

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



UN MODELO DE PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA UNA
PLANTA EMPACADORA DE CÁRNICOS

POR

LUIS ENRIQUE SANABRIA VÁZQUEZ

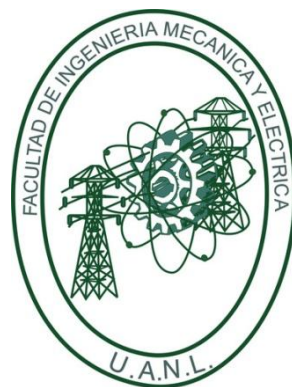
EN OPCIÓN AL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MAYO DEL 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



UN MODELO DE PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA UNA
PLANTA EMPACADORA DE CÁRNICOS

POR

LUIS ENRIQUE SANABRIA VÁZQUEZ

EN OPCIÓN AL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MAYO DEL 2012

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

División de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Optimización del sistema productivo de una cadena de abastecimiento de cárnicos en México», realizada por el alumno Luis Enrique Sanabria Vázquez, con número de matrícula 1541922, sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas.

El Comité de Tesis

Dra. Sara Verónica Rodríguez Sánchez

Asesor

Dra. A. Yasmín Ríos Solís

Revisor

Dr. Albornoz Sahuesa Víctor

Revisor

Vo. Bo.

Dr. Moisés Hinojosa Rivera

División de Estudios de Posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, mayo del 2012

*A mi mamá,
porque siempre me ha apoyado y por que por ella soy quien soy,*

*A mi hermano,
porque siempre me ha puesto los pies en la tierra,*

*A Tatiana,
porque me ha aguantado y me ha dado su apoyo.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos.....	1
Resumen.....	3
Introducción.....	5
1.1 Objetivo.....	6
1.2 Contribución científica.....	6
1.3 Relevancia.....	7
1.4 Estructura de la Tesis.....	8
1.5 Descripción del problema.....	9
Antecedentes.....	12
2.1 Cadena de Abastecimiento.....	12
2.2 Knapsack Problem.....	14
2.3 Cutting stock.....	15
2.4 Planeación de la producción.....	19
2.4.1 Planeación en la industria alimentaria.....	20
2.4.2 Planeación en la industria pecuaria.....	22
2.4.3 Descripción del sector pecuario en México.....	22
2.4.4 Regionalización de la producción.....	25
2.5 TIF.....	27
2.5.1 Marco regulatorio.....	29
2.6 Descripción del Sistema.....	32
2.6.1 Planta Empacadora.....	33
Descripción y modelación del problema.....	40

3.1 Demanda	40
3.1.1 Aceptación de pedidos	41
3.1.2 Análisis de la demanda	42
3.3 Patrones de corte	49
3.4.1 Notación.....	52
3.4.2 Modelo determinístico	53
Experimentos computacionales	55
4.1 Descripción.....	55
4.2 Instancias.....	60
4.2 Resultados.....	62
Conclusiones, contribuciones y trabajo a futuro.....	73
Apéndices.....	74
Tablas.....	74
Diagramas.....	¡Error! Marcador no definido.
Figuras	¡Error! Marcador no definido.
Bibliografía.....	81
Ficha autobiográfica.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Canal	9
1.2 Cortes primales	9
1.3 Cortes sub-primales	9
1.4 La producción que excede la cantidad de producto demandado se considera sobrante	10
1.5 La producción que excede la cantidad que la producción no puede satisfacer por su capacidad se considera faltante	11
2.1 Flujo de producto y de información a través de la cadena de abastecimiento de la industria pecuaria	12
2.2 Efecto <i>Bullwhip</i> dentro de la cadena de suministro de la industria pecuaria	13
2.3 Producción de carnes en México en el periodo 1972 – 2006	24
2.4 Regionalización de la producción	27
2.5 Cadena de abastecimiento integrada	32
2.6 Flujo de información dentro de la empacadora de carne	34
2.7 Procesamiento de pedidos	35
2.8 Planeación de la producción	36
2.9 Tipos de transporte	39
3.1 Los 15 productos con mayor demanda	43
3.2 Canales necesarias para satisfacer la demanda de los 15 productos más demandados	44

3.3 Productos que requieren la mayor cantidad de canales para satisfacer su demanda	44
3.4 Demanda total de los productos que requieren de la mayor cantidad de canales	45
3.5 Precio de venta de los productos que requieren mayor cantidad de canales para cumplir su demanda	46
3.6 Demanda–Precio de los 10 productos más caros y de los 10 más económicos	46
3.7 Demanda de los 10 productos más caros contra la de los 10 más económicos	47
3.8 Canales disponibles	48
3.9 Seleccionando patrones de corte	49
3.10 Relación entre demanda y patrones de corte	50
3.11 Balance de secciones	51
4.1 Árbol de despiece	56
4.2 Matriz binaria de patrones de corte, definición de sección	56
4.3 Matriz binaria de patrones de corte, definición de sub–productos	57
4.4 Matriz binaria de patrones de corte, combinación de sub–productos ..	57
4.5 Configuración del árbol de despiece	58
4.6 Cantidad de patrones	59
4.7 Ganancia e inventario del mes de enero con 0% de penalidad por faltante.....	64
4.8 Ganancia e inventario del mes de enero con 25%, 50%, 75% y 100% de penalidad por faltante.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

2.1 Problemas y tipo de combinación al que corresponden	7
4.1 Total de productos por sección	60
4.2 Total de patrones por sección	61
4.3 Resultados de Enero.....	63
4.4 Sobrante kg. Enero.....	66
4.5 Faltante (porcentaje del total del producto demandado), Enero.....	66
4.6 Valor del sobrante, Enero.....	67
4.7 Ganancia real, Enero.....	67
4.8 Frecuencia de patrones.....	68
A.1: Ganancia, Enero.....	74
A.2: Ganancia, Febrero.....	74
A.3: Ganancia, Marzo.....	75
A.4: Ganancia, Abril.....	75
A.5: Valor del Sobrante, Enero.....	75
A.6: Valor del Sobrante, Febrero.....	76
A.7: Valor del Sobrante, Marzo.....	76
A.8: Valor del Sobrante, Abril.....	76
A.9: Ganancia Real, Enero.....	77
A.10: Ganancia Real, Febrero.....	77
A.11: Ganancia Real, Marzo.....	77
A.12: Ganancia Real, Abril.....	78
A.13: Sobrante, Enero.....	78

A.14: Sobrante, Febrero.....	78
A.15: Sobrante, Marzo.....	79
A.16: Sobrante, Abril.....	79
A.17: Faltante, Enero.....	79
A.18: Faltante, Febrero.....	80
A.19: Faltante, Marzo.....	80
A.20: Faltante, Abril.....	80

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre, Martha Elena, por apoyarme en todas mis decisiones y porque confió en mí. A mi hermano, Osiel Kadaf, por estar conmigo siempre que lo necesito.

Agradezco al amor de mi vida, Tatiana, por apoyarme, aconsejarme, regañarme y porque siempre está conmigo cuando la necesito.

Agradezco a todos los profesores del Posgrado de Ingeniería de Sistemas, por los conocimientos que me compartieron a lo largo de estos 2 años.

Agradezco a mi asesora de tesis, Dra. Sara Rodríguez por el apoyo y paciencia brindados. Por sus consejos y enseñanzas, así como la confianza que invaluablemente depositó en mí.

Agradezco a la Dra. Yasmín Ríos, porque gracias a ella conocí el programa, por sus muy útiles consejos durante la maestría y por el tiempo brindado para la revisión de mi tesis.

Agradezco al Dr. Alysson M. Costa, por la asesoría y el tiempo que me brindó durante mi estancia en Brasil.

Agradezco al Dr. Roger Ríos, por sus sabios consejos.

Agradezco a Carnes Viba, especialmente al Lic. Reynaldo Tovar quien me abrió las puertas para poder realizar este proyecto y al Ing. Felix por su apoyo y tiempo.

A mis compañeros de PISIS por brindarme su amistad y por sus múltiples consejos.

Finalmente, agradezco a CONACYT por la beca de tiempo completo para la realización de mi maestría y por la beca mixta otorgada para realizar una estancia en el extranjero.

Y a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo financiero otorgado para la realización de mi maestría.

RESUMEN

Luis Enrique Sanabria Vázquez

Candidato para el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio:

UN MODELO DE PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA UNA PLANTA EMPACADORA DE CÁRNICOS

Número de páginas: 78

El presente trabajo muestra un problema de planeación de la producción de una empresa mexicana procesadora de carne. El problema consiste en determinar de manera óptima tanto el número de canales (cuerpo del animal eviscerado) a procesar, como el conjunto de patrones de corte que mejor adapte el comportamiento de la demanda de los productos.

El problema cuenta con características similares a los problemas de *cutting stock* y *knapsack*, en este sentido, durante el desarrollo de este trabajo se plantean las similitudes y diferencias con relación a estos dos tipos de problemas clásicos.

El balance entre producción y demanda no es fácil de lograr debido a la necesidad de procesar toda la canal y al hecho de que la demanda no es homogénea para todos los productos. Cada canal otorga en promedio cierto rendimiento de producto en dependencia al patrón de corte que fue utilizado.

Al tratar de satisfacer el producto con mayor demanda se genera en consecuencia una sobreproducción de aquellos productos con menor demanda. Las demandas no se correlacionan con la cantidad de producto que se obtiene al realizar un solo patrón de corte. Las principales limitantes del problema involucran la capacidad productiva de la planta, así como la disponibilidad de ganado. La empresa no prevé utilización de inventario, por lo que ha autorizado en su política de producción la compra a terceros y/o la oferta del producto en exceso a menor precio.

Firma del asesor: _____

Dra. Sara V. Rodríguez Sánchez

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La industria pecuaria comprende desde la gestación de los animales, principalmente ganado vacuno y porcino, hasta la venta de sus productos y subproductos derivados al consumidor final, pasando por la engorda de ganado hasta que el animal obtenga el peso óptimo, le sigue el matadero o rastro y es aquí donde el animal es sacrificado y preparado para su procesamiento, subsecuentemente el animal, al cual, a partir del matadero se le denomina canal, es transportado a una planta empacadora de carnes en la cual la canal básicamente se despieza para obtener los productos y subproductos que el mercado demanda, finalmente los productos finales tienen que ser transportados al consumidor final.

La industria pecuaria en México, con el fin de mantenerse a un nivel competitivo a nivel mundial se ve obligada a integrarse como una firme y completa cadena de abastecimiento en la que su principal estrategia es el fortalecimiento de la comunicación entre sus eslabones. El flujo de información es vital al momento en que se lleva a cabo la planeación de la producción de cada uno de los elementos que componen a la cadena, esto para controlar en gran medida el llamado efecto *bullwhip*.

Este trabajo se centra principalmente en la empacadora sin embargo es necesario considerar cierta información de los demás eslabones de la cadena de suministro, en la empacadora se decide cuantas canales se

procesarán y por consiguiente cuantos animales deberán ser adquiridos por esta.

1.1 OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un modelo determinístico que funcione como apoyo para la toma de decisiones en la planeación de la producción del sistema productivo de la industria pecuaria. En este sentido, se busca maximizar la ganancia total del sistema tomando en consideración los costos asociados, estos incluyen costos de producción, de insumos, de oportunidad de venta perdida y por sacrificar márgenes de ganancia en los productos con poca demanda. Es importante tomar en consideración los límites del sistema, tales como la capacidad de producción de la planta y la disponibilidad de los insumos.

Como objetivo particular se desea determinar el conjunto de patrones de corte, tal que, el rendimiento de producto generado se aproxime lo mejor posible al comportamiento de la demanda para cada periodo de planeación.

1.2 CONTRIBUCIÓN CIENTÍFICA

Se aporta un modelo matemático que representa al sistema de producción de una planta procesadora y empacadora de cárnicos. El modelo está basado en un enfoque de programación lineal entera mixta y a diferencia de los modelos que actualmente se encuentran en la literatura (Whitaker D. and Cammell S., 1990), (Stokes J. et al., 1998) y (Bixby et al., 2006), este modelo considera características como los costos derivados por una mala sincronización entre la producción y la demanda.

Se parte desde el enfoque presentado por (Whitaker D. and Cammell S., 1990), en el cual la canal es particionada en secciones, con el fin de reducir el tamaño de la matriz de rendimiento y se modifica el modelo para que se pueda aplicar para periodos más pequeños asemejando más a la realidad del sistema.

1.3 RELEVANCIA

El desarrollo de un modelo adecuado para satisfacer las necesidades que demanda la industria pecuaria ayudara a incrementar los aun estrechos márgenes de utilidad de este sector. Una mejor planeación de la producción incrementara la competitividad de entre las empresas del área y a su vez impulsará un crecimiento económico en la industria alimentaria.

En México el desarrollo e implementación de este tipo de metodologías en la industria aun no es suficiente para mantenerse competitivo a nivel internacional, en este sentido, el trabajo presentado en esta investigación es un aporte a la comunidad científica como un diseño de un nuevo modelo matemático con una aplicación real.

Con la aplicación del modelo se espera una disminución de los tiempos para la planificación, un aumento sustancial de la flexibilidad de la programación de la producción, además de proporcionar una sugerencia de producción factible maximizando la utilidad de la producción y reduciendo el inventario.

1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis está formada por cinco capítulos. En el capítulo dos se abordan los antecedentes del problema de planeación de la producción de una planta empacadora de cárnicos, se describen dos problemas típicos en la literatura que se relacionan con el problema bajo estudio. Así mismo se detalla la situación actual de la industria pecuaria en México y se describe el sistema de la empresa donde se llevó a cabo el proyecto.

En el capítulo tres se describe formalmente al problema y el funcionamiento actual del sistema, así mismo se presenta un análisis de los datos obtenidos, se presenta además una descripción de cómo influye la utilización de los patrones de corte y su importancia en este problema en específico así como los parámetros y variables del problema, y su modelo matemático.

En el capítulo cuatro se describe la metodología propuesta para dar solución, detallando el proceso de adecuación de los datos recabados. Así mismo se presenta una síntesis y análisis de los resultados obtenidos.

Y finalmente, en el capítulo cinco se muestran las conclusiones y el trabajo a futuro.

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la empacadora se adquieren como insumo canales como se muestra en la figura 1.1, estas tienen un peso promedio estándar y un precio fijo que el mercado establece. A su vez, como producto final se provee de cortes primales (figura 1.2) y cortes sub-primales (figura 1.2). Todos los productos finales se obtienen de la canal, solo que no se puede obtener todo el conjunto de productos al mismo tiempo y esto se debe a que hay cortes que se obtienen de la misma parte de la canal, por lo que se produce uno u otro, existen patrones de corte definidos que se presentaran más adelante con mayor detalle.



Figura 1.1: Canal



Figura 1.2: Cortes Primales



Figura 1.3: Cortes Sub-primales

Para cada uno de los patrones de corte existe un sub-conjunto de productos finales que se obtienen al realizar cada patrón, este sub-conjunto lo denominamos rendimiento. El rendimiento de cada producto se conoce y se asume constante.

Se asume que no existe correlación entre la demanda de un producto final y otro y que esta varía en relación a la temporada del año, además el

comportamiento de la demanda no sigue una tendencia igual al rendimiento de alguno de los patrones de corte por sí solo. Aunado a esto el patrón de corte completo de la canal se obtiene al reunir el conjunto de patrones de cada uno de los cortes primales en que la canal es dividida. Dada esta propiedad, la cantidad total de patrones de cada corte primal debe ser igual a la cantidad total de canales que se adquirieran.

La cantidad de canales a procesar está limitada a la capacidad de la planta y a la cantidad de canales disponibles que la empresa puede adquirir para procesar. Existe un costo por realizar cada patrón de corte y este depende del tiempo que se requiera para llevarlo a cabo.

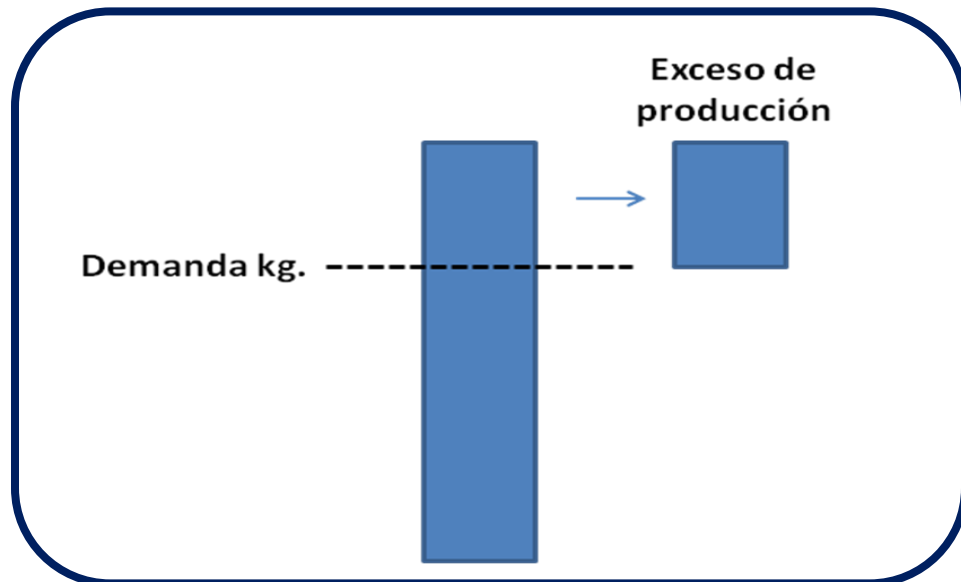


Figura 1.4: La producción que excede la cantidad de producto demandado se considera sobrante

Debido a las características del mercado, se considera para este problema que la empresa tiene la capacidad de vender el exceso de producción de cualquier producto contemplando de antemano una penalización por vender este exceso a un precio menor al establecido por el mercado, por otro lado si la empresa es incapaz de satisfacer alguna demanda, se considera una penalización por no satisfacer dicha demanda y esta es proporcional a la cantidad de producto que no se logró satisfacer. Así

entonces este trabajo presenta un modelo que permite mejorar la planeación de la producción de los productos y subproductos cárnicos.

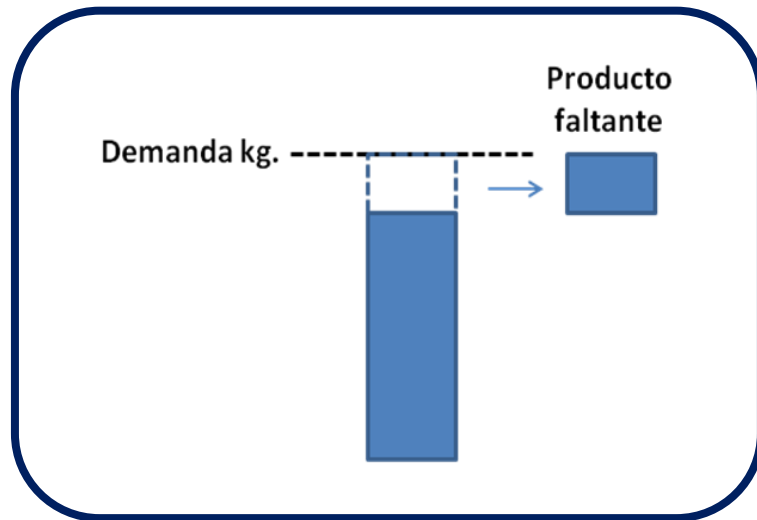


Figura 1.5: La cantidad de producto que la producción no puede satisfacer por su capacidad se considera faltante

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 CADENA DE ABASTECIMIENTO

La cadena de abastecimiento es definida en la literatura de diferentes formas, la definición más común es entonces: un sistema de proveedores, productores, distribuidores, mayoristas y clientes donde el flujo de materiales corre desde los proveedores hasta los clientes y el flujo de información corre en las dos direcciones (Ganeshan, 1999).

En el caso de la industria pecuaria la cadena de abastecimiento comienza desde las granjas hasta el consumidor final como se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1: Flujo de producto y de información a través de la cadena de abastecimiento de la industria pecuaria

Cuando el flujo de la información dentro de la cadena de abastecimiento se limita a los eslabones consecutivos en vez de que todos los

elementos posean toda la información de toda la cadena acontece un fenómeno; las ordenes a los proveedores tienden a tener una varianza mayor que las ordenes de los compradores, y la distorsión se propaga hacia el comienzo de la cadena de una forma amplificada como se muestra en la figura 2.2, a este comportamiento se le conoce como efecto Forrester (Towill, 1997) o efecto Bullwhip (Lee et al., 1997). El efecto tiene serias implicaciones en costo. El variabilidad incrementada en el proceso de ordenar requiere que cada componente de la cadena incremente su inventario de seguridad con el fin de mantener un dado nivel de servicio, provocando así un incremento en los costos debido al exceso de inventario a través del sistema, y puede provocar también un ineficiente uso de los recursos, tanto como de mano de obra como de transportación (Van der Vorst, 2004).

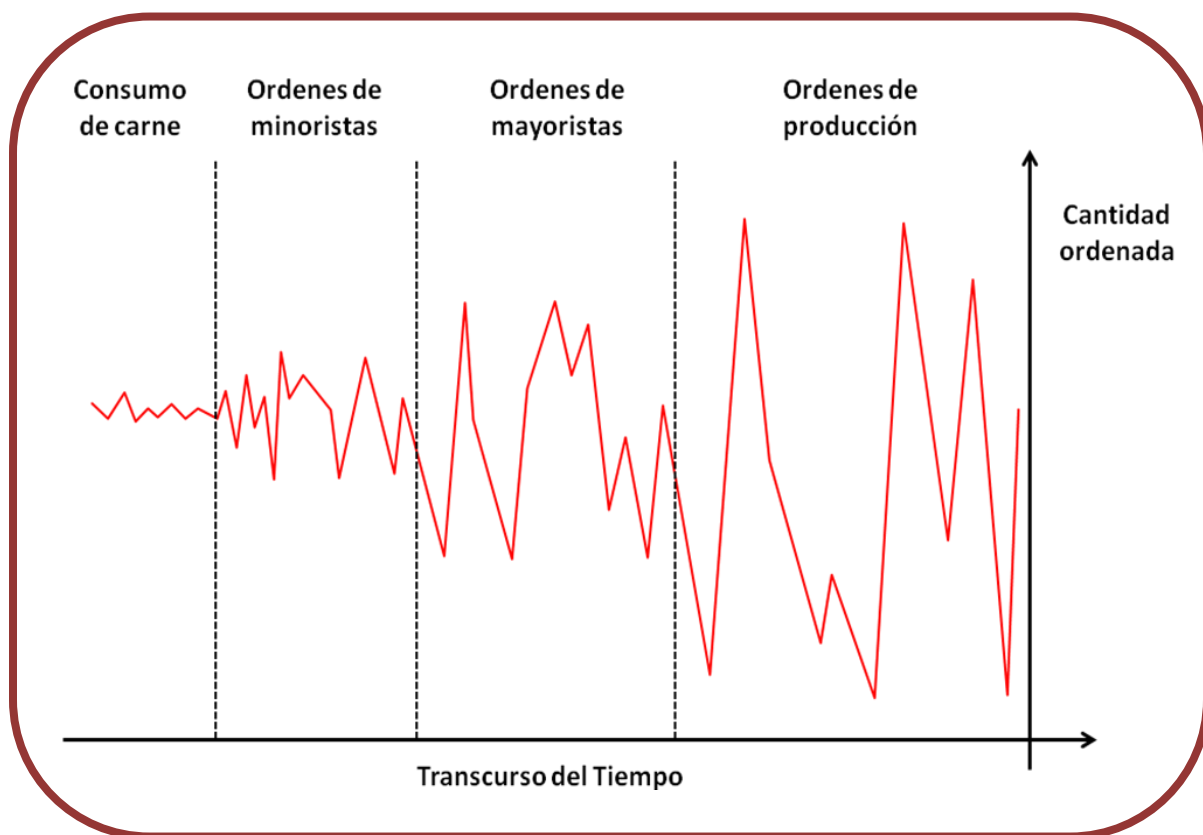


Figura 2.2: Efecto Bullwhip dentro de la cadena de suministro de la industria pecuaria

2.2 KNAPSACK PROBLEM

En las últimas décadas se ha popularizado el estudio de los problemas que son del tipo problema de la mochila (*knapsack problem* en inglés) debido a que su estructura es simple, la cual, por un lado permite la exploración de un número de propiedades combinatorias y por otro lado, problemas de optimización más complejos pueden ser resueltos a través de sub-problemas del tipo de el problema de la mochila (Martello y Toth 1990)

El problema de la mochila es aquel que por definición básica consiste en que un viajero tiene que seleccionar de entre un conjunto de n artículos un subconjunto que podrá utilizar durante su viaje, cada uno de los artículos tiene un valor “ v_i ” de importancia para el viajero, además de tener un peso “ p_i ” específico para cada artículo i . El viajero cuenta con una mochila donde pretende meter el conjunto de artículos, y que la suma de los valores de los artículos que le pertenecen sea el mayor valor. La mochila está limitada a un peso máximo que puede soportar, por consiguiente el viajero no puede meter todos los artículos a la mochila, solo los que esta pueda soportar. A continuación se muestra una forma clásica de modelar el problema de la mochila.

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{si el artículo } i \text{ es seleccionado} \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

$$\text{Maximizar } Z = \sum_i^n v_i x_i$$

s.a.

$$\sum_i^n p_i x_i \leq b$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

2.3 CUTTING STOCK

El problema de *cutting stock* (también llamado *trim loss problem*, *bin* o *strip packing problem*, *vehicle, pallet* o *container loading problem*, *nesting problem*, etc.) es uno de los problemas de optimización combinatoria más representativos debido a que tiene muchas aplicaciones en la industria, tales como en el sector del metal, del papel y fibras industriales por mencionar algunos. Podemos definir el problema de *cutting stock* de 1 dimensión de la siguiente forma, considere que se tienen un determinado número de rollos con la misma longitud L , además, existen n tipos de productos con sus respectivas longitudes (l_1, l_2, \dots, l_n) y demandas (d_1, d_2, \dots, d_n) . Un patrón de corte consiste en una combinación de productos a cortar de un rollo. Una solución del problema de *cutting stock* de 1 dimensión reside de un conjunto de patrones de corte y sus respectivas frecuencias.

KANTOROVICH MODEL

$$\min \sum_{k=1}^K x_0^k$$

$$\sum_{k=1}^K x_i^k \geq b_i$$

$$\sum_{i=1}^m w_i x_i^k \leq W x_0^k$$

$$x_0^k = 0 \text{ or } 1$$

Este problema es frecuentemente formulado como un problema de programación entera y su relajación de programación lineal es explotada en muchos algoritmos heurísticos.

TIPOLOGÍA DE LOS PROBLEMAS DE CORTE Y EMPAQUETAMIENTO

Las características utilizadas para definir los diferentes tipos de problemas que poseen una estructura lógica perteneciente al grupo de problemas de corte y empaquetamiento se definen de la siguiente manera:

Dimensionalidad. Es el número mínimo de dimensiones de números reales necesarios para describir la geometría de los patrones, estos son agrupados principalmente en unidimensional, bidimensional, tridimensional y multidimensional (más de tres dimensiones).

Medida de cantidad. Es la forma de medir la cantidad de los objetos grandes y los artículos pequeños respectivamente, considerándose dos casos, medida discreta y medida continua.

Forma de las figuras. Esta característica está directamente relacionada con la dimensionalidad. La figura de un objeto está definida por su representación geométrica en el espacio de las dimensiones relevantes.

Variedad. La variedad es dada por las diferentes formas y el número de figuras permitidas.

Disponibilidad. La cantidad de objetos o artículos de una figura permitida, pueden diferenciarse por tener un número infinito o finito de objetos. En el segundo caso pueden ser muchos o solo pocos los objetos o artículos.

Restricciones de patrones. Las características discutidas hasta ahora tienen un impacto inmediato tanto en las combinaciones geométricas de los patrones, como en las asignaciones de los artículos. En el primer caso la

construcción del patrón individual es especificada, resultando en restricciones geométricas o combinatorias. En el segundo caso, restricciones con respecto al número, el orden, o la combinación de patrones tienen que ser tomadas en cuenta.

Restricciones de asignación. Las asignaciones de los artículos pequeños a los objetos grandes se pueden realizar en dos pasos, primero se asignan los artículos pequeños a posibles patrones y consecuentemente se asignan los patrones al objeto grande apropiado.

Objetivos. Esta característica hace referencia al criterio que se va a maximizar o minimizar. Estos pueden ser la cantidad de objetos grandes o pequeños y las piezas residuales asignadas a un patrón.

Las características descritas anteriormente se pueden agrupar en 4 características representativas:

1. Dimensionalidad
 - (1) Unidimensional
 - (2) Bidimensional
 - (3) Tridimensional
 - (N) N-dimensional con $N > 3$.
2. Tipo de asignación
 - (B) Todos los objetos y una selección de artículos
 - (V) Una selección de objetos y todos los artículos
3. Variedad de los objetos grandes
 - (O) Un objeto
 - (I) Figura idéntica
 - (D) Diferentes figuras
4. Variedad de artículos pequeños

- (F) Pocos artículos (de diferente figura)
- (M) Muchos artículos de muchas diferentes figuras
- (R) Muchos artículos de relativamente pocas figuras diferentes
- (C) Figuras congruentes

Combinando los distinguibles principales tipos de dimensionalidad, asignación y variedad, se obtiene una clasificación de 96 diferentes tipos de problemas de corte y empaquetamiento (Dyckhoff, 1990).

Notion	Belongs to type
(Classical) knapsack problem	1/B/O/
Pallet loading problem	2/B/O/C
More-dimensional knapsack problem	/B/O/
Dual bin packing problem	1/B/O/M
Vehicle loading problem	1/V/1/F, or 1/V/1/M
Container loading problem	3/V/1/, or 3/B/O/
(Classical) bin packing problem	1/V/1/M
Classical cutting stock problem	1/V/1/R
2-dimensional bin packing problem	2/V/D/M
Usual 2-dimensional cutting stock problem	2/V/1/R
General cutting stock or trim loss problem	1/ / /, 2/ / /, or 3/ / /
Assembly line balancing problem	1/V/1/M
Multiprocessor scheduling problem	1/V/1/M
Memory allocation problem	1/V/1/M
Change making problem	1/B/O/R
Multi-period capital budgeting problem	n/B/O/

Tabla 2.1: Problemas y tipo de combinación que corresponden (Dyckhoff, 1990)

2.4 PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

La idea dominante dentro de la literatura ha sido la formulación de modelos deterministas para la Planificación de la Producción y el desarrollo de procedimientos de solución, óptimos y heurísticos, para estos modelos. La intención principal de estos modelos ha sido especificar los requerimientos para un plan de producción factible y para capturar las ventajas y desventajas de costos claves que dependen del plan de producción. Normalmente, un plan de producción viable es aquel que satisface la demanda dada por el horizonte de planificación sin órdenes atrasadas o pérdida de ventas, que se rige por especificaciones de producción fijadas para cada producto, y que no viola las restricciones de tecnológicas del proceso mismo. En este sentido, estos modelos intentan optimizar los costos totales, los que a menudo incluyen costos de: abastecimiento, producción, preparación, mantención de inventario y ciclo de inventario, adaptación de la capacidad de producción, contratación y tiempo extra, logística para transporte. Para una mejor revisión se sugieren los autores; (Thomas y McLain, 1993), (Shapiro, 1993), (Graves, 2002).

Dentro de la literatura revisada, se encuentran soluciones desarrolladas para atender problemáticas similares a la de este trabajo y que han servido como guía para el desarrollo del modelo de esta investigación.

(Nagaraj y Selladurai, 2002) proponen un modelo que trata con diferentes métodos para determinar los tamaños de lote en una situación de múltiples productos y múltiples etapas para maximizar la capacidad productiva. Para otra versión del problema del tamaño de lote, (Helfer y Sahling, 2010) presentan una solución para el Problema de Tamaño de Lote

Capacitado Multinivel Dinámico (de sus siglas en inglés *MLCLSP*, *Dynamic Multi-level Capacited Lot Sizing Problem*) con tiempos líderes positivos y utilizando soluciones aproximadas por algoritmos de optimización. La idea central es resolver una serie de Programas Entero-Mixtos con un algoritmo iterativo de ajuste y optimización, en el cual, cada uno de estos programas es optimizado. Por otro lado, (Oztürk y Ornek, 2010) proponen un modelo de programación entera mixta para un problema de programación y determinación del tamaño de lote con múltiples recursos, capacitado y de múltiples niveles, con un conjunto de restricciones para rastrear balances de demanda dependiente, la cual es, la cantidad que queda después de asignar el inventario disponible para las demandas dependientes.

2.4.1 PLANEACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La planeación en la industria alimentaria conlleva características relevantes que incluyen el limitado tiempo de vida de los productos terminados, la variabilidad en los precios y sus demandas, las cuales hacen que la planeación de la producción de esta cadena de suministro sea más compleja y difícil que otras (Ahumada, 2008). Es así como la principal diferencia radica en la importancia que juegan factores como la calidad y seguridad de los productos destinados para el consumo humano.

Tradicionalmente las industrias procesadoras de alimentos habían estado organizando sus sistemas de producción de tal forma que fueran capaces de producir en grandes cantidades. Con el fin de ser lo más barato posible, el uso completo de sus capacidades era necesario, y como resultado gran parte de la producción se mantenía en inventario. Las entregas rápidas son fáciles con dichos niveles de inventarios, por otro lado, considerando la variabilidad de la demanda que esta industria posee, es un problema mantener dicha política de producción. Una mayor variedad de productos,

mayores demandas en cuanto a calidad y tiempos de caducidad se convierten en barreras para seguir procesando de la forma en la que se ha venido haciendo.

En el trabajo desarrollado por (Dogains y Sarimveis, 2008), proporcionan una metodología genérica para Planificación de la Producción y que incorpora características que son comunes en la industria alimentaria y que requieren especial atención. Esta permite la programación en un ambiente con máquinas paralelas en una única etapa con la presencia de limitaciones de secuencia, donde las restricciones tecnológicas imponen un orden específico de producción, el cual debe siempre ser seguido, aunque es posible omitir a uno o más productos. Este trabajo se centra en la industria láctea del yogurt.

Por otro lado, con el objetivo de reducir el inventario se ha implementado el concepto de *Decoupling Point* (Hoekstra & Romme, 1992) que se define como el punto que indica que tan profundo penetran las ordenes del consumidor dentro del flujo de materiales. (van Donk, 2000) lo implementó en una compañía procesadora de alimentos y obtuvo como resultado una drástica reducción en el inventario, reduciendo además los costos involucrados.

En el libro de (Lütke, 2005), “*Advanced Planning in Fresh Food Industries*”, se presenta una formulación en programación entera lineal mixta para la planificación de la producción y procesamiento de la carne de pollo. A diferencia de los otros modelos, éste último considera restricciones de perecibilidad de los productos.

2.4.2 PLANEACIÓN EN LA INDUSTRIA PECUARIA

Se abordó la planeación de la producción de una planta empacadora de carnes de puerco aplicando un modelo de *mixed integer goal programming* (Stokes J R et al., 1998), este modelo optimiza el uso de los recursos satisfaciendo tres objetivos; maximizar la ganancia total, minimizar el valor del inventario de producto por debajo de los niveles de inventario mínimo, y también minimizar el valor del inventario de producto sobre los niveles máximos de inventario. Sin embargo al ser una planta empacadora exclusiva de un consumidor, el modelo considera solo una forma de cortar al animal, con lo que se asume que no existe variedad de patrones de corte.

En (Bixby et al., 2006) se presenta una formulación en Programación Lineal Entera Mixta (*MILP* del inglés, *Mixed Integer Linear Programming*) para planificación y programación de la producción de la empresa *Swift & Company* para cinco de las fábricas de esta empresa. Específicamente, *S&CO* se dedica a la comercialización de carne de vacuno congelada y fresca.

2.4.3 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR PECUARIO EN MÉXICO

En los últimos años la industria productora de carne de res ha logrado ingresar a los mercados de países como Corea, Japón, Panamá o Rusia. La calidad que exigen estos países es muy alta, sin embargo el precio que estos países están dispuestos a pagar por esta calidad es rentable para los productores nacionales.

Esto ha provocado que el mercado nacional esté siendo descuidado por los productores nacionales y actualmente está siendo cubierto principalmente por productores de Estados Unidos de Norte América a

través de su comercializadora *US Meat Export Federation*, la cual ha incursionado en las tiendas de auto servicio de las principales ciudades del país, por lo que es importante que los productores nacionales de carne de res no pierdan de vista quiénes son sus principales competidores en el mercado nacional.

Es por ello que es necesario que las principales cadenas de abastecimiento, productoras de carne de bovino a nivel nacional, perciban esa necesidad de una mayor integración en cada uno de sus eslabones, enfocándose principalmente en aquellos que son más débiles y sensibles, como puede ser la etapa de procesamiento y empaquetamiento de la carne, para competir en mejores condiciones con los productos importados, así como, lograr producir a precios competitivos en un mercado internacional cada vez más exigente y preocupado por su salud.

La ganadería conserva una gran relevancia en el contexto socioeconómico del país, ya que en conjunto con el resto del sector primario, ha sido sustento para el desarrollo de la industria nacional, ya que proporciona alimentos y materias primas, divisas, empleo, distribuye ingresos en el sector rural y utiliza recursos naturales que no tienen cualidades adecuadas para la agricultura u otra actividad productiva.

Dentro de la ganadería, la producción de carne de res, es la actividad más diseminada en el medio rural, pues se realiza sin excepción en todas las zonas del país u aún en condiciones adversas de clima, que no permiten la práctica de otras actividades productivas.

La producción de carne de res se ha mantenido como el eje en torno al cual se establecen diferentes tendencias de producción y el propio mercado de las carnes en México.

La ganadería bovina ha mostrado cambios importantes en los últimos años, resaltando el crecimiento en la productividad como resultado de las mejoras tecnológicas tanto en la ganadería intensiva de Norte del país, como en la extensiva del Sur de México y el cambio de los sistemas de engorda, en donde es cada vez mayor la finalización de ganado en corrales de engorda, a fin de mejorar la calidad de la carne.

La producción de carne de res a lo largo de los años ha sido el eje ordenador de la producción de las carnes en México, principalmente la de ave y cerdo, teniendo una relación estrecha de disponibilidad y precio entre las tres principales especies. La producción de carne de res se ha mantenido de forma estable desde la década de los noventa con crecimientos muy ligeros, no mayores al 3.0% anual, comparado con la producción de carne de ave, la cual ha mantenido un crecimiento constante en promedios anuales de 8.0% desde la década de los noventa.

A principios de la década de los setentas y mediados de los ochentas, la carne de porcino fue la de mayor producción, llegando a aportar hasta el 49.0% de la producción en el periodo 83-84, como consecuencia de la tecnificación de las explotaciones y por el crecimiento de la demanda a expensas principalmente de la carne de res, véase figura 2.3.

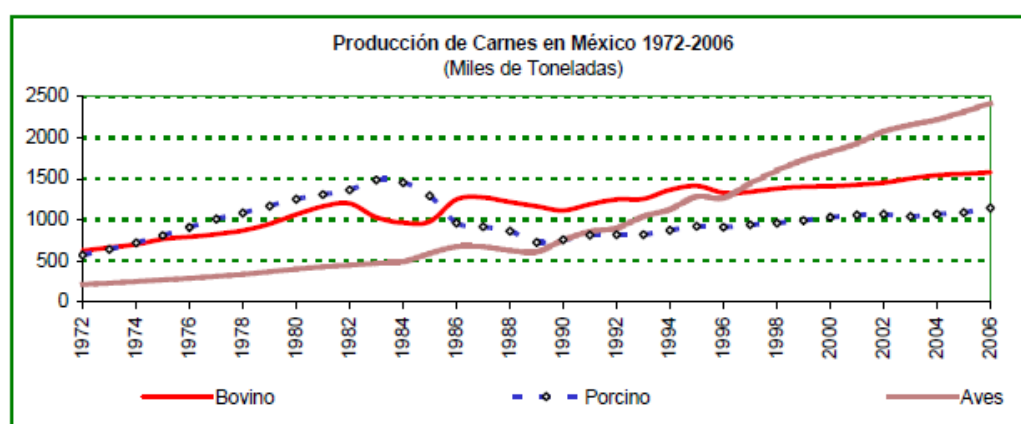


Figura 2.3: Producción de Carnes en México 1972-2006 Fuente: SIAP

Sin embargo, al transcurso de las décadas los patrones culturales de consumo de productos cárnicos han hecho que la carne de ganado de res sea el eje ordenador de la demanda y de los precios del resto de las carnes; sin ser la de mayor consumo por volumen, el ama de casa mexicana ha elaborado tradicionalmente la mayoría de sus alimentos con carne de res, como lo representa su variedad de platillos a lo largo de todo el país, sin embargo, en los últimos años, factores de índole de salud pública y económicos han propiciado los cambios de hábitos en el consumo, ya que actualmente se le da mayor importancia a la frecuente aparición de enfermedades de los animales como es el caso de la Fiebre Aftosa (FA) y la Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB), así como otros cuidados para consumir productos saludables, principalmente en el consumo de las grasas excesivas, otro factor importante es el económico, ya que las parejas actuales tienen que participar activamente en los ingresos de la familia, por lo que se tiende a consumir platillos que sean poco elaborados, de rápida cocción y de mas bajo precio, a lo cual la carne de pollo ha venido a satisfacer estas nuevas demandas de los consumidores.

La producción de carne de res sigue siendo una de las actividades fundamentales del sector pecuario nacional, debido a su alta contribución en el valor de la producción con el 38.3% de carne de canal dentro de la oferta de carnes en el país, así como su alta participación en la balanza comercial agropecuaria, con la exportación de becerros.

2.4.4 REGIONALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Durante el 2010 los principales estados productores de carne de res fueron Veracruz con un aporte del 14.9% de la producción nacional, seguido por Jalisco con un 10.8%, Chiapas con el 6.2%, Chihuahua con el 5.1%, Baja California con el 4.9%, Sinaloa con el 4.6%, Sonora con un 4.5%, Michoacán

con el 4.4%, Durango con el 3.7% y Tabasco con el 3.6%. Estos diez estados representaron el 62.7% del total de la producción nacional, véase figura 2.4.

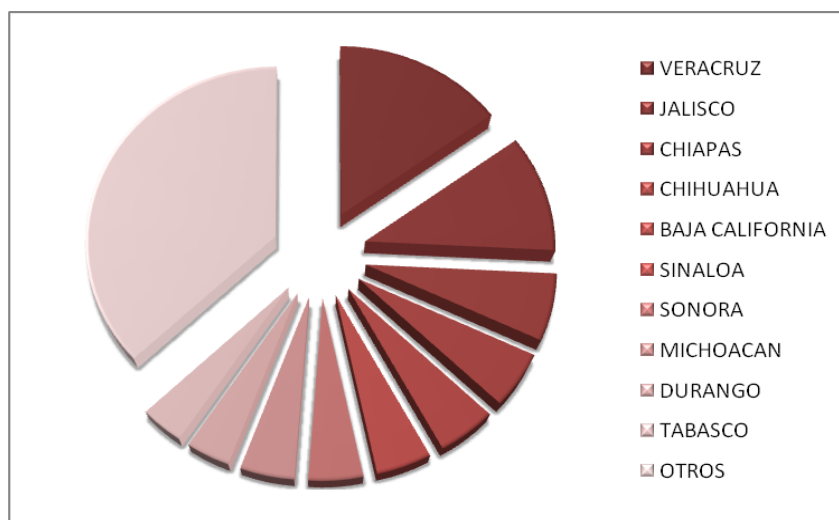


Figura 2.4: Regionalización de la producción

2.5 TIF

TIF que por sus siglas se define como Tipo de Inspección Federal es una certificación que otorga la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) a los establecimientos procesadores de carnes que cumplen con todas las normas y exigencias del Gobierno Mexicano, en cuanto a su tratamiento y manejo de sanidad se refiere. Esta certificación trae consigo una serie de beneficios a la industria cárnica, ya que le permite la movilización dentro del país de una manera más fácil ya que cuenta con la garantía de la calidad sanitaria con la que fue elaborado el producto. Del mismo modo, abre la posibilidad del comercio internacional, ya que los establecimientos TIF son los únicos elegibles para exportar.



Los establecimientos TIF se apegan a normas nacionales e internacionales de sanidad e higiene. Entre las normas nacionales a las cuales se deben apegar de manera cabal son la NOM-008-ZOO-1994 y NOM-009-ZOO-1994, las cuales marcan la pauta para construir y equipar los establecimientos y procesar la carne.

El ostentar esta certificación es el resultado de un trabajo minucioso del establecimiento y de la revisión y dictamen del Senasica (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria), para obtener el nivel de confianza de cumplimiento de la normatividad aplicable. Este trabajo es dinámico y constante, ya que una vez que se certifica, se continúa con un proceso de supervisión y verificación, tanto a nivel central como a nivel estatal. El cumplimiento de esta normatividad, así como estrictos controles de calidad e higiene, brindan la confianza requerida para importar productos cárnicos de México.

Por otra parte, también es importante señalar que el personal adscrito a la inspección dentro del Sistema TIF es capacitado y evaluado constantemente, para poder ofrecer un servicio de calidad a la industria cárnica y de este modo el poder monitorear y verificar que los establecimientos dedicados a la industrialización de la carne estén siempre en concordancia con las regulaciones más innovadoras y actuales, con las regulaciones más innovadoras y actuales.



Dentro de Senasica, la DGIAAP (Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria Acuícola y Pesquera) se encarga de establecer las políticas y marco normativo en materia de inocuidad de los alimentos, enfoca su

actividad a la aplicación de los sistemas de reducción de riesgos y peligros de contaminación en los procesos industriales de la cadena agroalimentaria.

Dentro de las principales actividades que se realizan en los establecimientos dedicados al sacrificio de animales, se encuentran la inspección ante-mortem y la inspección post-mortem y es ahí donde interviene la DGIAAP, contribuyendo a la vigilancia y monitoreo de la incidencia y prevalencia de enfermedades que afectan al ganado, teniendo por igual como obligación el reporte de cualquier lesión que pudiera sugerir la presencia de alguna enfermedad exótica.

2.5.1 MARCO REGULATORIO

Las principales leyes y normas que entran en acción para el cumplimiento y buen funcionamiento de los estatutos para la obtención del sello TIF son:

- Ley Federal de Sanidad Animal, que faculta a la SAGARPA a emitir las normas oficiales mexicanas en materia de sanidad animal.
- Reglamento para la Industrialización Sanitaria de la Carne, que establece lineamientos generales sobre el proceso de la carne.
- NOM-008-ZOO-1994, son especificaciones zoonosanitarias para la construcción y equipamiento de los establecimientos para el sacrificio de los animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos.
- NOM-009-ZOO-1994., regula el proceso sanitario de la carne.

- NOM-004-ZOO-1996, marca los límites máximos permisibles de residuos tóxicos y procedimientos de muestreo en grasa, hígado, músculos y riñones de aves, bovinos, caprinos cérvidos, equinos, ovinos y porcinos.

- NOM-033-ZOO-1995, se refiere al sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres.

Procedimiento a seguir para poder ser elegible de exportar productos cárnicos:

- El primer requisito es contar con la certificación TIF.
- Es indispensable que el establecimiento cuente con un historial de trabajo antes de solicitar la elegibilidad para exportar.
- Contar con un plan HACCP, sí como POES (Procedimientos de Operación Estándar de Sanidad)
- Toda la documentación es dictaminada a nivel central de acuerdo a los lineamientos que dicte cada país de destino.
- Los únicos países con los cuales se tiene un reconocimiento de equivalencia entre los sistemas de inspección son Estados Unidos y Canadá.
- Una vez que autorizado el establecimiento para exportar, esto será notificado vía oficial por la DGIAAP.
- Cabe hacer mención que para ferias y exposiciones, algunos países como Japón y Estados Unidos de América, requieren que los establecimientos TIF cuenten con la autorización previa para exportar;

dichos envíos, aún siendo muestras, se deberán manejar como exportaciones comerciales formales.

El programa nacional de residuos tóxicos ocupa un lugar preponderante en la posibilidad de acceder a mercados internacionales como país, por lo que el cumplimiento de la NOM-004-ZOO-1994 juega un papel indirecto de alta prioridad en toda exportación realizada.

El sello TIF, que es un sinónimo de excelencia, significa que el producto que se está adquiriendo y consumiendo es auténtica garantía de calidad y salud. Para las marcas productoras y comercializadoras de cárnicos, dicha certificación representa, pues, un orgullo obtenerlo, pues confirma que cumplen con la normatividad internacional de procesado y empaque en sus productos, todo esto representa un gran esfuerzo que se traduce en grandes beneficios, cuyo resultado son la reducción de microorganismos indeseables, garantía en ofrecer productos excelentes y, con ello, protección al consumidor.

2.6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema que estudiamos para este trabajo forma parte de la industria pecuaria, particularmente se analizó una compañía que está integrada hacia atrás dentro de la cadena de suministro como se muestra en la figura 2.6.

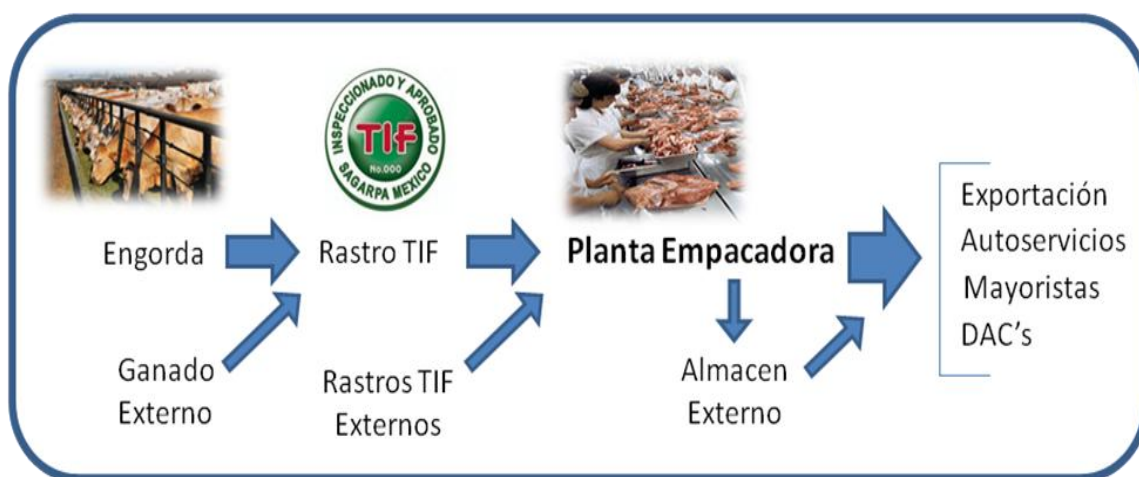


Figura 2.5: Cadena de abastecimiento integrada

La empresa está formada principalmente por tres eslabones de la cadena de abastecimiento, las cuales son: un rancho de engorda de ganado llamado IGAMEX, en este rancho se encargan de comprar ganado flaco a criadores externos para consecuentemente en base a una dieta estrictamente controlada por los veterinarios del rancho engordar el ganado. La cantidad de ganado que se engorda depende de las proyecciones de demanda que calcula la planta empacadora y considerando la capacidad del segundo eslabón que corresponde al Rastro TIF. Este rastro se llama ICARMEX, y es encargado de sacrificar al animal bajo estrictas normas de seguridad e higiene, siguiendo los estatutos y regulaciones que exige la SAGARPA para cumplir con la certificación TIF. El rastro además cuenta con una ubicación estratégica junto a los corrales de engorda, esto evita que

el ganado se estrese o maltrate, lo que se traduce en una mayor suavidad y a su vez calidad de la carne.

El último eslabón del grupo es la planta empacadora, aquí se recibe la canal proveniente del rastro TIF se procesa, se empaca, se enfría o se congela según sea el caso, se almacena y se embarca.

El problema que abordamos en este trabajo pertenece a la Planta Empacadora y será descrito a detalle más adelante.

2.6.1 PLANTA EMPACADORA

La planta está formada principalmente por 5 áreas: Ventas, Planeación, Manufactura, Almacén y Embarque. A continuación se describen sus responsabilidades dentro del sistema interno de la planta, véase figura 2.6.

VENTAS

La responsabilidad principal de esta área es vender todo el producto que la capacidad de la planta lo permita. Ventas está dividido en 4 departamentos; Rentabilidad Comercial, Exportación, Autoservicios y Mayoristas y DAC's (Distribución, Atención y Comercialización). Rentabilidad Comercial se encarga de establecer la lista de precios de los productos que la empresa comercializa. Para cumplir con esta responsabilidad, el departamento se da a la tarea de revisar los precios tanto del extranjero como del nacional, las propuestas de los clientes, la proyección de la ganancia, la disponibilidad de canales, entre otras. Cuando se define la lista de precios, los otros departamentos hacen llegar dicha lista a sus

clientes junto a la disponibilidad de producto para iniciar con la preventa 15 días antes de que comience el mes que se pretende planear.

Conforme los pedidos se van asegurando, cada uno de los departamentos dan de alta en el sistema los pedidos de sus respectivos clientes. Al final de la preventa del mes a iniciar, regularmente se vende alrededor del 75% de lo que se producirá en el mes. Cuando un producto se encuentra en el almacén porque no se ha colocado con algún cliente, rentabilidad comercial revisa el costo por almacenaje y el capital de trabajo del producto para tomar la decisión de seguir almacenándolo o bajar el precio del producto para venderlo.

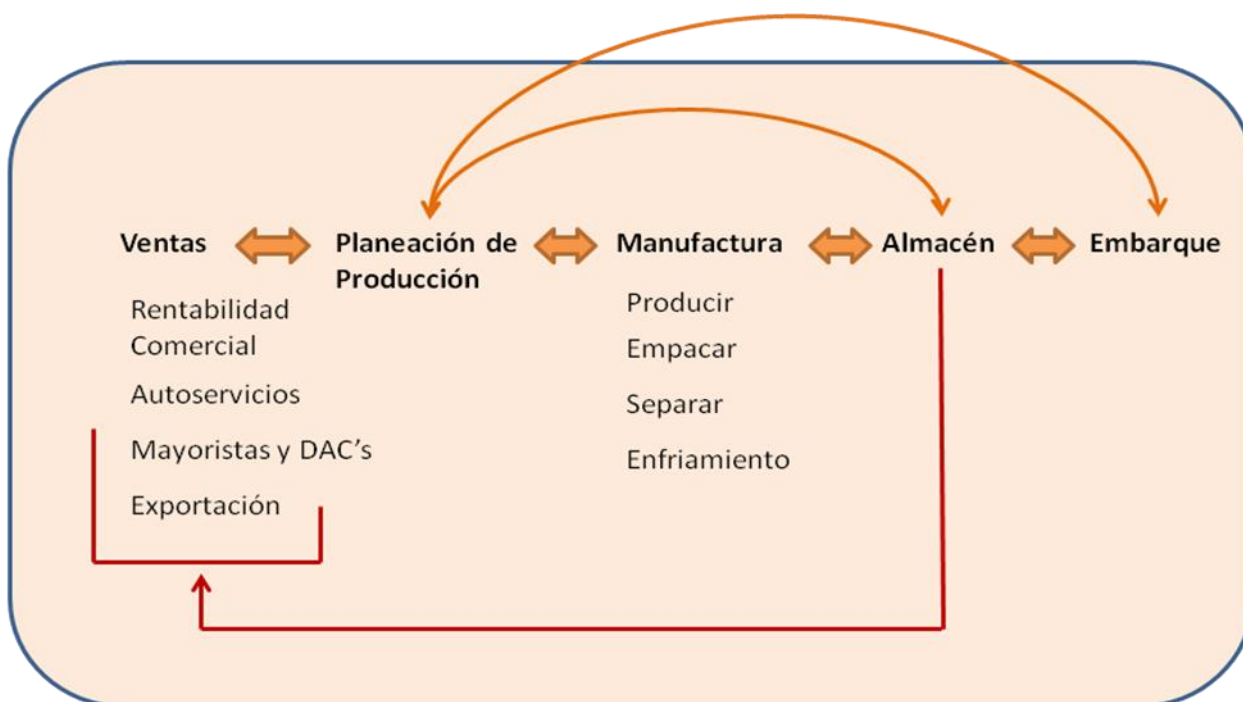


Figura 2.6: Flujo de información dentro de la empaedora de carne

Como sus nombres lo indican, el departamento de Exportación maneja la cartera de clientes extranjeros, dentro de los cuales se encuentran Rusia, Corea, Japón, China, Panamá entre otros. Para la comercialización de producto en el extranjero, la empresa cuenta con políticas de venta para

asegurar y mantener una variedad de clientes, por ejemplo dentro de cada país no se le puede vender más del 20% del producto que se exportará a dicho país, por otro lado, para Japón se establece que no se comercializará 2 periodos consecutivos con un mismo cliente. Autoservicios atiende a clientes como Walmart, Soriana, HEB, e inclusive a plataformas marinas. Mayoristas y DAC's atienden a clientes como Sigma, Trocy, Salud y Sabor, SuKarne y los puntos de venta de medio mayoreo denominados DAC's, estos últimos se encuentran en las ciudades de Los Cabos, Mazatlán, Puerto Vallarta, Monterrey, Puerto Vallarta y Cancún.

El área de Ventas se compromete a vender durante el mes en curso el 25% restante de la producción que no se logro comprometer en la preventa. Todos los departamentos de esta área a excepción de Rentabilidad Comercial siguen el siguiente procedimiento para asegurar la satisfacción del cliente, véase figura 2.7.

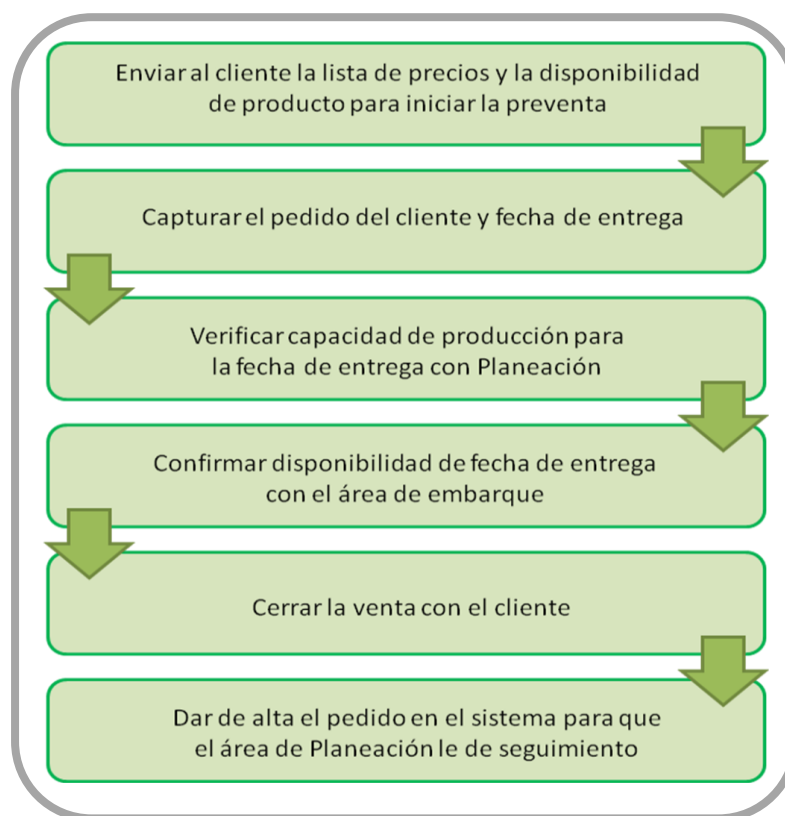


Figura 2.7: Procesamiento de pedidos

Aunque el área de manufactura es el encargado de cumplir con los tiempos establecidos por Planeación, el vendedor tiene la responsabilidad de estar monitoreando sus pedidos hasta que el producto llegue al cliente.

PLANEACIÓN DE PRODUCCIÓN

Conforme Ventas captura los pedidos en el sistema, el planeador corrobora la disponibilidad de capacidad de producción restante en base a los pedidos que ya están autorizados. Consecuentemente el planeador diseña un calendario de producción que verifica con el área de ventas en una junta semanal. En esta junta además de confirmar los pedidos y las fechas de producción se toma la decisión de bajo que código y a su vez características se producirán los cortes de la canal que no tienen venta aun para la semana siguiente. Regularmente estos productos salen bajo códigos preestablecidos por el departamento de Rentabilidad Comercial, los cuales solo se pueden vender bajo ciertos códigos de productos que cuenten con las mismas especificaciones, véase figura 2.8.

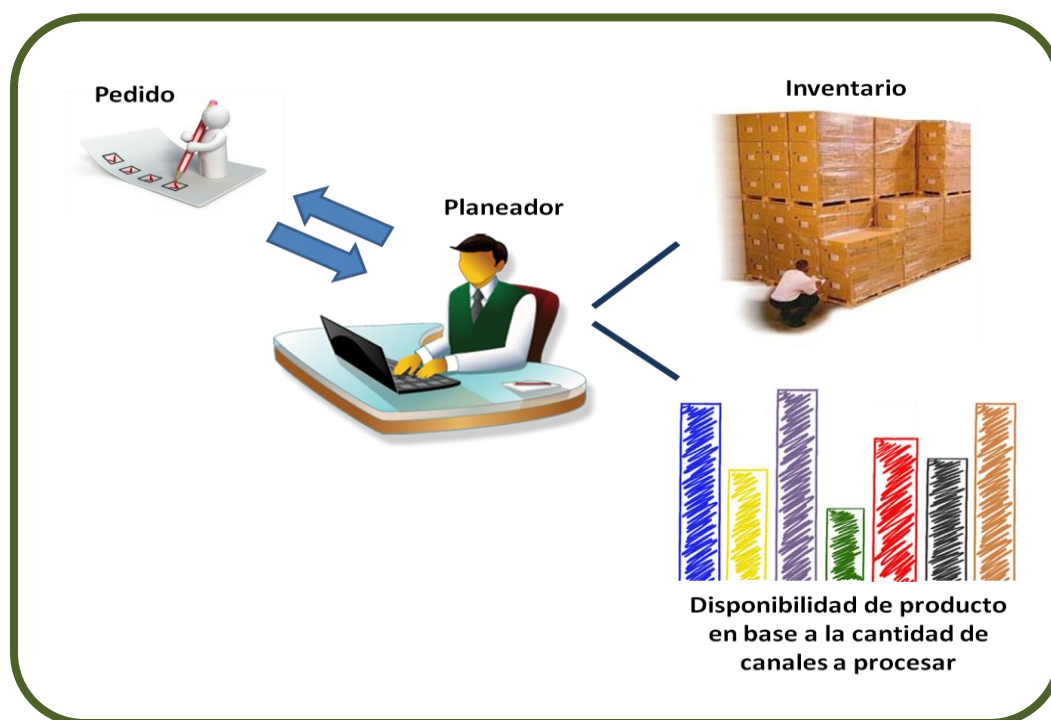


Figura 2.8: Planeación de la producción

Cuando en la junta de planeación se decide bajo que códigos saldrán los productos que no tienen demanda, no se consideran los costos de estos productos, los cuales terminarán en inventario para el siguiente periodo. Actualmente el inventario se mide y controla por la cantidad en kilogramos total de cada producto, dejando de lado el precio de venta y por consecuente la rentabilidad de cada producto en relación a los productos que, de manera directa exigieron la producción de dicho producto.

Para la calendarización de la producción el planeador necesita contar con cierta información, esta comprende: la cantidad de canales que el Rastro TIF les entregará durante el periodo, los pedidos aceptados y autorizados, estadísticas de rendimiento de las canales, cantidad de producto que se encuentra en el almacén que pudiera ser utilizado para satisfacer o completar los pedidos, fechas disponibles de entrega, entre otras. El plan de producción se diseña para que cuente con la flexibilidad de aceptar cambios de último momento.

Una vez completado el calendario semanal, este se envía al supervisor de producción para su ejecución.

MANUFACTURA

En el área de manufactura se realizan principalmente 4 actividades: Producir, Empacar, Separar y Enfriar. Cuando el supervisor de producción recibe el calendario de planeación, procede a ejecutarlo, asignando a los tablajeros (personal encargado de realizar los diferentes cortes) donde mejor convenga para comenzar la producción.

La canal entra a piso de producción y se divide en secciones, consecuentemente cada una de estas se envía por su respectiva línea de

producción que está especializada en ella. Cuando se realizan los cortes, se generan subproductos como retazo, deshebrada, grasa y hueso. Cada uno de estos subproductos son transportados por sus bandas correspondientes para reunir al final de la banda el total de lo generado durante la jornada.

Posterior al corte y limpieza de cada uno de los productos ya terminados existen dos opciones, y esta depende de las especificaciones del producto final. El producto puede empacarse sin aditivos o puede llevar un proceso de inyectado de ablandador a base de papaya que es realizado por una maquina especializada. Una vez inyectado, si este lo requiere, el producto se empaqueta al vacío y se etiqueta con un código para su rastreabilidad.

El producto empacado que va saliendo de la línea de producción pasa por un detector de metales que identifica cualquier metal que pudiera ser dañino para el ser humano, de ser así el producto se separa para inspección. Posteriormente entra a un carrusel donde se separa por código, por cliente o si el producto será congelado.

Si el producto requiere ser congelado se acomoda en tarimas sin ningún tipo de clasificación, esto se lleva a cabo con la finalidad de maximizar la capacidad de las ráfagas de congelamiento. Una vez que el producto al paso de 12 a 36 hrs esté congelado se procede con la separación por códigos para acomodarlo en el almacén de productos congelados. Por otro lado, si el producto se venderá como producto fresco, entonces pasa directamente al almacén donde permanecerá hasta su embarque.

En el almacén se utiliza un sistema de ubicación para saber en el momento que se requiera la ubicación exacta y la cantidad exacta que se encuentra en el almacén. Cuando un producto no se mueve y se comienza a

acumular, el encargado del almacén ejerce presión sobre el área de ventas para que venda el producto lo antes posible. Periódicamente se realizan inspecciones para corroborar que efectivamente un producto se localiza en la ubicación que marca el sistema y en la cantidad que está registrada.

Por último, dentro de la Planta Empacadora el área de embarque, la cual cuenta con la calendarización de las entregas de los pedidos se dispone a armar el envío. Para esto, el área de embarque necesita contar con la razón social del cliente, lugar de entrega, fecha, cantidad, tipo de producto y la orden de compra.

Se verifica la cantidad de tarimas que pertenecen al pedido correspondiente para determinar qué tipo de unidad se va a utilizar, véase Figura 2.9.

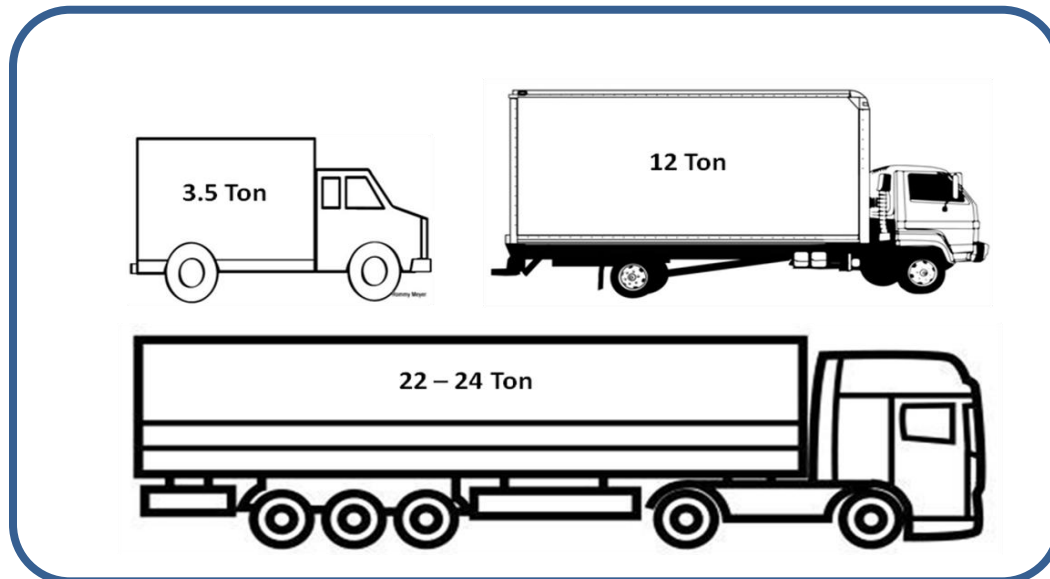


Figura 2.9: Tipos de transporte

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN Y MODELACIÓN DEL PROBLEMA

En este trabajo se aborda un problema basado en la planeación de la producción de productos cárnicos dentro de la industria pecuaria en México. Este consiste en determinar la mejor forma de cortar la materia prima (canal) de tal forma que la ganancia que se obtiene por vender los productos finales producidos sea la mayor.

3.1 DEMANDA

El mercado demanda una cantidad específica de cada uno de los productos derivados de la res, para este trabajo, que es basado en un caso real, se consideran tres situaciones concernientes a la satisfacción de dicha demanda:

1. Demanda satisfecha. El producto que satisface una demanda es vendido al mejor precio que la empresa puede establecer considerando el precio que ofrece la competencia, el costo de los insumos, el costo de producción y de transporte, entre otros.

2. Demanda insatisfecha. El producto que la empresa no puede satisfacer debido a su capacidad, por costo de producción o por estrategia de planeación de la producción genera una penalización. Este costo es definido por la empresa en correspondencia a sus políticas de satisfacción del cliente.
3. Demanda excedida. Con el propósito de producir algunos productos, y debido a la propiedad de balance, la empresa se ve obligada a sobreproducir ciertos productos. Dichos productos con sobreproducción son vendidos a un precio menor al establecido para los productos demandados, con ello se genera una penalización equivalente a la diferencia de precios.

3.1.1 ACEPTACIÓN DE PEDIDOS

La empresa programa los pedidos cada semana, a menos que se requiera más tiempo para procesar la cantidad del mismo. En ocasiones los pedidos son tan grandes que se precisa de dividirlos para programarlos en diferentes semanas. Es este sentido, al principio de cada semana, cuando se diseña el plan de producción, ya se cuenta con la información concerniente a la cantidad de producto que es demandado.

El proceso de aceptación de los pedidos sigue este proceso, de acuerdo a políticas de la empresa:

Liberación. El asistente comercial toma la orden y procede a la liberación del pedido. Existen dos condiciones en las que la orden puede ingresar al sistema. La primera es cuando el cliente solicita la cantidad de producto que demanda y la segunda es cuando el asistente comercial ofrece el producto que no está siendo demandado por ningún cliente o que la

demanda del mismo no es suficiente. El objetivo que se busca mediante la segunda opción es vender el producto con menor demanda para lograr generar la cantidad mínima de inventario.

Autorización. El departamento de Créditos y Cobranza procede a revisar el historial del cliente que solicita el pedido. En este sentido, el cliente puede tener adeudos con la empresa y dependiendo del límite de crédito que la empresa y el cliente tengan acordado se deriva la aceptación o no de la orden. Así mismo el cliente también puede solicitar a la empresa la negociación de un nuevo convenio para modificar su límite de crédito.

Captación. El asistente comercial, una vez autorizado por el departamento de Créditos y Cobranza capta la orden en el sistema de planeación de la producción o realiza las modificaciones recomendadas por el planeador.

Programación. Una vez captada la fecha entrega, el planeador programa la fecha en que el pedido será procesado. Si la orden requiere de alguna modificación en la fecha de entrega o la forma en la que será surtida, el planeador de la producción de la planta solicita al departamento de embarque otra fecha para la entrega de la orden y propone las respectivas modificaciones al asistente comercial.

3.1.2 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Los pedidos aceptados y registrados por la empresa nos proporcionan información acerca de su comportamiento y relación con otros parámetros. Los datos que se analizan en este punto son el historial de pedidos de la empresa correspondientes al primer semestre del año 2011.

La información nos muestra que durante el primer semestre la demanda total de producto supera las 6 mil toneladas de las cuales existen desde productos que tuvieron demanda nula hasta los que superan las 500 toneladas.

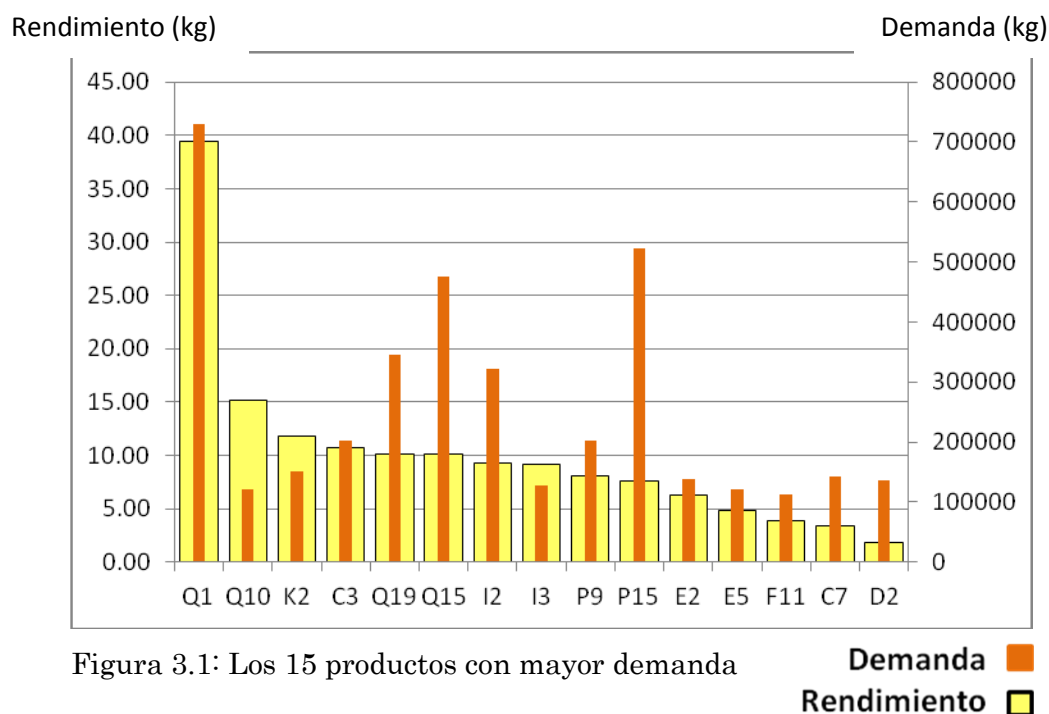


Figura 3.1: Los 15 productos con mayor demanda

Demanda ■
Rendimiento ■

En la Figura 3.1 podemos observar que la mayor cantidad demandada (en kilos) pertenece en su mayoría a productos que en su mayoría tienen un rendimiento relativamente grande. Sin embargo, cuando graficamos los mismos productos ahora por la cantidad de canales que requieren para satisfacer tales demandas podemos observar que para los productos de menor rendimiento claramente se requieren más canales para satisfacer la cantidad de producto demandado, como se muestra en la Figura 3.2.

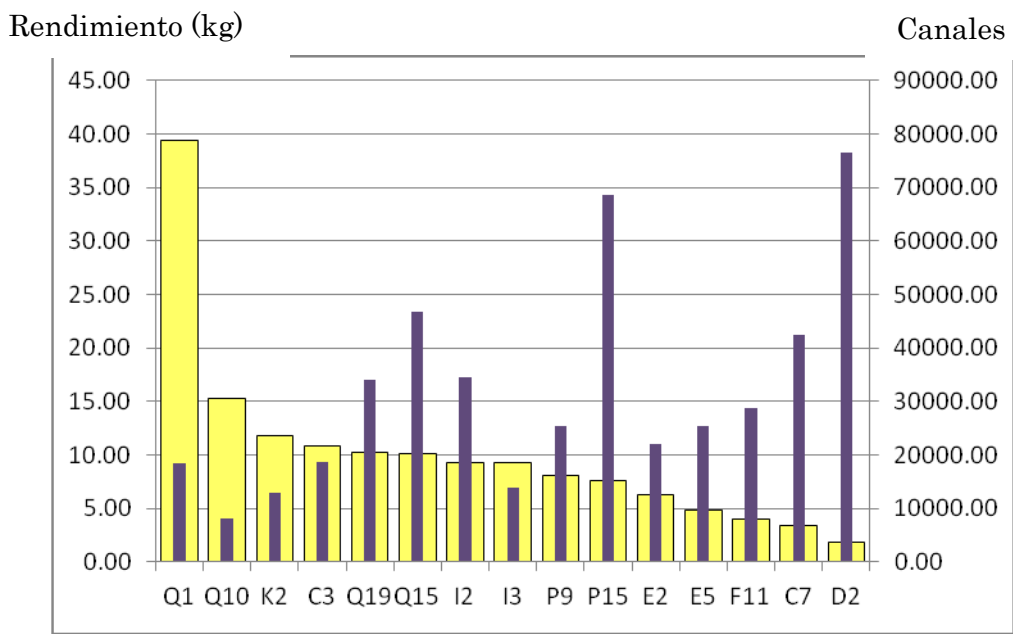


Figura 3.2: Canales necesarias para satisfacer la demanda de los 15 productos más demandados

Que un producto tenga una demanda muy grande en kilogramos no implica que sea el producto que demanda la mayor cantidad de canales. Para esto, a continuación se muestran los productos que demandan la mayor cantidad de canales según su relación demanda y rendimiento. Figura 3.3.

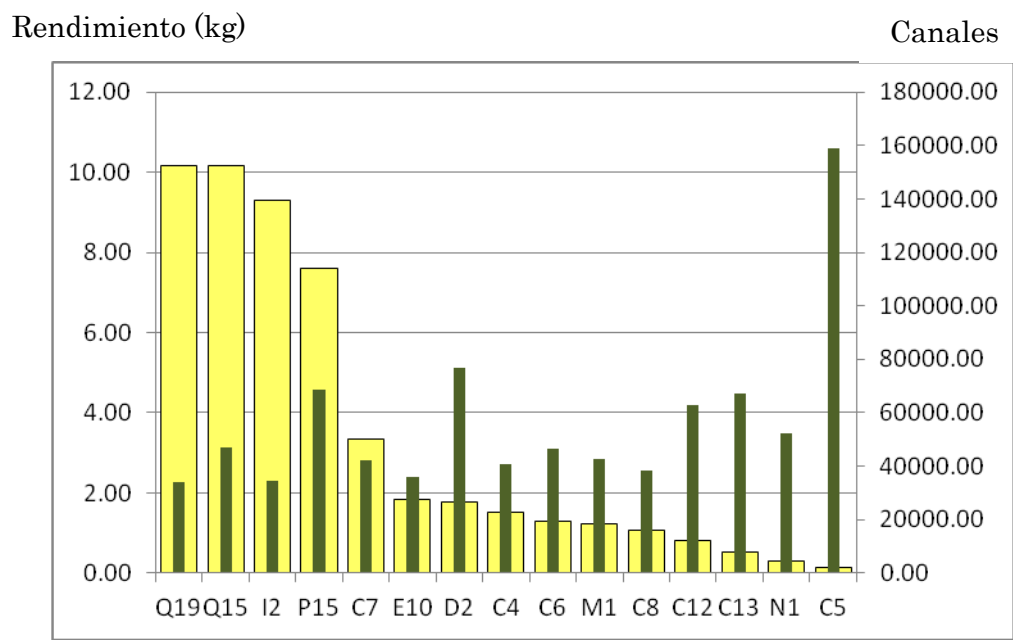


Figura 3.3: Productos que requieren la mayor cantidad de canales para satisfacer su demanda

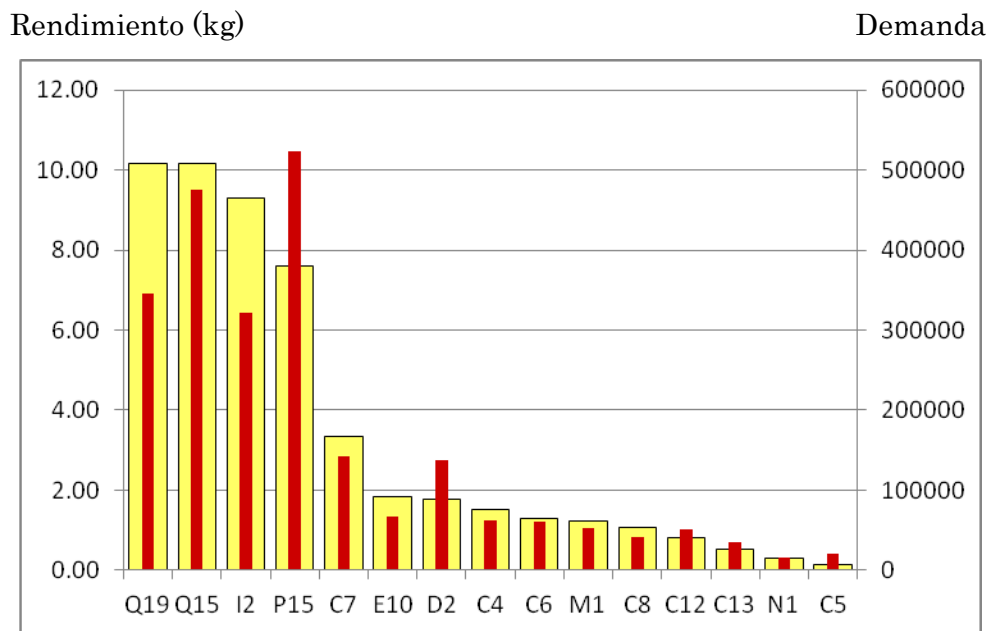


Figura 3.4: Demanda total de los productos que requieren de la mayor cantidad de canales

Demanda ■
Rendimiento ■

La cantidad total de producto y la cantidad de canales que se requieren para satisfacer esa demanda son dos de las características que se ven limitadas al momento de planear la producción. La primera debe de ser menor o igual a la capacidad del almacén y la segunda se limita por la cantidad de canales disponibles por el proveedor y por la cantidad máxima de recurso disponible en tiempo de mano de obra de la planta. Aunado a la relación que existe entre estos dos factores, la estructura de los patrones de corte complica la búsqueda de soluciones de calidad. Esta última se discute a detalle mas adelante.

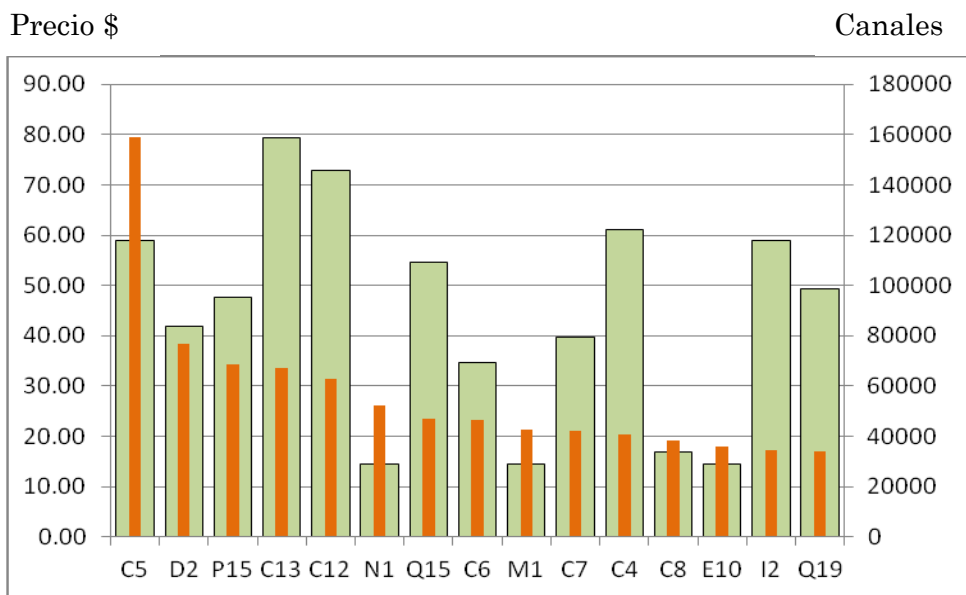


Figura 3.5: Precio de venta de los productos que requieren mayor cantidad de canales para cumplir su demanda

Canales ■
 Precio ■

Podemos observar en la Figura 3.5 que el precio de los productos que requieren mayor cantidad de canales no sigue alguna tendencia, en este sentido el precio de los productos no influye de manera significativa en la cantidad de canales que requiere cada producto individualmente.

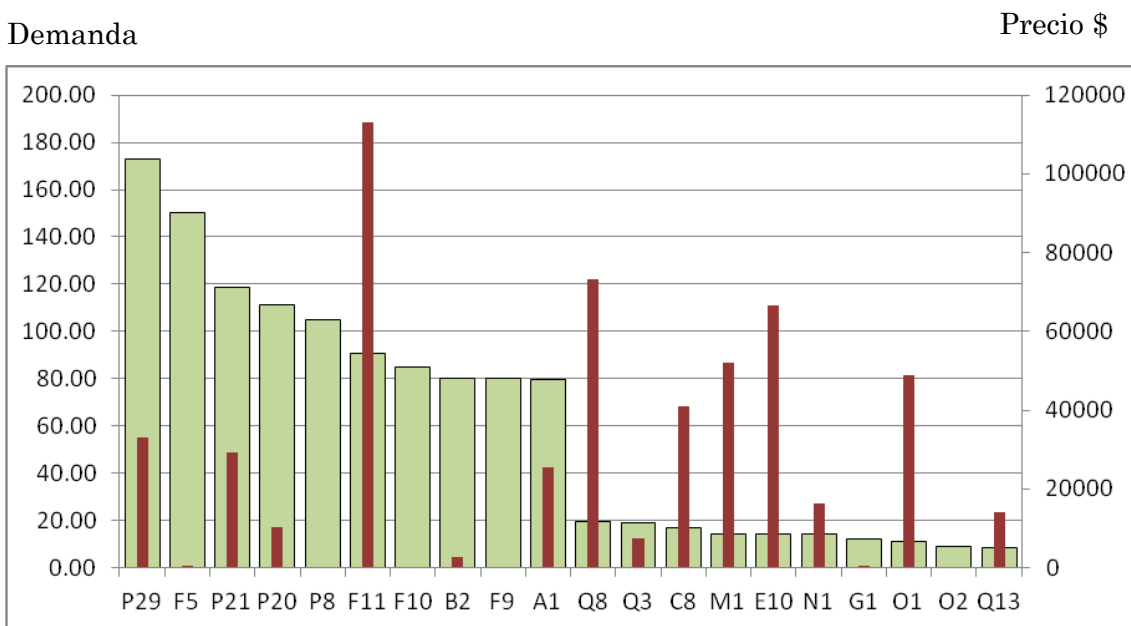


Figura 3.6: Demanda - Precio de los 10 productos más caros y de los 10 más

Demanda ■
 Precio ■

Es de esperarse que los productos mas economicos tengan una mayor demanda debido a la situación economica de los consumidores, esto se puede apreciar en las Figuras 3.6 y 3.7, donde claramente la demanda de los 10 productos mas economicos es mayor comparada con la de los 10 productos con precios mas altos.

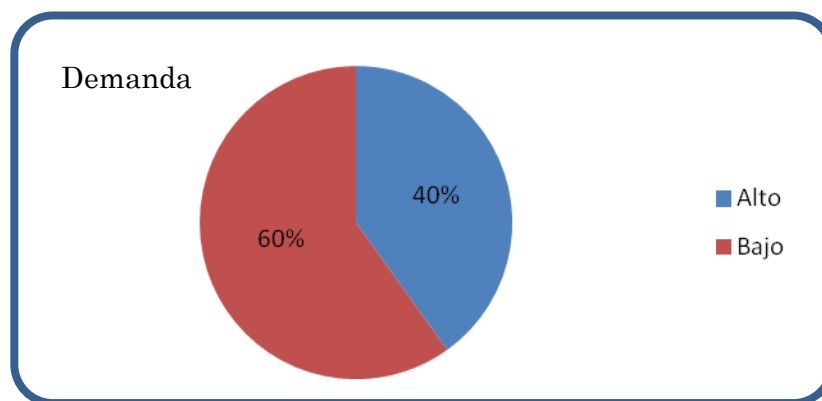


Figura 3.7: Demanda de los 10 productos más caros contra la de los 10 más económicos

3.2 INSUMOS

Se conoce la cantidad de canales disponibles que los rastros TIF ofrecen por que la preparación del animal se planea con cuatro meses de anticipación, esta información la consideramos como un límite en la cantidad de canales que pudieran ser procesadas por la empacadora.

Las canales se pueden adquirir de diferentes rastros dentro de la región contemplada, se considera que el precio de las canales en todas las granjas es igual, por lo tanto la suma de las canales disponibles de cada grado resulta en la cantidad total de canales disponibles que pueden ser adquiridas por la planta y se asume que el costo de transportar los animales al matadero es asumido por los proveedores, despreciando así la distancia por parte de la empresa, véase figura 3.8.

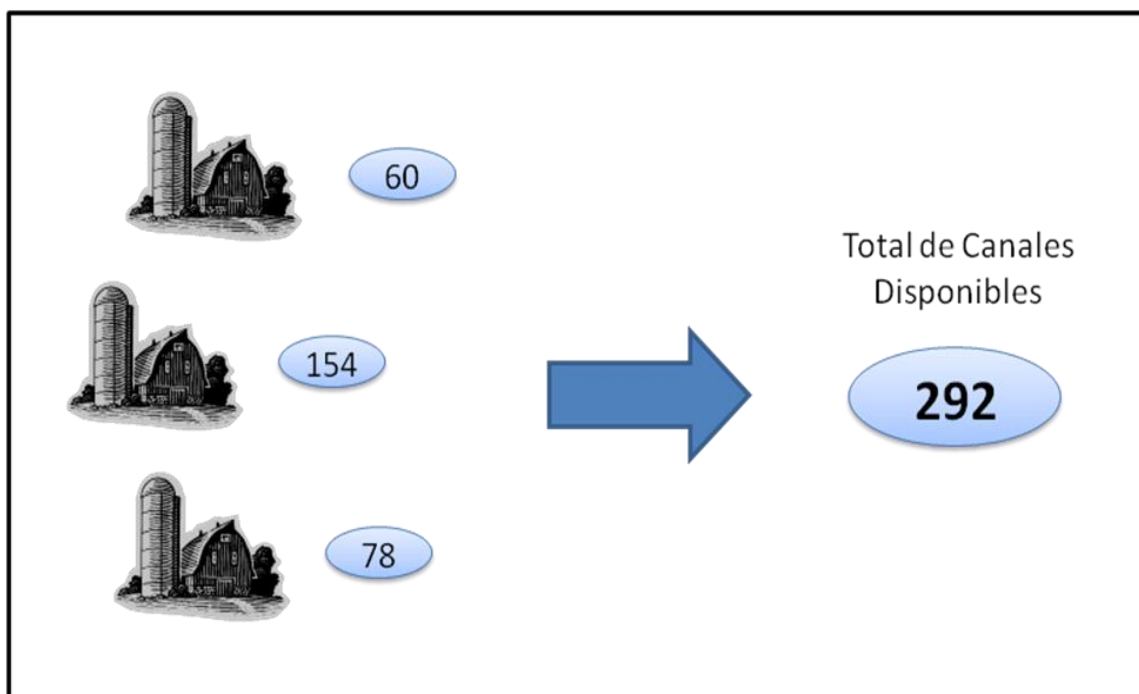


Figura 3.8: Canales disponibles

3.3 PATRONES DE CORTE

La canal puede ser cortada de diferentes formas, cada forma de cortar es definido como patrón de corte y cada patrón otorga cierto rendimiento de cada uno de los productos. El conjunto de patrones de corte se define por un árbol de despiece que la empresa nos proporciona. Para realizar la matriz de rendimientos se toma en consideración el dividir la canal en secciones relativamente independientes, con patrones definidos para cada una de estas secciones. Como ejemplo, en la figura 3.9 se muestra como seccionando la canal se reduce el número de patrones de corte que necesitan ser definidos.

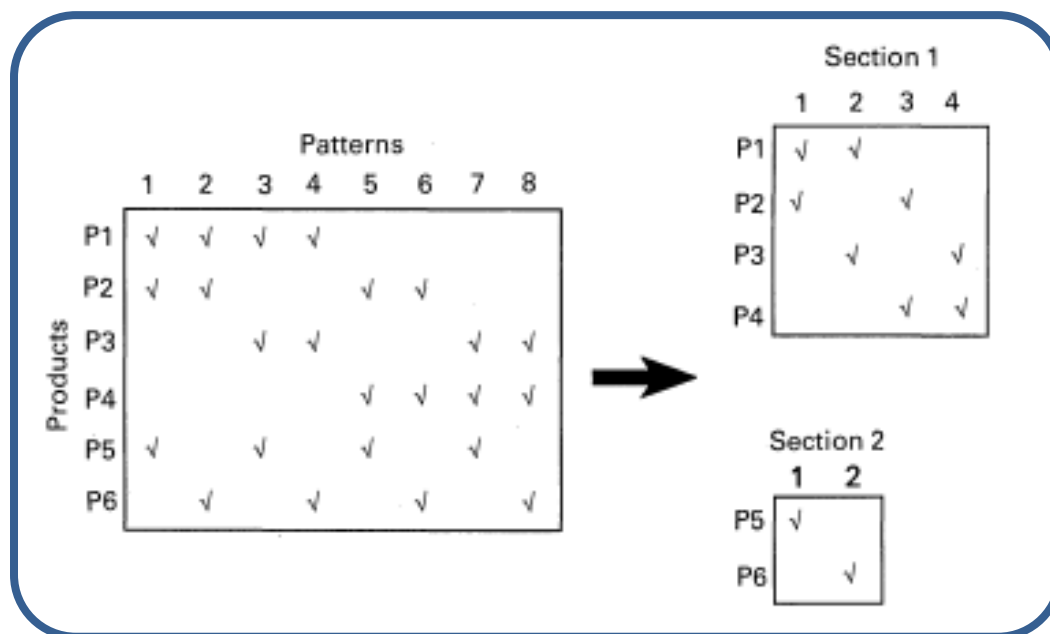


Figura 3.9: Seccionando patrones de corte
(Whitaker D. and Cammell S., 1990)

Las secciones en las que se divide la sección completa corresponden también a la forma típica en que la canal es despiezada.

La definición de los rendimientos se obtuvo mediante un estudio que la propia empresa realizó dentro de sus instalaciones. Este estudio define en porcentaje, la cantidad promedio que se puede obtener de cada uno de los productos. Adicional a los rendimientos el estudio también contiene el costo horas/hombre que se requieren para realizar cada uno de los productos.

La relación que existe entre la demanda y la configuración de los patrones de cortes es vital en este problema, y esto se debe a que entre más se asemejen mayor es la ganancia. Cada patrón de corte genera un determinado rendimiento de cada pieza. Por lo que se busca una combinación factible de estos patrones que mejor asemejen el comportamiento de la demanda de los productos, y a su vez se cumpla con el objetivo de obtener la mayor ganancia posible por el procesamiento y venta de los productos derivados de la carne. Si la demanda se comportara exactamente igual a alguno de los patrones o a la combinación de un subconjunto de ellos, se obtendría una solución sin penalizaciones, véase figura 3.10.

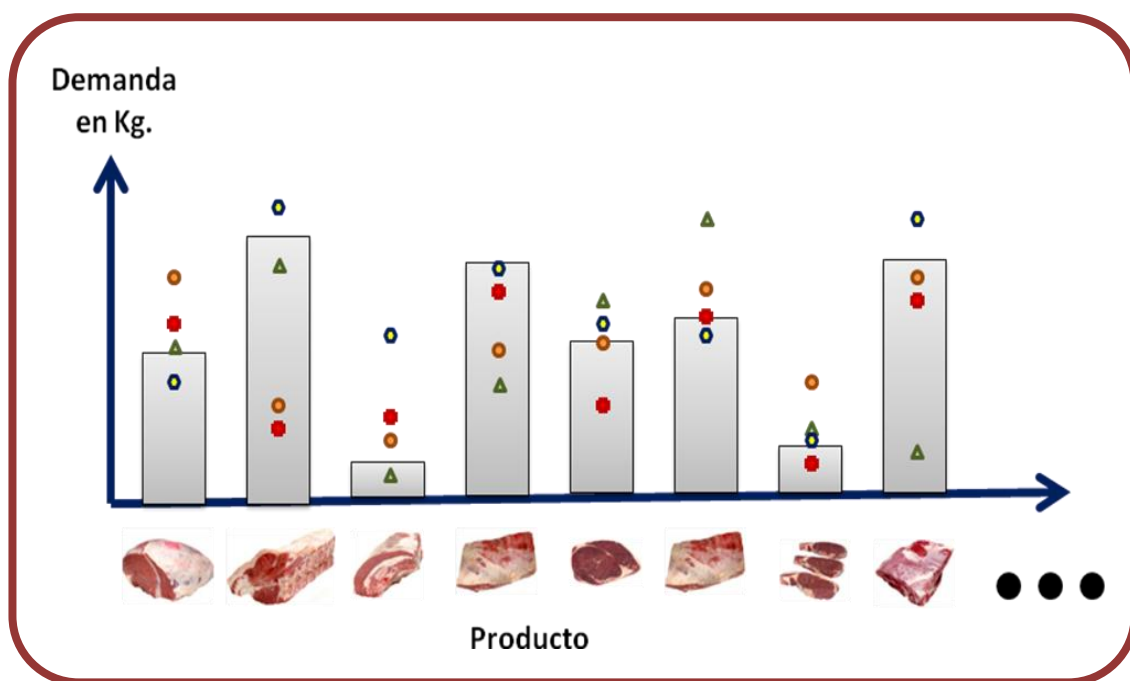


Figura 3.10: Relación entre demanda y patrones de corte

El patrón de corte completo de la canal se obtiene al reunir el conjunto de patrones de cada una de las secciones en que la canal es dividida. Dada esta propiedad, la cantidad total de patrones de cada sección debe ser igual a la cantidad total de canales que se adquieran como se muestra en la figura 3.11.

Combinación de patrones	Balance de secciones		
$X_{1(1)}=5, X_{3(1)}=7, X_{2(2)}=3, X_{3(2)}=9, X_{1(3)}=1, X_{2(3)}=7, X_{3(3)}=4$	12	12	12
$X_{21}=11, X_{12}=2, X_{22}=3, X_{32}=6, X_{23}=4, X_{33}=7$	11	11	11
$X_{21}=10, X_{32}=10, X_{33}=10$	10	10	10
$X_{11}=3, X_{21}=9, X_{12}=9, X_{22}=2, X_{32}=1, X_{23}=8, X_{33}=4$	12	12	12

Figura 3.11: Balance de secciones

Este problema se relaciona al problema de *cutting stock* (Kantorovich, 1960) o *bin packing* con la diferencia de que los patrones de corte ya están definidos. La característica por la cual difieren es porque el material de donde se extraen las piezas en un *cutting stock* es homogénea, y en la canal varía principalmente la ternura, el marmoleado y la configuración de los tejidos a lo largo de toda la canal, esta propiedad define entonces la localización exacta de donde se puede extraer cada uno de los productos.

3.4 MODELO MATEMÁTICO

3.4.1 NOTACIÓN

CONJUNTOS

I	conjunto de artículos i
J	conjunto de patrones de corte j
K	conjunto de secciones k
J_k	conjunto de patrones de corte j pertenecientes a la sección k

PARÁMETROS

r_{ij}	cantidad de producto i generado por el patrón de corte j
d_i	demanda de producto i
c	costo por una unidad de canal
v_j	costo por realizar el patrón de corte j a una unidad de sección de canal
h_j	tiempo requerido para realizar el patrón de corte j a una unidad de sección de canal
q	tiempo máximo que la planta tiene disponible para el despiece de canales
a	cantidad de unidades de canal que están disponibles para comprar
b_i	penalidad por vender a menor precio una unidad de producto i
f_i	penalidad por no satisfacer la demanda en una unidad de producto i
p_i	precio de venta por unidad de producto i

VARIABLES

X_j	número de veces a realizar el patrón de corte j a una sección
-------	---

- H cantidad de unidades de canal
- S_i cantidad de unidades de producto i que exceden la demanda
- L_i cantidad de unidades de producto i faltante para satisfacer la demanda
- W_{ij} Rendimiento en kg. de producto i que se obtiene al realizar un patrón de corte j
- U_i Cantidad total en kg. de producto i que se produce

3.4.2 MODELO DETERMINÍSTICO

FUNCIÓN OBJETIVO

$$\text{Max } Z = \sum_i p_i U_i - \sum_i b_i S_i - \sum_i f_i L_i - cH - \sum_j v_j X_j$$

La función de utilidad Z maximiza la ganancia que se genera por la venta de todos los productos menos la penalización por vender algunos a un menor costo, menos la penalización por no satisfacer la demanda de algunos otros productos, menos el costo por adquirir las canales que se utilizaron en producción para generar todos los productos, menos el costo que requiere cada patrón de corte para llevarse a cabo.

RESTRICCIONES

$$\text{Rendimiento} \quad W_{ij} = r_{ij} X_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (\text{R. 1})$$

$$\text{Total de producto} \quad \sum_j W_{ij} = U_i \quad \forall i \in I \quad (\text{R. 2})$$

$$\text{Demanda} \quad U_i + L_i - S_i = d_i \quad \forall i \in I \quad (\text{R. 3})$$

$$\text{Balance} \quad \sum_{j \in J_k} X_j = H \quad \forall k \in K \quad (\text{R. 4})$$

$$\text{Capacidad} \quad \sum_j h_j X_j \leq q \quad (\mathbf{R. 5})$$

$$\text{Disponibilidad} \quad H \leq a \quad (\mathbf{R. 6})$$

$$W_{ij}, U_i, L_i, S_i \geq 0 \quad (\mathbf{R. 7})$$

$$X_j, H \in Z^+ \quad (\mathbf{R. 8})$$

La ecuación **(R. 1)** genera la cantidad de producto en base a la cantidad de veces en que un patrón de corte se utilizará y a su vez al rendimiento de producto que estos brindan. La ecuación **(R. 2)** reúne el producto total que se produce proveniente de todos los patrones de corte para que en la **(R. 3)** donde se precisa satisfacer la demanda de los productos, adicionalmente se añade la característica de poder generar más producto del demandado mediante la variable S_i y la de asignar a la variable L_i la cantidad de producto que faltaría para lograr satisfacer su demanda.

En la ecuación **(R. 4)** se exige que la cantidad de secciones a procesar, representada también por la variable X_j sea igual a la cantidad de canales total.

Existen dos ecuaciones que limitan la cantidad de canales que pueden ser procesadas; la primera de ellas es la **(R. 5)** donde se restringe el número total de secciones a una capacidad de tiempo finito q que la planta puede procesar, y en la **(R. 6)** se limita por la cantidad de canales A que pueden ser adquiridas por la planta para poder ser procesadas.

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES

4.1 DESCRIPCIÓN

Para validar el modelo matemático propuesto la empresa nos proporciono datos de sus registros históricos correspondientes al primer semestre de año 2011. La información que nos proporcionaron contiene datos como los pedidos de producto en kilogramos, el rendimiento de cada uno de los productos en proporción al peso del animal (porcentaje), el árbol de despiece de la canal, el tiempo necesario que requiere cada producto para ser despiezado de la canal en minutos/pieza, el costo correspondiente a los insumos necesarios para la producción de cada producto, el costo incurrido en base al tiempo de mano de obra utilizado para la producción de cada producto, el número de canales que la planta recibió para procesar, el costo de adquirir las canales, el tiempo total de mano de obra que la planta tiene disponible para procesar las canales y el precio base de cada producto en pesos/kilogramo.

Trabajamos en un pre-procesamiento de los datos para adecuarlos al formato que los necesitamos. Partimos del árbol de despiece para generar una matriz binaria donde se definen todas las combinaciones posibles entre los productos, a continuación se muestra un ejemplo de este proceso, véase figura 4.1.

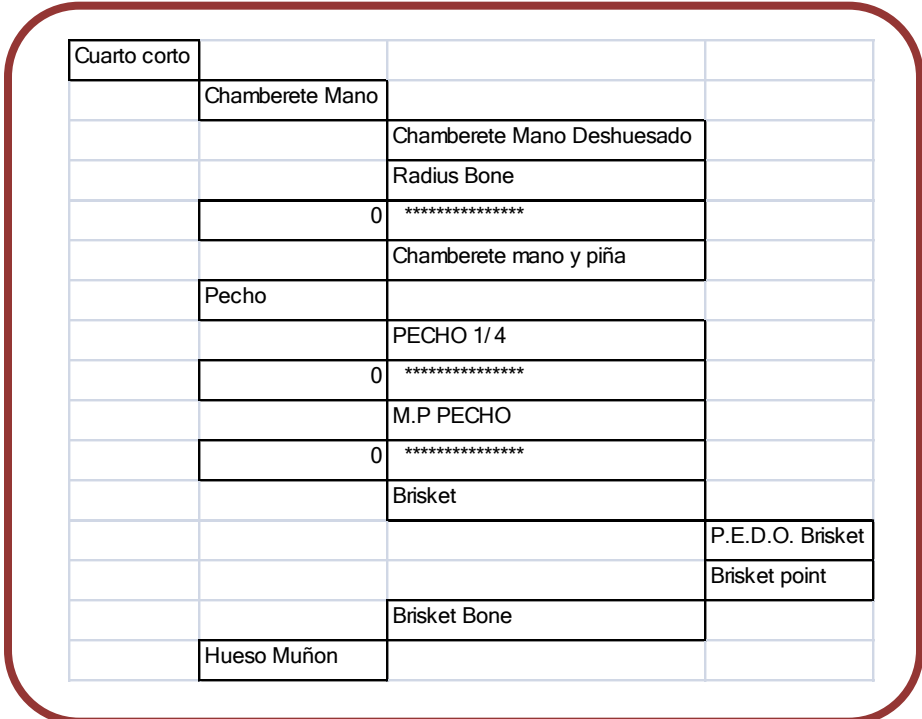


Figura 4.1: Árbol de despiece

El primer producto, que corresponde con el nombre de la sección antes de realizarle algún corte se le asigna el primer patrón del conjunto de patrones de la sección misma. Como cualquier otro patrón de corte correspondiente a la sección nos indica que se le realizará por lo menos un despiece, la sección no vuelve a aparecer en ningún otro patrón de corte (naranja), véase figura 4.2.

Cuarto corto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chamberete Mano	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Chamberete Mano Deshuesado	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Radius Bone	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Chamberete mano y piña	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Pecho	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PECHO 1/4	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M.P PECHO	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brisket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
P.E.D.O. Brisket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Brisket point	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Brisket Bone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Hueso Muñon	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 4.2: Matriz binaria de patrones de corte, definición de sección

En el siguiente patrón de corte, la sección se divide en tres piezas (marrón), de las cuales en el siguiente patrón la primera de ellas es despiezada en dos productos (rosa) o puede también generar otro producto (verde), estos últimos despieces se generan con los mismos dos productos del primer despiece del segundo patrón (morado), véase figura 4.3.

Cuarto corto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chamberete Mano	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Chamberete Mano Deshuesado	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Radius Bone	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Chamberete mano y piña	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Pecho	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PECHO 1/4	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M.P PECHO	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brisket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
P.E.D.O. Brisket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Brisket point	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Brisket Bone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Hueso Muñon	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 4.3: Matriz binaria de patrones de corte, definición de sub-productos

De este conjunto de patrones generados por el Chamberete (azul cielo) se repite en los patrones consecutivos con la diferencia de los cambios en el conjunto del producto Pecho (amarillo) siguiendo la estructura del árbol de despiece, véase figura 4.4.

Cuarto corto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chamberete Mano	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Chamberete Mano Deshuesado	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Radius Bone	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Chamberete mano y piña	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Pecho	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PECHO 1/4	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M.P PECHO	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brisket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
P.E.D.O. Brisket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Brisket point	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Brisket Bone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Hueso Muñon	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 4.4: Matriz binaria de patrones de corte, combinación de sub-productos

La cantidad de patrones no solo está determinado por la cantidad de patrones, también por la estructura del árbol de despiece. Dentro de un producto existe un patrón de corte por cada sub-grupo separado por “*****” que significa que solo se puede generar un sub-grupo de ese mismo nivel en un mismo patrón de corte. Ejemplo, véase figura 4.5:

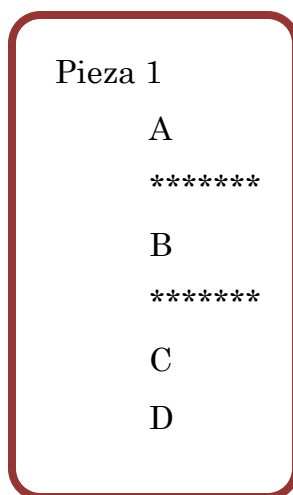


Figura 4.5: Configuración del árbol de despiece

En este caso de ejemplo, de la “Pieza 1” se pueden obtener tres subconjuntos de productos A / B / C y D, pero debido a su estructura solo se puede generar un subconjunto por cada patrón de corte. Cuando dos productos están en un mismo sub-conjunto (C y D), estos se producen juntos en un mismo patrón a no ser que alguno pueda despiezarse en otro sub-conjunto de un nivel menor de despiece.

Para determinar la cantidad de patrones resultante se comienza de derecha a izquierda en los niveles del árbol de despiece. Si el producto no tiene sub-conjuntos que se deriven de este, se coloca un índice de valor 1 a la derecha del producto. Cuando del producto se deriva uno o más sub-conjuntos se inicia con el índice de valor 1, correspondiente al mismo producto. Luego se le suman los índices resultantes de sus sub-conjuntos correspondientes, si alguno de sus sub-conjuntos tiene dos o más elementos

los índices de ese sub-conjunto se multiplican para obtener el valor resultante del sub-conjunto, véase figura 4.6.

Cuarto corto	$1+(3*5*1)=16$		
	Chamberete Mano	$1+(1*1)+1=3$	
		Chamberete Mano Deshuesado	1
		Radius Bone	1
	0	*****	
		Chamberete mano y piña	1
	Pecho	$1+(1+1+(2*1))=5$	
		PECHO 1/4	1
	0	*****	
		M.P PECHO	1
	0	*****	
		Brisket	$1+(1*1)=2$
			P.E.D.O. Brisket 1
			Brisket point 1
		Brisket Bone	1
	Hueso Muñon	1	

Figura 4.6: Cantidad de patrones

Una vez terminada la matriz binaria, cada componente de todos los vectores correspondientes a cada patrón de corte dentro de la matriz binaria, se multiplica por su respectivo componente del vector de rendimientos para llenar la matriz de rendimientos con los vectores resultantes.

El vector de costo de cada patrón de corte se genera a partir del producto punto del vector de costos de producto por cada vector binario correspondiente a cada patrón. De la misma forma se obtiene el vector de tiempo total requerido por cada patrón de corte, el cual resulta del producto punto del vector de tiempo requerido por producto por el vector binario de cada patrón.

4.2 INSTANCIAS

Desarrollamos un programa utilizando el lenguaje de programación C++, el cual toma los datos desde archivos .txt y los organizara en el formato que lo requiere el sistema de modelado algebraico “GAMS v.22.8” para finalmente correr las instancias en el *solver* CPLEX v.11.2.

De los datos reales se tomaron todos los productos y se depuraron los productos que su participación en el semestre a analizar no mostraron relevancia significativa o manifestaron una participación nula. Para el desarrollo de esta investigación se trabajo con 122 productos, con los cuales se identificaron 2518 patrones de corte, como resultado de la estrategia de reducción de patrones mediante la clasificación por secciones. Se dividió la canal en 17 cortes primales o también llamadas secciones.

Por cada una de las secciones se contemplan todos los productos pertenecientes a su respectiva sección, como se muestra en la siguiente tabla 4.1:

Sección	No. de productos	Sección	No. de productos
1	2	10	6
2	3	11	4
3	14	12	1
4	2	13	1
5	10	14	1
6	11	15	2

7	1	16	29
8	1	17	26
9	4		

Tabla 4.1: Total de productos por sección

En la siguiente tabla 4.2 se muestra la cantidad de patrones pertenecientes a cada una de las secciones:

Sección	No. de patrones	Sección	No. de patrones
1	2	10	6
2	3	11	4
3	13	12	1
4	2	13	1
5	8	14	1
6	8	15	2
7	1	16	152
8	1	17	2309
9	4		

Tabla 4.2: Total de patrones por sección

En total se generaron 307196 variables de cantidad de producto i generado por el número de veces que se utiliza el patrón j , generando también la misma cantidad de restricciones de rendimiento. Además se crearon 122 restricciones de Total de producto y de Demanda. Referente a

las restricciones de balance se precisó de 17, una de Capacidad y por último una de Disponibilidad.

Las instancias se resuelven en CPLEX en poco más de 10 segundos, lo cual es relativamente un tiempo muy pequeño.

4.2 RESULTADOS

Los resultados que presentamos en este trabajo se obtuvieron de la aplicación del modelo que proponemos en el capítulo 3, mismo que se derivó de un análisis exhaustivo del sistema de producción de una planta empacadora de carnes que juega un papel preponderante dentro de la cadena de abastecimiento de la industria pecuaria, además de la investigación minuciosa de la información recabada relacionada con el tema.

Se muestra principalmente como resultado de este trabajo, un análisis comparativo entre el modelo de planeación que estamos proponiendo y el método que se está empleando actualmente.

Presentamos la información clasificada de manera similar a la que se trabaja actualmente, esto para facilitar el análisis. Así pues, se presenta la planeación de los periodos de Enero, Febrero, Marzo y Abril, pues son estos los cuatro periodos de los que se nos proporcionó la información completa. A continuación se describe el contenido de las tablas con los resultados del periodo correspondiente a Enero. Los tres periodos restantes se presentan en el apéndice para referencia.

ENERO

	Porcentaje de penalización por incumplimiento de demanda					
	Producción Real	0	0.25	0.5	0.75	1
Canales	11,073.84	4,476.00	7,778.00	8,531.00	9,529.00	9,529.00
Ganancia	6,184,777.42	4,876,644.32	7,864,094.79	8,572,233.57	9,595,202.08	9,595,025.91
Valor de sobrante	9,508,335.79	1,922,335.51	7,496,394.29	9,180,636.77	11,882,947.46	11,881,663.50
Flujo de efectivo	-3,323,558.38	2,954,308.81	367,700.50	-608,403.21	-2,287,745.38	-2,286,637.59
Sobrante en kg.	184,313.57	38,395.40	147,884.11	180,785.95	232,721.24	232,690.43
Porcentaje de faltante	11.61	52.01	26.72	21.78	16.15	16.15

Tabla 4.3: Resultados de Enero

En el periodo de Enero, representado en la Tabla 4.3, se procesaron 11073.84 canales y se obtuvo una ganancia de \$6,184,777.42, sin embargo es una ganancia aparente porque en este periodo se generó \$9,508,335.79 en inventario correspondiente a más de 184 toneladas de producto, y no solo la ganancia se encuentra en inventario, también 3323558.38 corresponden a inversión, por lo que, el flujo de efectivo quedó negativo.

Considerando los mismos parámetros con los que se tomaron las decisiones de producción en Enero, generamos un plan de producción en el cual en primera instancia no consideramos ninguna penalización. Con el plan de producción propuesto por el modelo se genera una ganancia de \$4,876,644.32, de la cual solo se genera menos de 38.5 toneladas con un valor de 1,922,335.51, por lo que se contaría con \$2,954,308.81 de flujo de efectivo positivo. Con esta primera solución, en el que el escenario se plantea de tal manera que el sobrante queda en inventario porque no tiene demanda, el modelo propone adquirir a un tercero el 52.01% del producto demandado, pues no es rentable producirlo si este generará más producto sobrante, solo para satisfacer la demanda de dicho producto a través de la producción de esta compañía.

Por otro lado, también se hace evidente la aceptación de pedidos de producto sin considerar su proporción con respecto a los demás productos que se generarán y que no tienen una demanda proporcionalmente similar.

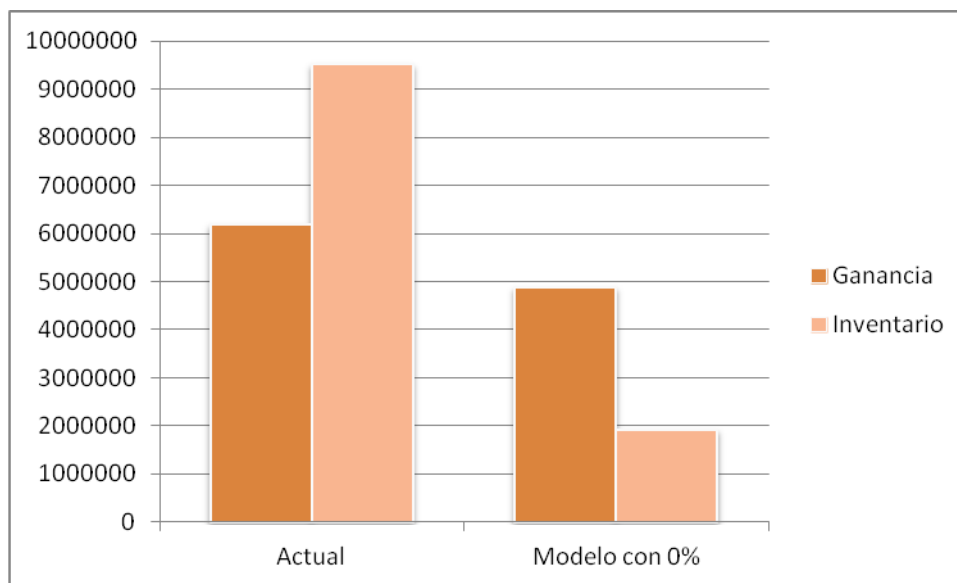


Figura 4.7: Ganancia e inventario del mes de enero con 0% de penalidad de faltante

En la figura 4.7 se puede apreciar claramente que la ganancia obtenida por el metodo actual es mayor, pero tambien se observa que toda esa ganancia quedo en inventario, al contrario de la solución propuesta por el modelo, la cual muestra que solo una parte de la ganancia se mantiene en inventario, generando así una ganancia real.

Tambien en la tabla 4.3 se muestran los resultados de las soluciones propuestas en las cuales se utilizó una penalización de producto faltante en la función objetivo. Esto con el fin de representar un costo artificial para todo el producto faltante. Así pues, una penalización del 25% constituye que por cada unidad en kg. faltante de algún producto, se restará el 25% del precio de venta de dicho producto. Caso similar acontece cuando la penalización asume los demas valores que se observan en la tabla.

En las instancias presentadas en la tabla 4.3 no se considera aún ninguna penalización por producto sobrante. De esta manera, cuando

penalizamos por faltante, el modelo arroja soluciones que permitan reducir la cantidad de producto faltante.

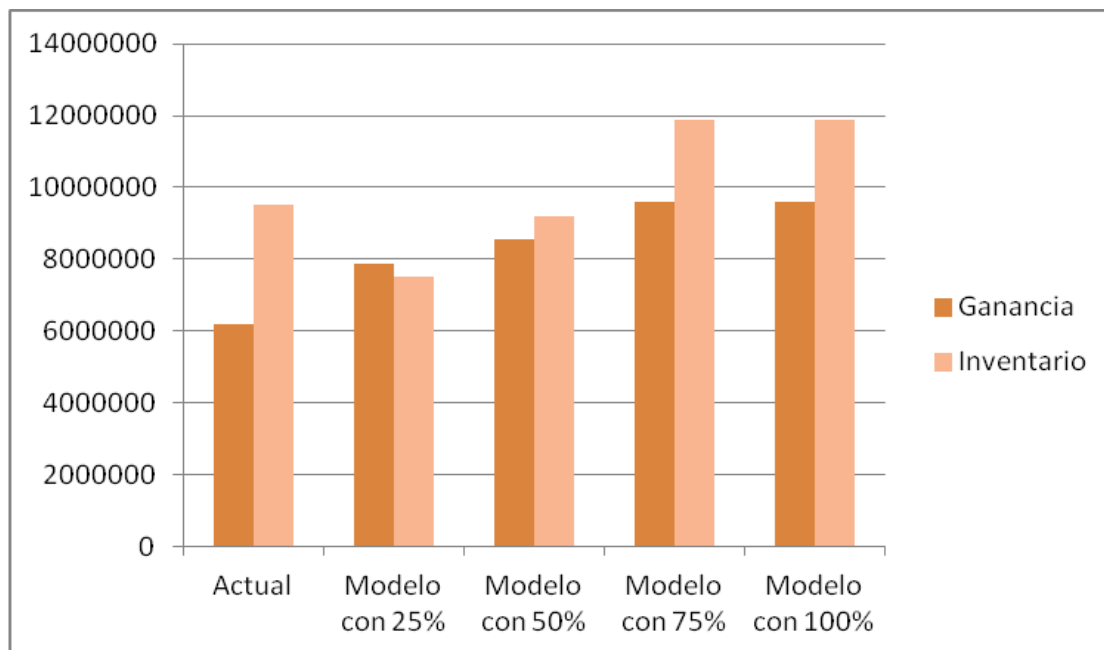


Figura 4.8: Ganancia e inventario del mes de enero con 25%, 50%, 75% y 100% de penalidad de faltante

En la figura 4.8 se presenta una gráfica comparativa en la que podemos observar que con una penalización del 25% y 50% de producto faltante se genera una mayor ganancia permitiendo mantener una cantidad de producto sobrante menor al generado con el metodo actual y es hasta cuando se consideran las penalizaciones del 75% y 100%, donde si bien, producen una mayor ganancia tambien generan una mayor cantidad de producto sobrante.

En la tabla 4.4 se muestra como influye la consideración de una penalidad por producto sobrante. La interacción entre ambas penalidades permite controlar, por una parte el producto sobrante, que significa un valor sin venta, y por otro lado el producto faltante que puede ser considerado como la cantidad de producto que la empresa debe adquirir desde terceros

para satisfacer las necesidades de sus clientes, esto ultimo ocurre cuando la empresa no cuenta con la capacidad necesaria para producir lo requerido, o cuando el producto demandado no es rentable para la empresa.

Sobrante kg.		Penalidad por producto faltante					
	Enero	0%	25%	50%	75%	100%	
Penalidad por producto sobrante	0%	38,395	147,884	180,786	232,721	232,690	
	25%	37,656	51,591	146,247	178,932	203,255	
	50%	30,175	51,591	60,758	145,286	186,376	
	75%	20,054	51,588	51,588	145,268	145,281	
	100%	17,194	40,600	49,361	60,760	145,283	
Método Actual:					184,314		

Tabla 4.4: Sobrante kg., Enero

Cuando la penalidad por producto faltante aumenta, provoca que la cantidad de producto sobrante aumente, esto se da por la proporcionalidad de los productos derivados de la canal. Caso contrario, cuando la penalidad por sobrante aumenta, la cantidad de producto sobrante disminuye. Véase tabla 4.4 como referencia. Sin embargo, cuanto mas aumenta la penalidad por sobrante, el porcentaje de producto faltante disminuye como es de esperarse.

Faltante		Penalidad por producto faltante					
	Enero	0%	25%	50%	75%	100%	
Penalidad por producto sobrante	0%	52.01	26.72	21.78	16.15	16.15	
	25%	51.94	44.45	24.58	19.90	17.09	
	50%	58.03	44.45	42.04	24.48	18.50	
	75%	66.72	44.45	44.45	24.48	24.48	
	100%	69.40	49.09	44.64	42.04	24.48	
Método Actual:					11.61		

Tabla 4.5: Faltante (porcentaje de producto demandado), Enero

En la tabla 4.6 se muestra el valor del producto sobrante, según la combinación de las penalizaciones.

		Valor del Sobrante					
		Enero	Penalidad por producto faltante				
Penalidad por producto sobrante	0%	0%	25%	50%	75%	100%	
	25%	1,922,336	7,496,394	9,180,637	11,882,947	11,881,663	
	50%	1,889,060	2,647,997	7,441,904	9,154,153	10,436,924	
	75%	1,473,000	2,647,997	3,121,662	7,398,650	9,542,569	
	100%	906,229	2,647,801	2,647,801	7,397,848	7,398,470	
	Método Actual:	751,209	2,018,232	2,489,700	3,121,790	7,398,624	

Tabla 4.6: Valor del sobrante, Enero

La tabla 4.7 referente a la ganancia real, presenta la diferencia en dinero de los valores de la ganancia menos los valores de la tabla de valor del sobrante. Así pues, la ganancia real muestra la ganancia en pesos que no forma parte del producto sobrante. Cuando este valor es negativo, significa que además de que el dinero de la ganancia forma parte del producto sobrante, este valor negativo representa una parte del dinero invertido para la producción.

		Ganancia Real					
		Enero	Penalidad por producto faltante				
Penalidad por producto sobrante	0%	0%	25%	50%	75%	100%	
	25%	2,954,309	367,700	-608,403	-2,287,745	-2,286,638	
	50%	2,946,910	2,707,802	-12,621	-1,173,630	-2,047,856	
	75%	2,865,326	2,707,802	2,408,988	-23,053	-1,553,212	
	100%	2,689,176	2,707,614	2,707,614	-22,405	-22,875	
	Método Actual:	2,604,787	2,776,216	2,616,068	2,408,935	-23,139	

Tabla 4.7: Ganancia real, Enero

El modelo arroja la lista de patrones que se van a utilizar y la cantidad de veces que se ejecutará. Es de esperarse que hay patrones de corte que se utilizan con mayor frecuencia que otros. En la tabla 4.8 se muestra la cantidad de veces que se utilizan los patrones en las 25 instancias por periodo. También se presenta un promedio de utilización de cada patrón. Los patrones que no aparecen en esta tabla no se ejecutan en ninguna de las instancias reales utilizadas.

Patrón	Mes							
	Enero	Promedio	Febrero	Promedio	Marzo	Promedio	Abril	Promedio
1	0	0	38,112	1,588	185,907	7,436	130,877	5,235
2	163,833	6,553	140,035	5,601	4,280	535	40,150	2,509
3	72,325	2,893	127,957	5,118	97,540	3,902	41,943	1,678
4	41,475	1,659	35,739	1,430	21,700	868	7,532	301
5	50,033	2,502	14,451	1,112	70,947	3,547	48,254	2,413
6	15	1	2,933	117	10	1	182	17
7	6,893	363	2,853	285	578	34	0	0
8	2,009	335	2,650	265	3,828	273	580,742	23,230
9	774	387	1,459	243	2,794	254	177,556	7,720
10	9,704	539	4,373	875	0	0	71,023	3,088
11	59,233	2,821	25,594	1,422	46,868	1,875	159,801	6,948
12	49,037	2,229	65,743	2,630	38,467	2,263	461,647	20,072
13	0	0	0	0	0	0	106,534	4,632
14	0	0	0	0	0	0	55,692	2,228
15	0	0	0	0	0	0	31,815	1,273
16	1,228	205	45,867	2,414	0	0	0	0
17	33,236	3,021	23,250	1,224	97,642	3,906	138,774	5,551
18	1,704	1,704	3,425	685	0	0	116,799	4,672
19	0	0	0	0	164	23	93,439	3,738
20	0	0	16,210	1,621	0	0	0	0
21	0	0	3	1	4	1	750,852	30,034
23	1	1	28,104	2,162	0	0	28,243	4,707
24	0	0	1,128	282	0	0	0	0
25	0	0	1,312	164	0	0	97,150	3,886
26	0	0	18,792	1,175	0	0	729,324	29,173
27	0	0	0	0	2,246	132	91,036	6,503
28	46,156	2,429	33,242	1,847	38,749	2,279	907	36
29	0	0	674	674	0	0	0	0
30	4,600	184	858	429	16,145	646	0	0
31	94,123	3,765	59,399	2,583	76,075	3,043	261,852	10,474
32	7,197	360	5,031	280	6,656	370	203,049	8,122
33	0	0	2,624	164	0	0	280,385	11,215
34	11,756	534	10,770	898	50,148	2,006	98,135	24,534
35	14,850	594	22,026	881	36,000	1,440	28,994	7,249
36	375	15	12,495	500	105,540	4,222	4,879	212
37	38,213	1,529	29,380	1,277	0	0	11,222	488
38	48,662	1,946	6,037	302	2	1	2,927	127
40	0	0	4	1	0	0	0	0
41	33,833	1,990	35,947	2,396	0	0	135,266	10,405
42	27,900	1,116	72,258	2,890	48,645	2,703	291,674	12,681
43	163,833	6,553	178,147	7,126	190,187	7,607	97,730	3,909
44	163,833	6,553	178,147	7,126	190,187	7,607	97,730	3,909

45	10	1	1	1	3,203	128	366	15
46	73,071	3,177	8,462	1,209	95,134	3,805	1,111,246	44,450
47	80,953	3,238	106,284	4,251	37,625	1,505	313,761	12,550
48	9,799	408	63,400	2,882	54,225	2,169	35,070	1,403
49	33,591	1,400	84,757	3,390	0	0	185,197	7,408
50	89,726	3,589	9,203	2,301	19,127	4,782	243,991	9,760
51	0	0	25,289	1,204	0	0	0	0
52	0	0	21,594	900	68,325	2,733	16,567	753
53	38,360	1,744	35,506	1,973	79,935	3,197	360,512	16,387
54	2,156	98	1,798	100	22,800	912	0	0
55	28,976	1,260	16,523	661	3,229	129	197,831	7,913
56	79,284	3,171	66,001	2,640	75,300	3,012	204,222	8,169
57	13,400	536	15,608	624	17,675	707	157,658	6,306
58	42,173	2,220	80,015	3,201	93,983	3,759	1,493,658	64,942
59	163,455	6,538	34,493	4,312	36,267	2,015	1,152	64
60	378	189	143,654	5,986	153,920	6,157	146,594	5,864
61	163,833	6,553	178,147	7,126	190,187	7,607	293,189	11,728
62	163,833	6,553	178,147	7,126	190,187	7,607	0	0
63	163,833	6,553	173,254	6,930	81,175	3,247	293,189	11,728
64	0	0	4,893	816	109,012	4,360	0	0
65	0	0	0	0	0	0	99,835	7,131
66	0	0	0	0	0	0	55,758	3,983
67	0	0	0	0	0	0	165	10
68	0	0	0	0	0	0	97,247	6,946
69	0	0	0	0	0	0	16,793	1,200
72	0	0	0	0	0	0	712,773	28,511
73	0	0	0	0	0	0	279,875	13,994
76	1,740	174	9,286	516	1,320	66	0	0
77	1,626	407	4,735	676	9,000	450	147	9
78	12	3	4,630	309	0	0	916,181	36,647
79	0	0	0	0	0	0	148,407	5,936
80	1,495	299	6,320	395	14,928	679	0	0
81	0	0	0	0	10,067	403	0	0
82	0	0	0	0	0	0	35,414	5,059
83	86,418	3,457	81,929	3,277	40,030	1,601	0	0
84	21,663	1,666	30,299	1,377	47,350	1,894	15,766	631
85	0	0	0	0	0	0	54,056	2,162
86	0	0	0	0	0	0	20,271	811
87	1,940	194	347	19	0	0	188,376	7,535
88	0	0	0	0	0	0	39,648	5,664
89	0	0	0	0	0	0	2,671	890
90	0	0	0	0	1	1	0	0
92	0	0	0	0	0	0	9,739	1,391
93	0	0	0	0	0	0	3,747,839	162,950
94	2,863	191	63	9	0	0	0	0
95	47	47	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0	235,444	9,418
98	0	0	0	0	0	0	64,287	5,844
99	0	0	0	0	0	0	51,902	4,718
100	0	0	0	0	0	0	92,751	3,710
105	0	0	0	0	0	0	7,415	824
106	0	0	0	0	0	0	62,616	6,957
107	0	0	0	0	0	0	617,237	24,689
108	0	0	0	0	0	0	73,094	2,924
111	0	0	0	0	0	0	723,617	28,945
113	0	0	0	0	0	0	919	306
115	0	0	0	0	0	0	30	30
116	0	0	0	0	0	0	1	1
117	0	0	0	0	0	0	12	12
119	0	0	0	0	0	0	1,451,140	58,046
120	0	0	0	0	0	0	511,572	20,463
121	0	0	0	0	0	0	1,419,999	56,800
122	0	0	0	0	0	0	984,529	39,381
142	0	0	1,204	301	330	66	0	0
149	0	0	6,020	301	6,095	244	0	0
197	433	433	0	0	0	0	0	0
198	857	429	0	0	0	0	0	0

199	6	3	0	0	0	0	0	0	0
201	299	299	0	0	0	0	0	0	0
204	37,807	1,719	28,544	1,189	0	0	0	0	0
205	5,373	1,791	1,791	1,791	0	0	0	0	0
208	1,248	416	1,338	446	28,324	1,574	0	0	0
209	0	0	1,593	531	24,979	1,665	0	0	0
210	4	1	0	0	0	0	0	0	0
211	2	1	0	0	0	0	0	0	0
212	0	0	48	24	7,763	863	0	0	0
214	31,179	1,247	116,633	4,665	122,526	4,901	0	0	0
218	44	44	0	0	0	0	0	0	0
220	0	0	0	0	387	55	0	0	0
222	4,791	399	0	0	0	0	0	0	0
226	1,380	460	0	0	0	0	0	0	0
250	44	44	0	0	0	0	0	0	0
254	3,898	325	419	419	0	0	0	0	0
258	1,285	321	0	0	0	0	0	0	0
266	43	43	0	0	0	0	0	0	0
267	0	0	63	32	0	0	0	0	0
268	0	0	703	352	20	20	0	0	0
270	17,030	852	1,042	1,042	108	54	0	0	0
282	44	44	0	0	0	0	0	0	0
286	4,091	215	181	91	0	0	0	0	0
300	0	0	1,367	1,367	27	27	0	0	0
302	6,671	477	0	0	67	67	0	0	0
306	265	265	0	0	0	0	0	0	0
314	89	30	0	0	0	0	0	0	0
318	1,250	125	132	132	0	0	0	0	0
321	272	136	0	0	0	0	0	0	0
364	0	0	853	427	0	0	0	0	0
365	408	136	972	972	0	0	0	0	0
370	135	135	0	0	0	0	0	0	0
381	0	0	0	0	324	162	0	0	0
395	0	0	2,028	1,014	0	0	0	0	0
397	0	0	0	0	3,443	689	0	0	0
398	272	136	3,011	1,506	0	0	0	0	0
401	136	136	0	0	0	0	0	0	0
509	9,848	703	777	777	0	0	0	0	0
545	137	137	0	0	0	0	0	0	0
555	0	0	0	0	44	44	0	0	0
557	0	0	0	0	91	91	0	0	0
590	0	0	0	0	504	504	0	0	0
593	110	110	0	0	0	0	0	0	0
606	0	0	0	0	22	22	0	0	0
610	1,177	392	0	0	0	0	0	0	0
637	882	221	0	0	0	0	0	0	0
652	0	0	0	0	71	71	0	0	0
653	0	0	105	105	1,293	323	0	0	0
669	0	0	0	0	1,603	534	0	0	0
670	249	249	0	0	0	0	0	0	0
674	22	22	0	0	0	0	0	0	0
685	0	0	30	30	11,413	1,902	0	0	0
686	66,111	2,644	3,900	3,900	0	0	0	0	0
690	535	535	0	0	0	0	0	0	0
1,382	987	165	0	0	0	0	0	0	0
1,402	2,586	323	0	0	0	0	0	0	0
1,424	0	0	0	0	22	22	0	0	0
1,426	0	0	0	0	28	14	0	0	0
1,440	0	0	0	0	12	12	0	0	0
1,453	0	0	185	93	0	0	0	0	0
1,458	0	0	103	103	0	0	0	0	0
1,462	1,285	321	282	282	0	0	0	0	0
1,464	0	0	0	0	71	71	0	0	0
1,465	0	0	0	0	102	102	0	0	0
1,515	0	0	618	103	0	0	0	0	0
1,516	0	0	0	0	61	61	0	0	0
1,517	0	0	0	0	692	173	0	0	0

1,522	0	0	721	103	0	0	0	0
1,526	8	4	0	0	0	0	0	0
1,528	0	0	103	103	0	0	0	0
1,530	0	0	0	0	346	173	0	0
1,534	0	0	309	103	0	0	0	0
1,549	636	106	0	0	0	0	0	0
1,554	0	0	0	0	255	128	0	0
1,558	0	0	412	103	0	0	0	0
1,694	561	187	0	0	0	0	0	0
1,735	0	0	0	0	71	71	0	0
1,742	0	0	0	0	173	173	0	0
1,753	796	265	0	0	0	0	0	0
1,766	0	0	0	0	942	157	0	0
1,797	390	195	0	0	0	0	0	0
1,809	792	198	0	0	0	0	0	0
1,810	0	0	0	0	1,171	146	0	0
1,815	0	0	0	0	34	17	0	0
1,817	0	0	0	0	173	173	0	0
1,821	918	184	141	141	0	0	0	0
1,831	0	0	21	21	0	0	0	0
1,833	1,615	323	0	0	173	173	0	0
1,958	496	33	29	29	0	0	0	0
1,992	0	0	1,293	1,293	0	0	0	0
2,018	33	33	0	0	0	0	0	0
2,023	0	0	15	15	0	0	0	0
2,028	0	0	389	389	0	0	0	0
2,038	14	14	0	0	0	0	0	0
2,039	0	0	0	0	22	22	0	0
2,041	0	0	0	0	1,454	162	0	0
2,081	14	4	4	4	0	0	0	0
2,088	0	0	0	0	213	71	0	0
2,091	0	0	7,027	1,171	0	0	0	0
2,093	0	0	0	0	6,589	388	0	0
2,101	0	0	17,329	1,155	0	0	0	0
2,105	0	0	8,354	491	0	0	0	0
2,111	0	0	3,640	520	0	0	0	0
2,114	0	0	0	0	10,689	563	0	0
2,116	0	0	0	0	3	3	0	0
2,120	0	0	49	49	0	0	0	0
2,121	180	36	0	0	0	0	0	0
2,125	0	0	4,097	683	4,537	756	0	0
2,246	0	0	0	0	392	196	0	0
2,281	0	0	0	0	237	237	0	0
2,313	33	33	0	0	0	0	0	0
2,321	0	0	0	0	504	504	0	0
2,338	0	0	0	0	1,500	188	0	0
2,341	36	36	0	0	0	0	0	0
2,370	22	22	0	0	0	0	0	0
2,376	0	0	0	0	48	48	0	0
2,377	0	0	333	333	5,646	403	0	0
2,385	33	33	0	0	0	0	0	0
2,393	0	0	0	0	2,211	276	0	0
2,407	0	0	477	159	0	0	0	0
2,409	0	0	0	0	9,873	898	0	0

Tabla 4.8: Frecuencia de patrones

Como se observa en la tabla 4.8 la frecuencia de ejecución de cada patrón de corte está relacionado con el comportamiento de la demanda de cada periodo, sin embargo el conjunto de patrones que presentan una frecuencia alta es relativamente pequeño.

El modelo matemático propuesto sirve como soporte en la toma de decisiones de la empresa. Además permite variar los parámetros como la capacidad, las penalidades, la disponibilidad de canales, entre otros. Sirve también como herramienta para analizar posibles variaciones en los costos y la demanda, siendo estos dos de los parámetros que la empresa no controla directamente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES, CONTRIBUCIONES Y TRABAJO A FUTURO

En este trabajo se presenta un modelo de Programación Lineal Entera Mixta para el problema de planeación de la producción de la industria pecuaria, este modelo ha sido probado utilizando instancias con datos reales que fueron provistos por una empresa local de nivel internacional, logrando obtener soluciones óptimas en un tiempo no mayor a cinco minutos utilizando los *software* GAMS y CPLEX. Como trabajo a futuro se modificará el modelo considerando el problema como multiperiodo con productos perecederos.

APÉNDICES

TABLAS DE RESULTADOS

Ganancia		Penalidad por producto faltante				
	Enero	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad por producto sobrante	0%	4,876,644	7,864,095	8,572,234	9,595,202	9,595,026
	25%	4,835,970	5,355,799	7,429,283	7,980,523	8,389,067
	50%	4,338,326	5,355,799	5,530,650	7,375,598	7,989,357
	75%	3,595,405	5,355,415	5,355,415	7,375,443	7,375,595
	100%	3,355,996	4,794,448	5,105,768	5,530,725	7,375,485
Método Actual:					6,184,777	

Tabla A.1: Ganancia, Enero.

Ganancia		Penalidad por producto faltante				
	Febrero	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad por producto sobrante	0%	6,183,515	7,318,687	8,550,610	9,982,247	9,961,613
	25%	5,237,050	6,910,671	6,947,998	7,900,690	8,906,959
	50%	4,313,688	6,041,740	6,462,832	6,806,138	7,674,929
	75%	4,183,443	5,273,238	6,462,042	6,462,042	7,301,884
	100%	4,184,146	5,273,940	6,419,764	6,462,745	6,539,890
Método Actual:					6,725,741	

Tabla A.2: Ganancia, Febrero.

Ganancia		Penalidad por producto faltante				
	Marzo	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad por producto sobrante	0%	5,080,964	7,428,136	9,321,054	9,321,054	9,320,790
	25%	4,923,059	6,240,320	8,265,514	9,064,153	9,064,338
	50%	4,269,413	5,970,884	7,030,721	9,034,119	9,034,297
	75%	4,269,413	5,125,190	6,539,256	7,682,063	9,034,185
	100%	4,269,546	5,125,158	6,192,897	7,031,262	8,571,785
Método Actual:					7,725,767	

Tabla A.3: Ganancia, Marzo.

Ganancia		Penalidad por producto faltante				
	Abril	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad por producto sobrante	0%	4,306,302	7,675,092	8,905,672	9,264,401	9,269,329
	25%	3,605,611	5,389,662	7,188,276	7,831,332	8,053,282
	50%	3,060,924	5,026,619	6,618,356	7,063,958	7,608,731
	75%	2,385,996	4,650,701	5,196,476	6,963,185	7,236,590
	100%	2,163,114	4,650,701	5,122,706	6,569,543	7,012,894
Método Actual:					6,094,928	

Tabla A.4: Ganancia, Abril.

Valor del Sobrante		Penalidad por producto faltante				
	Enero	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad por producto sobrante	0%	1,922,336	7,496,394	9,180,637	11,882,947	11,881,663
	25%	1,889,060	2,647,997	7,441,904	9,154,153	10,436,924
	50%	1,473,000	2,647,997	3,121,662	7,398,650	9,542,569
	75%	906,229	2,647,801	2,647,801	7,397,848	7,398,470
	100%	751,209	2,018,232	2,489,700	3,121,790	7,398,624
Método Actual:					9,508,336	

Tabla A.5: Valor del Sobrante, Enero.

Valor del Sobrante		Penalidad por producto faltante				
	Febrero	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad por producto sobrante	0%	2,092,345	4,532,041	7,564,916	11,147,336	11,147,518
	25%	1,286,938	4,185,950	4,311,802	6,985,030	10,203,982
	50%	471,726	2,811,101	3,853,027	4,909,251	7,697,498
	75%	388,022	1,491,400	3,852,619	3,852,619	6,552,498
	100%	388,741	1,492,120	3,785,962	3,853,338	4,167,647
Método Actual:					6,015,744	

Tabla A.6: Valor del Sobrante, Febrero.

Valor del Sobrante		Penalidad por producto faltante				
	Marzo	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad por producto sobrante	0%	921,304	5,162,790	9,399,619	9,399,619	9,401,106
	25%	776,697	3,205,972	7,218,719	9,144,329	9,142,759
	50%	218,613	2,635,692	4,573,403	9,114,439	9,114,536
	75%	218,613	1,257,074	3,757,109	5,887,079	9,114,361
	100%	219,355	1,257,055	3,123,027	4,572,704	7,982,313
Método Actual:					6,292,662	

Tabla A.7: Valor del Sobrante, Marzo.

Valor del Sobrante		Penalidad por producto faltante				
	Abril	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad por producto sobrante	0%	1,930,998	8,139,320	11,377,523	12,314,827	12,327,227
	25%	1,190,149	4,179,065	8,365,106	10,617,249	11,299,863
	50%	732,383	3,104,471	7,160,792	8,542,938	10,449,708
	75%	248,634	2,924,748	4,095,619	8,194,318	9,100,237
	100%	160,380	2,924,748	3,982,465	7,128,699	8,508,170
Método Actual:					5.665.214	

Tabla A.8: Valor del Sobrante, Abril.

Ganancia Real		Penalidad por producto faltante				
	Enero	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad	0%	2,954,309	367,700	-608,403	-2,287,745	-2,286,638
por	25%	2,946,910	2,707,802	-12,621	-1,173,630	-2,047,856
producto	50%	2,865,326	2,707,802	2,408,988	-23,053	-1,553,212
sobrante	75%	2,689,176	2,707,614	2,707,614	-22,405	-22,875
	100%	2,604,787	2,776,216	2,616,068	2,408,935	-23,139
Método Actual:					-3,323,558	

Tabla A.9: Ganancia Real, Enero.

Ganancia Real		Penalidad por producto faltante				
	Febrero	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad	0%	4,091,170	2,786,646	985,694	-1,165,088	-1,185,905
por	25%	3,950,112	2,724,721	2,636,196	915,660	-1,297,023
producto	50%	3,841,961	3,230,639	2,609,805	1,896,887	-22,568
sobrante	75%	3,795,422	3,781,838	2,609,423	2,609,423	749,385
	100%	3,795,405	3,781,821	2,633,803	2,609,407	2,372,243
Método Actual:					709,997	

Tabla A.10: Ganancia Real, Febrero.

Ganancia Real		Penalidad por producto faltante				
	Marzo	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad	0%	4,159,660	2,265,347	-78,566	-78,566	-80,316
por	25%	4,146,362	3,034,348	1,046,795	-80,176	-78,421
producto	50%	4,050,800	3,335,191	2,457,318	-80,320	-80,238
sobrante	75%	4,050,800	3,868,115	2,782,148	1,794,985	-80,177
	100%	4,050,191	3,868,103	3,069,870	2,458,558	589,472
Método Actual:					1,433,104	

Tabla A.11: Ganancia Real, Marzo.

Ganancia Real		Penalidad por producto faltante					
	Abril	0%	25%	50%	75%	100%	
Penalidad	0%	2,375,304	-464,229	-2,471,850	-3,050,427	-3,057,898	
por	25%	2,415,462	1,210,598	-1,176,830	-2,785,917	-3,246,581	
producto	50%	2,328,541	1,922,148	-542,436	-1,478,980	-2,840,977	
sobrante	75%	2,137,362	1,725,952	1,100,857	-1,231,133	-1,863,647	
	100%	2,002,734	1,725,952	1,140,241	-559,157	-1,495,276	
Método Actual:					429,714		

Tabla A.12: Ganancia Real, Abril.

Sobrante kg.		Penalidad por producto faltante					
	Enero	0%	25%	50%	75%	100%	
Penalidad	0%	38,395	147,884	180,786	232,721	232,690	
por	25%	37,656	51,591	146,247	178,932	203,255	
producto	50%	30,175	51,591	60,758	145,286	186,376	
sobrante	75%	20,054	51,588	51,588	145,268	145,281	
	100%	17,194	40,600	49,361	60,760	145,283	
Método Actual:					184,314		

Tabla A.13: Sobrante, Enero.

Sobrante kg.		Penalidad por producto faltante					
	Febrero	0%	25%	50%	75%	100%	
Penalidad	0%	45,587	92,988	150,562	219,679	219,686	
por	25%	30,599	84,307	86,621	136,813	199,180	
producto	50%	12,637	60,076	79,868	99,614	152,243	
sobrante	75%	10,280	34,934	79,798	79,798	130,635	
	100%	10,360	35,014	78,664	79,878	85,599	
Método Actual:					119,284		

Tabla A.14: Sobrante, Febrero.

Sobrante kg.		Penalidad por producto faltante				
	Marzo	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad	0%	27,496	117,872	208,990	208,990	209,023
por	25%	24,201	78,501	166,773	209,023	208,987
producto	50%	9,934	66,315	108,204	208,360	208,359
sobrante	75%	9,934	35,944	90,391	137,328	208,356
	100%	9,949	35,943	76,691	108,191	183,657
Método Actual:					112,502	

Tabla A.15: Sobrante, Marzo.

Sobrante kg.		Penalidad por producto faltante				
	Abril	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad	0%	50,256	180,478	248,182	267,751	268,006
por	25%	35,362	97,973	187,263	233,779	248,053
producto	50%	24,797	79,031	163,017	192,466	231,545
sobrante	75%	12,194	74,369	97,924	184,937	203,964
	100%	9,259	74,369	95,564	163,116	192,481
Método Actual:					101,551	

Tabla A.16: Sobrante, Abril.

Faltante		Penalidad por producto faltante				
	Enero	0%	25%	50%	75%	100%
Penalidad	0%	52.01	26.72	21.78	16.15	16.15
por	25%	51.94	44.45	24.58	19.90	17.09
producto	50%	58.03	44.45	42.04	24.48	18.50
sobrante	75%	66.72	44.45	44.45	24.48	24.48
	100%	69.40	49.09	44.64	42.04	24.48
Método Actual:					11.61	

Tabla A.17: Faltante, Enero.

Faltante		Penalidad por producto faltante					
	Febrero	0%	25%	50%	75%	100%	
Penalidad	0%	50.02	31.92	23.40	16.57	16.46	
por	25%	50.77	31.84	31.37	23.40	16.46	
producto	50%	60.07	37.07	30.98	27.46	19.68	
sobrante	75%	60.09	46.97	30.98	30.98	22.39	
	100%	60.09	46.97	31.30	30.98	29.79	
Método Actual:					14.05		

Tabla A.18: Faltante, Febrero.

Faltante		Penalidad por producto faltante					
	Marzo	0%	25%	50%	75%	100%	
Penalidad	0%	55.63	32.68	22.87	22.87	22.88	
por	25%	55.25	38.50	27.15	22.88	22.87	
producto	50%	59.88	41.52	33.82	22.82	22.82	
sobrante	75%	59.88	49.37	36.33	30.35	22.82	
	100%	59.88	49.37	38.82	33.82	25.28	
Método Actual:					14.22		

Tabla A.19: Faltante, Marzo.

Faltante		Penalidad por producto faltante					
	Abril	0%	25%	50%	75%	100%	
Penalidad	0%	62.56	27.27	17.30	15.45	15.43	
por	25%	67.44	41.48	23.41	16.83	15.45	
producto	50%	73.52	48.74	27.46	21.63	16.34	
sobrante	75%	79.44	48.15	40.50	22.92	20.03	
	100%	78.90	48.15	41.01	27.46	21.63	
Método Actual:					13.92		

Tabla A.20: Faltante, Abril.

BIBLIOGRAFÍA

- AHUMADA, O. AND J.R. VILLALOBOS, "Application of Planning Models in the Agri-Food Supply Chain: A review," *The European Journal of Operational Research*, 2008, Volume 196, Issue 1, 1, Pp. 1-20, July 2009
- BIXBY, A.; DOWNS, B.; SELF, M. 2006. A scheduling and capable-to-promise application for swift & company. *Interfaces*, vol. 36, 1:69-86.
- DIRK PIETER VAN DONK, (2000) "Customer-driven manufacturing in the food processing industry", *British Food Journal*, Vol. 102 Iss: 10, pp.739 – 747.
- DOGAINS, P.; SARIMVEIS, H. 2008. Mixed integer linear programming scheduling in the food industry. En: Erdôgdu, F. *Optimization in food engineering*. CRC press.
- DYCKHOFF, H. 1990. A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 44: 145–159.
- FORRESTER, J. (1961), *Industrial Dynamics*, MIT press
- GANESHAN R, JACK E, MAGAZINE MJ, STEPHENS P (1999). A Taxonomic Review of Supply Chain Management Research. In: Tayur S, Ganeshan

R, Magazine MJ (eds) Quantitative Approaches to Supply Chain Management. Kluwer, Boston et al., pp 839-879.

GOYAL, S. AND GIRI, B. (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research*, 134:1–16.

GRAVES S. C., Manufacturing Planning and Control, en Pardalos, P. Resende M. (Eds), *Handbook of Applied Optimization*, Oxford University Press, New York, 728-746, 2002.

HELPER, S.; SAHLING, F. 2010. A fix-and-optimize approach for the multi-level capacitated lot sizing problem. *International Journal of Production Economics*, vol. 123, 247-256.

HOEKSTRA, S. & ROMME, J.(EDS.) (1992), *Integral Logistic Structures: Developing Customer-oriented Goods Flow*, McGraw-Hill, London.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI),
<http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=23824>

STOKES J. R., STURDIVANT A. W., ZIARI H. A., RISTER M. E., MCCARL B. A. (1998) “Meat Packing Plant Production Planning: Application of Mixed Integer Goal Programming”, *Agribusiness*, Vol. 14, No. 3, 171-181

KANTOROVICH, L. (1960). Mathematical methods of organising and planning production (translated from a report in Russian, dated 1939). *Management Science* 6:366-422.

KARAESMEN I, SCHELLER-WOLF A, DENIZ B (2009) Managing perishable and aging inventories: review and future research directions. In: Kempf K,

Keskinocak P, Uzsoy P (eds.) Handbook of production planning. Kluwer International Series in Operations Research and Management Science, Advancing the State-of-the-Art Subseries (in press)

LEE, H.L., PADMANABHAN, V. AND WHANG, S. (1997), Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect, *Management Science* 43, 4, 546-558

LEE, H.L., PADMANABHAN, V. AND WHANG, S., (1997) "The bullwhip effect in supply chains", *Sloan Management Review*, 38 (3), pp93-102.

LÜTKE, M. (2005), *Advanced Planning in Fresh Food Industries: Integrating Shelf Life into Production Planning*, Physica-Verlag.

MARTELLO, S. AND TOTH, P. (1990). *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*. Wiley, New York.

MEULENBERG, M.T.G. & VIAENE, J. (1998), "Changing food marketing systems in western countries", in: Jongen, W.M.F. & Meulenber, M.T.G. (Eds.), *Innovation of Food Production Systems: Product Quality and Consumer Acceptance*, Wageningen Press, Wageningen (The Netherlands), pp. 8-36.

NAGARAJ, P.; SELLADURAI, V. 2002. Analysis of optimum batch size in multistage, multifacility and multiproduct manufacturing systems. *International journal of advanced manufacturing technology*, vol. 19, 117-124.

ORGANISMO DE CERTIFICACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS TIF, A.C. (OCETIF),
<http://www.ocetif.org/>

OFICINA ESTATAL DE INFORMACIÓN PARA EL DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE (OIEDRUS), <http://www.agronuevoleon.gob.mx/oeidruss/index.php>

OZTÜRK, C.; ORNEK, A.M. 2010. Capacitated lot sizing with linked lots for general product structures in job shops. *Computers and industrial engineering*, vol. 58, 151-164.

SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD INOCUIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA (SENASICA), <http://www.senasica.gob.mx/>

SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP), http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=3

SHAPIRO, J. F., “Mathematical Programming Models and Methods for Production Planning and Scheduling,” In *Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume 4, Logistics of Production and Inventory*, edited by S. C. Graves, A. H. G. Rinnooy Kan and P. H. Zipkin, Amsterdam, Elsevier Science Publishers B. V., 1993, pp. 371-443.

SILVER, E. A., D. F. PYKE, AND R. PETERSON, *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, 3rd Edition, New York, John Wiley Inc., 1998.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN E INTEGRACIÓN DE MERCADOS (SNIIM), <http://www.economia-sniim.gob.mx>

STOKES, J., H. ZIARI, M. RISTER, AND B. MCCARL, 1998. "Meat Packing Plant Product Planning: Application of Mixed Integer Goal Programming," *Agribusiness: An International Journal* 14:171-181.

THOMAS. L. J. AND J. O. MCCLAIN, "An Overview of Production Planning," In *Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume 4, Logistics of Production and Inventory*, edited by S. C. Graves, A. H. G. Rinnooy Kan and P. H. Zipkin, Amsterdam, Elsevier Science Publishers B. V., 1993, pp. 333-370.

TOWILL, D.R., EVANS, G.N. AND CHEEMA, P. (1997) "Analysis and design of an adaptive minimum reasonable inventory control system", *Production Planning and Control*, 8 (6) pp545-557.

VAN DER VORST JGAJ (2004). *Supply Chain Management: theory and practices. The Emerging World of Chains & Networks*, Elsevier.

VAN DONK, D.P. (2000) "Make to stock or make to order: the decoupling point in the food processing industries", *International Journal of Production Economics*

VOLLMAN, T. E., W. L. BERRY AND D. C. WHYBARK, *Manufacturing Planning and Control Systems*, 3rd edition, Burr Ridge Ill., Richard D. Irwin Inc., 1992.

FICHA AUTOBIOGRÁFICA