cubrir la demanda (contenedores a enviar para cada cliente cumpliendo fechas pactadas con clientes en pedidos para el 2018).
- Todos los costos mencionados en los componentes del modelo matemático se encuentran estipulados en la caracterización (capítulo 2) o pueden ser deducidos de ellas.
- Y, por último, debe cubrirse el 100% de los pedidos de los clientes planteados desde la planeación agregada de la producción para el 2018, pedidos que corresponden a las tablas 12 al 14, y que se encuentren dentro del horizonte de tiempo establecido para el modelo matemático. Adicional, los contenedores deben siempre estar a máxima capacidad al momento de ser enviados y son contenedores de 22 toneladas.

*Fuente: Elaboración propia (2019).*

### **3.3. COMPONENTES DEL MODELO MATEMÁTICO**

#### **3.3.1. Productos**

Para el modelo matemático se tiene en cuenta principalmente el banano como producto determinado, pero se incluyen las decisiones de los demás productos de la línea de producción número 1, ya que comparten recursos. Siendo banano, papaya y fresa los productos a decidir y que cuentan con costos para sus decisiones. Todos estos productos tienen como unidad de medida el kilogramo.

#### **3.3.2. Plantas**

Como se ha mencionado con anterioridad, solo se cuenta con una sola planta de producción en las instalaciones de PROTERRA FOODS S.A.S.

#### **3.3.3. Clientes**

Se cuenta con una gran variedad de clientes, sin embargo, para el mes seleccionado en el horizonte de tiempo del modelo (junio del 2018), se cuenta con 3 clientes principales, siendo uno de Nueva York, el siguiente de Hamburg y el último de Montreal, donde varios de ellos tienen pedidos con diferentes productos.

#### **3.3.4. Transporte**

El transporte desde la planta de producción hacia el puerto de Buenaventura es vía terrestre, y se costea dependiendo de la cantidad de contenedores enviados. Adicional, desde el puerto hacia cada destino es enviado vía marítima, lo cual genera un costo adicional según destino, sumando así un costo variable dependiendo de la ubicación del cliente.

## 3.4. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Conceptos clave para el entendimiento del modelo:

### 3.4.1. Índices

*Para tiempo: semanas, indexadas por  $i$ , teniendo los valores de 1 hasta 4 (horizonte de tiempo del MPS). El término  $T$ , corresponde al valor máximo permitido para el índice  $i$ .*

*Para productos: tipo de producto correspondiente a la línea de producción 1, indexados por  $j$ , teniendo los valores de 1 al 3, donde 1 es banano, 2 es papaya y 3 es fresa. El término  $J$ , corresponde al valor máximo permitido para el índice  $j$ .*

*Para clientes: destinos a donde deben llegar, indexados por  $d$ , teniendo los valores de 1 al 3, donde 1 es New York, 2 es Hamburg y 3 es Montreal. El término  $D$ , corresponde al valor máximo permitido para el índice  $d$ .*

### 3.4.2. Parámetros

Para facilitar el entendimiento del modelo matemático, se estipulan los parámetros, teniendo parámetros que contienen desde un índice hasta 3 índices, según sea el requerimiento dentro del modelo, así mismo, se tienen parámetros que resultan de la suma de otros costos.

Por lo tanto, los parámetros estipulados son:

$CP_j$ : Costo total de producción por kilogramo del producto  $j$ .

$CI_j$ : Costo total de mantener inventario por kilogramo del producto  $j$ .

$CA_j$ : Costo total de alistamiento para producir el producto  $j$  en una semana.

$CT_d$ : Costo total de transporte por contenedor desde la planta de producción hasta el cliente  $d$ .

$D_{dij}$ : Demanda del producto  $j$  en kilogramos, según pedidos del cliente  $d$  en la semana  $i$ .

$CPC$ : Capacidad máxima por contenedor en kilogramos para cualquier producto de la línea de producción 1.

$CPN$ : Capacidad máxima de producción semanal en kilogramos según el equipo IQF para la línea de producción 1

$CPI$ : Capacidad máxima de almacenamiento de inventario semanal en kilogramos para los productos de la línea de producción 1.

$I_{0j}$ : Inventario inicial en kilogramos del producto  $j$ , previos al horizonte de tiempo de planificación.

$COPE_i$ : Capacidad máxima de producción semanal en kilogramos según el presupuesto de mano de obra para cubrir los requerimientos de producción en la semana  $i$  para la línea de producción 1.

- Donde se tiene que el costo total de producción se origina de:

$$CP_j = CMP_j + CTA_j + CPF_j + CRM_j$$

Siendo:

$CMP_j$ : Costo de materia prima para producir un kilogramo del producto  $j$ .

$CTA_j$ : Costo de transformación por kilogramo del producto  $j$ .

$CPF_j$ : Costo de procesos finales por kilogramo del producto  $j$ .

$CRM_j$ : Costo de recepción de materia prima por kilogramo del producto  $j$ .

- Donde se tiene que el costo total de transporte se origina de:

$$CT_d = Terr + Mar_d + CPP$$

Siendo:

$Terr$ : Costo de transportar un contenedor vía terrestre desde la planta de producción hasta el puerto de Buenaventura.

$Mar_d$ : Costo de transportar un contenedor vía marítima desde el puerto de buenaventura hasta el cliente  $d$ .

$CPP$ : Costo de preparación del contenedor (inspección de contenedor, control y riesgos) para un contenedor dispuesto a exportación.

### 3.4.3. Variables de decisión

$X_{ij}$ : Kilogramos a producir del producto  $j$  en la semana  $i$ .

$I_{ij}$ : Kilogramos a almacenar en cava del producto  $j$  en la semana  $i$ .

$Z_{dij}$ : Cantidad de contenedores de 20 pies con productos  $j$  a enviar desde el puerto de Buenaventura hasta el destino  $d$  para la semana  $i$ .

$W_{ij}$ : Decisión de realizar o no realizar producción del producto  $j$  en la semana  $i$ .

### 3.4.4. Función objetivo

Minimizar:

$$\sum_i^T \sum_j^J (CP_j * X_{ij} + CI_j * I_{ij} + CA_j * W_{ij}) + \sum_d^D \sum_i^T \sum_j^J CT_d * Z_{dij}$$

Definida como la función objetivo que busca reducir costos asociados a la planeación de la producción (basándose en el plan maestro de la producción) y el transporte para la línea de producción número 1 (en una empresa de alimentos (PROTERRA FOODS S.A.S.) para un tiempo  $i$ , para un producto  $j$ , hasta un cliente destino  $d$ . Teniendo en la primera sumatoria los costos de producción (incluyen costos de alistamiento, materia prima, de transformación, de procesos finales, de recepción de materia prima, para cada kilogramo producido por semana), y en el segundo grupo de sumatorias se tienen los costos de transporte hasta el destino final para cada contenedor, dependiendo del cliente, el tipo de producto a entregar y la semana de entrega.

Cada uno de estos costos están especificados con mucho más detalle en el capítulo 2, pero se aclara que como la función objetivo está orientada a costos, los diferentes parámetros y variables al ser resueltas terminan teniendo como unidad el peso



colombiano, por lo tanto, la función objetivo muestra como resultado el costo total de todas las decisiones de plan maestro de la producción y el transporte.

### 3.4.5. Restricciones

A) BALANCE DE INVENTARIO:

$$I_{ij} = I_{i-1j} + X_{ij} - \sum_d^D D_{dij}, \quad \forall i = 2, \dots, T \quad \wedge \quad \forall j = 1, \dots, J$$

$$I_{1j} = I_{0j} + X_{1j} - \sum_d^D D_{d1j}, \quad \forall j = 1, \dots, J$$

B) RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD:

$$\sum_j^J I_{ij} \leq CPI, \quad \forall i = 1, \dots, T$$

$$\sum_j^J X_{ij} \leq CPN, \quad \forall i = 1, \dots, T$$

$$X_{ij} \leq CPN * W_{ij}, \quad \forall i = 1, \dots, T \quad \wedge \quad \forall j = 1, \dots, J$$

$$\sum_j^J X_{ij} \leq COPE_i, \quad \forall i = 1, \dots, T$$

C) CUMPLIMIENTO DE OFERTA Y DEMANDA:

$$\sum_d^D \sum_j^J D_{dij} \leq \sum_j^J (X_{ij} + I_{i-1j}), \quad \forall i = 1, \dots, T$$

$$Z_{dij} = \rho D_{dij} \quad \forall i = 1, \dots, T \quad \wedge \quad \forall d = 1, \dots, D \quad \wedge \quad \forall j = 1, \dots, J$$

Donde:

$$\rho = 1/CPC$$

D) NO NEGATIVIDAD Y BINARIO:

$$X_{ij}, I_{ij}, Z_{dij}, W_{ij} \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, T \quad \wedge \quad \forall j = 1, \dots, J \quad \wedge \quad \forall d = 1, \dots, D$$

$$W_{ij} \in \{0,1\}$$

### 3.5. SOLUCIÓN INICIAL DEL MODELO MATEMÁTICO (ESCENARIO 0)

Con la finalidad de demostrar que el modelo es resoluble, que se encuentra acotado y que contribuye a reducir costos con un plan maestro de la producción, que a su vez contribuya al cumplimiento de todas las condiciones y restricciones de la cadena de suministro; se procede a desarrollar el modelo matemático con los parámetros iniciales de la empresa para el mes estipulado, por lo que es usado SOLVER para minimizar el modelo. Obteniendo así, las decisiones de las diferentes variables (72), el cumplimiento de sus restricciones (ver anexos) y el resultado del modelo matemático aplicado para cada semana del mes de junio del 2018, mostrando a su vez, el valor minimizado de la función objetivo decidido por la solución óptima de SOLVER (ver figura 6).

**Figura 6. Resultados del modelo matemático en su función objetivo y las variables de decisión para el caso inicial.**

FUNCIÓN OBJETIVO					
Minimizar:		<b>\$ 668,190,750.50</b>			
VARIABLES DE DECISIÓN					
BANANO	X1	X2	X3	X4	
	55900	88000	88000	0	
I1	I2	I3	I4		
	0	0	22000	0	
PAPAYA	X1	X2	X3	X4	
	22000	0	0	44000	
I1	I2	I3	I4		
	0	0	0	0	
FRESA	X1	X2	X3	X4	
	0	0	0	16500	
I1	I2	I3	I4		
	5500	5500	5500	0	
	w1	w2	w3	w4	
BANANO	1	1	1	0	
PAPAYA	1	0	0	1	
FRESA	0	0	0	1	
BANANO		Z11	Z21	Z31	TOTAL
	SEM 1	2	2	0	4
	SEM 2	4	0	0	4
	SEM 3	2	1	0	3
	SEM 4	1	0	0	1
	TOTAL	9	3	0	12
PAPAYA		Z12	Z22	Z32	TOTAL
	SEM 1	0	1	0	1
	SEM 2	0	0	0	0
	SEM 3	0	0	0	0
	SEM 4	0	2	0	2
	TOTAL	0	3	0	3
FRESA		Z13	Z23	Z33	TOTAL
	SEM 1	0	0	0	0
	SEM 2	0	0	0	0
	SEM 3	0	0	0	0
	SEM 4	0	0	1	1
	TOTAL	0	0	1	1

Fuente: El Autor (2019).

Como primer análisis, se puede observar como en los casos que los pedidos sean muy bajos, es preferible generar inventario desde una producción anterior y almacenar el producto requerido para cubrir dicha demanda, siendo un ejemplo de esto la semana 3 y 4, donde al ser un requerimiento de banano de 22.000 kilogramos para la última semana del horizonte de tiempo, el modelo decide generar inventario junto al requerimiento de la semana 3 para así completar lo solicitado en la semana 4, almacenando entonces 22.000 kilogramos pero evitando activar la producción para una semana en búsqueda de ahorrar costos.

Sin embargo, si los pedidos son bajos pero el intervalo entre semanas es mayor, la mejor decisión es generar dicho pedido para cada semana y evitar el inventario sobre los costos actuales de alistamiento e inventario para cada producto. Un caso de estos, son los 2 pedidos para la papaya, donde uno de ellos es para la semana 1 y el otro para la semana 4, por lo que, la decisión que se orienta a la reducción de costos es evitar el inventario durante 2 semanas y se prefiere generar producción para cada una de las semanas del pedido, concluyendo 22.000 kilogramos de papaya para la semana 1 y 44.000 kilogramos para la semana 4 correspondientes a los pedidos de los clientes en esas mismas semanas.

Por lo tanto, en cuanto a las decisiones de producción, se puede observar cómo se genera producción cada vez que es estrictamente necesario, sin embargo, se evita generar la producción de la semana 4 en el banano aun cuando hay un requerimiento, activando así las decisiones de inventarios relacionadas a los costos de inventario versus los costos de alistamiento y las cantidades pedidas de cada cliente.

Así mismo, se toman las decisiones correspondientes a las 36 variables de decisión del transporte, donde dependiendo de cada pedido de cliente y cada fecha en específico, se determina la cantidad de contenedores a enviar, teniendo en cuenta que para cada decisión existe un costo asociado. Enfatizando entonces en la importancia de la reducción de costos del conjunto de decisiones, debido a que

dependiendo de las fechas de envío de estos contenedores es que se deben tomar decisiones de producción y de inventario junto a las de transporte. Por lo tanto, se garantiza con las decisiones del modelo, el cumplimiento de la política de pedidos de la empresa, que como se menciona en el planteamiento del problema, es uno de los criterios principales de la empresa para medir el desempeño de la organización para así evitar la pérdida de clientes de estos productos.

En cuanto a las capacidades de la empresa, se puede ver como se tienen porcentajes entre 19% y el 39% en las capacidades de inventario para las diferentes semanas del mes de junio, lo que evidencia que, si bien se tienen inventarios, se evita generar un sobre costo por exceso de inventarios que sean innecesarios. Luego, para la capacidad de producción según el IQF, la capacidad empleada durante las semanas estipuladas fue del 35% al 51%, lo que permite ver claramente lo mencionado en la caracterización de la cadena de suministros, debido a que actualmente el equipo se encuentra trabajando con una ocupación baja según los pedidos que se tienen, resultado de adquirir un equipo que es pensado al crecimiento de la empresa en cuanto a pedidos y producción. Por último, para la capacidad de producción según la capacidad de mano de obra para el presupuesto de las 4 semanas del mes de junio del 2018, se tuvo una capacidad empleada del 61% hasta el 90%, lo que evidencia una ocupación mayor debido a que fue presupuestado por la dirección de producción según los pedidos de la empresa, sin embargo, se debe evaluar incluir como política de la empresa, el establecer un porcentaje mínimo de ocupación en mano de obra (recomendado del 70%), debido a que se busca la reducción de costos y por ende, se debe evitar tener porcentajes de ocupación bajos en este recurso.

Se tiene entonces que, el costo total minimizado para la función objetivo por SOLVER teniendo en cuenta la producción y el transporte es de: \$ 668'190.750, y los MPS son los siguientes:

**Tabla 17. Plan maestro de la producción para los 3 productos de la cadena de suministros 1 según el óptimo del modelo matemático solucionado en SOLVER.**

PRODUCTO	BANANO				
SEMANAS	0	1	2	3	4
PEDIDOS		88,000.00	88,000.00	66,000.00	22,000.00
INVENTARIOS	32,100.00	0.00	0.00	22,000.00	0.00
MPS		55,900.00	88,000.00	88,000.00	0.00
PRODUCTO	PAPAYA				
SEMANAS	0	1	2	3	4
PEDIDOS		22,000.00	0.00	0.00	44,000.00
INVENTARIOS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPS		22,000.00	0.00	0.00	44,000.00
PRODUCTO	FRESA				
SEMANAS	0	1	2	3	4
PEDIDOS		0.00	0.00	0.00	22,000.00
INVENTARIOS	5,500.00	5,500.00	5,500.00	5,500.00	0.00
MPS		0.00	0.00	0.00	16,500.00

Fuente: El Autor (2019).

Además, se tiene el envío de 12 contenedores con banano (9 para New York y 3 para Hamburg), 3 contenedores con papaya (Hamburg) y 1 contenedor con fresa (Montreal) correspondientes a los pedidos generados durante el mes de junio del 2018 y acordados para cada semana del mismo mes.

Todo lo anterior nos indica la importancia de la determinación de la cadena de suministros en un plan maestro de la producción, donde además se incluyen las decisiones de transporte orientadas al cumplimiento de los pedidos, debido a que, con apoyo de los conceptos de ingeniería usados en el desarrollo del plan maestro de la producción de los 3 productos incluidos, se pudo llegar a un resultado aplicable para la organización y además evidenciar oportunidades de mejora, donde para algunos recursos se podría generar una mejor medición o nuevas políticas orientadas al cumplimiento de los pedidos pero con enfoques de reducción de costos.

Por último, se tiene en la tabla 20 la comparativa del resultado del modelo matemático orientado a la minimización de costos con las decisiones anteriormente

mencionadas y los resultados del mismo modelo, pero con las decisiones tomadas por la empresa para el mismo periodo de tiempo.

**Tabla 18. Comparativa entre el modelo actual para el estado 0 y los resultados de la empresa emulados en el modelo matemático.**

RESULTADOS	FUNCIÓN OBJETIVO
MODELO MATEMÁTICO	\$ 668,190,750.50
DECISIONES EMPRESA	\$ 669,721,550.30
DIFERENCIA	\$ 1,530,799.80

*Fuente: El Autor (2018).*

Se puede ver entonces que, el modelo matemático determinó para el mes de junio del 2018 una reducción de los costos totales teniendo en cuenta decisiones de producción y transporte por valor de \$1'530.799, que, si se promediara para un año, lograría una reducción aproximada de \$18'369.598. La mayoría de decisiones correspondientes a esta reducción pertenecen a determinaciones de producción exigiendo capacidades de producción y generando inventarios, que a su vez afectan las decisiones de entrega de la empresa, permitiendo muchas veces generar inventarios con sobrecostos e incumpliendo políticas de la empresa, debido a que, en lo corrido del 2018, se pudo observar cómo en 2 ocasiones, los pedidos de los clientes fueron incumplidos según las fechas de entrega pactadas.

Es muy importante aclarar que esta reducción se logra sin añadir recursos o sin cambiar las condiciones de la empresa, debido a que lo único que se estipula es el manejo de los recursos y, por ende, las decisiones de la empresa para cumplir los pedidos al costo más bajo sin afectar los objetivos de la empresa, teniendo decisiones de producción y de transporte enfocadas a la cadena de suministro del producto determinado (banano) y los productos adicionales (papaya y fresa).

#### **4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO MATEMÁTICO PROPUESTO**

Se plantea inicialmente un escenario donde una de las restricciones sea lo suficientemente relevante para que un cambio en su lado derecho (constante de la restricción) obligue al modelo a buscar diferentes alternativas no solo orientadas a cumplir esta restricción, sino también a cumplir con el objetivo fundamental del modelo: minimizar costos asociados a la planeación de la producción por medio del plan maestro de la producción y el transporte en la materia prima.

Para lo anterior, se tiene una restricción en la capacidad de la producción para los equipos y otra para la capacidad de la producción para la mano de obra según presupuesto asignado desde dirección de planta para el horizonte de tiempo evaluado.

##### **4.1. ESCENARIO 1: CAMBIOS EN LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DEL EQUIPO IQF**

Como primer análisis, se toma la capacidad de producción del IQF debido a su importancia en la planeación de la producción, donde se plantea un escenario de prevención de falla del equipo, debido a que, regularmente en la empresa suceden paros repentinos del IQF, pero son solucionados en cuestión de horas en la misma jornada laboral, sin embargo, esto puede conllevar a un paro prolongado o daño del equipo mismo, que dejaría sin mayor alternativa de producción a corto plazo, sobre todo, si el daño ocurre repentinamente y no hay inventarios disponibles para responder por los pedidos cercanos, por lo que se incumplen pedidos bajo un supuesto de este tipo. Por lo tanto, se plantea un cambio de dicha capacidad para la semana 3, donde pasa de 171.200 kilogramos a 40.000 kilogramos, con el objetivo de evidenciar la importancia de planear con anticipación cualquier proceso que afecte el tiempo laboral del equipo.

Para esta situación, se evalúa nuevamente en SOLVER el modelo matemático, teniendo cambios desde la función objetivo con un incremento de \$771.111

comparándolo con el escenario 0, debido a la activación de las 4 semanas de producción para el banano y el mantener más inventario para cubrir la baja productividad durante la semana 3, por lo que, los cambios relevantes se encuentran en el producto del banano y reflejan la importancia de evitar que esta situación en la empresa pueda empeorarse, debido a que fallos prolongados pueden colocar en riesgo el cumplimiento de los pedidos de los clientes en una semana por mantenimientos inadecuados o falta de mantenimiento preventivo, como también, se evidencia la importancia de evitar un fallo repentino, que probablemente generaría incumplimiento de pedidos. Cabe aclarar que, esta decisión a su vez afecta la ocupación del personal, es decir, la capacidad de la mano de obra presupuestada, debido a que inicialmente se tiene un presupuesto y está siendo exigido en semanas previas debido a este nuevo escenario, ya que para la semana 2 se tiene un 100% de ocupación con el personal presupuestado.

**Figura 7. Resultados del modelo matemático para los cambios del escenario 1 en el análisis de sensibilidad.**

FUNCIÓN OBJETIVO				
Minimizar:	<b>\$ 668,961,861.50</b>			
VARIABLES DE DECISIÓN				
BANANO	X1	X2	X3	X4
	66220	103680	40000	22000
PAPAYA	I1	I2	I3	I4
	10320	26000	0	0
FRESA	X1	X2	X3	X4
	22000	0	0	44000
BANANO	I1	I2	I3	I4
	0	0	0	0
PAPAYA	X1	X2	X3	X4
	0	0	0	16500
FRESA	I1	I2	I3	I4
	5500	5500	5500	0
	w1	w2	w3	w4
BANANO	1	1	1	1
PAPAYA	1	0	0	1
FRESA	0	0	0	1

Fuente: El Autor (2019).



#### **4.2. ESCENARIO 2: CAMBIOS EN LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA MANO DE OBRA (REDUCCIÓN DE PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA)**

Adicional, se plantea la segunda opción en cuanto a la capacidad de producción, enfocándose en la mano de obra según el presupuesto designado que determina el tiempo de ciclo y por ende la cantidad máxima de kilogramos a producir en una semana.

Esto debido a que como se ve en el anterior análisis de sensibilidad, la mano de obra juega un papel importante en el plan maestro de la producción, por lo tanto, se establecen las condiciones del modelo inicial para el escenario 0 y se plantea una situación de disminución de la mano de obra debido a ausentismos generados por las condiciones de frío de la empresa y no potabilidad del agua (según los indicadores de ausentismo por enfermedad común, la mayor cantidad de ausencias corresponden a estos 2 casos junto a accidentes de tránsito), lo que finalmente ocasiona reducción de la capacidad de la mano de obra. Estipulando entonces, un ausentismo del 18% durante el mes de junio del 2018.

Esta nueva situación genera una limitación mayor en la capacidad estipulada por la empresa según el presupuesto de personal, cambiando de 103.680 kilogramos a 85.017 kilogramos para las semanas 1 y 2, y de 97.920 kilogramos a 80.294 kilogramos para la semana 3 y 4.

Por lo tanto, al ser evaluado en SOLVER, determina que la función objetivo tiene un aumento de \$490.923 comparándolo con el escenario inicial, donde se puede evidenciar también como los porcentajes de ocupación de personal cambiaron de 85% hasta tener 2 semanas con 100% de ocupación. A su vez, este cambio en la restricción de mano de obra, genera un cambio en las cantidades a producir y almacenar para el producto del banano, ya que es este producto el que tiene pedidos mayores y, por lo tanto, costos mayores en sus decisiones. Adicional, se puede ver como pasaron los inventarios de 22.000 kilogramos del banano en el

escenario inicial a tan solo 5.188 con esta nueva condición, puesto que, al estar más limitado en su capacidad de mano de obra, hay menor capacidad de producción para generar inventarios en semanas anteriores, recordando así que hay 2 semanas con ocupación de 100% en este recurso.

Por último, estos cambios independientes a las capacidades de producción, tanto de los equipos como de la mano de obra; nos muestran la importancia de establecer un presupuesto adecuado para el cumplimiento de los pedidos, pero a su vez, lograr entender holísticamente la cadena de suministro y sus afectaciones atípicas.

**Figura 8. Resultados del modelo matemático para los cambios del escenario 2 en el análisis de sensibilidad.**

FUNCIÓN OBJETIVO				
Minimizar:	<b>\$ 668,681,673.50</b>			
VARIABLES DE DECISIÓN				
BANANO	X1	X2	X3	X4
	58882	85018	68206	19794
	I1	I2	I3	I4
	2982	0	2206	0
PAPAYA	X1	X2	X3	X4
	22000	0	0	44000
	I1	I2	I3	I4
	0	0	0	0
FRESA	X1	X2	X3	X4
	0	0	0	16500
	I1	I2	I3	I4
	5500	5500	5500	0
	W1	W2	W3	W4
BANANO	1	1	1	1
PAPAYA	1	0	0	1
FRESA	0	0	0	1

En cuanto a los coeficientes de la función objetivo, al evaluar el costo de inventario para evidenciar en qué momento es más económico evitar el inventario y producir exactamente lo requerido para cada semana, se logra concluir que, para el banano (producto con pedidos todas las semanas), se tendría que cuadruplicar el costo de almacenar inventario por kilogramo para cada semana para tener un cambio en las decisiones de producción y se eviten así inventarios de ese producto.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Existen diferentes herramientas y metodologías para abarcar los problemas de ingeniería u oportunidades de mejora, siendo una de estas la modelación matemática, que va en búsqueda de darle cumplimiento a su objetivo de minimización o maximización, que para el caso de PROTERRA FOODS permite acoger la cadena de suministro desde la determinación de los insumos de cada producto de la línea de producción 1, junto a todas aquellas actividades que le agregan valor y pueden ser costeadas, hasta las decisiones de transporte dependiendo de los requerimientos de pedidos de cada cliente para cada producto en cada semana. Estructurando así, un modelo matemático que se aproxima a las condiciones de la empresa y que permite la reducción de costos teniendo en cuenta la gestión de los recursos de la empresa enfocados a la planeación de la producción y el transporte.

Por tal razón, se caracterizó primero la cadena de suministro para el banano, la papaya y la fresa en PROTERRA FOODS, determinando todos los requerimientos, criterios y condiciones que lo acompañan para la producción y el transporte en su cadena de suministros, aclarando que se usó el plan maestro de la producción y las decisiones de transporte fueron enfocadas al cumplimiento de los pedidos de los clientes. Todo esto con la finalidad de darle respuesta a la estructuración del modelo matemático de la empresa que cubrió dicho plan maestro de la producción y el transporte de los productos mencionados. Siendo así uno de los temas principales desarrollados en el presente trabajo de grado, debido a que, lograr recolectar toda la información necesaria para realizar la estructuración de un modelo matemático, requiere muchas veces de datos que no están recolectados o muchas veces no son tenidos en cuenta por la empresa, pero afectan de alguna manera los resultados de la misma en relación a costos o afectaciones a políticas requeridas en la estructura principal del modelo.

Permitiendo entonces lograr completar el segundo objetivo posterior a la caracterización de la empresa, y es la estructuración del modelo matemático mencionado, que principalmente va en búsqueda de reducir los costos asociados a la planeación de la producción y el transporte del banano, pero también toma las decisiones y busca el mismo objetivo de la papaya y la fresa, debido a que comparten recursos en la misma línea de producción. Ahora bien, al tener el modelo matemático planteado, se estableció su formulación en la herramienta de SOLVER para resolución de problemas matemáticos y empezar a validar que se estén tomando decisiones orientadas a aproximarse a la empresa.

Posteriormente, se logró encontrar un valor óptimo de la función objetivo con el uso de SOLVER, que obtuvo un costo total de \$668'190.750 para las condiciones iniciales de la empresa, que posteriormente al compararlo con las propias decisiones de la compañía en el mismo periodo de tiempo se obtuvo un ahorro de \$1'530.799 para el horizonte de tiempo de 1 mes (junio del 2018), y que al promediarlo para un periodo de 1 año corresponde a \$18'369.597.

Por lo tanto, se logra el principal objetivo de reducción de costos cuando el modelo cuenta con criterios del plan maestro de la producción y el transporte en una empresa de alimentos, que inmediatamente ayudó para empezar a determinar los diferentes escenarios posibles bajo justificaciones viables en sus constantes o restricciones, para así poder visualizar cómo reaccionaría la empresa en ciertos casos específicos.

En cuanto al análisis de sensibilidad, se logra demostrar como la variación de una restricción puede afectar los resultados y las decisiones de la empresa. Dependiendo del tipo de restricción que se encuentre afectada, puede llegar a tornar los resultados de la función objetivo o hasta cambiar de resultado óptimo. Que, para este caso, se plantearon 2 variaciones independientes a las capacidades de producción y finalmente un cambio a un coeficiente de la función objetivo para evaluar sus resultados.

Por lo tanto, se inicia con el supuesto de un cambio en la capacidad de la producción del equipo IQF, referenciando un mantenimiento preventivo que debe realizarse por recomendaciones del propio equipo importado desde Chile y que en algunas ocasiones a presentado paros por no realizar dicho mantenimiento. Por tal razón, se estipula una reducción de la capacidad de producción por este equipo para la semana 3, siendo ahora de 40.000 kilogramos para esta semana. Al ser evaluado esta condición en SOLVER bajo los mismos criterios del escenario inicial, se tiene un aumento en los costos totales de \$771.111, debido principalmente a aumento de inventarios previos al día del mantenimiento y la activación de la producción en una semana que inicialmente no se tenía planeada para producir.

Así mismo, se evalúa el supuesto de un cambio en la capacidad de producción de la mano de obra, donde por ausentismo laboral, se tiene una reducción del 18% en la capacidad de producción para la mano de obra, lo que ocasiona un aumento en la función objetivo de \$490.923, debido a incrementos en las producciones del banano y una exigencia mayor a la mano de obra, teniendo 2 semanas con ocupación de 100% que inicialmente no se tenía en el escenario 0 del modelo matemático.

En cuanto a los coeficientes de la función objetivo, se analiza cómo puede cambiar de decisiones si se tiene una afectación a los costos de almacenar inventario del banano, donde solamente se tienen cambios si se cuadruplica el costo de inventario de este producto, por lo tanto, se sabe que cualquier variación entre el valor actual y 4 veces este mismo valor, representaría mantener las decisiones, pero no exime el resultado; dado que de igual manera cualquier incremento en el costo de inventario repercute en un incremento en el costo total de la función objetivo.

Todo esto nos lleva a entender que la principal ventaja de realizar un plan maestro de la producción es poder reaccionar de mejor manera a los pedidos de los clientes o las demandas pronosticadas, permitiendo manejar adecuadamente los niveles de inventario planeando semana a semana las diferentes necesidades que cubran

cada situación en específico. En cambio, una planeación anual supone ya unos recursos para el desarrollo del año completo y, no permite ser tan dinámico y/o reactivo, aun cuando se tienen decisiones que van a afectar de igual manera los recursos de la empresa, como lo es el transporte y el plan maestro de la producción.

Además, se puede observar la importancia de delimitar correctamente un proyecto, en búsqueda del cumplimiento de sus objetivos, puesto que hay una línea muy delgada entre acotar adecuadamente y excluir información que va a afectar realmente el plan maestro de la producción y no se tuvo en cuenta. En la práctica, si se desean tomar decisiones tácticas que sugieran cambios en las operativas y las estratégicas, se debe manejar completamente desde la cadena de suministro, dado que las delimitaciones en el alcance van a facilitar conseguir los resultados esperados y aplicables a las áreas de la empresa, recordando que, dentro de los escenarios planteados se pudo percibir esta situación, ya que, una decisión de índole productivo va a afectar a muchas áreas de la compañía.

Apoyando esto, la información y el manejo de los resultados permite tener una congruencia entre las decisiones que toma cualquier modelo matemático al ser ejecutado, permitiendo que el análisis de sensibilidad mida el impacto que se puede generar al variar una decisión, una variable, un parámetro o cualquier elemento que afecte los resultados del modelo matemático. Esto no implica que se tengan decisiones fáciles de tomar, en muchas ocasiones se tienen otros requerimientos que no son contemplados desde el plan maestro de la producción y el transporte, y pueden afectar el tomar determinaciones en cuanto a la variación de la producción, por esto se entiende que, la dificultad existe en la coordinación y las necesidades de los demás productos a producir, que se encuentran limitados ante los ingresos de materia prima, requerimientos de clientes y/o decisiones estratégicas.

Por último, la gestión adecuada de los recursos disponibles por medio de una planeación adecuada va a permitir cumplir los objetivos, pero no siempre hay un solo camino, como lo demuestra el análisis de sensibilidad, ya que existen muchas

vías para lograr mejorar los resultados pero muchas veces se desean visualizar los resultados antes de tiempo para así poder tomar decisiones estratégicas, y esto se logra empleando herramientas, metodologías y técnicas de ingeniería como las empleadas en el presente proyecto, donde el diseño del modelo matemático permitió evidenciar el resultado si se lleva a cabo la planeación actual y como con dicho modelo se puede reducir costos según varios escenarios planteados, donde el transporte permitió a su vez garantizar no solo el cumplimiento de la producción, sino también el cumplimiento de la demanda y su entrega a tiempo según acuerdos con los clientes, pero con un enfoque de reducción de costos para ambos temas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andre J., Bonnans F., y Cornibert L. (2009). Optimization of capacity expansion planning for gas transportation networks. *European Journal of Operational Research*. 197(3), 1019-1027.
- Boirivant, J. (2009). La programación lineal aplicación de las pequeñas y medianas empresas. *REFLEXIONES*, 88(1), 89-105.
- Damiao, C., y Morabito, R. (2016). Production and logistics planning in the tomato processing industry: a conceptual scheme and mathematical model. *Computers And Electronics in Agriculture*, 763-774.
- Estrada, M. (2010), *Redes de distribución*, Cataluña, España: Universitat politècnica de Catalunya.
- Estrada, M. (2007). *Análisis de estrategias eficientes en la logística de distribución de paquetería (tesis doctoral)*. Universitat politècnica de Catalunya, España.
- Fourer R., Gay M., y Kernighan B. (2003). *AMPL A Modeling Language for Mathematical Programming*. Estados Unidos: Duxbury Thomson.
- Gamboa, J., & Tabares R. (2012). *Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y la distribución de la supply chain de una empresa de consumo masivo*. Universidad ICESI, Santiago de Cali.
- Galindo, A., & Rosales, C. (2012). *Modelo de programación matemática para la optimización de la planificación y programación de la producción en la empresa GRACE Colombia s.a. planta Cartagena*. Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias.
- Garcia, B. (2007). *Administración de operaciones Producción y cadena de suministros*, Toluca, México: Mc Graw Hill.



- García, J. (2011). Modelos y métodos de investigación de operaciones, procedimientos para pensar, España: Grupo de Investigación ROGLE.
- Gutierrez, N. (2014). Diseño de plan maestro de producción para la pesquera Transantartic. Universidad Austral de Chile, Puerto Montt.
- Hillier, F. (2010), Investigación de operaciones, México DF, México: Mc Graw Hill.
- Izasa, K. (2016). Modelo de optimización de la planeación de operaciones en una cadena de suministro de alimentos cárnicos (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Krastek R., Saibel R., y Duarte A. (2012). Formulation of a mathematical model to optimize the time of production in an extruder plant of pipes. Universidad, Ciencia y Tecnología. 16, 33-41.
- Mahdavi I., Mahdi M., y Solimanpur M. (2009). Genetic algorithm approach for solving a cell formation problema in celular manufacturing. Expert Systems with Applications. 36(2), 6598-6604.
- Martínez, C., Mas-Machuca, M., Benedito, E., y Corominas, A. (2014). A review of mathematical progamming models for strategic capacity planning in manufacturing. Int. J. Production Economics, 66-85.
- Meneses, A. (2009). Propuesta de Implementación de Políticas de Control de Inventarios y Planificación de los Recursos para la Producción en Tatoo Cía. Ltda. Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- Miranda, V., Ranito J., y Proenca L. (1994). Genetic algorithms in optimal multistage distribution network planning. IEEE Transactions and power systems, 59(4), 1927-1933.
- Morales, F. (2012). Plan maestro de la producción para la categoría de carnicería de una cadena de supermercados. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.

- Narro Ramírez, A. (1996). Aplicación de algunos modelos matemáticos a la toma de decisiones. *Política y Cultura*, (6), 183-198.
- Pan, Q., Chen, Q., Meng, T., Wang, B. y Gao, L. (2017). Mathematical model and two-stages heuristic for hot rolling scheduling in compact strip production. *Applied Mathematical Modelling*, 516-533.
- Portela, R.V. (2007). La planeación y programación de la producción en la pyme. *AVANCES. Investigación en Ingeniería*, 6(6), 40–57.
- Pergher, I., y Teixeira, A. (2017). A multi-attribute decisión model for settings production planning parameters. *Journal of Manufacturing Systems*, 224-232.
- Santos, D. (2009). *EL PLAN DE NEGOCIOS*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Stephen, N. (2006). *Planificación y control de la producción*, México DF, México: Prentice Hall.
- VanTran, T., Schnitzer, H., Braunegg, G., y ThanhLe H. (2017). Development of an optimization mathematical model by applying an integrated environmental indicator for selecting alternatives in cleaner production programs. *Journal of Cleaner Production*, 295-308.
- Wong, K., y Ahmadi M. (2014). A mathematical model for supply chain planning in a build-to-order environment. *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability*, 315-320.
- Zotelo R. Y. (2017). Plan maestro de producción basado en programación lineal entera para una empresa de productos químicos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa* (24), 147-168.

## ANEXOS

**Anexo 1. Restricciones y parámetros del modelo matemático para el estado actual de la empresa (escenario 0), semana 1 a la semana 4, mes de junio del 2018.**

PARÁMETROS		PEDIDOS					
CP1	\$ 1,399						
CP2	\$ 2,138						
CP3	\$ 3,582						
CI1	\$ 9						
CI2	\$ 8						
CI3	\$ 11						
CT1	\$ 8,248,102						
CT2	\$ 9,255,617						
CT3	\$ 9,789,638						
CPC	22000						
CPN	171200						
CPI	145600						
I01	32100						
I02	0						
I03	5500						
RO	0.000045						
COPE1	103680						
COPE2	103680						
COPE3	97920						
COPE4	97920						
CA1	\$ 642,231						
CA2	\$ 642,231						
CA3	\$ 465,362						
		D1i1    D2i1    D3i1    TOTAL					
		SEM1	44,000.00	44,000.00	0.00	88,000.00	<b>BANANO</b>
		SEM2	88,000.00	0.00	0.00	88,000.00	
		SEM3	44,000.00	22,000.00	0.00	66,000.00	
		SEM4	22,000.00	0.00	0.00	22,000.00	
		<b>TOTAL</b>	<b>198,000.00</b>	<b>66,000.00</b>	<b>0.00</b>	<b>264,000.00</b>	
		ESTADOS UNIDO: ALEMANIA    CANADÁ					
		NEW YORK    HAMBURG    MONTREAL    TOTAL					
		SEM1	2	2	0	4	<b>PAPAYA</b>
		SEM2	4	0	0	4	
		SEM3	2	1	0	3	
		SEM4	1	0	0	1	
		<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	
		D1i2    D2i2    D3i2    TOTAL					
		SEM1	0.00	22,000.00	0.00	22,000.00	<b>FRESA</b>
		SEM2	0.00	0.00	0.00	0.00	
		SEM3	0.00	0.00	0.00	0.00	
		SEM4	0.00	44,000.00	0.00	44,000.00	
		<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>66,000.00</b>	<b>0.00</b>	<b>66,000.00</b>	
		ESTADOS UNIDO: ALEMANIA    CANADÁ					
		NEW YORK    HAMBURG    MONTREAL    TOTAL					
		SEM1	0	1	0	1	<b>FRESA</b>
		SEM2	0	0	0	0	
		SEM3	0	0	0	0	
		SEM4	0	2	0	2	
		<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	
		D1i3    D2i3    D3i3    TOTAL					
		SEM1	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FRESA</b>
		SEM2	0.00	0.00	0.00	0.00	
		SEM3	0.00	0.00	0.00	0.00	
		SEM4	0.00	0.00	22,000.00	22,000.00	
		<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>22,000.00</b>	<b>22,000.00</b>	
		ESTADOS UNIDO: ALEMANIA    CANADÁ					
		NEW YORK    HAMBURG    MONTREAL    TOTAL					
		SEM1	0	0	0	0	<b>FRESA</b>
		SEM2	0	0	0	0	
		SEM3	0	0	0	0	
		SEM4	0	0	1	1	
		<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

**RESTRICCIÓN: A) BALANCE DE INVENTARIO**

$$I_{ij} = I_{i-1j} + X_{ij} - \sum_d D_{dij}, \quad \forall i = 2, \dots, T \quad \wedge \quad \forall j = 1, \dots, J$$

$$I_{1j} = I_{0j} + X_{1j} - \sum_d D_{d1j}, \quad \forall j = 1, \dots, J$$

<b>BANANO</b>	I1	0	.	0	I01+X11-SUM(Dd11)
	I2	0	.	0	I11+X21-SUM(Dd21)
	I3	22000	.	22000	I21+X31-SUM(Dd31)
	I4	0	.	0	I31+X41-SUM(Dd41)
<b>PAPAYA</b>	I1	0	.	0	I02+X12-SUM(Dd12)
	I2	0	.	0	I12+X22-SUM(Dd22)
	I3	0	.	0	I22+X32-SUM(Dd32)
	I4	0	.	0	I32+X42-SUM(Dd42)
<b>FRESA</b>	I1	5500	.	5500	I03+X13-SUM(Dd13)
	I2	5500	.	5500	I13+X23-SUM(Dd23)
	I3	5500	.	5500	I23+X33-SUM(Dd33)
	I4	0	.	0	I33+X43-SUM(Dd43)

**RESTRICCIÓN: B) BALANCE DE CAPACIDAD**

I11+I12+I13	5500	<=	145600	
I21+I22+I23	5500	<=	145600	
I31+I32+I33	27500	<=	145600	
I41+I42+I43	0	<=	145600	
X11+X12+X13	77900	<=	171200	
X21+X22+X23	88000	<=	171200	
X31+X32+X33	88000	<=	171200	
X41+X42+X43	60500	<=	171200	
X11	55900	<=	171200	
X12	22000	<=	171200	
X13	0	<=	0	
X21	88000	<=	171200	
X22	0	<=	0	
X23	0	<=	0	
X31	88000	<=	171200	
X32	0	<=	0	
X33	0	<=	0	
X41	0	<=	0	
X42	44000	<=	171200	
X43	16500	<=	171200	
X11+X12+X13	77900	<=	103680	0.75135
X21+X22+X23	88000	<=	103680	0.848765
X31+X32+X33	88000	<=	97920	0.898693
X41+X42+X43	60500	<=	97920	0.617851

**RESTRICCIÓN: C) CUMPLIMIENTO DE OFERTA Y DEMANDA**

i=1	D111+D211+D311+D112+D212+D312+D113+D213+D313	110000	<=	115500	X11+X12+X13+I01+I02+I03
i=2	D121+D221+D321+D122+D222+D322+D123+D223+D323	880000	<=	935000	X21+X22+X23+I11+I12+I13
i=3	D131+D231+D331+D132+D232+D332+D133+D233+D333	660000	<=	935000	X31+X32+X33+I21+I22+I23
i=4	D141+D241+D341+D142+D242+D342+D143+D243+D343	880000	<=	880000	X41+X42+X43+I31+I32+I33

NEW YORK							
i=1	BANANO	Z111	2	=	2	roD111	i=1
i=1		Z121	4	=	4	roD121	i=2
i=1		Z131	2	=	2	roD131	i=3
i=1		Z141	1	=	1	roD141	i=4
i=2	PAPAYA	Z112	0	=	0	roD112	i=1
i=2		Z122	0	=	0	roD122	i=2
i=2		Z132	0	=	0	roD132	i=3
i=2	Z142	0	=	0	roD142	i=4	
i=3	FRESA	Z113	0	=	0	roD113	i=1
i=3		Z123	0	=	0	roD123	i=2
i=3		Z133	0	=	0	roD133	i=3
i=3	Z143	0	=	0	roD143	i=4	

HAMBURG							
i=1	BANANO	Z111	2	=	2	roD111	i=1
i=1		Z121	0	=	0	roD121	i=2
i=1		Z131	1	=	1	roD131	i=3
i=1		Z141	0	=	0	roD141	i=4
i=2	PAPAYA	Z112	1	=	1	roD112	i=1
i=2		Z122	0	=	0	roD122	i=2
i=2		Z132	0	=	0	roD132	i=3
i=2	Z142	2	=	2	roD142	i=4	
i=3	FRESA	Z113	0	=	0	roD113	i=1
i=3		Z123	0	=	0	roD123	i=2
i=3		Z133	0	=	0	roD133	i=3
i=3	Z143	0	=	0	roD143	i=4	

MONTREAL							
i=1	BANANO	Z111	0	=	0	roD111	i=1
i=1		Z121	0	=	0	roD121	i=2
i=1		Z131	0	=	0	roD131	i=3
i=1		Z141	0	=	0	roD141	i=4
i=2	PAPAYA	Z112	0	=	0	roD112	i=1
i=2		Z122	0	=	0	roD122	i=2
i=2		Z132	0	=	0	roD132	i=3
i=2	Z142	0	=	0	roD142	i=4	
i=3	FRESA	Z113	0	=	0	roD113	i=1
i=3		Z123	0	=	0	roD123	i=2
i=3		Z133	0	=	0	roD133	i=3
i=3	Z143	1	=	1	roD143	i=4	

**Anexo 2. Resultados del modelo matemático para el escenario 1 del análisis de sensibilidad, semana 1 a la semana 4, mes de junio del 2018.**

FUNCION OBJETIVO					
Minimizar:	<b>\$ 668,961,861.50</b>				
VARIABLES DE DECISION					
BANANO	X1	X2	X3	X4	
	66220	103680	40000	22000	
PAPAYA	I1	I2	I3	I4	
	10320	26000	0	0	
FRESA	X1	X2	X3	X4	
	22000	0	0	44000	
BANANO	I1	I2	I3	I4	
	0	0	0	0	
PAPAYA	X1	X2	X3	X4	
	0	0	0	16500	
FRESA	I1	I2	I3	I4	
	5500	5500	5500	0	
	W1	W2	W3	W4	
BANANO	1	1	1	1	
PAPAYA	1	0	0	1	
FRESA	0	0	0	1	
BANANO		Z11	Z21	Z31	TOTAL
	SEM 1	2	2	0	4
	SEM 2	4	0	0	4
	SEM 3	2	1	0	3
	SEM 4	1	0	0	1
TOTAL	9	3	0	12	
PAPAYA		Z12	Z22	Z32	TOTAL
	SEM 1	0	1	0	1
	SEM 2	0	0	0	0
	SEM 3	0	0	0	0
	SEM 4	0	2	0	2
TOTAL	0	3	0	3	
FRESA		Z13	Z23	Z33	TOTAL
	SEM 1	0	0	0	0
	SEM 2	0	0	0	0
	SEM 3	0	0	0	0
	SEM 4	0	0	1	1
TOTAL	0	0	1	1	

**Anexo 3. Resultados del modelo matemático para el escenario 2 del análisis de sensibilidad, semana 1 a la semana 4, mes de junio del 2018**

<b>FUNCIÓN OBJETIVO</b>	
Minimizar:	<b>\$ 668,681,673.50</b>

<b>VARIABLES DE DECISIÓN</b>				
<b>BANANO</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>	<b>X4</b>
	58882	85018	68206	19794
<b>BANANO</b>	<b>I1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>	<b>I4</b>
	2982	0	2206	0
<b>PAPAYA</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>	<b>X4</b>
	22000	0	0	44000
<b>PAPAYA</b>	<b>I1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>	<b>I4</b>
	0	0	0	0
<b>FRESA</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>	<b>X4</b>
	0	0	0	16500
<b>FRESA</b>	<b>I1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>	<b>I4</b>
	5500	5500	5500	0
	W1	W2	W3	W4
<b>BANANO</b>	1	1	1	1
<b>PAPAYA</b>	1	0	0	1
<b>FRESA</b>	0	0	0	1

		Z11	Z21	Z31	TOTAL
<b>BANANO</b>	SEM1	2	2	0	4
	SEM2	4	0	0	4
	SEM3	2	1	0	3
	SEM4	1	0	0	1
	TOTAL	9	3	0	12
<b>PAPAYA</b>	SEM1	0	1	0	1
	SEM2	0	0	0	0
	SEM3	0	0	0	0
	SEM4	0	2	0	2
	TOTAL	0	3	0	3
<b>FRESA</b>	SEM1	0	0	0	0
	SEM2	0	0	0	0
	SEM3	0	0	0	0
	SEM4	0	0	1	1
	TOTAL	0	0	1	1