

PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA GRANJA CUNÍCOLA

GUSTAVO ADOLFO MARÍN JOAQUI
OMAR ANDRÉS RODRÍGUEZ CAICEDO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2016

PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA GRANJA CUNÍCOLA

GUSTAVO ADOLFO MARÍN JOAQUI
OMAR ANDRÉS RODRÍGUEZ CAICEDO

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero industrial

DIRECTOR
MSc. JUAN PABLO OREJUELA CABRERA

CODIRECTOR
PhD. JUAN JOSE BRAVO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI**

2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, Febrero del 2016

DEDICATORIA

A mi Dios, Padres, Tío y Abuela y a todos los que hicieron parte de mi formación y apoyo en este periodo de tiempo.

A mi padre, madre y hermanas, que siempre me apoyaron incondicionalmente y creyeron en mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios que siempre estuvo dándome la fuerza de seguir adelante día a día.

A mí Tío y Abuela por todo el tiempo, dedicación y amor que tuvieron estos años. A mis Familiares que me acompañaron y me brindaron su apoyo incondicional. A mi novia por estar en los momentos difíciles.

A mis padres y hermanas por su apoyo económico y moral.

Al profesor Juan Pablo Orejuela por su tiempo, paciencia y apoyo en la realización de este proyecto.

A mi compañero de tesis por su esfuerzo, dedicación y acompañamiento a lo largo del desarrollo del proyecto de grado.

A la Universidad del Valle por la excelente educación que imparte.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
2. OBJETIVOS	6
2.1. OBJETIVO GENERAL	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. MARCO REFERENCIAL	8
5. MARCO TEÓRICO	10
5.1. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y FLUJO DE PROCESO	10
5.2. PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN	12
5.3. INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES Y LOS MODELOS MATEMÁTICOS	14
5.4. PROBLEMA DE LA PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	16
5.5. GESTIÓN DE INVENTARIOS	17
5.6. PROBLEMA DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS Y MODELOS MÁS COMUNES	20
5.7. PROBLEMAS DE GESTIÓN DE INVENTARIOS BAJO CONDICIONES DE RIESGO	21
5.8. PRONÓSTICOS DE DEMANDA	21
6. CARACTERIZACIÓN DE PROCESO DE PRODUCCIÓN CUNÍCOLA	23
7. PROPUESTA METODOLÓGICA	39
7.1. SUPUESTOS	40
7.2. FORMULACIÓN DEL MODELO	41
7.2.1. Parámetros	41
7.2.1.1. Parámetros de producción	41
7.2.1.2. Parámetros de Sacrificio	41
7.2.1.3. Parámetros de Precios	42
7.2.1.4. Parámetros de Costo	42
7.2.1.5. Parámetros de Demanda	43
7.2.2. Variables De Decisión	43
7.2.3. Conjuntos	47
7.2.4. Función Objetivo	48
7.2.5. Restricciones	51
7.3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO	59
8. CASO ESTUDIO	74
8.1. OBJETIVO	74
8.2. DATOS	74
8.2.1. Porcentaje En Peso De Cortes Por Canal.	74
8.2.2. Demanda	75
8.2.3. Precios De Producto Entero y Particionado.	76
8.2.4. Costos de Producción de Carne a lo Largo de Sistema de Producción Cunícola	77
8.2.4.1. Costos de Alimentación	77

8.2.4.2.	Costos de Mano de Obra, Costos de Transformación y Otros Costos	80
8.2.4.3.	Costos Mantener Inventario	80
8.2.4.4.	Costos de Distribución a Minorista	81
8.2.4.5.	Costos de Transformación Acumulado	81
9.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	82
9.1.	IMPLEMENTACIÓN	82
9.2.	MODELO MATEMÁTICO EN LINGO	82
9.3.	RESULTADOS INICIALES	82
9.4.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	86
9.4.1.	<i>Escenario 1: Variaciones de la Demanda</i>	86
9.4.2.	<i>Escenario 2: Variación de Costos de Alimentación, Mano de Obra, Otros Costos y Transformación</i> 88	
9.4.3.	<i>Escenario 3: Variaciones en los Precios de la Carne.</i>	89
9.4.4.	<i>Escenario 4: Variaciones del Peso vivo de las Especies</i>	90
10.	CONCLUSIONES.....	92
	BIBLIOGRAFÍA	94
	ANEXOS	97
A.	PARÁMETROS DE DEMANDA	97
B.	MODELO MATEMÁTICO EN LINGO	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consumo medio diario de alimento concentrado y agua por conejas reproductoras de razas medianas según la etapa de producción.....	27
Tabla 2. Comparación entre ciclos de producción elegidos.....	31
Tabla 4. Peso óptimo alcanzado para cada tipo de producto con su correspondiente rendimiento en canal.	33
Tabla 5. Porcentaje de participación de cada tipo de corte k en cada tipo de carne.	74
Tabla 6. Precio de producto entero y todas sus particiones en estado refrigerado.	77
Tabla 7. Precio de producto entero y todas sus particiones en estado congelado.....	77
Tabla 8. Costo de mano de obra, costos de transformación y otros costos.....	80
Tabla 9. Costos de mantener el producto refrigerado o congelado.....	80
Tabla 10. Costos de producción total para cada tipo de producto	81
Tabla 11. Costos acumulados de transformación para cada tipo de producto.	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planeación y control de la producción (Sipper D., Bulfin R. 1998. Pág. 9).....	11
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de producción cunícola.	23
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de producción cunícola para el caso estudio.....	25
Figura 4. Diferentes cortes que salen del conejo. (2015). Recuperado de: http://www.grupohermi.com/productos/despiece/	37
Figura 5. Tiempo de sacrificio de cada tipo de producto.....	60
Figura 6. Tiempo de sacrificio e introducción de las hembras reproductoras.	62
Figura 7. Tiempo de sacrificio para hembras y crías con la posible distribución del cumplimiento de la demanda de producto refrigerado.	64
Figura 8. Cumplimiento de la demanda con la posible distribución de los tiempo de sacrificio que cumple su tiempo en el refrigerador.....	65
Figura 9. Distribución de la demanda en el tiempo, para encontrar la cantidad de carne congelada.	67
Figura 10. Distribución de los posibles sacrificios que pueden cumplir la demanda.....	68
Figura 11. Consumo semanal de carne de conejo según el polígono alimentario de Madrid.	76
Figura 12. Composición de costos de la cadena de producción cunícola.(2015). Recuperado de: http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los- alimentos/ESTUDIOCONEJO10_tcm7-217827.pdf	79
Figura 13. Ingresos según el tipo de venta realizada.	82
Figura 14. Producción total de carne.	84
Figura 15. Ventas de producto particionado tanto congelado como refrigerado.....	84
Figura 16. Ventas por tipo de carne.	85
Figura 17. Sobrante clasificado por cada tipo de corte.....	86
Figura 18. Comportamiento de la función objetivo, costos e ingresos ante variaciones de la demanda.	87
Figura 19. Comportamiento de la función objetivo, costos e ingresos ante la variación de costos de mano de obra, transformación y otros costos.....	89
Figura 20. Comportamiento de la función objetivo, costos e ingresos ante la variación de los precios de todos los tipos de carne.....	90
Figura 22. Comportamiento de la función objetivo, costos e ingresos ante la variación del peso vivo de cada especie.....	91

LISTA DE ANEXOS

A. 1. Demanda de producto entero refrigerado.....	97
A. 2. Demanda de producto entero congelado.....	97
A. 3. Demanda de producto particionado refrigerado.....	98
A. 4. Demanda de producto particionado congelado.....	99
 B. 1. Modelo matemático en lingo.....	 100

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo la humanidad ha tratado de mejorar sus diversos sistemas de producción mediante el uso eficiente de los recursos, esto con el fin de acercarse a resultados óptimos que contribuyan a un mayor beneficio.

Dentro de los procesos o actividades sobre las cuales se puede aplicar la ingeniería, se encuentran diversidad de procesos productivos, en los que se debe aplicar una estricta planeación y control para alcanzar resultados óptimos, tarea que se torna cada vez más difícil de realizar eficientemente debido a la creciente complejidad de los procesos productivos y a la variabilidad de la demanda, esto último lo ocasiona variaciones en el nivel deseado de inventarios que afectan el rendimiento y rentabilidad del sistema.

Para la industria cunícola, productora de carne de conejo y demás subproductos, además del problema común de la administración de los inventarios hay que considerar también la obsolescencia del producto debido a su condición perecedera, así como las particularidades y hábitos del animal, todo esto con el objetivo de mantener un equilibrio óptimo entre el nivel de inventario disponible para cumplir con los requerimientos del cliente y el nivel de inversión asociado a este.

Similar como se describe en Sanabria (2012), los procesos productivos en la industria cunícola abarcan desde la fecundación y gestación de los conejos, hasta la venta de los productos y subproductos derivados al consumidor final. Una vez concluido el proceso de gestación sigue el proceso de cría y posterior a este el engorde, el cual dura hasta que el conejo alcance un peso

óptimo; hasta este punto el producto se puede clasificar como no perecedero. Cuando la granja es la misma que provee las especies reproductoras, antes de la etapa de engorde se separa una camada para ser destinada a pie de cría. El proceso que sigue a continuación es el rastro, en el cual el animal es sacrificado y preparado para su procesamiento; en esta etapa del proceso el producto adquiere la condición de perecedero. Al cuerpo del animal sacrificado y eviscerado se le denomina canal, la cual es transportada a una planta empacadora de cárnicos en donde se despieza hasta obtener los productos demandados, los cuales finalmente se distribuyen a los supermercados o minoristas para ser puestos a disposición del consumidor final.

De acuerdo a lo mencionado y teniendo en cuenta el gran potencial de explotación de la industria cunícola en Colombia (López, 2013), se plantea la tarea de elaborar un modelo de programación matemática que represente el proceso productivo cunícola desde la entrada de los primeros ejemplares reproductores al proceso hasta la obtención de la canal, el cual sirva de apoyo para la toma de decisiones en cuanto a planeación y contribuya a la mejora de la eficiencia del proceso productivo mediante la determinación de un plan de producción óptimo que cumpla con las especificaciones dadas.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La actividad cunícola debe tener en cuenta ciertos factores que afectan los resultados del proceso productivo como lo son: el potencial genético de los animales de cría, una adecuada alimentación y nutrición, el medio ambiente o las condiciones ecológicas controladas, y un estado sanitario satisfactorio (Castaño, 1992).

En el caso del potencial genético se debe asegurar la conservación de las cualidades de la raza mediante una adecuada rotación del pie de cría con el fin de evitar cruces de consanguinidad que repercutan en la calidad de los conejos y las canales (Los Alisos, 2006), esto es, controlar la aptitud reproductora de la hembra, los caracteres que inciden en la fecundidad y fertilidad de los machos tales como la calidad del esperma, y las características de crecimiento y calidad del producto final de la descendencia. Entre los factores mencionados anteriormente, la fertilidad y los índices de lactancia y crecimiento son factores de especial cuidado si se desea un plan de producción eficiente, ya que la tasa de fertilidad posee características propias dependiendo si el animal es hembra o macho (Molinero, 1980), lo cual permitiría controlar la cantidad de gazapos por cada fecundación que se haga; de la misma manera el índice de lactancia puede ayudar a determinar el número de especies que podrán continuar a la siguiente fase del proceso productivo y el índice de crecimiento ayudar a determinar la evolución que ha tenido físicamente el animal. Se puede apreciar entonces que dichos factores inciden en la cantidad de conejos que permanecen en cada instancia del proceso, por lo que una adecuada gestión de ellos contribuiría a la obtención de resultados óptimos durante el mismo.

El alimento es la materia prima que se proporciona al animal para crecer, producir carne, pelo, leche y nuevas crías. Los nutrientes que deben incluirse son proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales (Herrera, 2003), estos factores permiten estimar cómo se desarrollan las especies a medida que avanza el tiempo, dado que un buen nivel de proteínas asegura una ganancia de peso a través del aumento de masa muscular y tejidos del cuerpo; los carbohidratos y las grasas harán posible determinar su tasa de crecimiento y la producción de leche, que son factores de gran importancia para determinar el tiempo en el cual se desarrollara una especie con las condiciones deseadas, permitiendo así estimar la subsistencia de los gazapos desde su nacimiento hasta pasar a la etapa de engorde; las vitaminas y los minerales contribuyen al crecimiento adecuado de las especies. Estos cuatro aspectos controlados de manera eficiente son de ayuda para controlar de una manera u otra el crecimiento, la ganancia de peso, producción de leche y asegurar un cierto nivel de calidad de la canal.

Además de los factores mencionados anteriormente, la planeación de la producción en la industria alimenticia implica tener en cuenta aspectos relevantes en su gestión como lo es el limitado tiempo de vida de los productos terminados, en el caso de la industria cunícola, la condición perecedera que adquiere la carne de conejo a partir del proceso de rastro, lo cual sumado a la variabilidad de su demanda hace que la planeación eficiente de la producción para este sector sea una tarea compleja que debe tener en cuenta no sólo factores de rendimiento del sistema sino también de calidad e inocuidad de los productos, los cuales serán destinados para el consumo humano.

Se puede observar entonces la presencia de variedad de inventarios durante el proceso productivo, lo cual implica unos costos asociados tanto a su nivel como a su naturaleza afectando de una u otra

forma al rendimiento y eficiencia del proceso. Como se afirma en Vidal (2006), la mayoría de las veces el nivel de inventarios a mantener depende tanto de la naturaleza de la organización como de la consideración que haga la compañía de sus ventajas y desventajas.

Surge entonces la necesidad de equilibrar la producción e inventarios en las etapas en los cuales se tienen conejos vivos con la etapa de sacrificio en donde se tienen conejos procesados, ya que la carne fresca se encoge, pierde peso y es rápidamente atacada por bacterias del aire, de las manos y de la ropa, en donde la proliferación de bacterias aumenta con la temperatura y la humedad (Veall, 1997).

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Diseñar un modelo matemático que optimice un plan de producción cunícola, con el propósito de facilitar la toma de decisiones en cuanto a planeación de especies vivas y sacrificadas a tener durante el proceso.

2.2.Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema de producción cunícola haciendo énfasis en la planeación de la producción con el propósito de identificar los principales factores que la afectan.
- Identificar las principales relaciones y criterios de decisión con el propósito de definir las restricciones y la función objetivo del modelo.
- Validar el modelo propuesto mediante un caso de estudio para el sistema de producción cunícola con el propósito de realizar un análisis de sensibilidad.

3. JUSTIFICACIÓN

“Un plan de producción viable es aquel que satisface la demanda dada sobre 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 tecnológicas del proceso mismo” (Sanabria, 2012). En este sentido con la implementación del modelo se busca proporcionar una herramienta que permita reducir el tiempo de planificación y a su vez sugiera un plan de producción viable que contribuya a la mejora de la eficiencia y utilidad del sistema productivo. Además, el desarrollo y aplicación de un modelo de planeación de la producción para un sistema productivo específico permitiría tomar decisiones tácticas y operativas de una forma rápida y confiable.

Por otro lado, en Colombia a pesar de la actual insipiente del sector cunícola, este sector de la industria se perfila como un negocio prometedor y con todo un potencial por explotar, por lo cual el desarrollo e implementación de este tipo de tecnologías contribuiría tanto a la facilitación de la toma de decisiones en el proceso productivo, como al incremento de la competitividad y crecimiento económico de las empresas pertenecientes a este sector. Además, el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción unidas a estímulos como el crédito y el apoyo a la función empresarial, ayudarían a incentivar el crecimiento del sector permitiendo suplir las necesidades de proteína y energía de la población (Castaño, 1992).

4. MARCO REFERENCIAL

En Ordoñez (2013) se plantea un modelo de programación lineal entera para la gestión de inventarios de productos cárnicos derivados del cerdo, en donde se consideran costos de obsolescencia y faltantes, cuyo objetivo es determinar la cantidad óptima de pedido que maximice la utilidad en un punto de venta de carne de cerdo. Para el manejo del costo de obsolescencia se plantea una función del precio, el cual va decreciendo a medida que el producto permanece mayor tiempo en inventario.

Un modelo matemático basado en programación lineal entera mixta (PLEM) es presentado en Sanabria (2012), el cual representa el sistema de producción de una planta procesadora y empacadora de cárnicos. El objetivo del modelo consiste en determinar de forma óptima tanto el número de canales a procesar, como el conjunto de patrones de corte que mejor se adapte al comportamiento de la demanda de los productos. El modelo difiere de otros que actualmente se encuentran en la literatura (Whitaker & Cammell, 1900), (McCarl, Rister, Stoke, Sturdivant, & Ziari, 1998) y (Bixby, Downs, & Self, 2006), en la consideración de características como los costos derivados por una mala sincronización entre la producción y la demanda (Sanabria, 2012).

En Sánchez R. et al. (2012) se desarrolla un modelo de programación lineal entera para planificar la producción de bayas congeladas, en el cual se considera la naturaleza perecedera del producto, las fluctuaciones del mercado en cuanto a disponibilidad de fruta, capacidades de almacenamiento y los requerimientos de recursos del proceso y cuyo objetivo es disminuir las pérdidas por deterioro y minimizar los costos operativos en las plantas de embalaje. En el modelo se plantea una función

objetivo de maximización de utilidad en la cual se tiene en cuenta costos de producción, mantenimiento de inventarios y transporte.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Sistemas de producción y flujo de proceso

Un sistema de producción es un conjunto de procesos relacionados entre sí que transforman insumos en productos o servicios con valor inherente.

En los sistemas productivos orientados a servicios, los insumos y productos pueden ser intangibles (como la información), generalmente su producción no puede realizarse anticipadamente y los inventarios se asocian principalmente a la mano de obra y a los trabajos en curso.

Los sistemas de manufactura generalmente emplean y producen bienes tangibles, los cuales pueden ser fabricados anticipadamente y ser susceptibles de almacenamientos en inventario. El proceso de manufactura es la esencia de cualquier sistema de producción de bienes, el cual comprende dos elementos fundamentales distribuidos a lo largo de la ruta del proceso y cuya interacción entre ellos no se muestra, que son, el flujo físico de materiales, el cual es tangible y fácil de rastrear, y el flujo de información, el cual es intangible y difícil de rastrear.

Un modelo general de flujo físico comprende el recorrido del material desde el proveedor al sistema de producción, en donde este es almacenado inicialmente como inventario de materia prima para luego ser procesado en la planta, en la cual puede seguir distintas rutas de procesos según el producto que se desee obtener.

Mientras el material está siendo procesado en la planta, por los diferentes procesos que componen el sistema productivo, se cataloga como inventario de trabajo en proceso. Cuando finalmente se obtiene el producto deseado este entra a ser parte del inventario de producto terminado, el cual se emplea para satisfacer la demanda de dicho bien y es distribuido al cliente, ya sea por medio de centros de distribución o almacenes.

Un sistema de información de la producción comprende una base de datos común que soporta los procesos y funciones del sistema productivo, regidos por el principio de integración de la información. En la Figura 1, se puede apreciar un ejemplo de los componentes de un sistema de información genérico.



Figura 1. Planeación y control de la producción (Sipper D., Bulfin R. 1998. Pág. 9).

En las compañías, dependiendo la variedad de productos que se ofrezcan, la complejidad de los flujos físicos y de información puede ser mayor a medida que esta aumenta. El área de producción debe decidir cuándo y cuánto producir de cada uno de los diferentes productos ofrecidos, se deben gestionar las materias primas y componentes en una cantidad y calidad adecuadas, coordinar la entrega a tiempo del producto teniendo en cuenta los tiempos de procesamiento y transporte, y se debe gestionar su almacenamiento, teniendo en cuenta tanto las capacidades de la bodega como el tipo de producto a almacenar.

De esta manera se puede tener una idea general de la complejidad de un sistema productivo, en donde el personal, los procesos y los materiales se deben coordinar para asegurar la calidad y entrega de un producto buscando siempre minimizar el costo.

5.2. Planeación y control de la producción

La planeación y control de la producción integra el flujo físico de materiales usando la información del sistema a través de bases de datos. Su actividad inicia con el pronóstico de la demanda de los clientes y el establecimiento de un plan de ventas que permita satisfacer dicha demanda.

La planeación estratégica o de largo plazo, cubre un horizonte de planeación de uno a varios años en el futuro y comprende elementos asociados a la planta misma, como su ubicación y capacidad. Se debe decidir en donde instalar la planta, teniendo en cuenta elementos como la distancia a los proveedores, a los clientes y los costos de mantenimiento de la misma en determinada región. La planeación estratégica de la capacidad asegura que la capacidad de la planta será adecuada para soportar el plan de producción de largo plazo destinado a cumplir con la demanda futura y puede incluir equipo, personal y materiales.

La planeación táctica o también conocida como planeación agregada, comprende un horizonte de planeación de mediano plazo, es decir, periodos de tiempo de un mes a un año, en donde se conforman familias de productos y se consideran las principales variables de decisión y restricciones del sistema productivo. En esta etapa se busca optimizar la capacidad de producción teniendo en cuenta los niveles de inventarios, la disponibilidad de recursos y los pronósticos de demanda, en donde la calidad de la información recolectada es fundamental para asegurar la eficiencia del plan de producción, siendo recomendable por ello la elaboración de planes agregados sobre procesos estandarizados.

La planeación de la producción convierte los pronósticos de demanda en el plan maestro de producción, el cual considera la disponibilidad global de capacidad y materiales, (Sipper, Robert, & Baifin, 1998). En este nivel se establecen decisiones operativas respecto a los periodos,

productos y cantidades a fabricar, generalmente para un horizonte de planeación de un año, en donde se desagrega el plan agregado de producción en productos específicos y no en familias. El plan maestro puede ser susceptible de ajustes, por lo cual se debe establecer un criterio de flexibilidad para el horizonte de planeación en donde se puedan hacer modificaciones al plan para ajustarse a los cambios de la demanda.

La planeación detallada de la producción o planeación operativa, comprende un horizonte de planeación de corto plazo, el cual cubre periodos de tiempo que van desde días, inclusive horas, a semanas o hasta un mes, en donde se determina la capacidad de cada centro de trabajo y se realiza una planificación de los componentes que conforman el producto, traduciendo el plan maestro de producción en requerimientos reales de materiales, tiempo y cantidades mediante el Plan de Requerimientos de Materiales.

Finalmente se realiza una programación de la producción en un horizonte de tiempo dado en días, horas y minutos, en la cual se ajustan las operaciones al personal y maquinaria en específico con el fin de cumplir las metas de demanda según la capacidad disponible. La forma de efectuar las diferentes etapas de planeación dependerá en gran medida del enfoque del sistema productivo que se tenga.

Entre las diversas técnicas empleadas en la formulación de un plan de producción se puede encontrar la programación lineal, las reglas de decisión por búsqueda, la programación por objetivos, la programación dinámica y los métodos heurísticos.

5.3. Investigación de operaciones y los modelos matemáticos

La Investigación de operaciones permite abstraer la realidad por medio de diseños de modelos, en su mayoría matemáticos, mediante los cuales se busca obtener soluciones óptimas a los problemas para obtener un aprovechamiento máximo de los recursos.

El uso de modelos matemáticos permite facilitar la toma de decisiones complejas, ya que mediante ellos se pueden definir con precisión los objetivos, los elementos del problema y su interrelación por medio de restricciones, permitiendo una evaluación sistemática de las alternativas y facilitando los análisis de sensibilidad.

Programación lineal

La programación matemática es una de las técnicas de modelado más eficaces usadas por la investigación de operaciones en el proceso de toma de decisiones, dentro de la cual encontramos la programación lineal, que representa un área de gran interés e importancia en el campo de la matemática aplicada.

La programación lineal se enfoca en la planeación de recursos limitados en donde la función objetivo y las restricciones del problema son de carácter lineal, buscando la mejor forma de asignar dichos recursos a las diferentes actividades que compiten por ellos.

La linealidad implica el cumplimiento de dos propiedades, que son la proporcionalidad y la aditividad.

“La proporcionalidad requiere que la contribución de cada variable de decisión en la función objetivo, y sus requerimientos en las restricciones, sea directamente proporcional al valor de la variable” (Taha, 2004). Esta propiedad deja de cumplirse, por ejemplo, en

casos donde se ofrecen descuentos por cantidad, ya que la utilidad deja de ser proporcional a las cantidades producidas.

“La aditividad estipula que la contribución total de todas las variables en la función objetivo y sus requerimientos en las restricciones, sean la suma directa de las contribuciones o requerimientos individuales de cada variable” (Taha, 2004). Esta propiedad deja de cumplirse en casos donde hay productos que compiten por una misma cuota de mercado, ya que el aumento en las ventas por parte de un producto implica la disminución en ventas del otro.

Los modelos de programación lineal, al igual que cualquier modelo de investigación de operaciones, comprende cuatro componentes básicos para hallar una solución factible a un problema de optimización, los cuales son:

1. Los parámetros o conjunto de datos del problema.
2. Las variables asociadas al problema, junto con sus dominios respectivos de definición, las cuales indican las decisiones que se deben tomar.
3. Las restricciones que se deben satisfacer, las cuales son un conjunto de ecuaciones e inecuaciones que definen el conjunto factible de soluciones mediante la restricción de los valores que pueden tomar las variables de decisión. Se le denomina conjunto de soluciones factibles a los valores de las variables de decisión que satisfagan todas las restricciones del modelo.

4. La función objetivo del problema, la cual cuantifica el costo/beneficio de las soluciones y establece un criterio de selección que permita elegir la mejor solución del conjunto factible de soluciones

La correcta definición de las variables de decisión es un paso fundamental en el desarrollo del modelo, ya que esta incide en la complejidad de la construcción de las restricciones y la función objetivo del modelo.

5.4. Problema de la planeación de la producción

El problema de la planificación de la producción consiste en la producción de un bien con una demanda asociada, la cual puede ser constante o variable con el tiempo, y en donde el problema admitirá diversas opciones que aseguren el cumplimiento de la misma, tales como la producción variable y la producción constante.

En la producción variable, el fabricante puede producir por cada instante de tiempo la cantidad exacta de producto demandado, sin embargo, este tipo de producción es poco eficiente, debido al alto costo de mantener horarios de producción más largos y de disponer una mayor cantidad de personal, maquinaria y/o equipo en temporadas de producción alta; y a los costos asociados al tiempo ocioso del personal y maquinaria en temporadas de producción baja.

En la producción constante, el fabricante produce la misma cantidad de producto por cada instante de tiempo, almacenando el exceso de producción en las temporadas de baja demanda y luego usándolo para compensar las necesidades de producción en los periodos de mayor demanda. En este tipo de producción los inventarios juegan un papel muy importante, ya que inciden

directamente en el costo de almacenamiento del producto y su mantenimiento se puede volver indeseable especialmente durante largos periodos de tiempo.

El objetivo del problema es determinar un plan de producción que maximice los beneficios, considerando los costos de variación en la producción y el costo de mantenimiento de los inventarios (Castillo, Conejo , Pedregal , García, & Alguacil, 2002).

En este tipo de problemas intervienen cuatro elementos fundamentales que son:

- los parámetros o datos, los cuales comprenden elementos como el horizonte de planeación o número de periodos de tiempo a considerar, el inventario inicial disponible, la capacidad máxima de almacenamiento, la demanda del producto, el precio de venta, el coste de producción y el coste de almacenamiento, por cada periodo de tiempo.
- las variables de decisión, que incluyen elementos como el número de unidades a producir y a almacenar en cada periodo de tiempo.
- las restricciones, como capacidad máxima de almacenamiento, las interrelaciones entre los niveles de inventario inicial y final, la cantidad producida y demandada para cada periodo de tiempo.
- La función a optimizar, la cual generalmente apunta a maximizar el beneficio, ya sea por medio de la minimización de costos, como el de almacenamiento o bien sea por la maximización del ingreso descontando los costos de variación de la producción y de los inventarios.

5.5. Gestión de inventarios

Los principales factores que intervienen en un problema de gestión de inventarios son:

- La demanda y el tiempo de suministro o Lead Time, el cual es el periodo de tiempo que transcurre entre la solicitud del pedido y su llegada a la planta. Estos factores pueden ser clasificados según el conocimiento que se tenga sobre los mismos, los cuales pueden ser conocidos con seguridad o supuestos como tal (condiciones de certeza), conocidos mediante su distribución de probabilidades (condiciones de riesgo) o totalmente desconocidos (condiciones de incertidumbre).
- El tipo de decisión, que puede ser única o repetitiva. En las decisiones únicas no se ejerce un efecto considerable en las decisiones posteriores, para las cuales tan solo se requiere de un análisis estático, a diferencia de las decisiones repetitivas, las cuales si afectan notablemente las decisiones tomadas en los periodos siguientes y para las cuales se requiere de un análisis dinámico. En el caso de decisiones repetitivas, la mayoría de problemas de gestión de inventarios apuntan a la solución de dos preguntas fundamentales que son, la cantidad de producto a solicitar en cada orden y cuando debe ser solicitada.
- Los diferentes costos asociados a la solicitud, mantenimiento y desbalance de inventarios respecto a la demanda. Entre estos costos encontramos:
 - Costo de adquisición o de compra de cada unidad del bien a almacenar. Para un comerciante corresponderá al valor del bien pagado al proveedor incluyendo fletes y demás costos. Para productores, generalmente se opta por medir el valor real del capital invertido en el ítem hasta que se convierte en bien final o componente para otro proceso y rara vez se emplea el valor en libros del mismo. (Vidal, 2005)
 - Costo de emisión del pedido o de ordenar, el cual se considera fijo e independiente de la cantidad solicitada. Corresponde al costo de procesamiento, transmisión, manejo y compra de la orden.

- Costo de posesión o de mantener el inventario, el cual comprende los costos de almacenamiento y manejo asociados a la operación de la bodega, incluyendo tanto personal como las operaciones realizadas por los mismos; el costo del espacio utilizado, el cual corresponde al canon de arrendamiento por periodo de tiempo cuando el espacio es alquilado, o a los costos fijos y de operación del espacio utilizado cuando este es propio; el costo de capital o de oportunidad que supone tener recursos financieros inmovilizados por la tenencia de inventarios y el cual representa la mayor proporción de los costos de mantener el inventario; los costos de seguros e impuestos los cuales dependen del valor del inventario disponible y los costos de riesgo, que comprenden la obsolescencia, deterioro y/o depreciación sufrida por los inventarios durante su tiempo de almacenamiento. (Ballou, 1999)
- Costo de ruptura o faltantes, que representan los costos incurridos por la compañía cuando la demanda supera la oferta, como es el caso de la falta de insumos para producir o la falta de producto terminado para satisfacer la demanda de los clientes. Generalmente se expresa como un porcentaje del costo del ítem y se pueden incurrir en tres distintas situaciones ante la ocurrencia de este evento, tales como: generación de una orden pendiente, para lo cual se emprenden acciones logísticas y productivas adicionales para cumplir el pendiente y las cuales pueden ser relativamente fáciles de medir, pero también se debe tener en cuenta que debido a la no satisfacción del servicio se puede deteriorar la imagen que percibe el cliente de la compañía y perderlo, lo cual no es nada fácil de estimar; la pérdida de la venta, en donde se puede emplear la utilidad dejada de percibir como el costo del faltante o finalmente una combinación de ambas.

- Costo de sobrealmacenamiento o excedentes, que representan los costos incurridos por la compañía cuando la oferta supera la demanda y se generan excedentes, los cuales pueden ser muy importantes en casos de productos perecederos en donde el producto deteriorado se puede perder totalmente o vender a precio de desecho.

5.6. Problema de la gestión de inventarios y modelos más comunes

Usualmente en los problemas de gestión de inventarios de decisiones repetitivas, se requiere saber la respuesta a dos interrogantes fundamentales que son la cantidad de pedido Q a solicitar en cada orden de compra y el momento en que se debe solicitar la misma, una de las cuales será considerada prioritaria según las características específicas del problema a abordar.

En los **modelos de cantidad fija de pedido**, la prioridad está en determinar la cantidad constante Q a solicitar en cada orden de compra, para los cuales se toman como costos representativos los de ordenar y el de mantener el inventario. En cuanto mayor sea el tamaño de Q , menor será el número de pedidos a realizar durante el horizonte de planeación y por ende menor será el costo de ordenar. Pero por otro lado, el costo de mantener el inventario aumenta, ya que al aumentar el tamaño de Q , la cantidad de producto almacenado en inventario por unidad de tiempo también será mayor. Considerando estos dos costos, opuestos entre sí, como los únicos que intervienen en este modelo, el costo total vendría dado por la suma de ambos y el tamaño de lote óptimo Q^* (o lote económico) corresponderá al punto que minimiza la función de costo total.

El pedido se realiza cuando el nivel del inventario alcanza cierto punto (punto de pedido), el cual generalmente está en función del tiempo de suministro (tiempo que tarda en llegar el pedido desde que se solicita) y del periodo de reaprovisionamiento (tiempo que tarda en consumirse un lote Q^*)

En los modelos de periodo fijo, la prioridad está en determinar el periodo de tiempo constante T que separa la emisión de dos pedidos sucesivos. Al igual que en el modelo de cantidad fija de pedido, se consideran representativos los costos de ordenar y mantener el inventario, en donde su suma conformará el costo total y el valor óptimo del período de gestión T^* corresponderá al valor de T que minimice el costo total. Así pues, se emitirá una orden de compra cada vez que transcurra el periodo de tiempo T^* . La cantidad de pedido Q a solicitar en cada orden, dependerá del nivel máximo de inventarios (NMS) calculado para el horizonte de planeación y el cual es definido como el inventario requerido para satisfacer la demanda durante T^* más el tiempo de suministro, en donde Q corresponderá al NMS menos el inventario existente en el momento de realizar el pedido. (Machuca, 1990)

5.7. Problemas de gestión de inventarios bajo condiciones de riesgo

Cuando la demanda o el tiempo de suministro son variables aleatorias se deberá trabajar con valores representativos de las mismas, como la media, la mediana, etc., lo cual implica una probabilidad de error asociada que afecta directamente el nivel de servicio que se desea ofrecer. Para compensar estos errores se determinan los inventarios de seguridad, que actúan como colchón ante fluctuaciones de los valores reales de las variables por encima de los valores tomados como representativos de las mismas.

5.8. Pronósticos de demanda

Los sistemas de pronósticos son una herramienta fundamental para el mejoramiento de la competitividad y el cumplimiento de las metas. Ningún pronóstico de demanda será acertado, ya que no tenemos certeza de cómo se comportará el mercado en el futuro, más si es una herramienta que permite estimar dicha realidad, con un mayor o menor grado de precisión, dependiendo el comportamiento de la demanda y el tipo de pronóstico utilizado.

Un error del pronóstico es la desviación que presenta el pronóstico respecto al dato real, el cual resulta imprescindible conocerlo y realizarle un seguimiento, para determinar la conveniencia del modelo, la necesidad de realizar ajustes a los parámetros o en su defecto, cambiarlo.

Los errores del pronóstico sirven como un medio para balancear los inventarios mediante la estimación de la variabilidad de la demanda y de los inventarios de seguridad

Según Vidal (2005), entre los distintos métodos de pronósticos se encuentran:

- Cualitativos, los cuales son esencialmente subjetivos y se emplean cuando no hay datos históricos.
- Series de tiempo, los cuales son métodos estadísticos basados en datos históricos de demanda.
- Causales, los cuales establecen una alta correlación entre el pronóstico y factores externos.
- Simulación, los cuales suelen combinar los métodos de series de tiempo con pronósticos causales.
- Combinación de los anteriores, los cuales poseen un alto nivel de potencial y efectividad.

Es fundamental tener en cuenta que lo que se pretende pronosticar es la demanda y no las ventas, en ese sentido, el pronóstico debe tener en cuenta en sus datos tanto las ventas realizadas como la demanda no servida por falta de producto, esto debido a que el no tener en cuenta esta última pronosticaríamos menos cantidad de producto y la desviación estándar del pronóstico sería mayor.

6. CARACTERIZACIÓN DE PROCESO DE PRODUCCIÓN CUNÍCOLA

Proceso de producción cunícola

A lo largo del sistema de producción cunícola intervienen una diversidad de factores que afectan la obtención de carne, por lo tanto se los debe tener en cuenta en un plan de producción, para poder controlar los recursos que se necesitan y obtener los resultados deseados. A continuación en la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo en donde se puede apreciar en términos de semanas (semana vencida) cada etapa productiva con algunos de los parámetros que afectan las diferentes fases de producción.

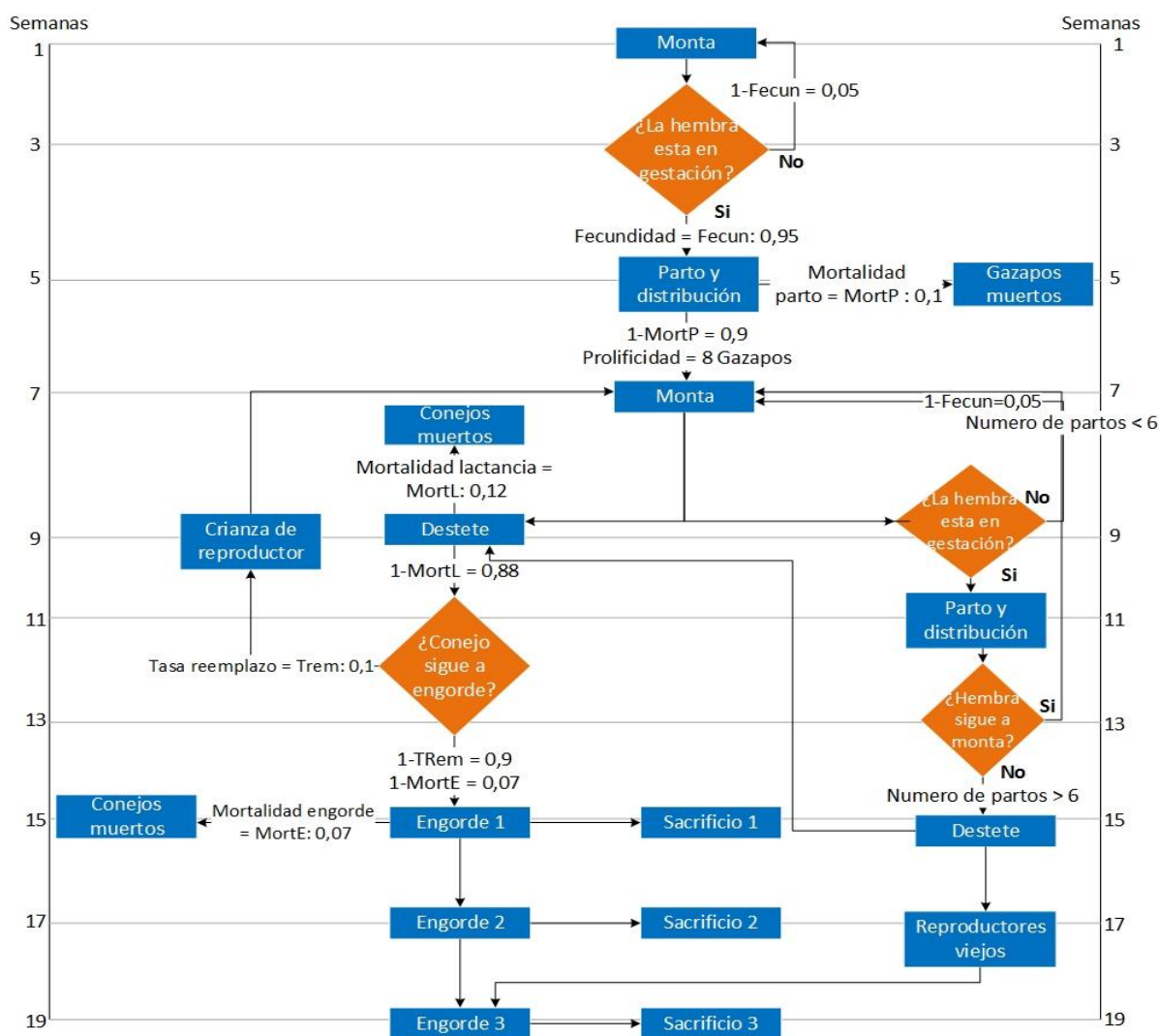


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de producción cunícola.

Como se puede observar la Figura 2, el proceso inicia por la monta o también denominado cubrición en el cual se introduce a una jaula una hembra reproductora para que un macho reproductor fecunde a esta y pueda entrar en un estado de gestación, una vez haya pasado la etapa de monta dos semanas después se incide en la verificación del estado gestante, donde se inspecciona a la hembra reproductora mediante una palpación manual para determinar el estado de los fetos, si estas no contienen en su interior las crías se devuelven a la etapa de cubrición. Al finalizar la cuarta semana las crías nacen y se hace un balance, que consiste en que las hembras queden con el mismo número de crías. En la sexta semana la hembra reproductora se encuentra lactando pero también es su periodo de fertilidad donde es ideal hacer la cubrición, por lo tanto se considera que la hembra se encuentra en gestación y lactancia, en la novena semana las crías se separan de la madre para seguir en la etapa de engorde y la hembra continua en su estado gestante, posteriormente las crías son sacrificadas al cumplir su edad sacrificio que oscila entre 15-16 semanas para carne tipo parrilla, 17-18 carne tipo freír y 19 carne para hornear. Por otro lado la hembra reproductora al terminar el periodo de lactancia se encuentra en la segunda semana de gestación, por lo tanto en la décima semana debe ser su segundo parto y dos semanas después se vuelve a hacer la cubrición lo que significa que la hembra reproductora no descansa sino que entra ciclo reproductivo que tiene que cumplirlo 6 veces, es decir que tiene 6 partos y luego pasa a ser sacrificada y esa carne se clasifica como carne para hornear.

En la etapa de engorde hay una etapa que se denomina crianza de reproductores, aquí se saca una cantidad de crías que salen del destete, estas comienzan a alimentarse por 6 meses para luego reemplazar a los reproductores que ya culminan con su ciclo reproductivo y son sacrificados.

Para el caso estudio se tiene en cuenta las consideraciones que se visualizan en la Figura 3. Por tanto el nuevo sistema de reproducción cunícola consta de 8 fases, donde se considera el ingreso de una hembra y macho reproductor los cuales efectúan el proceso de cubrición, al terminar la segunda semana se hace la inspección de los fetos para determinar si está en gestación, si se determina lo contrario la hembra espera hasta la novena semana y es sacrificada para cumplir la demanda de carne para hornear. Al final de la cuarta semana se realiza el parto donde las crías avanzan hasta la novena semana y pasan a engorde, mientras que la hembra reproductora en la novena semana es sacrificada y su carne utilizada para cumplir la demanda de producto tipo 3. Las crías están en engorde hasta cumplir su edad se sacrificio que la determina el tiempo de maduración de cada carne es decir que para carne tipo parrilla su sacrificio oscila entre la semana 15 y 16, para carne tipo freír su sacrificio podría ser entre la semana 17 y 18 y el ultimo tipo de carne que es hornear se ultima al sacrificar en la semana 19.

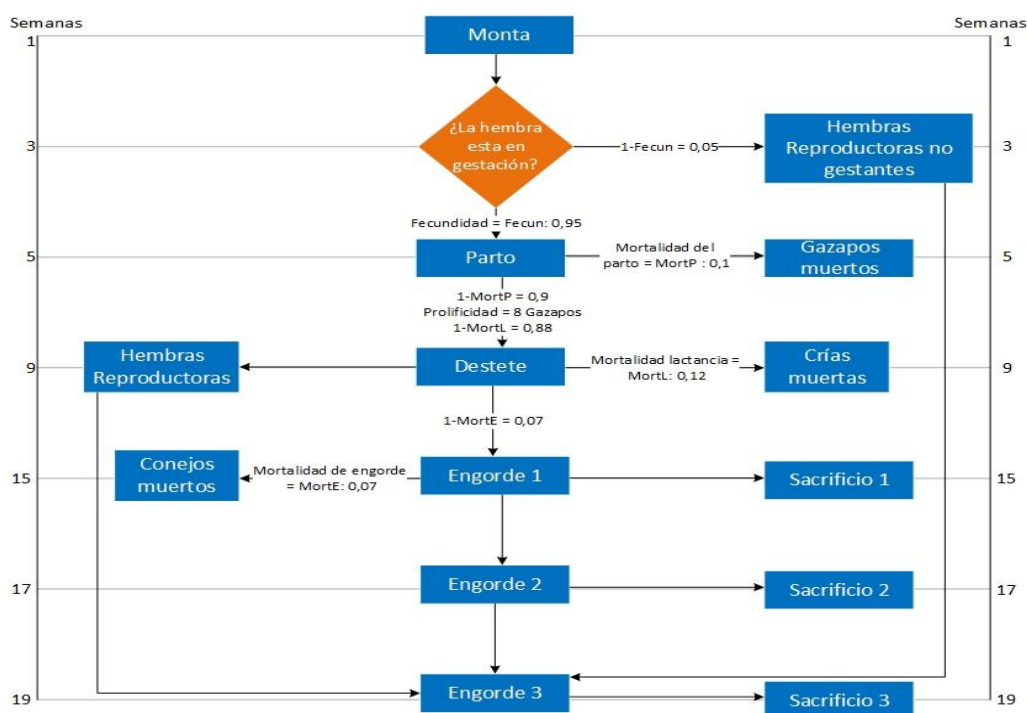


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de producción cunícola para el caso estudio.

A continuación se describe detalladamente el proceso de producción cunícola.

Monta o Cubrición

El sistema de producción inicia con el ingreso de la hembra en celo a la jaula del macho para que se efectúe la monta. Las jaulas de machos son circulares para impedir que la hembra se refugie en una esquina para evitar así la monta; sólo se permite un macho por jaula. Se estima que se requiere 1 macho por cada 7 hembras reproductoras. El macho puede cubrir dos hembras cada 3 días o una hembra diariamente.

Los conejos en edad de reproducción no deben estar en una misma jaula con otros conejos para evitar peleas territoriales. Se debe tener en cuenta la receptibilidad, fecundidad y diagnóstico de la gestación; la primera hace alusión a la manera como las especies se relacionan entre sí, es decir la aceptación tanto del macho como la hembra (60-70%), la segunda se entiende por la probabilidad de que la hembra quede en estado de gestación o partos viables respecto a las palpaciones positivas (90-95%) y la tercera se relaciona de forma directa con la fecundidad dado que es una forma de verificar si la hembra se encuentra en estado gestante. La prolificidad de las madres se expresa como el número de gazapos vivos por parto (7-8 generalmente).

Los conejos reproductores deben reponerse cada cierto periodo de tiempo para asegurar la calidad genética y de rendimiento, así para los machos se repone cada 60 meses máximo y 12-30 meses para las hembras. La edad mínima para realizar la monta depende de la raza del conejo, así para razas pequeñas la edad va de 4-5 meses, para razas medianas de 5-6 meses y razas gigantes de 6-8 meses. Por lo general las explotaciones cunícolas encaminadas a la producción de carne y piel, utilizan conejos de las razas California, Nueva Zelanda y Chinchilla que cuando llegan a la madurez alcanzan un peso de 2-3 kg.

La programación de montas se realiza de acuerdo con los ciclos de producción de la explotación, en donde para las razas de carne se presentan 3 ciclos importantes: ciclo extensivo (realizando monta post-parto a los 28 o 35 días, obteniendo así 6 o 7 partos), ciclo semi-intenso (realizando montas 14-15 días después del parto, siendo posible 8 partos año) y ciclo intensivo (montas realizadas en las 48 horas siguientes al parto) el ciclo elegido incide en el desgaste de la hembra. Para el caso de estudio se empleará el ciclo semi-intenso, dejando como elemento para análisis de sensibilidad el evaluar los resultados con un ciclo extensivo o semi-intensivo.

La alimentación de la hembra reproductora es basada solamente en alimento concentrado y los consumos varían de acuerdo a la etapa reproductiva tal como muestra en la Tabla 1. En esta tabla muestra consumo de alimento para después del destete el cual no se considera en el caso estudio dado que la hembra reproductora después del destete es sacrificada, por tanto se tiene que una hembra reproductora consume desde la monta hasta el destete 14,11 Kilogramos de concentrado, este consumo es para 56 días que corresponden a 28 días de gestación y 28 días de lactancia.

Tabla 1. Consumo medio diario de alimento concentrado y agua por conejas reproductoras de razas medianas según la etapa de producción

Periodo	Concentrado (Kilogramos)	Aguas (ml)
0 Días (Monta)	1,7577	266
10 Días	2,3530	355
20 Días	1,1340	311
25 Días	0,5273	343
0 Días (Parto)	1,1340	399
10 Días (Post-Parto)	3,7988	503
20 Días	2,1262	680
25 Días	1,2757	680
30 Días (Destete)	0,4252	680
35 Días	0,2410	355
40 Días	0,1758	266

Fuente: <http://www.uprm.edu/agricultura/sea/publicaciones/Nutriciondelosconejos.PDF>

Gestación

La gestación es el periodo que media entre la fecundación y el parto, su duración es por lo general de 30 a 32 días. Las madres deben tener una alimentación racional, en cantidad y calidad evitando que engorden con un promedio de alimento diario de 250 gramos. La madre gesta por lo general en las jaulas para hembra.

A la hembra se le debe proporcionar material para el nido (paja de pastos, tamo, cascarilla de algodón), para que organice una cama para las crías. Es muy importante realizar un diagnóstico de la gestación dado que nos asegura que la hembra realmente se encuentra en estado gestante, con una probabilidad de 90-95%, que es la misma probabilidad de la fecundidad, este procedimiento consiste en palpar el abdomen de la especie después del día 14 y verificar si en realidad los fetos se están desarrollando.

Nacimiento (Parto)

En razas seleccionadas para la producción de carne, el número de gazapos nacidos por parto oscila entre 6 y 10. La coneja tiene 10-12 mamas de las cuales 4 dan poca leche, quedando así 6-8 mamas idóneas para lactar. Se suelen hacer adopciones de gazapos para nivelar el tamaño de la camada, de modo que cada coneja amamante 8 gazapos. Las adopciones se pueden realizar entre conejas que hayan parido con uno o dos días de diferencia. Como muy tarde, las adopciones deben realizarse tres días después del parto.

Las principales causas de mortalidad perinatal de los gazapos son: enfriamiento, canibalismo, abandono, aplastamiento. La mortalidad perinatal puede ser del orden del 5-10% de la prolificidad total. El peso del gazapo al nacimiento es de 60-65 g.

Lactancia

Algunos de los objetivos más sobresalientes a que se debe aspirar dentro del periodo de lactancia y que se deben controlar, son los siguientes:

El gazapo normalmente inicia el consumo de alimento sólido entre la 2da y 3ra semana de edad. Además, alrededor de los 21 días después del parto, la curva de secreción láctea alcanza su mayor cifra y entonces el peso de la camada es un dato fiel de la capacidad lechera de la progenitora.

Si la hembra es buena lechera, desde el día 15 y casi precisamente desde el día 18, los gazapos empiezan a comer alimentos sólidos, entrando a depender menos de la leche materna. Si la hembra no es buena lechera, los gazapos entran a comer sólidos varios días antes (12-14 días). Aunque en la Tabla 2 se muestra el consumo de alimento y la ganancia de peso diaria de forma detallada semana a semana.

La mortalidad del parto al destete se estima en 5-12%. Se debe tener una limpieza escrupulosa de las jaulas, nidales y locales. Los nidales se deben retirar a la 3ra semana de lactancia.

De acuerdo a lo anterior, la duración de la lactancia o fecha oportuna del destete, viene dada en función del grado de intensificación del programa en la explotación (ciclos reproductivos): de 4-8 partos año ciclo semi-intensivo. Entonces una lactancia prolongada produce a su vez agotamiento prematuro de la madre, lo cual se refleja en menor número de camadas al año y menor número de gazapos por parto. La lactancia recomendada en conejos es de 28 a 35 días. El ciclo elegido será un parámetro de entrada para el modelo.

La transferencia o distribución de gazapos entre madres disponibles, se realiza cuando se presentan las siguientes circunstancias: falta de capacidad láctea de la madre, muerte accidental de la coneja

en el parto o en días posteriores, necesidad de nivelar el número de gazapos excesivo en una camada con otra inferior.

Teniendo en cuenta que la aptitud lechera de las conejas y la prolificidad son caracteres hereditarios, deben destinarse como reproductores los conejos nacidos de camadas numerosas y que hayan alcanzado rápidos aumentos de peso antes de su destete.

Para la cría y desarrollo de los conejos se requieren por lo menos 16 horas de luz al día (se pueden usar focos de 40 watts para suplir luz natural). Las jaulas de cría deben proporcionar de 0.4 a 0.5 m² y deben contar con comedero y bebedero.

Monta o Cubrición Post-Parto

La coneja puede mantenerse en estado gestante durante la lactancia. Así con el fin de obtener 7-8 partos al año, la hembra se cubre de 2 a 3 semanas después del parto, donde esta queda tanto en estado de gestación como en estado de lactancia hasta llegar al destete de los gazapos.

Destete

Entre los días 28 y 30 se puede empezar a destetar cambiando a una alimentación balanceada y suficiente de agua. Normalmente no conviene destetar antes de las 4 semanas. Se suelen destetar a los 28 días, siempre y cuando los animales tengan un peso mayor de 500 gramos.

Hay 2 formas de separar a la madre de la camada: una es trasladar la coneja a otra jaula; así los conejos permanecen juntos y en su propio ambiente, no sufren estrés por el cambio; el número de jaulas es elevado. La otra opción es trasladar a los gazapos a las jaulas de engorde; es el sistema más corriente. Hay más riesgos de bajas, pero un gran ahorro en jaulas y de mano de obra. Para el caso estudio se asumirá que las crías nacen 8 de las cuales solo sobreviven al parto el 90% y están serán dejadas en la misma jaula por lo tanto no habrá balance de crías.

En el ciclo de reproducción extensivo la hembra entra en celo a los 3-4 días de efectuado el destete. Cuando los gazapos son destetados pasan a consumir alimento normal adecuado a la fase de recría, es decir, el tiempo que transcurre desde el destete (75- 80 días), o hasta los 4-6 meses de edad en los conejos destinados para reproducción.

Tabla 2. Comparación entre ciclos de producción elegidos.

DÍAS – MANEJO REPRODUCTIVO CICLO EXTENSIVO	DÍAS – MANEJO REPRODUCTIVO CICLO SEMI-INTENSIVO
1 - Primera cubrición	1 - Primera cubrición
14 – Palpación hembra	14 – Palpación hembra
27 – Colocación nidal	27 – Colocación nidal
31 – Parto coneja	31 – Parto coneja
70 – Destete	46 – segunda cubrición
73 – segunda cubrición	61 – destete
73 – total días entre cubrición y cubrición	46 – total días entre cubrición y cubrición

Fuente: Elaborado con base en <http://www.conejos-info.com/articulos/alternativas-de-manejo-en-cunicultura-general>

Engorde

El engorde es el periodo comprendido entre el destete y el sacrificio, los gazapos separados de la madre se agrupan por lotes de la misma edad, el objetivo de esta etapa es conseguir crecimientos rápidos con bajos consumos de concentrado, altos índices de conversión y la mínima la tasa de mortalidad. La ganancia de peso no diferencia entre machos y hembras, todos aprovechan el alimento de la misma forma, en la Tabla 3 se puede apreciar el consumo diario semana a semana de concentrado (kilogramos), agua (mililitros) y ganancia de peso (gramos). De acuerdo al consumo de cada sacrificio se obtiene que una cría tiene un consumo medio de 3,19, 4,94 y 6,84 para cada tipo de producto respectivamente, estos resultados se obtienen al multiplicar por siete cada consumo dado que la semana posee 7 días y sumando los valores hasta el correspondiente sacrificio.

Tabla 3. Consumo de alimento de las crías

Periodo (Semanas)	Concentrado (Kilogramos)	Agua (ml)	Aumento de Peso Diario (Gramos)
0	0,0000	0	0
1	0,0000	0	11
2	0,0000	0	17
3	0,0085	0	23
4 (Destete)	0,0283	44	30
5	0,0496	117	32
6	0,0765	151	34
7	0,0765	151	36
8	0,1080	172	39
9	0,1080	172	40
10 (Sacrificio 1)	0,1247	207	37
11	0,1247	207	35
12 (Sacrificio 2)	0,1361	240	31
13	0,1361	240	27
14 (Sacrificio 3)	0,1417	266	23

Fuente: <http://www.uprm.edu/agricultura/sea/publicaciones/Nutriciondelosconejos.PDF>

La tasa de mortalidad es relativamente baja oscila entre 3-7%, la única razón por la que el porcentaje de mortalidad aumentaría sería por mal manejo, lo que hace referencia a malas condiciones higiénicas en la jaula, lo que convierte a la limpieza y desinfección del alojamiento en algo fundamental. En general la mortalidad no aumenta por otro factor que no sea la pulcritud de la jaula.

El engorde se divide en tres etapas de las cuales salen los siguientes tipos de producto, carne para parrilla, freír y hornear, la principal diferencia de estos 3 productos se encuentra en la cantidad de grasa que albergan, siendo carne para parrilla la menor y carne para hornear la mayor, este contenido graso hace que la carne disminuya su calidad no solo porque aumenta su veteado

(cantidad de grasa) sino que también pierde su jugosidad, las fibras de carne se vuelen más duras (firmeza) y el sabor sufre una ligera transformación.

De acuerdo a la Tabla 3 se puede observar que el consumo de alimento solo tiende a aumentar con el tiempo, de igual manera pasa con el consumo de agua, pero la ganancia de peso crece hasta un máximo de 40 gramos diarios y descende, haciendo que la semana 10 sea el periodo óptimo de ganancia de peso, permitiendo alcanzar un peso vivo de 2,16 Kg para la primera etapa de engorde con un tiempo de 10 semanas luego de haber nacido, en la segunda etapa la especie aumenta un peso vivo de 2,62 Kg, en un horizonte de dos semanas y en la última fase del engorde que tiene una duración de dos semanas alcanza un peso vivo de 2,97 Kg, más aún en la tabla 4 se puede observar el peso de las especies asociado a cada tipo de producto, adicionalmente el rendimiento de la canal y su peso en carne lista para el consumo.

Tabla 4. Peso óptimo alcanzado para cada tipo de producto con su correspondiente rendimiento en canal.

	Parrilla	Freír	Hornear
Peso Vivo	2,16	2,62	2,97
Rendimiento	59%	57%	54%
Carne en canal	1,27	1,49	1,61

Las dimensiones de las jaulas de cebo no están estandarizadas. Su superficie puede variar entre 0,20 y 0,50 m² y su altura mínima debe ser de 35 cm. Usualmente se usan jaulas de engorda de 0.4 m² con capacidad para 5-6 gazapos. La densidad normal en las jaulas es de 16 a 18 cabezas por metro cuadrado, recomendándose no sobrepasar los 20 gazapos/m², que equivalen a unos 40 kg de Peso Vivo/m² al final del cebo. Capacidad tolva de engorde (comedero) de 1.5 kg mínimo.

Reemplazos

La vida reproductiva de los conejos es de 1 a 2 años dependiendo si es hembra o macho. Se considera una eliminación mensual de 3 a 7% y una tasa de reposición de 4 a 8% estas tasas comienzan a partir de quinto parto para las hembras y en los machos luego del primer año. Los animales son eliminados por problemas en las patas, lesiones, canibalismo, baja productividad o por problemas sanitarios.

Las conejas llegan a los 3.5 meses a la pubertad y los machos a los 4 meses. Para poder cruzar los conejos las hembras deben tener 5 meses y los machos 6 meses. Cada uno de los animales de reemplazo debe tener su jaula.

Para animales de reemplazo se les da agua a libre acceso más la alimentación restringida que no debe sobrepasar más de 150 gramos aproximadamente, esto con el fin de no tener problemas de sobrepeso y asegurar el adecuado desarrollo de una especie saludable y en condiciones óptimas para reproducirse en el horizonte de planeación sin ningún inconveniente.

Rastro o Sacrificio

El ayuno es un aspecto que debe tenerse en cuenta porque influye sensiblemente en el rendimiento y en la calidad de la carne. Es recomendable mantener a los conejos a sólo agua desde unas 8-10 horas antes del sacrificio.

Cuando se trate de transportar los animales a un determinado lugar para la matanza, ya sea dentro de la misma granja o a un matadero distante, debe hacerse en carros especiales o en jaulas con medidas apropiadas y con el número de animales acorde a su capacidad, a la temperatura ambiente y a la distancia a recorrer. En este caso hay datos que indican cifras de 20-25 gazapos/m² de jaulas y no a más de 100 km.

Cuando se trata del sistema tecnificado, el momento de sacrificar al conejo está determinado por dos aspectos importantes: uno está relacionado con el índice de conversión de alimentos, es decir, cuando el gasto en alimentos es superior al valor de la carne producida, es el momento oportuno de matar a los animales.

Otro aspecto está motivado por el mercado; en lo que respecta al peso comercial del conejo existen 2 tendencias: una es producir conejos que a los 3 meses han alcanzado un peso vivo de 2.5 a 2.8 kg; otra es producir conejos de 1.8 a 2 kg de peso a los 60 días. Por lo general en países consumidores de este producto se establecen 3 categorías de canales: parrilleros (peso en canal de 1 - 1.4 kg), para freír o cocinar (canal de 1.4 - 1.6 kg) y para horno (canal de 1.6 - 2 kg). Estas categorías poseen unos tiempos de sacrificio, el conejo parrillero está listo a las 6 semanas de ser separado de la madre, el conejo para freír obtiene su punto de maduración a las 8 semanas y para hornear después de las 10 semanas.

Luego de alcanzar el peso de sacrificio, las especies son transportadas al matadero, en donde se llevan a cabo las siguientes operaciones para la obtención de la carne.

Recepción y Descarga: Se acondicionan los animales en jaulas para que puedan tomar un descanso prudente para disminuir el estrés causado por el transporte y la carne no sufra tensión en sus fibras haciendo que reduzca la calidad.

Sacrificio y Sangrado: se suministra una descarga eléctrica entre 100 y 350 voltios con el objetivo de aturdir al animal con el mínimo nivel de estrés, luego se decapita o se corta la vena yugular y la arteria carótida para lograr que se desangre, al evacuar la mayor cantidad de sangre del cuerpo la carne conserva el color rosado perlado que la caracteriza.

Despellejado: En esta parte del proceso se retira la piel; para ello se suspende al conejo de las extremidades posteriores y se hace dos incisiones, una alrededor de las extremidades posteriores y otra que se despliega de la anterior incisión hasta llegar a la cabeza, luego de hacer estos cortes se procede a jalar la piel cuidadosamente hasta que se desprenda por completo.

Evisceración: Esta operación consiste en sacar todas las vísceras de la siguiente forma: se corta el ano y se hace un corte de 5 centímetros en el abdomen desde las costillas hacia abajo, luego se busca rápidamente el hígado y en la parte trasera se encontrará la vesícula biliar que tiene un color verde oscuro. Esta operación es crucial. Lo ideal es retirar la vesícula con el mayor cuidado posible, puesto que si esta se llega a reventar daña el producto dándole un sabor amargo. Después se toma todas las vísceras y se las jala hasta que se desprenden, dejando solamente el hígado pegado al canal. Por último se lavan los canales con abundante agua para disminuir la proliferación de bacterias, mejorar el rendimiento del canal y prolongar la vida útil de producto.

Inspección Sanitaria: Consiste en realizar las correspondientes análisis microbiológico y comprobar que no posea gérmenes psicrotrofos, tales como las *Alteromonas*, *Pseudomonas* y *Acinetobacter*, gérmenes patógenos, como, coliformes fecales, estafilococos dorados y salmonellas.

Acondicionamiento y Refrigeración: La refrigeración se debe hacer inmediatamente después del sacrificio en cámaras de 4°C. El acondicionamiento consiste en empacar y trocear las partes que el mercado demande por ejemplo las canales de conejo pueden llegar al consumidor de las siguientes formas: completas con cabeza, completas sin cabeza y partida en piezas. No obstante la mejor presentación de la canal es la completa sin cabeza o las partidas o trocadas; además para una mayor conservación se puede congelar.

Además de la presentación en canal entero y medio canal, se puede partir el cadáver del conejo en diferentes secciones como se puede apreciar en la figura 1.

Paletillas: Poseen la carne más tierna y jugosa, con fibras muy suaves que le permiten adaptarse a cualquier modo de cocción, en promedio pesan 150 gr.

Costillas: Pesan alrededor de 100 gr. muy apreciado para la elaboración de arroces y guisos, las fibras de la carne se caracterizan por ser tiernas y sabrosas, tiene una método de elaboración muy rápido. Se sirve dos costillas por persona.

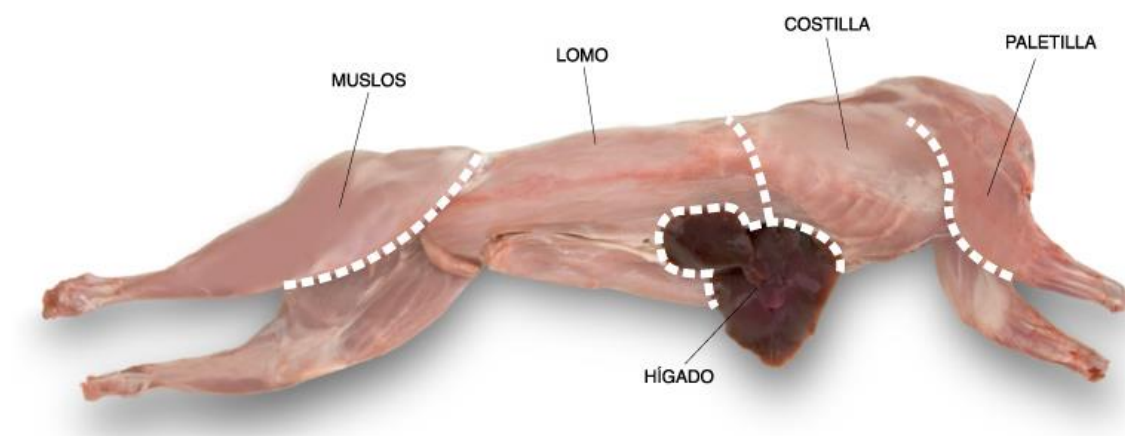


Figura 4. Diferentes cortes que salen del conejo. (2015). Recuperado de: <http://www.grupohermi.com/productos/despiece/>

Lomo: Es la parte media comprendida por la región dorsal, la presentación entero tiene un peso medio de 430 gr. en dos porciones de 215 gr. los lomos se caracterizan por tener una carne tierna y fibrosa, además que la cantidad de carne es muy apreciable con respecto a otras presas, en cuanto a su cocción puede prepararse en cazuelas, horno, sartén u olla presión.

Muslos: Tiene un peso aproximado de 250 gr. ubicado en la parte trasera de la especie, es la parte con mayor contenido de carne y su contenido graso tiende a cero, es propicia para cualquier tipo de cocción, pero es la predilecta de los paladares más exquisitos por su suavidad.

Hígado: se sitúa en la sección del lomo, pero es comercializado por separado debido a su intenso y fino sabor, es muy diferente a los hígados de otras carnes, se afirma que solo 10 gr. puede llegar a suministrar el contenido diario de vitamina A, pesa en promedio 60 gr. y tiene una gran diversidad gastronómica por lo que es muy apetecido por el mercado.

Vale la pena hacer una mención con respecto al sacrificio de los animales adultos y especialmente reproductores eliminados por viejos y destinados a carne. Estos pueden ofrecer más carne o tener mayor peso vivo que los jóvenes, pero dar un menor valor económico con base al mayor consumo de alimento para ganar peso, a la dureza de la carne y a la menor calidad y demanda gastronómica para este tipo de producto.

Una vez empacado y etiquetado las diversas presentaciones, se procede a la distribución a los diferentes centros comerciales.

Manejo Genético

Al realizar los cruzamientos se debe evitar el cruce entre parientes (hermanos, padres, hijos); es recomendable cruzar animales de la misma raza (razas puras). Cuando se desean seleccionar reemplazos de la misma explotación se seleccionan aquellos que provengan de camadas grandes o de conejas lecheras.

7. PROPUESTA METODOLÓGICA

En este capítulo se identifican las principales relaciones y criterios de decisión a tener en cuenta en el modelo matemático con el fin de estructurar el mismo, dando alcance con ello al segundo objetivo específico del proyecto de investigación.

El modelo de Programación Lineal que se presenta es un modelo para maximizar la utilidad bruta de un sistema de producción cunícola, considerando costos de mantener inventario, costos de producción (Mano de obra, alimentación y otros costos), costos de transformación, costos de distribución a mayoristas y costos de distribución a minorista.

Se consideran precios y costos diferentes para cada tipo de producto. Esto debido a que los precios de la carne varían de acuerdo al grado de maduración. Se va a vender carne refrigerada y congelada tanto para producto entero como producto particionado.

Los precios para cada tipo de carne son diferentes, así como también para cada producto existen 4 clases de corte que son: paletilla, costilla, lomo y muslo.

Las hembras reproductoras abarcan el proceso reproductivo hasta su primer destete y luego entran a hacer parte del producto disponible (carne), es decir, una vez efectuada la monta y presentado el parto, las hembras lactarán su camada hasta que los gazapos pasen a la etapa de engorde y luego la madre es sacrificada. El costo de las hembras reproductoras comprende costos de alimentación, mano de obra y otros costos de mantenimiento durante los nueve periodos que permanecen en el sistema.

El costo de producción se considera diferente para cada tipo de producto, dado que su tiempo de permanencia varía dependiendo del tipo de producto, los demás costos como el de transformación,

distribución a mayorista y distribución a minorista son fijos, el manejo de todos estos costos se hace por kilogramo de carne producido (\$/Kg).

7.1. Supuestos

- No se consideran los gastos administrativos, ni el pago de impuestos.
- Se considera que un parto salen aproximadamente 5 crías las cuales me producen 6,35 Kg de producto tipo 1, 7,44 de producto tipo 2, 8,03 de producto tipo 3.
- Una hembra reproductora solo tiene un parto y es sacrificada, y su carne será vendida como Tipo 3 (Carne para hornear) nueve periodos después de efectuada la monta.
- No hay etapa de crianza de reproductores.
- La hembra que entra a palpación y no está en estado gestante se queda en el sistema y se sacrifica al inicio del periodo nueve.
- No hay restricciones de capacidad.
- Los costos de producción varían dependiendo del tipo de producto los demás costos permanecen fijos para cualquier tipo de producto.
- Los precios son fijos para cada tipo de producto y cada tipo de corte.
- En el costo de distribución a minorista se encuentra adicionado el costo de distribución a mayorista, es decir que se tiene en cuenta que luego tener carne en canal se envía la carne a un distribuidor mayorista y posteriormente a un minorista.

7.2. Formulación del modelo

7.2.1. Parámetros

7.2.1.1. Parámetros de producción

fec = Fecundidad, Probabilidad de que la hembra reproductora quede en gestación.

mop = Mortalidad del parto, probabilidad de que los gazapos (crías) nazcan muertos.

mol = Mortalidad de la lactancia, probabilidad de no sobrevivir a la etapa de lactancia.

moe = Mortalidad del engorde, probabilidad de no sobrevivir a la primera etapa de engorde.

prl = Prolificidad, capacidad de reproducir varias especies en la misma camada.

tge = Tiempo de gestación, indica el lapso de tiempo que la hembra reproductora lleva sus crías en el vientre.

tlc = Tiempo de lactancia, indica el lapso de tiempo que la hembra reproductora esta amamantando a sus crías.

cahr = Consumo promedio de alimento para hembras reproductoras desde su etapa de monta hasta el destete.

cacl = Consumo promedio de alimento para las crías en lactancia desde su nacimiento hasta empezar la etapa de engorde.

cace = Consumo promedio de alimento para las crías en engorde hasta cada uno de los sacrificios que determinan el tipo de carne.

n = Horizonte de planeación.

7.2.1.2. Parámetros de sacrificio

tvr = Tiempo de vida en semanas del producto p en el refrigerador.

tvv = Tiempo de vida en semanas del producto p en el congelador.

eds_p = Edad de sacrificio en semanas del producto p.

nse_p = Nivel de servicio, cantidad en la que se mueve la demanda tanto por el nivel superior e inferior.

par_{pk} = Porcentaje de carne en canal en conejo tipo p, de la presentación k.

ppv_p = Peso promedio vivo (kg) de tipo de producto p.

ppr_p = Porcentaje promedio de rendimiento en canal del conejo tipo p.

msa_p = Margen de sacrificio de cada producto p.

7.2.1.3. Parámetros de precios

pre_p = Precio de venta de tipo de producto p refrigerado entero.

prp_{pk} = Precio de venta de tipo de producto p en el corte k refrigerado particionado.

pce_p = **pre_p * 0,9** = Precio de venta del tipo de producto p congelado entero.

pcp_{pk} = **prp_p * 0,9** = Precio de venta de tipo de producto p en el corte k congelado particionado.

7.2.1.4. Parámetros de costo

pmr = Porcentaje del costo de mantener un Kg del producto p refrigerado (% costo de producto)
7% es el usado.

cmre_p = **pmr * pre_p** = Costo de mantener un Kg de producto p refrigerado.

cmce_p = **pmr * pce_p * 1,5** = Costo de mantener un Kg de producto p congelado.

cthr = Costo de alimentación de hembras reproductoras \$/Kg (Concentrado).

ctcr = Costo de alimentación de crías \$/Kg (Concentrado).

ctpn = Costo de total de producción para cada tipo de producto para cada tipo de producto p \$/Kg.

ctmot = Costo de mano de obra, otros costos y transformación para cada tipo de producto p en \$/Kg.

ctdm = Costo de distribución a minoristas \$/Kg.

ctt = Costos de transformación de la carne \$/Kg.

cttr = Costo de transformación de la carne acumulado \$/Kg

7.2.1.5. Parámetros de demanda

dred_p = Demanda de kg carne refrigerada entera en el periodo d del tipo de producto p.

drp_{dpk} = Demanda de Kg de carne refrigerada particionada en el periodo d del tipo de producto p en el corte k.

dced_p = Demanda de kg carne congelada entera en el periodo d del tipo de producto p

dcp_{dpk} = Demanda de Kg de carne congelada particionada en el periodo d del tipo de producto p en el corte k.

7.2.2. Variables de decisión

HRM_{tsp} = Cantidad de hembras reproductoras que serán introducidas en el periodo t, para producir crías que serán sacrificadas en el periodo s, y obtener carne tipo p.

QDS_{sp} = Cantidad de carne disponible en kg en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las crías.

QDE_{sp} = Cantidad de carne en presentación entera en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las crías.

QDP_{sp} = Cantidad de carne para particionar en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las crías.

QDER_{sp}= Cantidad de carne refrigerada en presentación entera en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las crías.

QDEC_{sp}= Cantidad de carne congelada en presentación entera en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las crías.

QDES_{sp}= Cantidad de carne en presentación entera sobrante en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las crías.

QHR_{sp}=Cantidad de carne disponible en kg en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las hembras reproductoras.

QHE_{sp}= Cantidad de carne en presentación entera en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las hembras reproductoras.

QHP_{sp}= Cantidad de carne para particionar en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las hembras reproductoras.

QHER_{sp}= Cantidad de carne refrigerada en presentación entera en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las hembras reproductoras.

QHEC_{sp}= Cantidad de carne congelada en presentación entera en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las hembras reproductoras.

QHE_{sp}= Cantidad de carne en presentación entera sobrante en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p proveniente de las hembras reproductoras.

QTER_{sp} = Cantidad total de carne entera refrigerada en kg que se encuentra disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p

QTEC_{sp}= Cantidad total de carne entera congelada en kg que se encuentra disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p

QTES_{sp} = Cantidad total de carne entera sobrante en kg que se encuentra disponible en el periodo de sacrificio *s* del tipo de producto *p*

VER_{sdp} = Ventas de producto refrigerado entero en kg que se encuentra disponible en el periodo *s* de sacrificio y puede cumplir la demanda del periodo *d* del tipo de producto *p*.

VEC_{sdp} = Ventas de producto congelado entero en kg que se encuentra disponible en el periodo *s* de sacrificio y puede cumplir la demanda del periodo *d* del tipo de producto *p*.

VRE_{dp} = Ventas de producto refrigerado entero en kg para cumplir la demanda de un periodo *d* del tipo de producto *p*.

VCE_{dp} = Ventas de producto congelado entero en kg para cumplir la demanda de un periodo *d* del tipo de producto *p*.

QDK_{spk} = Cantidad de carne disponible particionada en kg, disponible en el periodo de sacrificio *s* del tipo de producto *p* en el corte *k*, proveniente de las crías.

QDKR_{spk} = Cantidad de carne particionada refrigerada en kg, disponible en el periodo de sacrificio *s* del tipo de producto *p* en el corte *k* proveniente de las crías.

QDKC_{spk} = Cantidad de carne particionada congelada en kg, disponible en el periodo de sacrificio *s* del tipo de producto *p* en el corte *k* proveniente de las crías.

QDKS_{spk} = Cantidad de carne particionada sobrante en kg, disponible en el periodo de sacrificio *s* del tipo de producto *p* en el corte *k* proveniente de las crías.

QHK_{spk} = Cantidad de carne disponible particionada en kg, disponible en el periodo de sacrificio *s* del tipo de producto *p* en el corte *k*, proveniente de las hembras reproductoras.

QHKR_{spk} = Cantidad de carne particionada refrigerada en kg, disponible en el periodo de sacrificio *s* del tipo de producto *p* en el corte *k* proveniente de las hembras reproductoras.

QHKC_{spk} = Cantidad de carne particionada congeladas en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p en el corte k proveniente de las hembras reproductoras.

QHKS_{spk} = Cantidad de carne particionada sobrante en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p en el corte k proveniente de las hembras reproductoras.

QTKR_{spk} = Cantidad total de carne particionada refrigerada en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p en el corte k.

QTKC_{spk} = Cantidad total de carne particionada congelada en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p en el corte k.

QTKS_{spk} = Cantidad total de carne particionada sobrante en kg, disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p en el corte k.

VRK_{sdpk} = Ventas de producto refrigerado particionado en kg que está disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p, en el tipo de corte k, para la demanda de un periodo d.

VCK_{sdpk} = Ventas de producto congelado particionado en kg que está disponible en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p, en el tipo de corte k, para la demanda de un periodo d.

VRP_{dpk} = Ventas de producto refrigerado particionado en kg para cumplir la demanda de un periodo d del tipo de producto p en el corte k.

VCP_{dpk} = Ventas de producto refrigerado particionado en kg para cumplir la demanda de un periodo d del tipo de producto p en el corte k.

IER = Ingreso por la venta de producto entero refrigerado.

IEC = Ingreso por la venta de producto entero congelado.

IPR = Ingreso por la venta de producto particionado refrigerado.

IPC = Ingreso por la venta de producto particionado congelado.

CRE = Costo de mantener producto refrigerado.

CCE = Costo de mantener producto congelado.

CAH = Costo de alimentación de hembra reproductora desde su ingreso al sistema en monta hasta salir en el destete.

CAL = Costo de alimentación de crías en lactancia que es desde que nacen hasta que se separan de la madre (destete).

CAE = Costo de alimentación en la etapa de engorde que corresponde desde la separación de la madre hasta cada uno de los sacrificios que clasifican cada tipo de carne.

CMOT = Costo de mano de obra, otros costos y costos de transformación de cada tipo de producto p.

CMD = Costo de distribución a minorista.

7.2.3. Conjuntos

T = Conjuntos de periodos de tiempo indexados por t, s y d ($t, s, d = 1, \dots, n$)

P = Conjunto de tipo de producto indexados por p ($p = 1, 2, 3$)

K = Conjunto de tipo de corte indexados por k ($k = 1, 2, 3, 4$)

DEMPRO = Conjuntos formados por el tiempo de demanda d, que indica el instante en el cual se puede cumplir con ventas, el tipo de producto p, que muestra el tipo de carne que se produce.

SCRDEMPRO = Conjuntos formados por el tiempo de sacrificio s, que me indica en donde el producto se encuentra disponible en kg, tiempo de demanda d, que muestra el instante de tiempo que se puede cumplir con la demanda y por último el tipo de producto p, que representa el tipo de carne que se está usando para suplir la demanda.

DEMPROCOR = Conjunto formado por el tiempo de demanda d , que es el tiempo en el cual cumpla con una cantidad de demanda, el tipo de producto p , que muestra el tipo de carne que producen las crías, tipo de corte k , que es la partición de la respectiva especie.

SCRPROCOR = Conjunto formado por el tiempo de sacrificio s , que es donde se encuentra disponible la carne, el tipo de producto p , que es el tipo de carne, el tipo de corte, que muestra el tipo de partición que se demandó.

SCRDEMPROC = Conjunto formado por el tiempo s , representa el periodo de sacrificio de las conejos producidos, el tiempo de demanda d , que es periodo d donde se puede cumplir con una cantidad de ventas preestablecidas, el subíndice p , que muestra el tipo de producto que produce el sacrificio de las crías, el subíndice k que identifica cada tipo de corte que puede tener una especie.

SCRPRO = Conjunto formado por el tiempo s , representa el periodo de sacrificio de las conejos producidos y subíndice p que muestra el tipo de producto que produce el sacrificio de estas crías.

PROCOR = Conjunto formado por el tipo de producto p , que es el tipo de carne, el tipo de corte k , que muestra la parte que se está utilizando o demandando.

TEMSCRPRO = Conjunto formado por el tipo de tiempo t , que es el tiempo de introducción de las hembras reproductoras al sistema, tiempo s , que se refiere al tiempo en el cual se sacrifican las crías de la hembras y el tipo de producto p , que significa el tipo de carne.

TEMPRO = Conjunto formado por el tiempo t , que es el tiempo de introducción de las hembras reproductoras y el tipo de producto p .

7.2.4. Función objetivo

Maximizar la utilidad bruta.

Max: $UT = IER + IPR + IEC + IPC - CRE - CCE - CAH - CAL - CAE - CMOT - CDM - PSO$

Ingresos por venta de producto refrigerado entero

$$IER = \sum_d^n \sum_p^3 (VRE_{dp} * pre_p)$$

Ingresos por venta de producto refrigerado particionado

$$IPR = \sum_d^n \sum_p^3 \sum_{k=1}^4 (VRP_{dpk} * prp_{pk})$$

Ingresos por venta de producto congelado entero

$$IEC = \sum_d^n \sum_p^3 (VCE_{dp} * pce_p)$$

Ingresos por venta de producto congelado particionado

$$IPC = \sum_d^n \sum_p^3 \sum_{k=1}^4 (VCP_{dpk} * pc p_{pk})$$

Costo de mantener inventario de producto refrigerado

$$CRE = \sum_s^n \sum_d^n \sum_p^3 (VER_{sdp} * (d - s) * ctpn_p) \\ + \sum_{\substack{s/ \\ s > tge + tlc}}^n \sum_{\substack{d/ \\ d \geq s \\ d \leq s + tvr}}^n \sum_p^3 \sum_k^4 (VRK_{sdpk} * (d - s) * ctpn_{pk})$$

Costo de mantener inventario de producto particionado congelado

$$CCE = \sum_s^n \sum_p^3 \sum_k^4 (VCK_{sdp} * (d - s) * ctpn_{pk} * 1,5) \\ + \sum_{\substack{s/ \\ s > tge + tlc}}^n \sum_{\substack{d \\ d \geq s \\ d \leq s + tvc}}^n \sum_p^3 \sum_k^4 (VCK_{sdpk} * (d - s) * ctpn_{pk} * 1,5)$$

Costo de alimentación de hembras reproductoras

$$CAH = \left(\sum_t^n \sum_s^n \sum_p^3 HRM_{tsp} \right) * cahr * cthr$$

Costo de alimentación de crías en lactancia

$$CAL = \left(\sum_t^n \sum_s^n \sum_p^3 (HRM_{tsp} * fec * prl * (1 - mop)) \right) * cacl * ctc$$

Costo de alimentación de crías engorde

$$CAE = \sum_t^n \sum_s^n \sum_p^3 (HRM_{tsp} * fec * prl * (1 - mop) * (1 - mol) * (1 - moe) \\ * (s - t - tge - tlc) * cace_p * ctc)$$

Costo de mano de obra, otros costos y costos de transformación

$$CMOT = \sum_s^n \sum_p^3 QDS_{sp} * ctmot_p + \sum_s^n \sum_p^3 QHR_{sp} * ctt$$

Costo de distribución a minorista.

$$CMD = \left(\sum_d^n \sum_p^3 VRE_{dp} + \sum_d^n \sum_p^3 \sum_k^4 VRP_{dpk} + \sum_d^n \sum_p^3 VCE_{dp} + \sum_d^n \sum_p^3 \sum_k^4 VCP_{dpk} \right) * ctdm$$

Perdidas por sobrantes.

$$PSO = \sum_s^n \sum_p^3 \sum_k^4 QTKS_{spk} * cttr_p + \sum_s^n \sum_p^3 QTES_{dp} * cttr_p$$

7.2.5. Restricciones

1. Cantidad de carne disponible proveniente de las crías.

$$QDS_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$HRM_{tsp} = 0 \quad \forall t, s, p \quad t > n - tge - eds_p$$

$$QDS_{sp} = \sum_{\substack{s \\ t \geq s - tge - eds_p - msa_p \\ t \leq s - tge - eds_p}}^s HRM_{tsp} * fec * prl * (1 - mop) * (1 - mol) * (1 - moe) * ppv_p \\ * ppr_p \quad \forall s, p / s > tge + eds_p$$

2. Distribución de la cantidad de carne disponible proveniente de las crías.

$$QDE_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$QDP_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$QDS_{sp} = QDE_{sp} + QDP_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + eds_p$$

3. Distribución de la cantidad de carne disponible en presentación entera proveniente de las crías.

$$QDER_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$QDEC_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$QDES_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$QDE_{sp} = QDER_{sp} + QDEC_{sp} + QDES_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + eds_p$$

4. Cantidad de carne disponible proveniente de las hembras reproductoras.

$$QHR_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tl \vee p \neq 3$$

$$QHR_{(t+tge+tlc)p} = \sum_s^n \sum_q^3 (HRM_{tsq} * ppv_q * ppr_q) \quad \forall t, p / t \leq n - tge - tlc \wedge p = 3$$

5. Distribución de la cantidad de carne disponible proveniente de las hembras reproductoras.

$$QHE_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$QHP_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$QHR_{sp} = QHE_{sp} + QHP_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc \wedge p = 3$$

6. Distribución de la cantidad de carne disponible en presentación entera proveniente de las hembras reproductoras.

$$QHER_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$QHEC_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$QHES_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$QHE_{sp} = QHER_{sp} + QHEC_{sp} + QHES_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc \wedge p = 3$$

7. Cantidad total de carne disponible en presentación entera refrigerada.

$$QTER_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc$$

$$QTER_{sp} = QDER_{sp} + QHER_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$$

8. Cantidad total de carne disponible en presentación entera refrigerada.

$$VER_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / s \leq tge + tlc$$

$$VER_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d > s + tvr$$

$$VER_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d < s$$

$$QTER_{sp} = \sum_{\substack{d \\ d \geq s \\ d \leq s + tvr}}^n VER_{sdp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$$

9. Ventas de producto entero refrigerado.

$$VRE_{dp} = 0 \quad \forall s, d, p \quad s \leq tge + tlc \wedge p = 3$$

$$VRE_{dp} = 0 \quad \forall s, d, p \quad s \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

$$VRE_{dp} = \sum_{\substack{s / \\ s \leq d \\ s \geq d - tvr}}^n VER_{sdp} \forall d, p / s > tge + tlc$$

10. Variación de las ventas refrigeradas de producto entero.

$$dre_{dp} - nse_p \leq VRE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \forall d, p / d > tge + tlc \wedge p = 3$$

$$dre_{dp} - nse_p \leq VRE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \forall d, p / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

11. Cantidad total de carne disponible en presentación entera congelada.

$$QTEC_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc$$

$$QTEC_{sp} = QDEC_{sp} + QHEC_{sp} \forall s, p / s > tge + tlc$$

12. Cantidad total de carne disponible en presentación entera congelada.

$$VEC_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / s \leq tge + tlc$$

$$VEC_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d > s + tvc$$

$$VEC_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d < s$$

$$QTEC_{sp} = \sum_{\substack{d / \\ d \geq s \\ d \leq s + tvc}}^n VEC_{sdp} \forall s, p / s > tge + tlc$$

13. Ventas de producto entero congelado.

$$VCE_{dp} = 0 \quad \forall d, p / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$$

$$VCE_{dp} = 0 \quad \forall d, p / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

$$VCE_{dp} = \sum_{\substack{s / \\ s \geq d - tvc \\ s \leq d}}^n VEC_{sdp} \quad \forall d, p / d > tge + tlc$$

14. Variación de las ventas congeladas de producto entero.

$$dre_{dp} - nse_p \leq VCE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \quad \forall d, p / d > tge + tlc \wedge p = 3$$

$$dre_{dp} - nse_p \leq VCE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \quad \forall d, p / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

15. Distribución de la cantidad total de carne sobrante.

$$QTES_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc$$

$$QTES_{sp} = QDES_{sp} + QHES_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$$

16. Cantidad de carne disponible particionada proveniente de las crías.

$$QDK_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$$

$$QDP_{sp} = \sum_{k=1}^4 QDK_{spk} \quad \forall s, p / s > tge + eds_p$$

$$QDK_{spk} = QDP_{sp} * par_{pk} \quad \forall s, p, k / s > tge + eds_p$$

17. Distribución de la cantidad de carne disponible particionada proveniente de las crías.

$$QDKR_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$$

$$QDKC_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$$

$$QDKS_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$$

$$QDK_{spk} = QDKR_{spk} + QDKC_{spk} + QDKS_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + eds_p$$

18. Cantidad de carne disponible particionada proveniente de las hembras reproductoras.

$$QHK_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$QHP_{sp} = \sum_{k=1}^4 QHK_{spk} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$$

$$QHK_{spk} = QHP_{sp} * par_{pk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

19. Distribución de la cantidad de carne disponible particionada proveniente de las hembras reproductoras.

$$QHKR_{spk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / s > tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$QHKC_{spk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / s > tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$QHKS_{spk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$QHK_{spk} = QHKR_{spk} + QHKC_{spk} + QHKS_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc \wedge p = 3$$

20. Cantidad total de carne disponible particionada que se encuentra refrigerada.

$$QTKR_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$QTKR_{spk} = QDKR_{spk} + QHKR_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

21. Cantidad total de carne disponible particionada que se encuentra refrigerada.

$$VRK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$VRK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / d > s + tvr$$

$$VRK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / d < s$$

$$QTKR_{spk} = \sum_{\substack{d / \\ d \geq s \\ d \leq s + tvr}}^n VRK_{sdpk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

22. Ventas de producto refrigerado particionado.

$$VRP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$$

$$VRP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

$$VRP_{dpk} = \sum_{\substack{s / \\ s \leq d \\ s \geq d - tvr}}^n VRK_{sdpk} \quad \forall d, p, k / d > tge + tlc$$

23. Variación de la demanda para las ventas refrigeradas particionadas.

$$drp_{dpk} - nse_p \leq VRP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \quad \forall d, p, k / d > tge + tlc \wedge p = 3$$

$$drp_{dpk} - nse_p \leq VRP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \quad \forall d, p, k / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

24. Cantidad total de carne disponible particionada que se encuentra congelada.

$$QTKC_{sdk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$QTKC_{spk} = QDKC_{spk} + QHKC_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

25. Cantidad total de carne disponible particionada que se encuentra refrigerada.

$$VCK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$VCK_{sdpk} = 0 \forall s, d, p, k / d > s + tvc$$

$$VCK_{sdpk} = 0 \forall s, d, p, k / d < s$$

$$QTKC_{spk} = \sum_{\substack{d / \\ d \geq s \\ d \leq s + tvc}}^n VCK_{sdpk} \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

26. Ventas de producto congelado particionado.

$$VCP_{dpk} = 0 \forall d, p, k / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$$

$$VCP_{dpk} = 0 \forall d, p, k / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

$$VCP_{dpk} = \sum_{\substack{s / \\ s \geq d - tvc \\ s \leq d}}^n VCK_{sdpk} \forall d, p, k / d > tge + tlc$$

27. Variación de la demanda para las ventas refrigeradas particionadas.

$$drp_{dpk} - nse_p \leq VCP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \forall d, p, k / d > tge + tlc \wedge p = 3$$

$$drp_{dpk} - nse_p \leq VCP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \forall d, p, k / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

28. Cantidad total de producto particionado sobrante.

$$QTKS_{spk} = 0 \forall s, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$QTKS_{spk} = QDKS_{spk} + QHKS_{sp} \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

7.3. Descripción del modelo

7.3.1. Función objetivo

Max: $UT = IER + IEC + IPR + IPC - CRE - CCE - CAH - CAL - CAE - CMOT - CDM - PSO$

Esta función busca maximizar el valor de la utilidad bruta en una granja dedicada a actividades cunícolas, la cual se compone de dos bloques, los ingresos por ventas y los egresos. Los ingresos están relacionados con las variables IER, IEC, IPR y IPC. Las que representan ingresos por ventas de producto entero refrigerado, entero congelado, particionado refrigerado y particionado congelado respectivamente.

En cuanto a los egresos y pérdidas se encuentran relacionadas con las variables CRE, CCE, CAH, CAL, CAE, CMOT, CDM, PSO, donde se empieza por el costo de mantener producto refrigerado y sigue con el costo de mantener producto congelado, costos de alimentación de hembras reproductoras, costo de alimentación de la etapa de lactancia, costos de alimentación de la etapa de engorde, costos de mano de obra, otros costos y transformación, costo de distribución a minorista y pérdidas por sobrantes respectivamente.

- **Restricción 1.**

$$1.1. \quad QDS_{sp} = 0 \quad \forall s, \frac{p}{s} \leq tge + eds_p$$

$$1.2. \quad HRM_{tsp} = 0 \quad \forall t, s, p \quad t > n - tge - eds_p$$

$$1.3. \quad QDS_{sp} = \sum_{\substack{t \geq s - tge - eds_p - msa_p \\ t \leq s - tge - eds_p}}^s \frac{t}{\left(HRM_{tsp} * fec * prl * (1 - mop) * (1 - mol) * \right.} \\ \left. (1 - moe) * ppv_p * ppr_p \right) \forall s, p / s > tge + eds_p$$

Como se puede observar en la Figura 5, al introducir una hembra reproductora en el periodo 1, los tiempos de sacrificio s para cada tipo de carne p son: 15 y 16 para carne tipo 1, 17 y 18 para carne tipo 2 y 19 para carne tipo 3, por lo tanto se garantiza mediante la restricción 1.1 que antes de los periodos estipulados anteriormente no puede haber ningún tipo de carne, siendo así que la variable QDS tome el valor de 0.

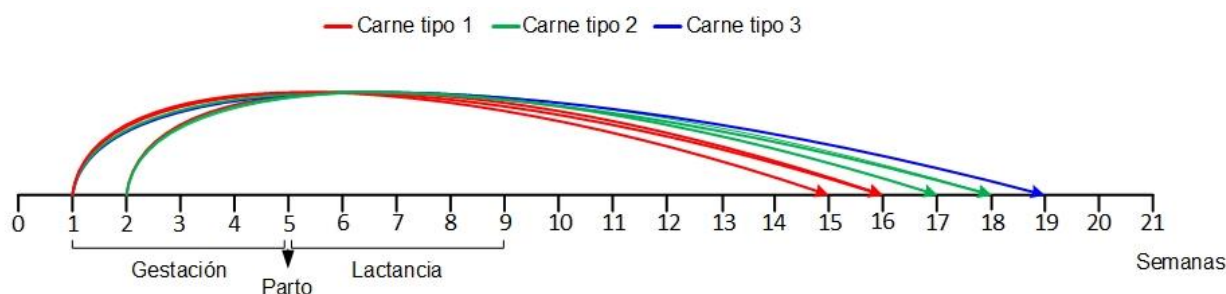


Figura 5. Tiempo de sacrificio de cada tipo de producto.

La restricción 1.2 confirma la cantidad de carne disponible que se produce de cada tipo de producto p , es decir que solo toma valores una vez haya cumplido la permanencia en la etapa de gestación y haya cumplido con edad de sacrificio de cada producto.

La cantidad de carne disponible en el periodo de sacrificio s del producto tipo p , se producen al introducir una cantidad de hembras reproductoras en el periodo t , estas hembras luego de estar expuestas a factores de la reproducción como es la fecundidad, prolificidad y la mortalidad del parto, logran tener en promedio 5 crías vivas que tienen que sobrevivir a unas etapas reproductivas que están asociadas a una mortalidad en la lactancia y el engorde, luego de terminar la etapa de engorde las especies alcanzan un peso promedio vivo que depende de la edad de sacrificio de cada tipo de carne p , después se multiplica por el porcentaje promedio del rendimiento en canal de cada tipo de producto p se obtiene los kilogramos de carne en las diferentes presentaciones.

Las restricciones que acompañan a la sumatoria en t como $t \geq s - tge - eds_p - msa_p$ y $t \leq s - tge - eds_p$ asegura que todas las crías que se sacrifiquen van a cumplir con el gestación y la edad de sacrificio dependiendo del tipo de producto, si se colocan valores de sacrificio menores a los observados en la Figura 5 la condición no se va a cumplir y no habrá valores en el tiempo t en los cuales se realice la sumatoria.

Restricción 2.

$$2.1. \quad QDE_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$2.2. \quad QDP_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$2.3. \quad QDS_{sp} = QDE_{sp} + QDP_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + eds_p$$

La carne que se produce al sacrificar las crías tiene dos destinos, en el primero la carne se separa para que se encuentre disponible como producto entero y en el segundo la carne se separa y encuentra disponible como producto para particionar. De acuerdo con esto la cantidad de carne disponible es igual a la suma de la entera y la particionada.

Restricción 3.

$$3.1. \quad QDER_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$3.2. \quad QDEC_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$3.3. \quad QDES_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$$

$$3.4. \quad QDE_{sp} = QDER_{sp} + QDEC_{sp} + QDES_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + eds_p$$

Una vez separado la carne entera se la puede encontrar en dos estados, refrigerado y particionado, además también se la puede encontrar como producto sobrante el cual no está ni refrigerado ni congelado, el sobrante es carne que no se vende, por lo tanto no genera ingresos sino pérdidas,

pero en esta ocasión el producto sobrante de entero tiende a ser cero puesto que se actúa bajo el supuesto que todo lo que produce se vende.

Restricción 4.

$$4.1. \quad QHR_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tl \quad \vee \quad p \neq 3$$

$$4.2. \quad QHR_{(t+tge+tlc)p} = \sum_s^n \sum_q^3 (HRM_{tsq} * ppv_q * ppr_q) \quad \forall t, p / t \leq n - tge - tlc \quad \wedge \quad p = 3$$

De la misma manera como las crías son sacrificadas para la obtención de carne, las hembras reproductoras también pero con parámetros de tiempo distinto, de tal forma que las hembras quedan disponibles para ser sacrificadas inmediatamente se termina el periodo de lactancia de las crías, y esto se aprecia con más claridad en la Figura 6. Esto significa que la variable QHR tomara valores a partir del periodo 9, antes de este periodo se asegura mediante la expresión 4.1 que la variable tomara el valor de 0. La cantidad de carne disponible que producen las hembras reproductoras se obtiene al multiplicar el peso promedio de una especie viva y el porcentaje promedio del rendimiento en canal del tipo de carne tres.

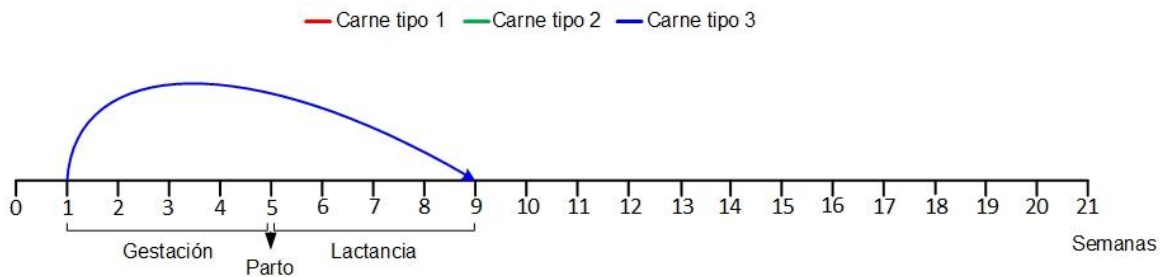


Figura 6. Tiempo de sacrificio e introducción de las hembras reproductoras.

Restricción 5.

$$5.1. \quad QHE_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \quad \vee \quad p \neq 3$$

$$5.2. \quad QHP_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \quad \vee p \neq 3$$

$$5.3. \quad QHR_{sp} = QHE_{sp} + QHP_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc \wedge p = 3$$

Cantidad de carne disponible proveniente de las hembras reproductoras se clasifica en entera y particionada, mediante la restricción 5.3 se puede asegurar que estas cantidades estarán disponibles después de haber cumplido su tiempo de gestación y lactancia antes de eso su valor será cero.

Restricción 6.

$$6.1. \quad QHER_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \quad \vee p \neq 3$$

$$6.2. \quad QHEC_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \quad \vee p \neq 3$$

$$6.3. \quad QHES_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \quad \vee p \neq 3$$

$$6.4. \quad QHE_{sp} = QHER_{sp} + QHEC_{sp} + QHES_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc \wedge p = 3$$

La cantidad carne entera proviene de las hembras reproductoras que está disponible, se divide en carne que se encuentra refrigerada y congelada, adicional a esto se tiene en cuenta la cantidad que está sobrando, esto se logra mediante la expresión 6.4.

Restricción 7.

$$7.1. \quad QTER_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc$$

$$7.2. \quad QTER_{sp} = QDER_{sp} + QHER_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$$

Después de haber desagregado la cantidad de carne entera mediante la restricción 3 y 6, se conglomeran la cantidad refrigerada provenientes de las crías y de las hembras reproductoras en la variable QTER que es la cantidad de total de carne entera disponible refrigerada para cada periodo de sacrificio s de cada tipo de carne p .

Restricción 8.

$$8.1. \quad VER_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / s \leq tge + tlc$$

$$8.2. \quad VER_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d > s + tvr$$

$$8.3. \quad VER_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d < s$$

$$8.4. \quad QTER_{sp} = \sum_{\substack{d \geq s \\ d \leq s + tvr}}^n d / VER_{sdp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$$

La cantidad total de carne entera refrigerada que se encuentra disponible el periodo de sacrificio s de cada tipo de producto p se obtiene al hacer la suma de las ventas del periodo actual y un periodo adelante, dado que el tiempo de vida en el refrigerador es de una semana, esto se encuentra garantizado en la expresión 8.4 con las desigualdades que acompañan a la sumatoria $d \geq s$ y $d \leq s + tvr$. En la Figura 7 se puede observar el comportamiento de la ecuación para cada tipo de producto, es decir que si se introduce hembras reproductoras al final de 0, estarán listas para ser sacrificadas en 9 y se podría cumplir con las ventas de carne tipo 3 en periodo 9 o 10, de la misma manera con la carne de las crías que está disponible a partir de 15 pudiendo cubrir las ventas de ese periodo y 16.

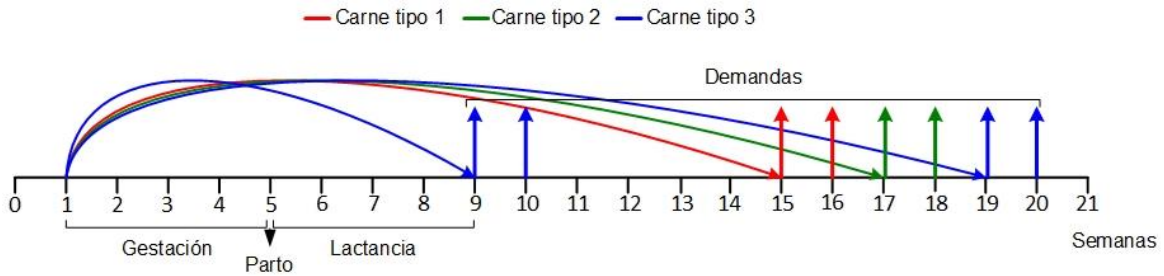


Figura 7. Tiempo de sacrificio para hembras y crías con la posible distribución del cumplimiento de la demanda de producto refrigerado.

Restricción 9.

$$9.1. \quad VRE_{dp} = 0 \quad \forall d, p / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$$

$$9.2. \quad VRE_{dp} = 0 \quad \forall d, p / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

$$9.3. \quad VRE_{dp} = \sum_{\substack{s \leq d \\ s \geq d - tvr}}^n VER_{sdp} \quad \forall d, p / d > tge + tlc$$

Para cumplir con las ventas refrigeradas de producto entero se puede tomar la carne que es sacrificada el periodo actual y un periodo anterior, que se garantiza con las desigualdades que acompañan a la sumatoria $s \leq d$ y $s \geq d - tvr$ en la ecuación 9.3. En la figura x se puede observar con claridad puesto que si vendo carne tipo 2 en el periodo 18 puede que esta carne sea la que se sacrificó en 18 o 17.

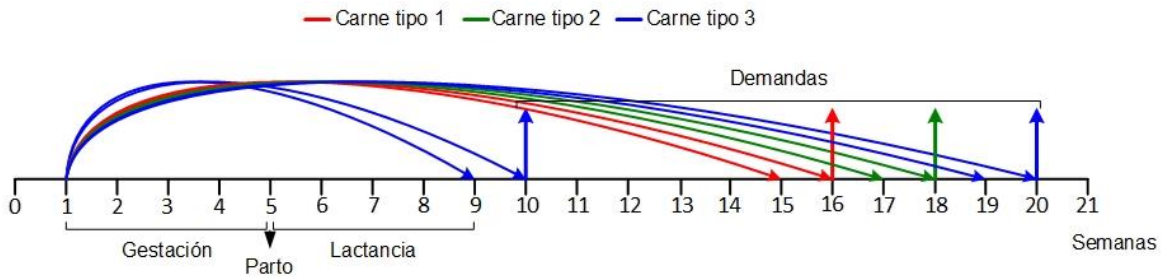


Figura 8. Cumplimiento de la demanda con la posible distribución de los tiempo de sacrificio que cumple su tiempo en el refrigerador.

Restricción 10.

$$10.1. \quad dre_{dp} - nse_p \leq VRE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \quad \forall d, p / d > tge + tlc \wedge p = 3$$

$$10.2. \quad dre_{dp} - nse_p \leq VRE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \quad \forall d, p / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

Las ventas de producto refrigerado entero se van a controlar con la variación de la demanda es decir que va tener valores por debajo y por encima del valor demando, mediante la adición de un

valor que viene determinado por una característica propia del sistema de producción como es la forma en que se reproducen los conejos, es decir que si introduzco una hembra reproductora como mínimo va producir 5 crías que en carne viene siendo aproximadamente 6,35 kilogramos de carne, entonces la demanda va estar constituido por el valor de demanda del periodo $d \pm 6.35$ Kg.

Restricción 11.

$$11.1. \quad QTEC_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc$$

$$11.2. \quad QTEC_{sp} = QDEC_{sp} + QHEC_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$$

Después de haber desagregado la cantidad de carne entera mediante la restricción 3 y 6, se conglomeran la cantidad congelada provenientes de las crías y de las hembras reproductoras en la variable QTEC que es la cantidad de total de carne entera disponible refrigerada para cada periodo de sacrificio s de cada tipo de carne p .

Restricción 12.

$$12.1. \quad VEC_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / s \leq tge + tlc$$

$$12.2. \quad VEC_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d > s + tvc$$

$$12.3. \quad VEC_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d < s$$

$$12.4. \quad QTEC_{sp} = \sum_{\substack{d \geq s \\ d \leq s + tvc}}^n VEC_{sdp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$$

La cantidad total de carne entera congelada que se encuentra disponible el periodo de sacrificio s de cada tipo de producto p se obtiene al hacer la suma de las ventas del periodo actual y de 16 periodos adelante, dado que el tiempo de vida en el congelador es de 16 semanas, esto se encuentra garantizado en la expresión 12.4 con las desigualdades que acompañan a la sumatoria $d \geq s$ y $d \leq s + tvc$. En la Figura 9 se puede observar el comportamiento de la expresión 12.4 aplicada a

la carne tipo 1, entonces la cantidad total de carne entera congelada en el periodo 15 puede cumplir las ventas del mismo periodo hasta el periodo 31 en donde se cumple con su tiempo de vida congelado. De esta manera se comportan los demás tipos carne con la única diferencia que es el periodo de sacrificio que es cuando están disponibles.

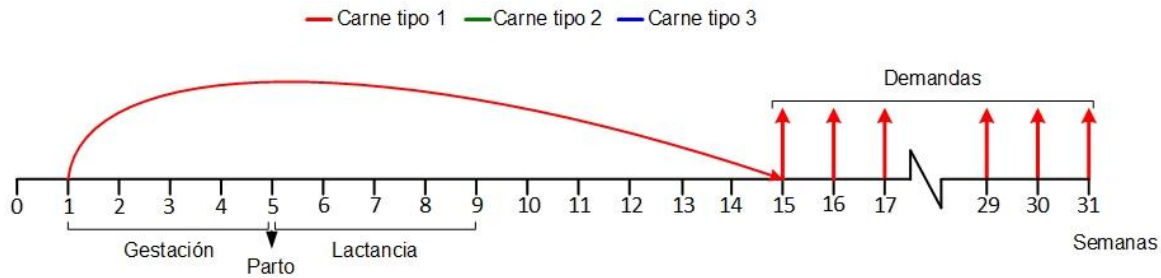


Figura 9. Distribución de la demanda en el tiempo, para encontrar la cantidad de carne congelada.

Restricción 13.

$$13.1. \quad VCE_{dp} = 0 \quad \forall d, p / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$$

$$13.2. \quad VCE_{dp} = 0 \quad \forall d, p / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

$$13.3. \quad VCE_{dp} = \sum_{\substack{s \geq d - tvs \\ s \leq d}}^n VEC_{sd} \quad \forall d, p / d > tge + tlc$$

Las ventas congeladas enteras que se demanda en un periodo d del tipo de producto p se al cumplir con la cantidad de especies sacrificadas entre el periodo actual y 16 periodos anteriores, la restricción 13.3 mediante las desigualdades $s \geq d - tvs$ y $s \leq d$, asegura que la carne no exceda el tiempo máximo de congelación que hace preservar la carne en buen estado. En la Figura 10 se puede observar que si existe una demanda en el periodo 31 existe la posibilidad de que la carne que cumpla con esa venta pueda estar sacrificada desde el periodo 15, si la demanda estuviese antes de 31 también habría la posibilidad que la carne haya sido sacrificada desde 15, dado que en

ese periodo es donde comienza a producirse carne tipo 1, antes de 15 no existe producto por tanto su valor será 0, esto está garantizado por la expresión 13.1 y 13.2.

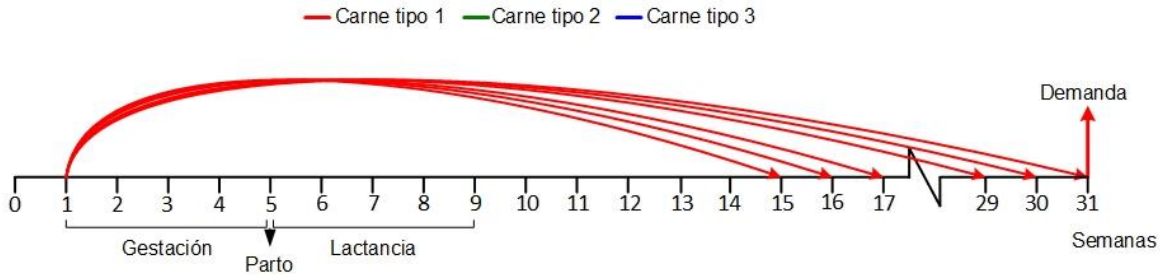


Figura 10. Distribución de los posibles sacrificios que pueden cumplir la demanda.

Restricción 14.

$$14.1. \quad dre_{dp} - nse_p \leq VCE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \forall d, p / d > tge + tlc \quad p = 3$$

$$14.2. \quad dre_{dp} - nse_p \leq VCE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \forall d, p / d > tge + eds_p \quad p \neq 3$$

Al igual que en la restricción 10 las ventas de producto congelado se moverán 6.35 Kg por debajo y por encima del valor demandado.

Restricción 15.

$$15.1. \quad QTES_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc$$

$$15.2. \quad QTES_{sp} = QDES_{sp} + QHES_{sp} \forall s, p / s > tge + tlc$$

La cantidad total de carne entera que sobra, se constituye de la cantidad que sobra de la carne proveniente de las crías así como también de las hembras reproductoras tal como lo muestra la expresión 15.2.

Restricción 16.

$$16.1. \quad QDK_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$$

$$16.2. \quad QDP_{sp} = \sum_{k=1}^4 QDK_{spk} \quad \forall s, p / s > tge + eds_p$$

$$16.3. \quad QDK_{spk} = QDP_{sp} * par_{pk} \quad \forall s, p, k / s > tge + eds_p$$

La cantidad de carne para particionar que se produce al sacrificar las crías y se encuentra disponible en el periodo de sacrificio s de cada tipo de producto p , es igual a la sumatoria de cada corte k que va de 1 a 4 (carne particionada), para cada periodo s de sacrificio y cada tipo de producto p .

La carne disponible particionada en el periodo s de sacrificio del tipo de producto p en el corte k , se obtiene de multiplicar la cantidad de carne disponible para particionar por la porcentaje de participación que tiene cada corte k en cada tipo de producto p .

Restricción 17.

$$17.1. \quad QDKR_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$$

$$17.2. \quad QDKC_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$$

$$17.3. \quad QDKS_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$$

$$17.4. \quad QDK_{spk} = QDKR_{spk} + QDKC_{spk} + QDKS_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + eds_p$$

Una vez se asegure la disponibilidad de carne en los diferentes cortes que produce las crías, se distribuye la cantidad cortes en carne que se encuentra refrigerada, congelada y el sobrante que existe en cada periodo s de cada producto p en cada corte k .

Restricción 18.

$$18.1. \quad QHK_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$18.2. \quad QHP_{sp} = \sum_{k=1}^4 QHK_{spk} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$$

$$18.3. \quad QHK_{spk} = QHP_{sp} * par_{pk} \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

De la misma manera como se particiona la carne proveniente de las crías, se particiona la carne que producen las hembras reproductoras, entonces la cantidad particionada se obtiene al multiplicar la cantidad disponible para ser particionada por el porcentaje de participación de cada corte en el producto tipo 3.

Restricción 19.

$$19.1. \quad QHKR_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$19.2. \quad QHKC_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$19.3. \quad QHKS_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$$

$$19.4. \quad QHK_{spk} = QHKR_{spk} + QHKC_{spk} + QHKS_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc \wedge p = 3$$

La carne ya particionada que produce las hembras reproductoras, se divide en la cantidad de partes que se van a congelar y refrigerar, así como también la cantidad que sobra de cada parte pero que no es congelada ni refrigerada.

Restricción 20.

$$20.1. \quad QTKR_{sdk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$20.2. \quad QTKR_{spk} = QDKR_{spk} + QHKR_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

Para poder vender carne refrigerada particionada se debe tener disponible una cantidad total de cortes refrigerados que se componen de la carne refrigerada que producen las crías y las hembras reproductoras.

Restricción 21.

$$21.1. \quad VRK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$21.2. \quad VRK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / d > s + tvr$$

$$21.3. \quad VRK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / d < s$$

$$21.4. \quad QTKR_{spk} = \sum_{\substack{d \geq s \\ d \leq s + tvr}}^n d / \quad VRK_{sdpk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

La cantidad de carne disponible particionada en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p en el corte k se obtiene de la sumatoria de todas las posibles ventas de producto particionado en el periodo de demanda d actual y un periodo posterior tal como indica la desigualdad que acompaña a la sumatoria $d \geq s$ y $d \leq s + tvr$.

Restricción 22.

$$22.1. \quad VRP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$$

$$22.2. \quad VRP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

$$22.3. \quad VRP_{dpk} = \sum_{\substack{s \leq d \\ s \geq d - tvr}}^n s / \quad VRK_{sdpk} \quad \forall d, p, k / d > tge + tlc$$

El cantidad de ventas refrigeradas particionadas que se demanda en un periodo d del tipo de producto p , del tipo de corte k , se obtienen al sumar la cantidad de especies sacrificadas entre el periodo $s \geq d - tvr$ y el periodo $s \leq d$, intervalo que me garantiza que la carne sea refrigerada.

Restricción 23.

$$1.1. \quad drp_{dpk} - nse_p \leq VRP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \quad \forall d, p, k / d > tge + tlc \wedge p = 3$$

$$1.2. \quad drp_{dpk} - nse_p \leq VRP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \quad \forall d, p, k / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

Las ventas de producto refrigerado particionado se controlan de la misma manera que las ventas de producto refrigerado entero, creando variaciones que se muevan por encima y por debajo del valor demandado.

Restricción 24.

$$24.1. \quad QTKC_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$24.2. \quad QTKC_{spk} = QDKC_{spk} + QHKC_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

El total de carne congelada en cortes está constituida por la carne congelada proveniente de las crías y de las hembras reproductoras.

Restricción 25.

$$25.1. \quad VCK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$25.2. \quad VCK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / d > s + tvc$$

$$25.3. \quad VCK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / d < s$$

$$25.4. \quad QTKC_{spk} = \sum_{\substack{d \geq s \\ d \leq s + tvc}}^n VCK_{sdpk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

La cantidad de carne disponible particionada en el periodo de sacrificio s del tipo de producto p en el corte k es igual a la sumatoria de todas las posibles ventas de producto particionado en el periodo de demanda d actual y un periodo posterior tal como indica la desigualdad que acompaña a la sumatoria $d \geq s$ y $d \leq s + tvc$.

Restricción 26.

$$26.1. \quad VCP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$$

$$26.2. \quad VCP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

$$26.3. \quad VCP_{dpk} = \sum_{\substack{s \geq d - tvc \\ s \leq d}}^n VCK_{sdpk} \quad \forall d, p, k / d > tge + tlc$$

El cantidad de ventas congeladas particionadas que se demanda en un periodo d del tipo de producto p en el corte k , se obtienen al sumar la cantidad de especies sacrificadas entre el periodo $s \geq d - tv_c$ y el periodo $s \leq d$ intervalo que me garantiza que la carne sea congelada.

Restricción 27.

$$27.1. \quad drp_{dpk} - nse_p \leq VCP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \forall d, p, k / d > tge + tlc \wedge p = 3$$

$$27.2. \quad drp_{dpk} - nse_p \leq VCP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \forall d, p, k / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$$

Las ventas de producto congelado particionado se controlan de la misma manera que las ventas de producto refrigerado entero, creando variaciones que se muevan por encima y por debajo del valor demandado.

Restricción 28.

$$28.1. \quad QTKS_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc$$

$$28.2. \quad QTKS_{spk} = QDKS_{spk} + QHKS_{spk} \forall s, p, k / s > tge + tlc$$

Las particiones totales sobrantes están conformada por las partes que sobraron de la carne proveniente de las hembras reproductoras y de las crías.

8. CASO ESTUDIO

8.1. Objetivo

El objetivo del caso estudio es validar el modelo propuesto en el proyecto y posteriormente hacer un análisis de sensibilidad con algunas de las variables más importantes.

8.2. Datos

En realización de este caso estudio se utilizara un horizonte de planeación de 42 semanas y se trabajara bajo los siguientes supuestos:

- Cantidad de tipos de carne de conejo son: 1: Parrilla, 2: Freír y 3: Hornear
- Peso promedio en canal de cada tipo de producto respectivamente: 1.27 Kg, 1.49 Kg y 1.61 Kg.
- Peso promedio vivo de cada tipo de producto respectivamente: 2.16 Kg, 2,62Kg y 2,97.
- Rendimiento promedio en canal de cada tipo de producto respectivamente: 59%, 57% y 54%.

8.2.1. Porcentaje en peso de cortes por canal.

Cada canal del conejo se compone por varios cortes que son los que se venden al público. En la Tabla 5 del presente documento se muestra el porcentaje de cada corte k que el conejo posee.

Tabla 5. Porcentaje de participación de cada tipo de corte k en cada tipo de carne.

	Paletilla	Costilla	Lomo	Muslo
Parrilla	0,24	0,16	0,33	0,27
Freír	0,24	0,17	0,32	0,27
Hornear	0,24	0,17	0,32	0,27

8.2.2. Demanda

En Colombia aún existen barreras que impiden un crecimiento constante del mercado de la carne de conejo, entre las cuales se encuentran principalmente los factores culturales, dado que el conejo es considerado una mascota y a la mayoría de gente le da pesar comérselo a pesar de ser altamente nutritivo. Aun así se tienen unos niveles de producción de 127.086 cabezas de conejos en pie según el último datos estadístico del DANE registrada por la encuesta nacional agropecuaria en el año 2011(La república, recuperado de http://www.larepublica.co/agronegocios/carne-de-conejo-saludable-pero-falta-promoci%C3%B3n_116611).

Así pues, en comparación con países europeos, la producción de carne de conejo en Colombia es muy incipiente y con el fin de tener datos más representativos del comportamiento de la demanda en un escenario en donde el consumo sea normal (sin restricciones culturales significativas), se toma como base información de consumo en países productores y consumidores de carne de conejo como España para estimar la demanda.

La estimación de la demanda se la determina con la ayuda de un sistema de pronóstico para el cual se toma los datos de consumo de un Polígono Alimentario líder en distribución alimentaria de rango internacional y gestionado por la Empresa Mixta Mercamadrid, S.A. Los datos se toman semana a semana y se construye un histórico de datos con 150 semanas de producto refrigerado y congelado, en el grafico 1 se puede observar el comportamiento de los datos de consumo y se determina mediante un regresión lineal que los datos tienen un comportamiento creciente por lo cual se decide utilizar el método de la suavización exponencial doble para hacer unas proyecciones de la demanda del producto. Aunque los resultados al determinar el pronóstico de la demanda no son los esperados dado que la variación de los datos de consumo es muy alta, esto no solo se observa en la Figura 11, sino que los datos como la MAD y ECM indican su gran

variabilidad. A pesar de los datos arrojados por el pronóstico se utilizan dado que son valores que medianamente representan los consumos de un mercado real de carne de conejo.

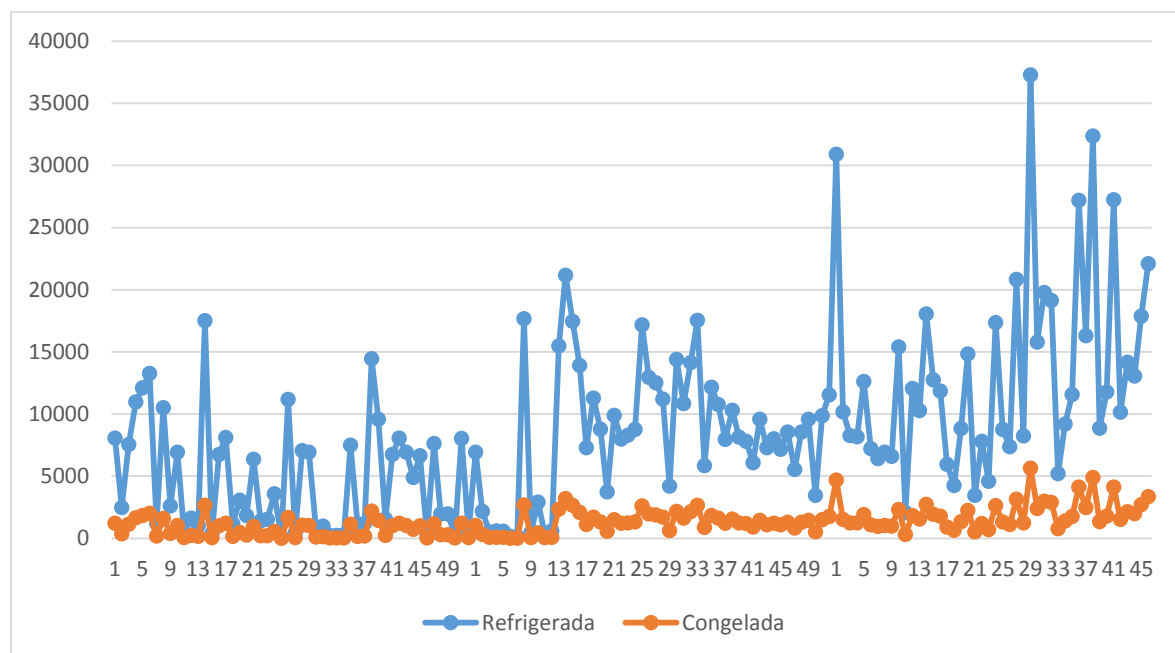


Figura 11. Consumo semanal de carne de conejo según el polígono alimentario de Madrid. Los parámetros de demanda con que se hacen operar el modelo inicialmente son los que se presentan en el anexo A.1, A.2, A.3 y A.4, lo cuales corresponden a la demanda de producto entero refrigerado y congelado, la demanda de producto particionado refrigerado y congelado respectivamente.

8.2.3. Precios de producto entero y particionado.

Los precios de la carne que se muestran en la Tabla 6 y 7, los precios son fijos durante los periodos de tiempo ya que se toma como referencia para la evaluación del modelo y no tiene en cuenta incrementos inesperados en cualquier eslabón de la cadena productiva, así como también los cambios generados por factores externos.

Para el desarrollo de esta tesis los valores de los precios de la carne se asumen conocidos para todas las semanas del horizonte de planeación.

Tabla 6. Precio de producto entero y todas sus particiones en estado refrigerado.

	Paletilla	Costilla	Lomo	Muslo	Entero
Parrilla \$/Kg	42621	13441	34568	32994	16431
Freir \$/kg	40785	12862	33079	31573	15723
Hornear \$/Kg	38949	12283	31590	30152	15015

Tabla 7. Precio de producto entero y todas sus particiones en estado congelado.

	Paletilla	Costilla	Lomo	Muslo	Entero
Parrilla \$/Kg	38359	12097	31111	29694	14788
Freír \$/kg	36706	11576	29771	28415	14151
Hornear \$/Kg	35054	11055	28431	27136	13514

8.2.4. Costos de producción de carne a lo largo de sistema de producción cunícola

La cadena de producción cunícola la componen diferente tipos de costos así como se puede apreciar en la Figura 12 que es publicada por el ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente de España, que se encarga de observa controlar el comportamiento de los precios en los alimentos. De acuerdo al sistema de producción modelado los costos de alimentación, mano de obra y otros costos varían de acuerdo al tipo de producto, esta variación se la detalla a continuación en cada uno de los apartados, así como también se explica el manejo que se tiene con cada uno de los costos.

8.2.4.1. Costos de alimentación

La alimentación que tiene en cuenta el modelo matemático se realiza con solo tipo de alimento (Concentrado), esta alimentación varía de acuerdo al tiempo de permanecía y el consumo de cada

una de las especies, dado que una hembra reproductora consume durante su tiempo de permanecía en el sistema 14,11 Kg de concentrado, este consumo corresponde a su periodo de gestación y lactancia, para las crías en el periodo de lactancia su consumo es de 0,05 Kg y por ultimo para las crías que llegan a la etapa de engorde el consumo varía de acuerdo al tipo de producto que se va a obtener, por lo tanto el consumo para cada tipo de producto es: 3,13 Kg para producto tipo 1, 4,88 Kg para producto tipo 2 y por ultimo 6,84 para producto tipo 3.

Existe dos tipos de concentrado uno para las crías que tiene un valor de 694 \$/Kg y otro que es reservado para las hembras reproductoras que tiene un precio 749 \$/Kg.

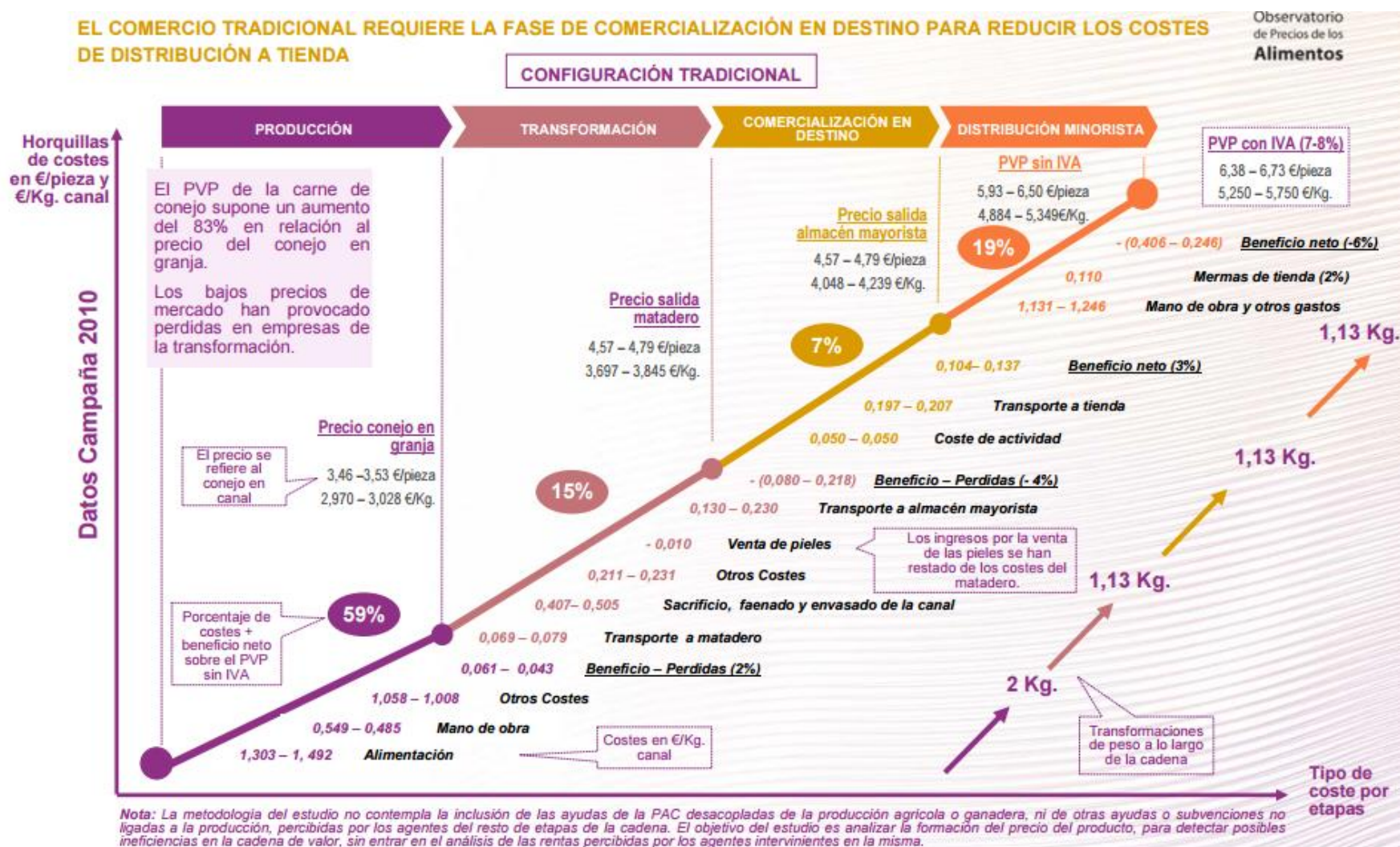


Figura 12. Composición de costos de la cadena de producción cunícola.(2015). Recuperado de: http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/ESTUDIOCONEJO10_tcm7-217827.pdf

8.2.4.2. Costos de mano de obra, costos de transformación y otros costos

Para determinar este tipo de costos se trabaja bajo el siguiente supuesto: de acuerdo a la Figura 12 se observa que los costos poseen un rango por lo tanto se mueven entre un nivel superior e inferior haciendo posible determinar un valor medio que sería un valor representativo del rango, al tener estos tres valores se puede asignar los costos a cada tipo de producto tal como se muestra en la Tabla 8, esto solo aplica para los costos de mano de obra y otros costos, el costo de transformación es el mismo para cualquier tipo de producto.

Tabla 8. Costo de mano de obra, costos de transformación y otros costos.

	Parrilla \$/Kg	Freír \$/Kg	Hornear \$/Kg
Mano de Obra	1.689	1.591	1.492
Otros Costos	3.255	3.178	3.102
Transformación	2.514	2.514	2.514
TOTAL	7.458	7.283	7.108

8.2.4.3. Costos mantener inventario

Costo de mantener producto refrigerado o congelado se calcula con base a un porcentaje que para este caso está alrededor del 7%, Este porcentaje se lo aplica al costo de producción total, por tanto bajo esta sentencia se calcula la Tabla 9 que muestra el costo de mantener cada tipo de producto en el congelador o refrigerador según corresponda.

Tabla 9. Costos de mantener el producto refrigerado o congelado

	Parrilla \$/Kg	Freír \$/Kg	Hornear \$/Kg
Costo de Mantener Refrigerado	1.070	1.086	1.119
Costo de Mantener Congelado	1.606	1.629	1.678

A continuación en la Tabla 10 se muestra la distribución del costo total de producción para cada tipo de producto.

Tabla 10.Costos de producción total para cada tipo de producto

	Parrilla \$/Kg	Freír \$/Kg	Hornear \$/Kg
Costo Total de Producción \$/Kg	15.291	15.515	15.980

8.2.4.4. Costos de distribución a minorista

Este costo está formado por el costo de mano de obra, costo de transporte de bodegas a tiendas minoristas y costo de exhibición del producto en las tiendas minoristas, este costo es indiferente a cada tipo de producto y tiene un valor de 3818 \$/Kg.

8.2.4.5. Costos de transformación acumulados

La transformación del producto tiene en cuenta hasta que el producto está en canal es decir que el conejo haya sido sacrificado, por tanto este costo acumulado de transformación tiene en cuenta el costo de alimentación, costo de mano de obra, otros costos y el costo de transformación. Cuando el conejo sacrificado se sabe si el kilogramo de carne va cumplir con una demanda o se va ser clasificado como sobrante, por tanto si el producto es catalogado como sobrante se multiplica la cantidad por el costo o el dinero invertido en el proceso y se obtiene una pérdida de dinero, por tanto a continuación en la Tabla 10 se muestra el costo de transformación que posiblemente se pierda por cada kilogramo que se clasifique como sobrante.

Tabla 11.Costos acumulados de transformación para cada tipo de producto.

	Parrilla \$/Kg	Freír \$/Kg	Hornear \$/Kg
Costo de Transformación Acumulado\$/Kg	10.713	10.937	11.401

9. ANÁLISIS Y RESULTADOS

9.1. Implementación

Para poder evaluar el caso estudio se utilizó el software Lingo® Versión 15.0, en donde se cargaron todos los parámetros y las restricciones del modelo propuesto.

El modelo genera 17612 variables y 7336 restricciones.

9.2. Modelo matemático en lingo

En el Anexo B.1 se presenta las restricciones del modelo matemático, tanto las expresiones matemáticas como la sintaxis del software Lingo® Versión 15.0.

9.3. Resultados iniciales

El valor que tiene la función objetivo al ejecutar por primera el modelo es: \$ 16.297.410

Haciendo énfasis en los ingresos se puede afirmar que el producto refrigerado genera alrededor del 88% de los ingresos totales tal como se muestra en la Figura 13. El cual está constituido por ventas de producto entero refrigerado y por las ventas del producto particionado refrigerado, este comportamiento se basa solo en el alto nivel de demanda que existe para producto refrigerado.

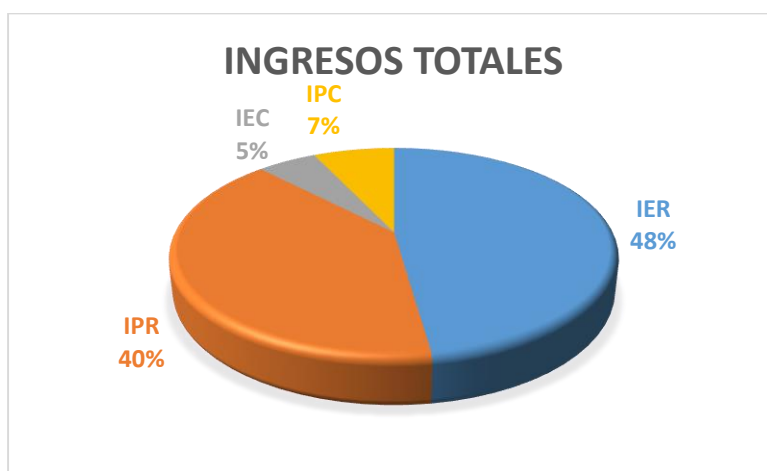


Figura 13. Ingresos según el tipo de venta realizada.

De acuerdo a la Figura 13 se puede afirmar que la producción de carne que tiene mayor participación es el producto entero refrigerado, seguido de las ventas de producto refrigerado particionado. La producción total de carne asciende 947.199 Kilogramos de lo cual solo se demanda 731.336 Kilogramos, lo que quiere decir que el modelo toma por lo general el límite superior de la demanda esto se debe a la función objetivo dado que es de maximización y tiende a cumplir con todo el producto demandado.

La producción total de carne se ve reflejada en la Figura 14, en donde está la carne total producida que hace referencia a todos los tipos de ventas y los sobrantes de producto. Se observa que la mayor participación de carne es del 46% que corresponde a ventas de producto refrigerado entero esto se debe a la gran demanda de producto refrigerado entero, el segundo porcentaje más alto es la cantidad total de carne en cortes sobrantes con un valor del 22%, este valor probablemente es elevado por que al cumplir la demanda de un tipo de corte, los demás cortes que constituyen a una canal hacen parte del sobrante. Por ultimo las ventas de producto refrigerado particionado tiene una participación del 22% que se debe a la alta demanda de las partes de producto refrigerado y esto a su vez puede confirmar la gran cantidad de producto sobrante. Las ventas de producto congelado son relativamente bajas con respecto a las ventas de producto refrigerado, una de las razones es que la diferencia entre los niveles de demanda es muy grande, si se observa las Tablas de demanda 6, 7, 8 y 9 los datos difieren en gran magnitud, estos porcentajes que componen la producción total de carne se representa en la figura 14.

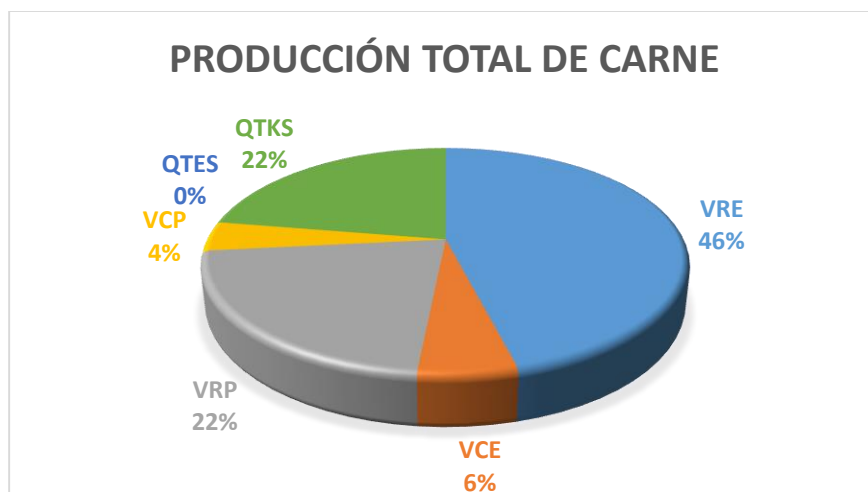


Figura 14. Producción total de carne.

Al hacer una clasificación de los tipos de cortes que existen en un canal de conejo, se puede observar que a nivel general la partición que tiene mayor nivel de ventas es el corte 2 que corresponde a costilla con un participación de ventas del 31%, esto tiene su origen en su alto nivel de demanda y precio considerable. En la Figura 15 se puede observar que no existe una gran variabilidad en las ventas de cortes tiene valores relativamente cercanos entre los cortes.

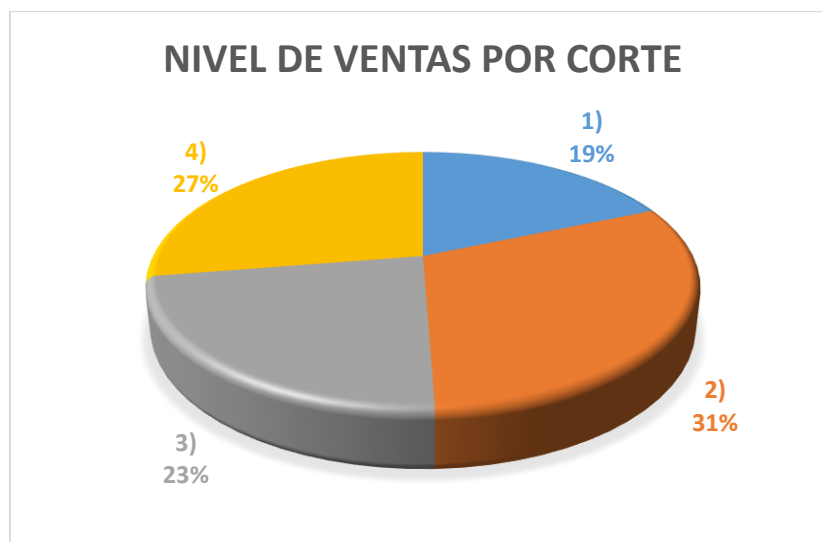


Figura 15. Ventas de producto particionado tanto congelado como refrigerado.

En la figura 16 se puede percatar que el tipo de producto que tiene un nivel de ventas elevado es el producto tipo 1, es decir la carne tipo parrilla con una participación del 39%, aunque la variación entre los otros tipos de productos no es conmensurable. De esta clasificación de ventas se puede afirmar que depende del precio de cada tipo de producto para que el nivel de ventas aumente por tal razón el producto 1 es el más vendido y el producto 3 es el que posee menos nivel de ventas.



Figura 16. Ventas por tipo de carne.

De acuerdo a la Figura 17 se puede determinar que el corte 3, que se refiere al lomo, es la parte que tiene mayor cantidad de sobrante posee, aun mas se puede ver que el producto tipo 1 tiene más frecuencia que los demás tipos de carne, lo que significa que la carne para parrilla tiende a sobrar en todos los cortes en mayor proporción, este incremento en el sobrante se debe a la alta demanda

el corte tipo 2 y su vez a la baja demanda de los otros cortes que permite que haya sobrante de cada partición.

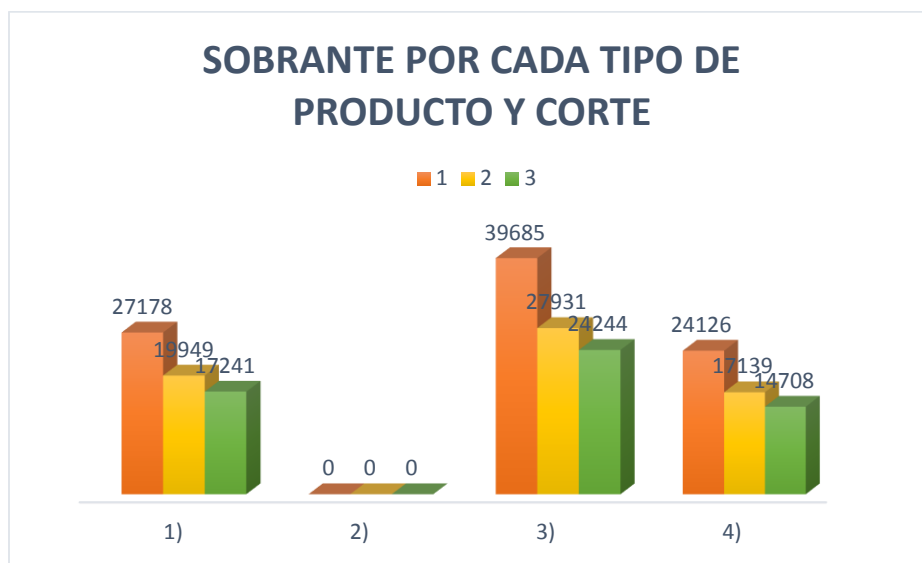


Figura 17. Sobrante clasificado por cada tipo de corte.

9.4. Análisis de sensibilidad

A continuación para determinar la sensibilidad del modelo, por lo tanto se evalúa el modelo frente a diversos escenarios, es decir que las variables importantes en el modelo cambiaran momentáneamente para observar el impacto que estos cambios tienen sobre la función objetivo, nivel de ingresos y costos.

9.4.1. Escenario 1: Variaciones de la demanda

Al variar los parámetros de demanda con incrementos del 25% y 50% y también disminuciones de -25% y -50% se obtuvieron los datos registrados en la Figura 18, en donde se observa el comportamiento de la función objetivo, costos e ingresos. Si se observa la línea que marca a la función objetivo se puede ver que arranca en un valor positivo y comienza a disminuir hasta hacerse negativa, también se aprecia como todos los costos aumentan de forma proporcional al incremento de la demanda pero en algún punto entre su estado normal y el incremento del 25%,

los costos superan a los ingresos y comienza a haber pérdidas en el sistema, esto se debe a la alta producción de particiones, donde se tiende a producir mayor cantidad de un corte que de los demás, tal como indica la Figura 17 que el modelo normalmente tiende a subir la cantidad de sobrante del corte 3 (Lomo) en todos los tipos de carne, debido a su bajo precio y demanda, de la misma forma aumenta esta pérdida en este escenario, pero no es solo el sobrante que contribuye a que haya pérdidas, también se puede ver que a medida que aumenta la demanda se tendrán que introducir mayor cantidad de hembras reproductoras al sistema las cuales incrementan el costo de alimentación, los costos asociados a sus cuidados durante las diferentes etapas reproductivas, son costos que contribuyen a la disminución de la utilidad bruta.

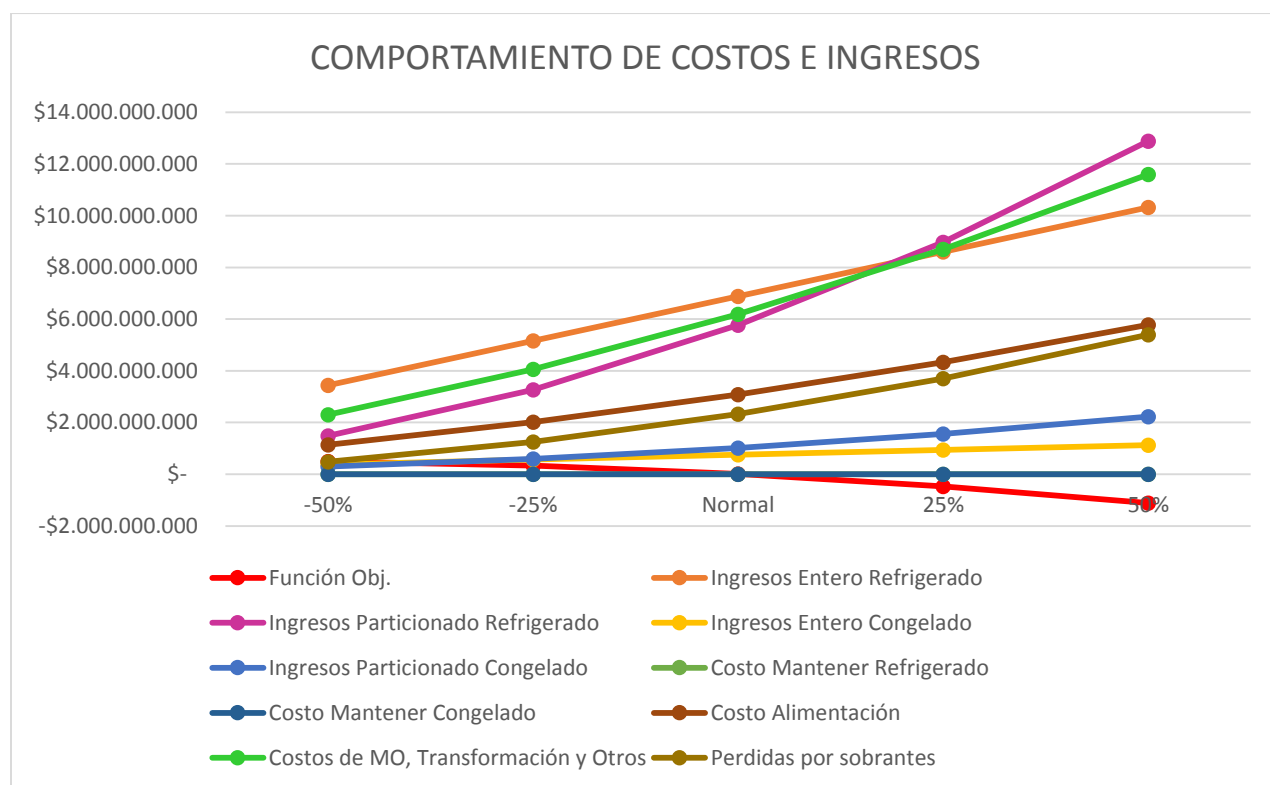


Figura 18. Comportamiento de la función objetivo, costos e ingresos ante variaciones de la demanda.

9.4.2. Escenario 2: Variación de costos de producción y transformación

Para analizar mejor el modelo se observa el comportamiento de los costos, ingresos y función objetivo en un escenario donde se haga aumentar y disminuir el 50% y 25% los costos de alimentación, mano de obra, transformación y otros costos.

Según la Figura 19 se puede contemplar que el comportamiento de la función objetivo, costos de producción y transformación, es completamente arbitrario dado que a simple vista se puede concluir que al aumentar los costos la utilidad disminuya, pero en esta incursión de incremento de costos se observa que el modelo trata de mejorar siempre la utilidad así que mitiga un poco el impacto de aumentar costos, dando valor a costos que venían nulos varias instancias atrás, es decir que el costo aumenta tanto que en algún punto entre el estado normal y el incremento del 25% el modelo decide colocar producto en el refrigerador para cumplir con demandas futuras, lo que indica que en ese intervalo hay un punto donde sale más económico sacrificar la especie y refrigerar, que tener una especie viva consumiendo alimento, cuidados de la mano de obra y otras actividades.

Al no haber variaciones de la demanda los costos que se involucran en la actividad de la cunicultura tiende a tener un valores constantes, por tanto este movimiento de costos solo afecta a la utilidad y los costos de mantener inventario en el refrigerador.

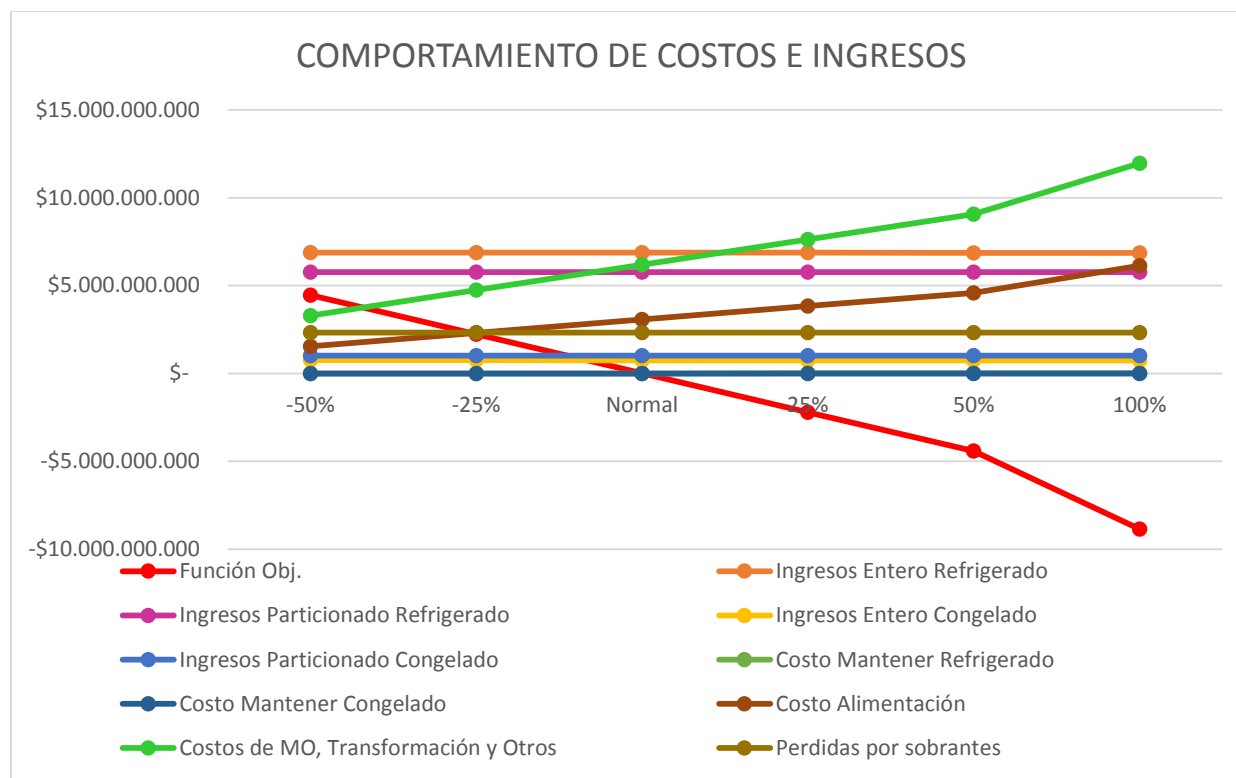


Figura 19. Comportamiento de la función objetivo, costos e ingresos ante la variación de costos de mano de obra, transformación y otros costos.

9.4.3. Escenario 3: Variaciones en los precios de la carne.

Los precios de la carne se analizan con variaciones del 25% y 50% por encima y el mismo valor por debajo, lo cual nos permite observar el comportamiento de la función objetivo, costos e ingreso en la Figura 20.

Al apreciar las variaciones de los todos los precios que se realizan en la Figura 20 se mira una pequeña pero importante brecha que existe entre los costos e ingresos, dado que los precios de la carne de conejo no posee un margen muy grande con respecto a los costos y esto se ve reflejado con la disminución de los precios del 25% y partiendo del margen promedio que generan los tres tipos de producto se puede afirmar que una disminución de más del 6,13% genera una utilidad negativa.

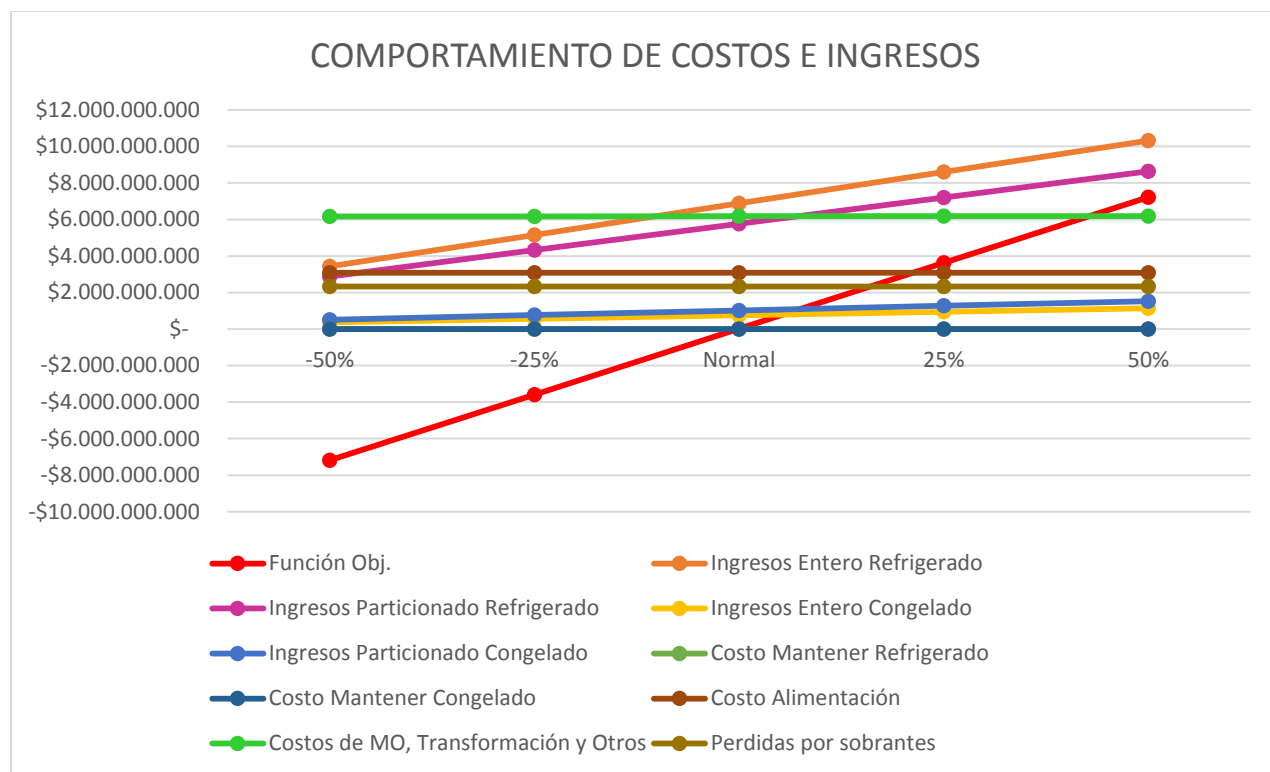


Figura 20. Comportamiento de la función objetivo, costos e ingresos ante la variación de los precios de todos los tipos de carne.

9.4.4. Escenario 4: Variaciones del peso vivo de las especies

Al variar el peso vivo de las especies se puede apreciar en la Figura 21 que la mayoría de los costos e ingresos tiene un comportamiento constante, sin embargo el costo de alimentación posee una tendencia a disminuir, pero empieza con una gran magnitud cuando se encuentra en la instancia que el peso vivo es disminuido un 50%, esto se debe principalmente al aumento de especies que se deben alimentar en esa instancia dado que debe de cumplir la demanda y para eso se debe sacrificar más especies de las que normalmente se sacrifica. Al examinar el comportamiento del consumo de alimento y la utilidad en las demás instancias se ve como el alimento disminuye hasta un punto que se deduce que las especies producen tanta carne que cada vez se debe introducir menos hembras reproductoras al sistema.

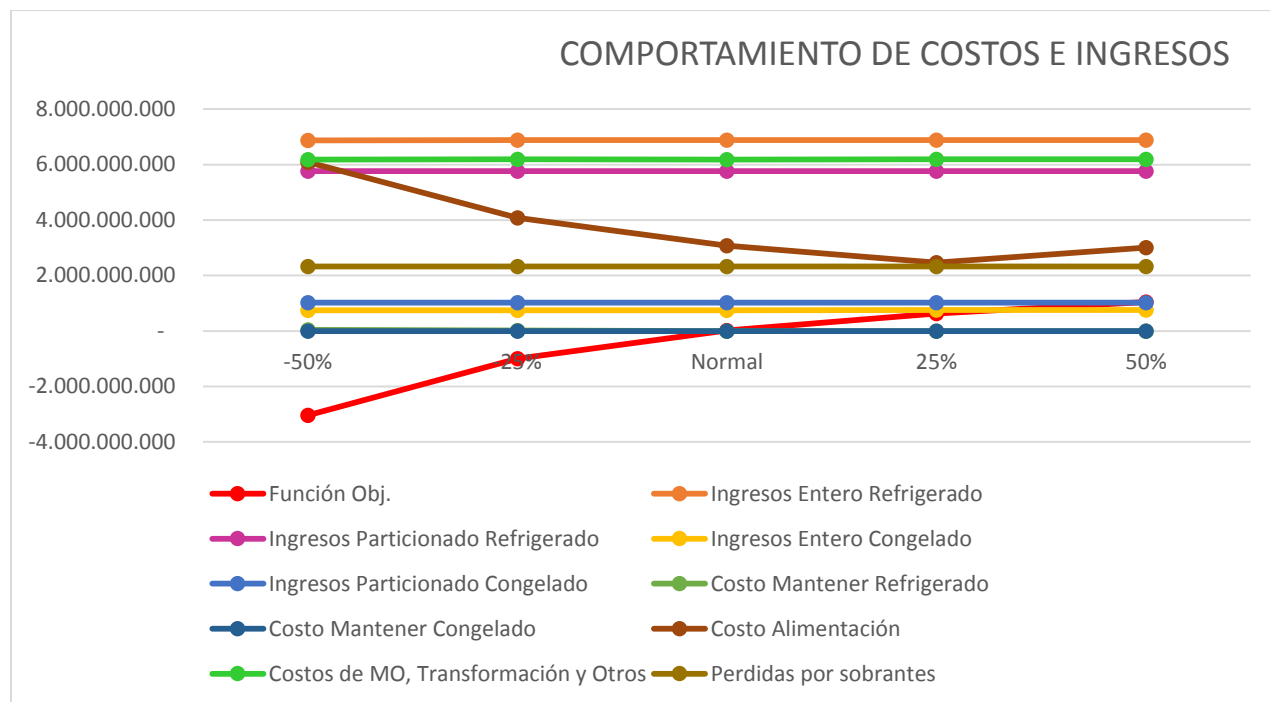


Figura 21. Comportamiento de la función objetivo, costos e ingresos ante la variación del peso vivo de cada especie.

10. CONCLUSIONES

- La cantidad de sobrante solo presenta variaciones cuando se produce un cambio en los valores de la demanda, dado que es la única instancia donde el sistema cambia su cantidad de pedido, entonces el sistema tiene instancias donde tiene que producir por debajo del valor predeterminado ósea la instancia normal y su cantidad de sobrante es menor, como también tiene que producir por encima del valor predeterminado y la cantidad de sobrante aumenta proporcionalmente.
- Variaciones de alzas en la demanda contribuyen a la disminución de la función objetivo puesto que las pérdidas por sobrante, costos de alimentación y costos asociados al cuidado de las especies aumentan proporcionalmente, las perdidas por sobrante aumentan en proporción a las ventas de producto particionado y el modelo tiene por preferencia vender producto particionado cuando la demanda aumenta lo cual hace que las pérdidas por el sobrante crezcan, los costos de alimentación y cuidado aumentan al tener mayor cantidad de especies en el sistema, entonces existe un punto donde los ingresos son menores a los costos y las perdidas y esto se debe a incremento de ventas de producto particionado que hace elevar el sobrante.
- Como es de esperarse el modelo reacciona negativamente ante el aumento de costos pero hay un punto donde el modelo busca todas las opciones por maximizar la utilidad bruta y decide hacer uso de un recurso que casi nunca lo utiliza porque aumenta costos y disminuye la utilidad que se llama costos de mantener, por lo tanto el modelo busca mitigar el impacto de los elevados costos y decide que resulta más económico refrigerar producto que tener especies vivas consumiendo alimento y los correspondientes cuidados.

- Se puede afirmar que el modelo funciona correctamente dado que los niveles de producción de carne son proporcionales al ingreso de hembras reproductoras al sistema, es decir que por cada hembra se produce la cantidad de carne estipulada para cada tipo de producto. Además los niveles de sobrante son acordes a la cantidad de carne que hace que sobre el sistema por cada una de las particiones.
- Como aporte académico y a los interesados en la industria cunícola, se ofrece una caracterización de la explotación cunícola en donde se tienen especies vivas en el cual se detallan las fases del proceso productivo, duración, parámetros, requerimiento de insumos por etapa, características propias de la especie y manejo, así como también elementos referentes a la etapa de sacrificio y venta de carne al consumidor final según el comportamiento de esta industria en países consumidores, como edades de sacrificio y tipos de producto según la edad, consideración de presentaciones entera y particionada, tiempo de vida del producto sacrificado, entre otras. Uno de los principales aportes del modelo matemático, es la representación del proceso productivo desde la etapa de reproducción y cría, en donde se tienen conejos vivos, hasta la etapa de sacrificio y venta al consumidor final, en donde se tienen conejos sacrificados, cuyo objetivo es equilibrar la producción e inventarios en ambas fases según la demanda de carne por tipo de producto (edad) y presentación (entero o particionado).

BIBLIOGRAFÍA

- Auxilia, M. (1999). Aspectos Economicos de la Producción del Conejo. *Boletín de Cunicultura*, 20–30.
- Ballou, R. (1999). *Business logistics management*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Bixby, A., Downs, B., & Self, M. (2006). A Scheduling and Capable-to-Promise Application for Swift & Company. *Journals*, 36, 69-86.
- Bustillo, G., & Figueroa, Y. (2013). *Diseño de una granja cunícola tecnificada para la producción de carne de conejo en el municipio de Arjona, Bolívar*. Universidad de Cartagena.
- Castaño, M. (1992). *Cunicultura*. Sabta fe de Bogotá, D.C.
- Castillo, E., Conejo, A., Pedregal, P., García, R., & Alguacil, N. (2002). *Formulación y resolución de modelos de programación matemática en ingeniería y ciencia*. Ciudad real, España.
- Domínguez Machuca, J. (1990). *El subsistema productivo de la empresa*. Madrid, España: Editorial Piramide.
- Garzón, R. (2012). *Factibilidad Técnica para el Aprovechamiento de la Carne de Conejo en la Obtención de un Producto Cárnico Curado y Empacado al Vacío*. Universidad de San Buenaventura.
- González, P., & Caravaca, F. (2003). Producción De Conejos De Aptitud Cárnica. In *Sistemas de Producción Animal* (pp. 379 – 393).
- Herrera Galindo, R. (2003). Cría, manejo e inseminación de conejos. *Volvamos al campo*, 16.
- Kahan, C. (1999). Economía en la Producción de conejos. *Lagomorpha*, 105, 40–42.
- Levas, F., Coudert, P., & Trébault, R. (1996). *El Conejo, Cría y Patología*. Roma.
- Leyún, M., Iraretagoyena, X., & Muguerza, T. (1994). Manejo industrial en cunicultura. *Cunicultura*, 271– 281.
- Lin, J., Chen, T.-L., & Chen, W.-J. (2007). Capacity and product mix planning problem for TFT array multi-plant. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24(6), 489–504.
- López Pérez, R. (2013). *Industria cunícola, un negocio por explotar*. Santa fe de Bogota: La República. Recuperado el 2013 de Octubre de 8, de http://www.larepublica.co/agronegocios/industria-cun%C3%ADcola-un-negocio-por-explotar_39544
- López Pérez, R. (2013). Carne de conejo, la clave esta en el valor agregado. *La República*. Recuperado el 23 de 08 de 14, de http://www.larepublica.co/agronegocios/carne-de-conejo-la-clave-est%C3%A1-en-el-valor-agregado_14725

- Los Alisos. (11 de 12 de 2006). *Conejos los alisos*. Recuperado el 12 de 04 de 2014, de http://www.conejoslosalisos.com/pie_de_cria/
- Malo, M. (2011a). Necesidades de PROTEÍNA en cunicultura : gazapos en cebo. *Cunicultura*, 12–13.
- Malo, M. (2011b). Necesidades de PROTEÍNA en cunicultura : hembras lactantes. *Cunicultura*, 15–18.
- McCarl, B., Rister, E., Stoke, J., Sturdivant, A., & Ziari, H. (1998). Meat packing plant production planning: Application of mixed integer goal programming. *Agribusiness An International Journal*, 171-181.
- McNitt, J., Lukefahr, S., Cheeke, P., & Patton, N. (2015). *Rabbit Production* (9th ed., Vol. 1). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Medina, F. (2014). La Distribución Alimentaria y la Cadena de Valor del Conejo. *Asociacion Española de Distribuidores, Autoservicio Y Supermercados*.
- Mendoza, B. (2008). *Consevación de Carne de Coonejo Empacada al Vacío*. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería área academica de química.
- MercaMadrid. (2015). MERCAMADRID. Retrieved November 30, 2015, from http://www.mercamadrid.es/index.php?option=com_estadisticas&task=semanales&Itemid=124
- Ministerio de Agricultura Alimentacion y Medio Ambiente. (2012). Estudio de la Cadena de Valor y Formación de Precios del Sector de la Carne de Conejo. Retrieved November 17, 2015, from http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/ESTUDIOCONEJO10_tcm7-217827.pdf
- Ministerio de Agricultura Alimentacion y Medio Ambiente. (2015). Estimacion de Precios de Piensos. Retrieved October 17, 2015, from http://aplicaciones.magrama.es/silum/silum_docs/novedades/5901/1.pdf
- Molinero, M. (1980). *Conejos: Alojamiento y Mantenimiento*. Barcelona.
- Muguerza, A., Iruretagolena, X., & Leyun, M. (1994). Costos de Producción en Cunicultura Variaciones del Manejo Producidas por los Margenes la Banda Unica. *I.T.G. PORCINO de Navarra*, 64–70.
- Ordoñez Castaño , A. (2013). Determinación del tamaño de lote óptimo en un sistema con productos perecederos. Cali, Valle del Cauca.
- Ouhayoun, J. (1990). Sacrificio y calidad de la carne de conejo. *Cunicultura*, 13–21.
- Piles, M., Ramon, J., Rafel, O., & Sánchez, J. (2014). Interacción GxE para peso post-destete en conejo de carne entre regímenes de alimentación ad libitum y restringida. *Cunicultura*, 16–17.

- Rodríguez, H. (1999). *Nutrición de los Conejos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.*
- Rosell, J. (1977). Cubrición. *Cunicultura*, 3, 188.
- Rosell, J. (1990). Boletín de Cunicultura. *La Revista Del Cunicultor Profesional*, 13.
- Rosell, J. (1992). La Aceptación de la Monta en la Coneja Doméstica. *Cunicultura*.
- Sanabria, L. (2012). *Un Modelo de Planeación de la Producción para una Planta Empacadora de Cárnicos.* Universidad Autonoma de Nuevo León.
- Secretaría de Economía. (2005). *Productos Pecuarios - Carne De Conejo En Canal - Calidad De La Carne - Clasificación.* Estados Unidos Mexicanos.
- Serrano, J. (2011). Controles Oficiales en el Matadero. *Cunicultura*, 19–22.
- Serrano, P., Pascual, M., & Gómez, E. (2012). Estimación de costes de producción de la carne de conejo. *Boletín de Cunicultura*, 44–53.
- Sipper, D., Robert, L., & Baifin, J. (1998). *Planeación y control de la producción.* Mc Graw Hill.
- Taha, Hamdy A. (2004). *Investigación de Operaciones* (7a Edición ed.). Mexico: Pearson Educación.
- Veall, F. (1997). Estructura de funcionamiento de mataderos medianos en paise en desarrollo.
- Vidal, C. (2006). *Fundamentos de gestión de inventarios.* Cali, Valle del Cauca: Universidad del Valle.
- Xiccato, G., & Trocino, A. (2007). Italia, un sistema de producción cunícola integrada. *II Congreso Ibérico de Cunicultura*, 163–172.
- Whitaker, D., & Cammell, S. (1900). A Partitioned Cutting-Stock Problem Applied in the Meat Industry. *Palgrave Macmillan Journals on behalf of the Operational Research Society*, 801-807.

ANEXOS

A. Parámetros de demanda

A. 1. Demanda de producto entero refrigerado.

Producto Entero Refrigerado							
Semana	P1	P2	P3	Semana	P1	P2	P3
1	0	0	2963	20	5421	4744	3388
2	0	0	2985	21	5457	4775	3411
3	0	0	3007	22	5493	4806	3433
4	0	0	3030	23	5529	4838	3456
5	0	0	3052	24	5565	4869	3478
6	0	0	3075	25	5601	4901	3500
7	4955	0	3097	26	5637	4932	3523
8	4991	0	3119	27	5672	4963	3545
9	5027	4399	3142	28	5708	4995	3568
10	5063	4430	3164	29	5744	5026	3590
11	5099	4461	3187	30	5780	5057	3612
12	5135	4493	3209	31	5816	5089	3635
13	5170	4524	3232	32	5852	5120	3657
14	5206	4555	3254	33	5887	5152	3680
15	5242	4587	3276	34	5923	5183	3702
16	5278	4618	3299	35	5959	5214	3724
17	5314	4650	3321	36	5995	5246	3747
18	5350	4681	3344	37	6031	5277	3769
19	5386	4712	3366				

A. 2. Demanda de producto entero congelado.

Producto Entero Congelado							
Semana	P1	P2	P3	Semana	P1	P2	P3
1	0	0	389	20	658	576	411
2	0	0	390	21	660	578	413
3	0	0	391	22	662	579	414
4	0	0	392	23	664	581	415
5	0	0	393	24	666	583	416
6	0	0	395	25	668	584	417
7	633	0	396	26	670	586	419
8	635	0	397	27	672	588	420
9	637	558	398	28	673	589	421
10	639	559	399	29	675	591	422
11	641	561	401	30	677	593	423

12	643	563	402	31	679	594	425
13	645	564	403	32	681	596	426
14	647	566	404	33	683	598	427
15	649	568	405	34	685	599	428
16	651	569	407	35	687	601	429
17	652	571	408	36	689	603	430
18	654	573	409	37	691	604	432
19	656	574	410				

A. 3. Demanda de producto particionado refrigerado.

Semanas	Particionado Refrigerado											
	Producto 1				Producto 2				Producto 3			
	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4
1	0	0	0	0	0	0	0	0	254	444	317	381
2	0	0	0	0	0	0	0	0	256	448	320	384
3	0	0	0	0	0	0	0	0	258	451	322	387
4	0	0	0	0	0	0	0	0	260	454	325	390
5	0	0	0	0	0	0	0	0	262	458	327	392
6	0	0	0	0	0	0	0	0	264	461	329	395
7	425	743	531	637	0	0	0	0	265	465	332	398
8	428	749	535	642	0	0	0	0	267	468	334	401
9	431	754	539	646	377	660	471	566	269	471	337	404
10	434	759	542	651	380	665	475	570	271	475	339	407
11	437	765	546	656	382	669	478	574	273	478	341	410
12	440	770	550	660	385	674	481	578	275	481	344	413
13	443	776	554	665	388	679	485	582	277	485	346	415
14	446	781	558	669	390	683	488	586	279	488	349	418
15	449	786	562	674	393	688	491	590	281	491	351	421
16	452	792	565	679	396	693	495	594	283	495	353	424
17	455	797	569	683	399	697	498	598	285	498	356	427
18	459	802	573	688	401	702	502	602	287	502	358	430
19	462	808	577	692	404	707	505	606	289	505	361	433
20	465	813	581	697	407	712	508	610	290	508	363	436
21	468	819	585	702	409	716	512	614	292	512	365	439
22	471	824	589	706	412	721	515	618	294	515	368	441
23	474	829	592	711	415	726	518	622	296	518	370	444
24	477	835	596	715	417	730	522	626	298	522	373	447
25	480	840	600	720	420	735	525	630	300	525	375	450

26	483	845	604	725	423	740	528	634	302	528	377	453
27	486	851	608	729	425	744	532	638	304	532	380	456
28	489	856	612	734	428	749	535	642	306	535	382	459
29	492	862	615	739	431	754	539	646	308	539	385	462
30	495	867	619	743	433	759	542	650	310	542	387	464
31	498	872	623	748	436	763	545	654	312	545	389	467
32	502	878	627	752	439	768	549	658	313	549	392	470
33	505	883	631	757	442	773	552	662	315	552	394	473
34	508	888	635	762	444	777	555	666	317	555	397	476
35	511	894	638	766	447	782	559	670	319	559	399	479
36	514	899	642	771	450	787	562	674	321	562	401	482
37	517	905	646	775	452	792	565	678	323	565	404	485

A. 4. Demanda de producto particionado congelado.

Semanas	Producto Particionado Congelado											
	Producto 1				Producto 2				Producto 3			
	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4
1	0	0	0	0	0	0	0	0	52	91	65	78
2	0	0	0	0	0	0	0	0	52	91	65	78
3	0	0	0	0	0	0	0	0	52	91	65	78
4	0	0	0	0	0	0	0	0	52	92	65	78
5	0	0	0	0	0	0	0	0	52	92	66	79
6	0	0	0	0	0	0	0	0	53	92	66	79
7	84	148	106	127	0	0	0	0	53	92	66	79
8	85	148	106	127	0	0	0	0	53	93	66	79
9	85	149	106	127	74	130	93	112	53	93	66	80
10	85	149	107	128	75	130	93	112	53	93	67	80
11	85	150	107	128	75	131	93	112	53	93	67	80
12	86	150	107	129	75	131	94	113	54	94	67	80
13	86	150	107	129	75	132	94	113	54	94	67	81
14	86	151	108	129	75	132	94	113	54	94	67	81
15	86	151	108	130	76	132	95	114	54	95	68	81
16	87	152	108	130	76	133	95	114	54	95	68	81
17	87	152	109	130	76	133	95	114	54	95	68	82
18	87	153	109	131	76	134	95	115	55	95	68	82
19	88	153	109	131	77	134	96	115	55	96	68	82
20	88	154	110	132	77	134	96	115	55	96	69	82
21	88	154	110	132	77	135	96	116	55	96	69	83

22	88	154	110	132	77	135	97	116	55	97	69	83
23	89	155	111	133	77	136	97	116	55	97	69	83
24	89	155	111	133	78	136	97	117	55	97	69	83
25	89	156	111	134	78	136	97	117	56	97	70	83
26	89	156	112	134	78	137	98	117	56	98	70	84
27	90	157	112	134	78	137	98	118	56	98	70	84
28	90	157	112	135	79	138	98	118	56	98	70	84
29	90	158	113	135	79	138	98	118	56	98	70	84
30	90	158	113	135	79	138	99	119	56	99	71	85
31	91	158	113	136	79	139	99	119	57	99	71	85
32	91	159	114	136	79	139	99	119	57	99	71	85
33	91	159	114	137	80	139	100	120	57	100	71	85
34	91	160	114	137	80	140	100	120	57	100	71	86
35	92	160	114	137	80	140	100	120	57	100	72	86
36	92	161	115	138	80	141	100	121	57	100	72	86
37	92	161	115	138	81	141	101	121	58	101	72	86

B. Modelo matemático en lingo

B. 1. Modelo matemático en lingo.

$QDS_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$ $HRM_{tsp} = 0 \quad \forall t, s, p \quad t > n - tge - eds_p$ $\sum_{\substack{s \\ t \geq s - tge - eds_p - msa_p \\ t \leq s - tge - eds_p}} HRM_{tsp} * fec$ $* prl * (1 - mop)$ $* (1 - mol)$ $* (1 - moe) * ppv_p$ $* ppr_p = QDS_{sp} \quad \forall s, p$ $/ s > tge + eds_p$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#tge+eds(p)):[R1a] QDS(s,p) = 0); @For(TEMSCRPRO(t, s, p) (t#GT#(n-tge-tlc)):[R1b] HRM(t,s,p) = 0); @For(SCRPRO(s, p) (s#GT#tge+eds(p)):[R1c] QDS(s,p) = @Sum(TiempoT(t) (t #LE# (s-tge-eds(p)))#AND#(t#GE#s-tge-eds(p)-msa(p)): (HRM(t, s, p)*(fec*prl*(1-mop)*(1-mol)*(1-moe)*ppv(p)*ppr(p)))));
$QDE_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$ $QDP_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#tge+eds(p)):[R2a] QDE(s,p) = 0);

$QDS_{sp} = QDE_{sp} + QDP_{sp} \forall s, p / s > tge + eds_p$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#tge+eds(p)):[R2b] QDP(s,p) = 0); @ForSCRPRO(s,p) (s#GT#tge+eds(p)):[R2c] QDS(s,p) = QDE(s,p) + QDP(s,p));
$QDER_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$ $QDEC_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$ $QDES_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + eds_p$ $QDE_{sp} = QDER_{sp} + QDEC_{sp} + QDES_{sp} \forall s, p / s > tge + eds_p$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#tge+eds(p)):[R3a] QDER(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#LE#tge+eds(p)):[R3b] QDEC(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#LE#tge+eds(p)):[R3c] QDES(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#GT#tge+eds(p)):[R3d] QDE(s,p) = QDER(s,p)+QDEC(s,p)+QDES(s,p));
$QHR_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$ $QHR_{(t+tge+tlc)p} = \sum_s^n \sum_q^3 (HRM_{tsq} * ppv_q * ppr_q) \forall t, p / t \leq n - tge - tlc \wedge p = 3$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#(tge+tlc))#OR#(p#NE#3):[R4a] QHR(s,p) = 0); @For(TEMPRO(t,p) (t#LE#(n-tge-tlc))#AND#(p#EQ#3) :[R4b] QHR((t+tge+tlc),p) = @Sum(TiempoS(s): @Sum(ProductoP(q):(HRM(t, s, q)*ppv(q)*ppr(q)))));
$QHE_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$ $QHP_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#(tge+tlc))#OR#(p#NE#3):[R5a] QHE(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#LE#(tge+tlc))#OR#(p#NE#3):[R5b] QHP(s,p) = 0);

$QHR_{sp} = QHE_{sp} + QHP_{sp} \forall s, p / s > tge + tlc \wedge p = 3$	@For(SCRPRO(s,p) (s#GT#tge+tlc)#AND#(p#EQ#3):[R5c] QHR(s,p) = QHE(s,p) + QHP(s,p));
$QHER_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$ $QHEC_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$ $QHES_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$ $QHE_{sp} = QHER_{sp} + QHEC_{sp} + QHES_{sp} \forall s, p / s > tge + tlc \wedge p = 3$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#(tge+tlc))#OR#(p#NE#3):[R6a] QHER(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#LE#(tge+tlc))#OR#(p#NE#3):[R6b] QHEC(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#LE#(tge+tlc))#OR#(p#NE#3):[R6c] QHES(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#GT#tge+tlc)#AND#(p#EQ#3):[R6d] QHE(s,p) = QHER(s,p)+QHEC(s,p)+QHES(s,p));
$QTER_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc$ $QTER_{sp} = QDER_{sp} + QHER_{sp} \forall s, p / s > tge + tlc$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#(tge+tlc)):[R7a] QTER(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#GT#(tge+tlc)):[R7b] QTER(s,p) = QDER(s,p)+QHER(s,p));
$VER_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / s \leq tge + tlc$ $VER_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d > s + tvr$ $VER_{sdp} = 0 \quad \forall s, d, p / d < s$ $QTER_{sp} = \sum_{\substack{d / \\ d \geq s \\ d \leq s + tvr \\ > tge + tlc}}^n VER_{sdp} \quad \forall s, p / s$	@For(SCRDEMPRO(s,d,p) (s#LE#(tge+tlc)):[R8a] VER(s,d,p) = 0); @For(SCRDEMPRO(s,d,p) (d#GT#(s+tvr)):[R8b] VER(s,d,p) = 0); @For(SCRDEMPRO(s,d,p) (d#LT#s):[R8c] VER(s,d,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#GT#(tge+tlc)): [R8d] QTER(s,p) = @Sum

	(TiempoD(d) (d#GE#s)#AND#(d#LE#(s+tvr)):VER(s,d,p));
$VRE_{dp} = 0 \forall s, d, p \ s \leq tge + tlc \wedge p = 3$ $VRE_{dp} = 0 \forall s, d, p \ s \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$ $VRE_{dp} = \sum_{\substack{s \leq d \\ s \geq d - tvr}}^n VER_{sdp} \forall d, p / s > tge + tlc$	@For(DEMPRO(d,p) (d#LE#(tge+tlc))#AND#(p#EQ#3): [R9a] VRE(d,p) = 0); @For(DEMPRO(d,p) (d#LE#(tge+eds(p)))#AND#(p#NE#3): [R9b] VRE(d,p) = 0); @For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+tlc)): [R9c] VRE(d,p) = @Sum (TiempoS(s) (s#GE#(d-tvr))#AND#(s#LE#d):VER(s,d,p)));
$dre_{dp} - nse_p \leq VRE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \forall d, p / d > tge + tlc \wedge p = 3$ $dre_{dp} - nse_p \leq VRE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \forall d, p / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$	@For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+tlc))#AND#(p#EQ#3):[R10Infa] VRE(d,p) >= dre(d,p)-nse(p)); @For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+tlc))#AND#(p#EQ#3):[R10Supb] VRE(d,p) <= dre(d,p)+nse(p)); @For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+eds(p)))#AND#(p#NE#3):[R10Infc] VRE(d,p) >= dre(d,p)-nse(p)); @For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+eds(p)))#AND#(p#NE#3):[R10Supd] VRE(d,p) <= dre(d,p)+nse(p));
$QTEC_{sp} = 0 \forall s, p / s \leq tge + tlc$ $QTEC_{sp} = QDEC_{sp} + QHEC_{sp} \forall s, p / s > tge + tlc$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#(tge+tlc)): [R11a] QTEC(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#GT#(tge+tlc)): [R11b] QTEC(s,p) = QDEC(s,p)+QHEC(s,p));
$VEC_{sdp} = 0 \forall s, d, p / s \leq tge + tlc$ $VEC_{sdp} = 0 \forall s, d, p / d > s + tvr$ $VEC_{sdp} = 0 \forall s, d, p / d < s$	@For(SCRDEMPRO(s,d,p) (s#LE#(tge+tlc)): [R12a] VEC(s,d,p) = 0);

$QTEC_{sp} = \sum_{\substack{d / \\ d \geq s \\ d \leq s + tv_c \\ > tge + tlc}}^n VEC_{sdp} \forall s, p / s$	@For(SCRDEMPRO(s,d,p) (d#GT#(s+tv_c)): [R12b] VEC(s,d,p) = 0); @For(SCRDEMPRO(s,d,p) (d#LT#s): [R12c] VEC(s,d,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#GT#(tge+tlc)): [R12d] QTEC(s,p) = @Sum (TiempoD(d) (d#GE#s)#AND#(d#LE#s+tv_c): VEC(s,d,p)));
$VCE_{dp} = 0 \forall d, p / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$ $VCE_{dp} = 0 \forall d, p / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$ $VCE_{dp} = \sum_{\substack{s / \\ s \geq d - tv_c \\ s \leq d \\ > tge + tlc}}^n VEC_{sdp} \forall d, p / d$	@For(DEMPRO(d,p) (d#LE#(tge+tlc))#AND#(p#EQ#3): [R13a] VCE(d,p) = 0); @For(DEMPRO(d,p) (d#LE#(tge+eds(p)))#AND#(p#NE#3): [R13b] VCE(d,p) = 0); @For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+tlc)): [R13c] VCE(d,p) = @Sum (TiempoS(s) (s#GE#(d-tv_c))#AND#(s#LE#d): VEC(s,d,p)));
$dre_{dp} - nse_p \leq VCE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \forall d, p / d > tge + tlc \wedge p = 3$ $dre_{dp} - nse_p \leq VCE_{dp} \leq dre_{dp} + nse_p \forall d, p / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$	@For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+tlc))#AND#(p#EQ#3): [R14Inf a] VCE(d,p) >= dce(d,p)-nse(p)); @For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+tlc))#AND#(p#EQ#3): [R14Sup b] VCE(d,p) <= dce(d,p)+nse(p)); @For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+eds(p)))#AND#(p#NE#3): [R14Inf c] VCE(d,p) >= dce(d,p)-nse(p)); @For(DEMPRO(d,p) (d#GT#(tge+eds(p)))#AND#(p#NE#3): [R14Sup d] VCE(d,p) <= dce(d,p)+nse(p));

$QTES_{sp} = 0 \quad \forall s, p / s \leq tge + tlc$ $QTES_{sp} = QDES_{sp} + QHES_{sp} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$	@For(SCRPRO(s,p) (s#LE#(tge+tlc)):[R15a] QTES(s,p) = 0); @For(SCRPRO(s,p) (s#GT#tge+tlc):[R15b] QTES(s,p) = QDES(s,p)+QHES(s,p));
$QDK_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$ $QDP_{sp} = \sum_{k=1}^4 QDK_{spk} \quad \forall s, p / s > tge + eds_p$ $QDK_{spk} = QDP_{sp} * par_{pk} \quad \forall s, p, k / s > tge + eds_p$	@For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#tge+eds(p)) : [R16a] QDK(s,p,k) = 0); @For (SCRPRO(s,p) (s#GT#tge+eds(p)): [R16b] QDP(s,p)= @Sum (CorteK(k): QDK(s,p,k))); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#GT#tge+eds(p)) : [R16c] QDK(s,p,k) = QDP(s,p)*par(p,k));
$QDKR_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$ $QDKC_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$ $QDKS_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + eds_p$ $QDK_{spk} = QDKR_{spk} + QDKC_{spk} + QDKS_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + eds_p$	@For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#tge+eds(p)) : [R17a] QDKR(s,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#tge+eds(p)) : [R17b] QDKC(s,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#tge+eds(p)) : [R17c] QDKS(s,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#GT#tge+eds(p)) : [R17d] QDK(s,p,k) = QDKR(s,p,k)+QDKC(s,p,k)+QDKS(s,p,k));
$QHK_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$ $QHP_{sp} = \sum_{k=1}^4 QHK_{spk} \quad \forall s, p / s > tge + tlc$	@For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#(tge+tlc))#OR#(p#NE#3): [R18a] QHK(s,p,k) = 0); @For (SCRPRO(s,p) (s#GT#tge+tlc): [R18b] QHP(s,p)= @Sum (CorteK(k): QHK(s,p,k)));

$QHK_{spk} = QHP_{sp} * par_{pk} \forall s, p, k / s > tge + tlc$	@For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#GT#tge+tlc): [R18c] QHK(s,p,k) = QHP(s,p)*par(p,k));
$QHKR_{spk} = 0 \forall s, d, p, k / s > tge + tlc \vee p \neq 3$ $QHKC_{spk} = 0 \forall s, d, p, k / s > tge + tlc \vee p \neq 3$ $QHKS_{spk} = 0 \forall s, d, p, k / s \leq tge + tlc \vee p \neq 3$ $QHK_{spk} = QHKR_{spk} + QHKC_{spk} + QHKS_{spk} \forall s, p, k / s > tge + tlc \wedge p = 3$	@For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#tge+tlc)#OR#(p#NE#3): [R19a]QHKR(s,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#tge+tlc)#OR#(p#NE#3): [R19b]QHKC(s,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#tge+tlc)#OR#(p#NE#3): [R19c]QHKS(s,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#GT#tge+tlc)#AND#(p#EQ#3): [R19d] QHK(s,p,k) = QHKR(s,p,k)+QHKC(s,p,k)+QHKS(s,p,k));
$QTKR_{spk} = 0 \forall s, p, k / s \leq tge + tlc$ $QTKR_{spk} = QDKR_{spk} + QHKR_{spk} \forall s, p, k / s > tge + tlc$	@For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#(tge+tlc)): [R20a] QTKR(s,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#GT#(tge+tlc)): [R20b] QTKR(s,p,k) = QDKR(s,p,k)+QHKR(s,p,k));
$VRK_{sdpk} = 0 \forall s, d, p, k / s \leq tge + tlc$ $VRK_{sdpk} = 0 \forall s, d, p, k / d > s + tvr$ $VRK_{sdpk} = 0 \forall s, d, p, k / d < s$	@For(SCRDEMPROCOR(s,d,p,k) (s#LE#tge+tlc): [R21a]VRK(s,d,p,k) = 0); @For(SCRDEMPROCOR(s,d,p,k) (d#GT#(s+tvr)): [R21b] VRK(s,d,p,k) = 0); @For(SCRDEMPROCOR(s,d,p,k) (d#LT#s): [R21c] VRK(s,d,p,k) = 0);

$QTKR_{spk} = \sum_{\substack{d / \\ d \geq s \\ d \leq s + tvr \\ / s > tge + tlc}}^n VRK_{sdpk} \forall s, p, k$	@For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#GT#tge+tlc): [R21d] QTKR(s,p,k) = @Sum(TiempoD(d) (d#GE#s)#AND#(d#LE#s+tvr):VRK(s,d,p,k));
$VRP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$ $VRP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$ $VRP_{dpk} = \sum_{\substack{s / \\ s \leq d \\ s \geq d - tvr \\ / d > tge + tlc}}^n VRK_{sdpk} \forall d, p, k$	@For(DEMPROCOR(d,p,k) (d#LE#(tge+tlc)) #AND#(p#EQ#3): [R22a] VRP(d,p,k) = 0); @For(DEMPROCOR(d,p,k) (d#LE#tge+eds(p)) #AND#(p#NE#3): [R22b] VRP(d,p,k) = 0); @For (DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#tge+tlc): [R20c] VRP(d,p,k) = @Sum(TiempoS(s) (s#GE#(d-tvr)) #AND#(s#LE#d): VRK(s,d,p,k));
$drp_{dpk} - nse_p \leq VRP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \forall d, p, k / d > tge + tlc \wedge p = 3$ $drp_{dpk} - nse_p \leq VRP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \forall d, p, k / d > tge + eds_p \wedge p \neq 3$	@For(DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#(tge+tlc)) #AND#(p#EQ#3):[R23Inf]a VRP(d,p,k) >= drp(d,p,k)-nse(p)); @For(DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#(tge+tlc)) #AND#(p#EQ#3):[R23Sup]b VRP(d,p,k) <= drp(d,p,k)+nse(p)); @For (DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#(tge+eds(p))))# AND#(p#NE#3):[R23Inf]c VRP(d,p,k) >= drp(d,p,k)-nse(p)); @For (DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#(tge+eds(p))))# AND#(p#NE#3):[R23Sup]d VRP(d,p,k) <= drp(d,p,k)+nse(p));

$QTKC_{sdk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \leq tge + tlc$ $QTKC_{spk} = QDKC_{spk} + QHKC_{spk} \quad \forall s, p, k / s > tge + tlc$	@For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#(tge+tlc)): [R24a] QTKC(s,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#GT#(tge+tlc)): [R24b] QTKC(s,p,k) = QDKC(s,p,k)+QHKC(s,p,k));
$VCK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / s \leq tge + tlc$ $VCK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / d > s + tvk$ $VCK_{sdpk} = 0 \quad \forall s, d, p, k / d < s$ $QTKC_{spk} = \sum_{\substack{n \\ d / \\ d \geq s \\ d \leq s + tvk \\ / s > tge + tlc}} VCK_{sdpk} \quad \forall s, p, k$	@For(SCRDEMPROCOR(s,d,p,k) (s#LE#tge+tlc): [R25a] VCK(s,d,p,k) = 0); @For(SCRDEMPROCOR(s,d,p,k) (d#GT#(s+tvk)): [R25b] VCK(s,d,p,k) = 0); @For(SCRDEMPROCOR(s,d,p,k) (d#LT#s): [R25c] VCK(s,d,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#GT#tge+tlc): [R25d] QTKC(s,p,k) = @Sum(TiempoD(d) (d#GE#s)#AND#(d#LE#s+tvk):VCK(s,d,p,k)));
$VCP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + tlc \wedge p = 3$ $VCP_{dpk} = 0 \quad \forall d, p, k / d \leq tge + eds_p \wedge p \neq 3$ $VCP_{dpk} = \sum_{\substack{n \\ s / \\ s \geq d - tvk \\ s \leq d \\ / d > tge + tlc}} VCK_{sdpk} \quad \forall d, p, k$	@For(DEMPROCOR(d,p,k) (d#LE#(tge+tlc))#AND#(p#EQ#3): [R26a] VCP(d,p,k) = 0); @For(DEMPROCOR(d,p,k) (d#LE#tge+eds(p))#AND#(p#NE#3): [R26b] VCP(d,p,k) = 0); @For (DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#tge+tlc): [R26c] VCP(d,p,k) = @Sum(TiempoS(s) (s#GE#(d-tvk))#AND#(s#LE#d): VCK(s,d,p,k)));
$drp_{dpk} - nse_p \leq VCP_{dpk} \leq drp_{dpk} + nse_p \quad \forall d, p, k / d > tge + tlc \wedge p = 3$	@For (DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#(tge+tlc))#AND#(p#EQ#3): [R27Infa] VCP(d,p,k) >= dcp(d,p,k)-nse(p));

$ \begin{aligned} &drp_{dpk} - nse_p \leq VCP_{dpk} \\ &\leq drp_{dpk} \\ &+ nse_p \forall d, p, k / d \\ &> tge + eds_p \wedge p \neq 3 \end{aligned} $	@For (DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#(tge+tlc))#AND#(p#EQ#3):[R27Supb] VCP(d,p,k) <= dcp(d,p,k)+nse(p)); @For (DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#(tge+eds(p))))#AND#(p#NE#3):[R27Infc] VCP(d,p,k) >= dcp(d,p,k)-nse(p)); @For (DEMPROCOR(d,p,k) (d#GT#(tge+eds(p))))#AND#(p#NE#3):[R27Supd] VCP(d,p,k) <= dcp(d,p,k)+nse(p));
$ \begin{aligned} &QTKS_{spk} = 0 \quad \forall s, p, k / s \\ &\leq tge + tlc \\ \\ &QTKS_{spk} = QDKS_{spk} \\ &+ QHKS_{sp} \forall s, p, k / s \\ &> tge + tlc \end{aligned} $	@For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#LE#(tge+tlc)): [R28a] QTKS(s,p,k) = 0); @For(SCRPROCOR(s,p,k) (s#GT#tge+tlc): [R28b] QTKS(s,p,k) = QDKS(s,p,k)+QHKS(s,p,k));