

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



INSTITUTO DE CIENCIAS MATEMÁTICAS ESCUELA DE GRADUADOS

TESIS DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: "MAGISTER EN CONTROL DE PERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA"

TEMA:

"MATRIZ DE OPTIMIZACION DE CORTES DE CERDO & ASIGNACION ESTRUCTURADA DE COSTOS"

AUTORES:

ING. JORGE DUQUE

ECO. SANTIAGO NAJERA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2010

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

A todos aquellos que hicieron posible lograr esta meta, y que nos apoyaron a lo largo de este proceso.

Al Patrimonio
Intelectual del mismo, correspondido exclusivamente al ICM
(Instituto de Ciencias Matemáticas) de la ESCUELA
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

(Reglamento de graduación de la ESPOL)

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Ing. Jorge Durán

Eco. Santiago Najera

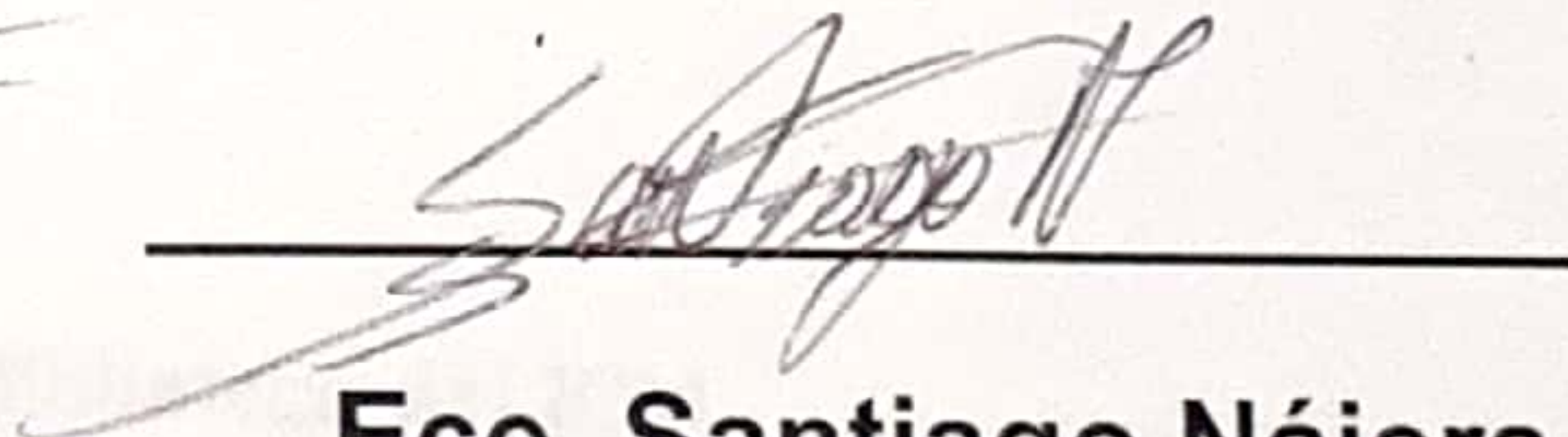
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, así como el Patrimonio Intelectual del mismo, corresponden exclusivamente al ICM (Instituto de Ciencias Matemáticas) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de graduación de la ESPOL)

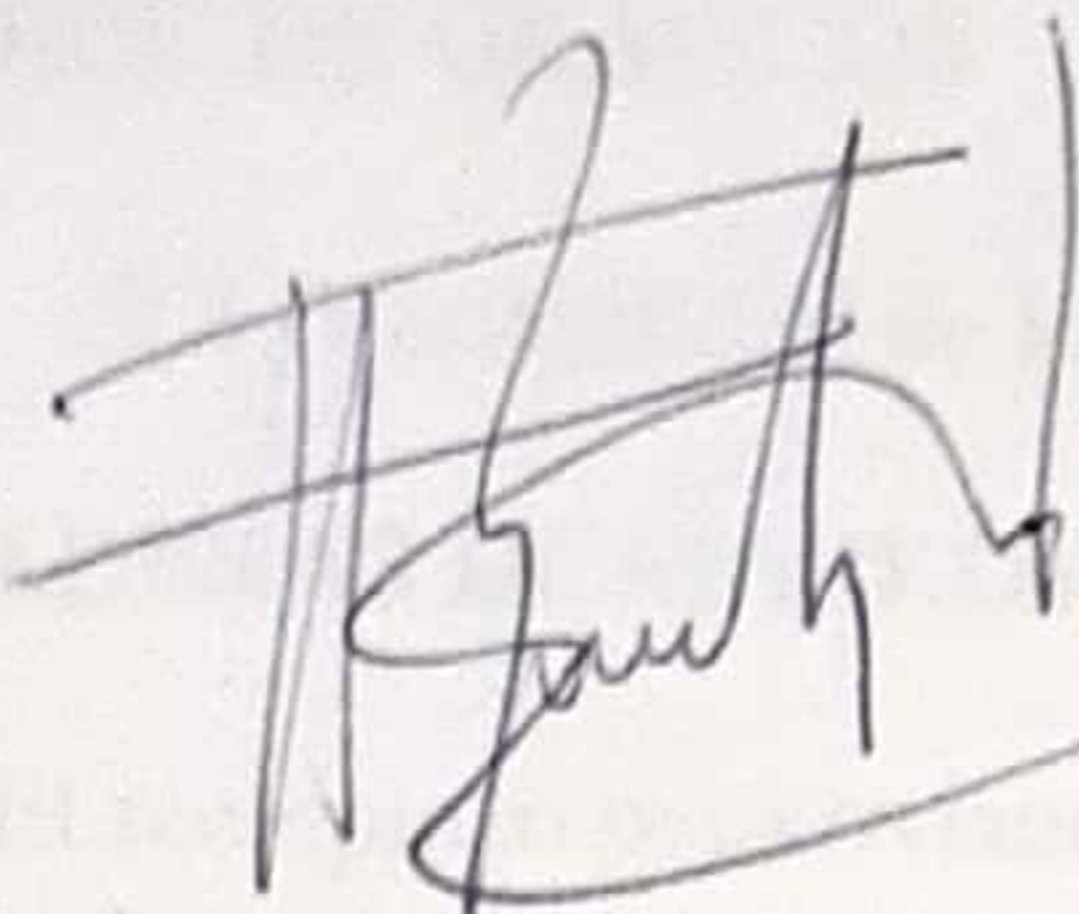


Ing. Jorge Duque.

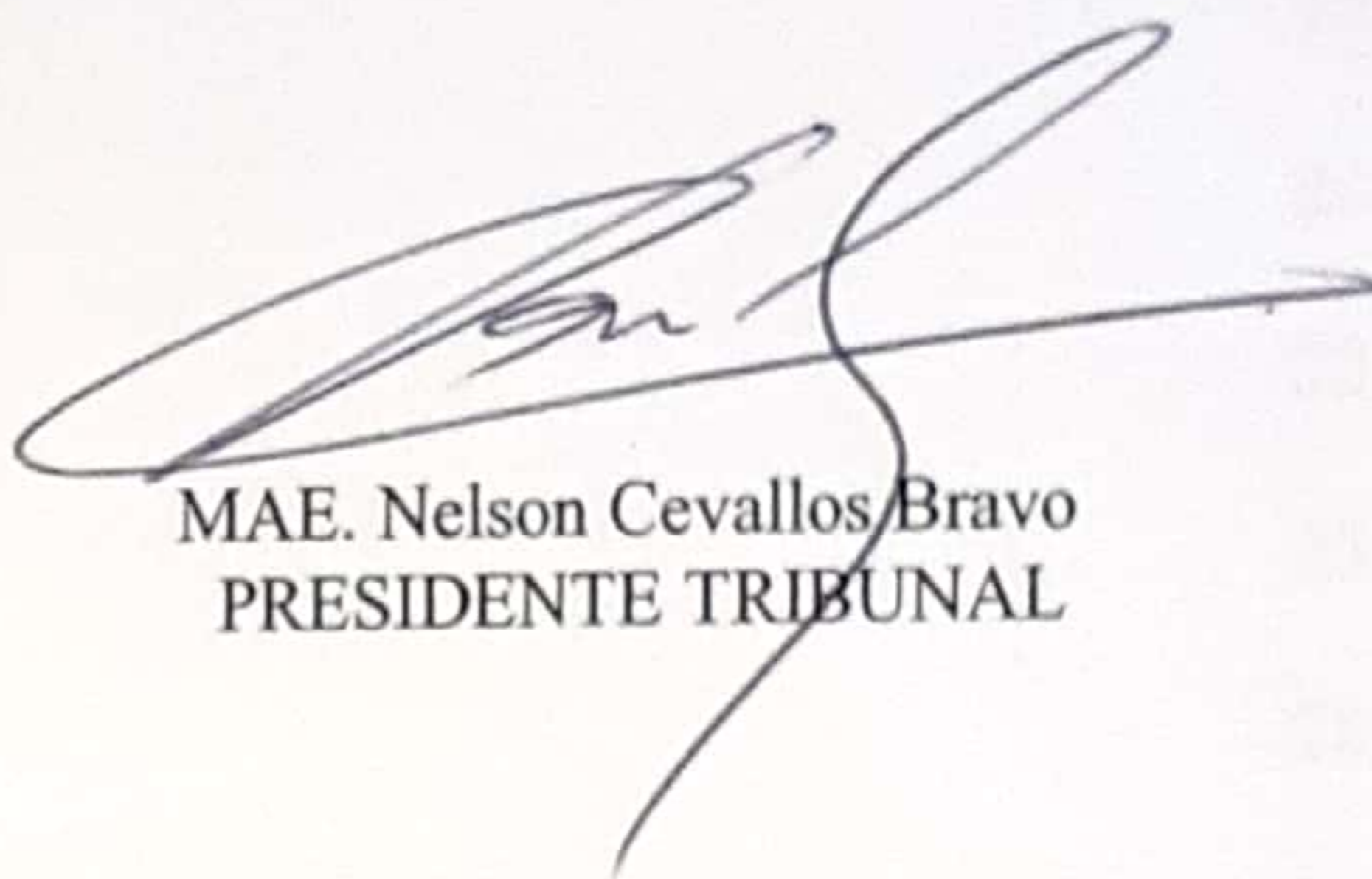


Eco. Santiago Nájera

TRIBUNAL DE GRADO



MSc. Fernando Sandoya Sanchez
DIRECTOR DE TESIS



MAE. Nelson Cevallos Bravo
PRESIDENTE TRIBUNAL



MSc. Kleber Barcia Villacreses
VOCAL

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS	I
ÍNDICE DE GRÁFICOS	II
2.4. Variabilidad de los parámetros	17
3. CADENAS DE MARKOV	22
3.1. El reemplazo markoviano en los cerdos	22
3.2. Método de cálculo matricial	25
3.3 Matriz de transición	28
4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN COMPUTACIONAL	36
4.1 Generación de Matriz de Rendimientos	36
4.2 Software utilizado	39
5. COSTEO	41
5.1. Costeo de la carne industrializada de cerdo	41
5.2. Costo estándar	52
5.3. Precios y costos estructurados	60
5.4. Liquidación de costos reales:	65
6. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFIA	84
ANEXOS	85

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
• Cuadro No. 2.1 – Parámetros Generales a las Tres Generaciones	9
• Cuadro No. 2.2 – Inseminación y Gestación Hato 1.000 Madres	12
• Cuadro No. 2.3 – Mejor Solución Hato de Hembras	16
• Cuadro No. 2.4 – Sensibilidad Fertilidad & Productividad	21
• Cuadro No. 3.1 – Probabilidad Reemplazo Cerdo	23
• Cuadro No. 3.2 – Matriz $DD^T = Y$	25
• Cuadro No. 3.3 – Matriz Z	27
• Cuadro No. 3.4 – Detalle 3er. Reemplazo Cerdas	28
• Cuadro No. 3.5 – Matriz de Transición Reemplazo Cerdos	30
• Cuadro No. 3.6 – Saldo Cerdas por Período de Parición	32
• Cuadro No. 3.7 – $S(n) \times T$	33
• Cuadro No. 3.8 – Comparativo Resultado Cadenas de Markov vs. Realidad Granjas Porcinas Pronaca	35
• Cuadro No. 4.1 – Canal Comercial	36
• Cuadro No. 5.1 – Matriz de Rendimientos en Cortes (R)	46
• Cuadro No. 5.2 – Costos Asociados al Proceso de Cortes	47
• Cuadro No. 5.3 – Producción Optimizada de cortes	49
• Cuadro No. 5.4 – Cortes por Producto Principal & Ítem Comercial (U)	51
• Cuadro No. 5.5 – Matriz Auxiliar Distribución Costos (C)	53
• Cuadro No. 5.6 – Matriz Inicial Dólares	54
• Cuadro No. 5.7– Matriz Proporción Producción (K)	55
• Cuadro No. 5.8 Matriz Solución 1	56
• Cuadro No. 5.9 – Matriz 2 Dólares	57

• Cuadro No. 5.10 – Matriz Solución 2	58
• Cuadro No. 5.11 – Matriz 4 Dólares & Matriz Solución 4	58
• Cuadro No. 5.12 – Ventas, Costo & Margen Bruto Productos Terminados	59
• Cuadro No. 5.13 – Matriz Auxiliar Respuesta Costos	61
• Cuadro No. 5.14 – Matriz Incidencia Productos Despresados	62
• Cuadro No. 5.15 – Matriz Auxiliar Respuesta Ventas	63
• Cuadro No. 5.16 – Precios y Costos Estructurados	64
• Cuadro No. 5.17 – Matriz $R^1.R$	68
• Cuadro No. 5.18 – $(Matriz R^1.R)^{-1}$	68
• Cuadro No. 5.19 – Producción Cortes Partiendo de una (R) y (D) Conocidos	69
• Cuadro No. 5.20 – Movimiento Inventario Período Analizado	70
• Cuadro No. 5.21 – Matriz de Rendimientos en Cortes sin A y T (R)	71
• Cuadro No. 5.22 – Producción Cortes Partiendo de una (R) y (D) Conocidos	72
• Cuadro No. 5.23 – Cortes por Producto Principal & Ítem Comercial (U)	73
• Cuadro No. 5.24 – Cortes Saldo Inicial	73
• Cuadro No. 5.25 – Cortes por Producto Principal & Ítem Comercial (U)	74
• Cuadro No. 5.26 – Sensibilidad al Problema de Cortes	75
• Cuadro No. 5.27 – Cálculo de Holguras a la Restricción Lado Derecho	76
• Cuadro No. 5.28 – Sensibilidad y Precio Sombra al Corte de Productos	79

ÍNDICE DE GRAFICOS

	Pág.
• Gráfico No. 1.1 – Distribución Porcentual Ventas de Cerdo por Canal	5
• Gráfico No. 2.1 – Genética Producción Cerdos Engorde	7
• Gráfico No. 2.2 – Peso Medio por Día & Porcentaje de Producción	18
• Gráfico No. 2.3 – Porcentaje Fertilidad Madres	19
• Gráfico No. 2.4 – Cerdos Destetados por Madre	19
• Gráfico No. 2.5 – Porcentaje Mortalidad Engorde	20
• Gráfico No. 3.1 – Número de Particiones Máximo con 6 Reemplazo	29
• Gráfico No. 3.1 – Cadena de Markov no Absorbente en el Reemplazo de Reproductoras de Cerdos	35
• Gráfico No. 4.1 – Árbol de Despresado	37
• Gráfico No. 4.2 – Ítem Comercial	37
• Gráfico No. 5.2 – Estructura de Cortes del Producto A	45

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Planteamiento:

¿Cuál es el área de enfoque de la tesis?

La optimización del despresado de los cerdos, para el efecto de utilizará Programación Matemática.

¿Qué preguntas se responden con el desarrollo de esta tesis?

- ¿Cuál es la pirámide óptima en la crianza de cerdos que permite satisfacer la demanda de la manera más óptima?
- ¿Cuál es el ciclo de vida, y como se reemplaza una reproductora (cadenas de markov)?
- ¿Cuál es el despresado óptimo de un cerdo?
- ¿Qué costo se debe de poner a cada uno de sus productos?
- ¿Cuál es la ganancia mínima que se puede aceptar?

¿Qué suposiciones se tienen para el desarrollo del tema?

- Existe un solo tipo o raza de animal.
- Los rendimientos por animal son similares entre ellos, de aquí que se considera una sola matriz de despresado.

Justificación:

La industria porcina tecnificada, demanda ingentes recursos tanto de activos fijos como de capital de trabajo; además, por la complejidad que existe en la sincronización de la producción (por la estructura corporal del animal), con la demanda de cada producto, es necesario buscar herramientas que apoyen, tanto a la operación de crianza, faena y logística de entrega, como a la definición de precios y costos competitivos. Estas herramientas se alinean con la aplicación de las técnicas de la programación lineal.

Objetivo General:

Presentar modelos matemáticos de optimización para maximizar la utilidad y/o minimizar los costos en el despresado de la carne porcina.

Objetivos específicos:

- Estructurar un modelo óptimo del hato porcino en granjas
- Estructurar un modelo óptimo de despresado de cerdos
- Estructurar un modelo óptimo de asignación de costos y márgenes estructurados para los productos que se cortan y sus derivados.

Capítulo 1

INTRODUCCION

Todas las empresas a nivel mundial enfrentan problemas de escasez y costos de los recursos con los que se enfrenta su cadena productiva, para, por un lado, crear valor hacia los accionistas y por otro, satisfacer las necesidades del cliente. Sin lugar a duda un mejor servicio o cumplimiento con el cliente, en la mayoría de los casos, representa un aumento de costos y esfuerzos para toda empresa; no obstante mediante el uso e implementación de conceptos logísticos, o la aplicación de métodos de optimización es posible aumentar la satisfacción al cliente y a la vez reducir los costos, lo cual se traduce finalmente en un incremento de las ganancias de la empresa.

La industria cárnica no es la excepción. A nivel mundial, debe enfrentarse continuamente con el problema de brindar satisfacción a los clientes, sin incurrir en un exceso de costos y desperdicios, lo cual claramente se ve identificado, al momento que se busca la mejor manera de despresar un animal, puesto que las opciones en las que se lo puede cortar son prácticamente infinitas. De aquí que las empresas se ven abocadas a un problema de optimización, que dispone de un número limitado de animales, diversas opciones de despresados (cada uno con su costo respectivo), y una demanda de mercado que debe ser satisfecha de la mejor manera.

Los sistemas de optimización de cortes tienen un sinnúmero aplicaciones en una variedad de industrias, entre las cuales se tienen por ejemplo la textiles, madereras, del acero, etc. Esto se debe a que la aplicación de estos implica una reducción sustancial en los costos de la empresa. Por ejemplo una disminución del desperdicio del 10% en la industria del acero, se puede traducir en millones de dólares, de aquí que con los años han venido desarrollando algoritmos y programas para solucionar

estos problemas. No obstante hay que tener en cuenta que cada empresa tiene sus particularidades; es importante al momento de realizar la modelización, el incluir dichas variables y escoger los modelos adecuados que permiten obtener respuestas satisfactorias de manera oportuna.

Biblioteca del ICM
Homero Ortiz Egas



1.1. Objetivo y campo de aplicación.

En el presente trabajo se pretende aplicar las técnicas y algoritmos correspondientes a los modelos de optimización de cortes CSM & PSM (Cutting Stock and Pattern Selection Models) al despresado de cerdos comerciales aplicado a la empresa Mr. Chancho, para lo cual se utilizarán los algoritmos ya existentes para CSM los que serán readaptados para el caso propio de cerdos, asumiendo que todos los animales son iguales en sus características morfológicas, tales como peso, tamaño, nivel de grasa corporal, etc. El objetivo es generar un sistema de ecuaciones que resuelva el problema propio del despresado, teniendo en cuenta que en un futuro, esta generalización del modelo en una primera fase, permitirá la generación de un sistema de optimización que también incorpore variables probabilísticas.

A fin de llegar al concepto principal de optimización en el corte, se inicia estudiando al sistema porcino desde su concepción en las granjas de multiplicación, gestación de las reproductoras y crianza del cerdo de engorde. No sería posible una optimización por sí sola de los cortes, si de antemano no cuenta con una materia prima competitiva. El reemplazo de madres y el hato máximo de reproductoras, asociadas a la producción preestablecida de gordos, son importantes a la hora de contar con una productividad eficiente y minimizar construcciones y gastos de alimentación.

Estructurada la crianza, se modelará la optimización en el corte de los animales, buscando cumplir con la demanda de los mismos, al menor costo posible (por

disminución de mermas) y con el mejor precio posible (alternativas de corte hacia el mercado).

Finalmente se presenta un modelo de costeo por producto, hecho ad hoc para productos que explotan y que no se ensamblan. El modelo permitirá apoyar al de optimización del desprese a tomar mejores decisiones gerenciales dado que resume no solo el costo, sino la rentabilidad por cada corte.

1.2. Un Resumen General de la Empresa y el Tipo de Negocio

En 1957 se constituye la compañía INDIA, precursora del grupo PRONACA, la misma que se centró en sus orígenes en los negocios agropecuarios. Con la experiencia ganada a través de los años, en el año de 1979 se funda PRONACA, empresa en la que se agrupan las distintas líneas de negocio de la corporación. Entre las líneas más representativas de la Compañía, se tiene la marca Mr. Chancho misma que aparece a inicios de los noventa y se dedica a la crianza de cerdos, procesamiento y comercialización de la carne de estos animales. Sus centros de operación están en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas. En la actualidad Mr. Chancho es reconocida como la principal marca de comercialización de carne de chancho a nivel nacional; no obstante en los últimos años ha debido enfrentar un incremento en la competencia tanto formal como informal. Dentro de la primera se tienen empresas como Don Diego, Juris, Oro, etc, mientras que desde Perú ha aumentado de manera ilegal la entrada de cerdo criollo (no industrializado), lo cual es parte del aumento de la oferta informal.

1.1.1. Formas de comercialización y canales de distribución.

El cliente de los productos porcinos puede adquirir la carne mediante distintos canales de distribución como por ejemplo: tradicional, consumo inmediato y autoservicios. Al tradicional le corresponden por ejemplo los mercados populares, los cuales no ofrecen al consumidor final cortes específicos, o estandarizados, obligándolos en muchos

casos a llevar un corte entero (piernas, brazos, etc). En otros canales tradicionales, tales como tiendas o despensas el consumidor tiene la opción de llevar el corte del tamaño y peso que requiera; sin embargo los cortes efectuados no son bien realizados debido a que son efectuados por el propio dueño del local y de manera artesanal.

El canal de consumo inmediato (hoteles, restaurantes, colegios, etc.), solicita cortes primarios, con diferentes grados de especificación (con grasa, sin grasa, con y sin cuero, tamaño de costillar, etc). Estos cortes son realizados en su mayoría en la planta de proceso de la Compañía.

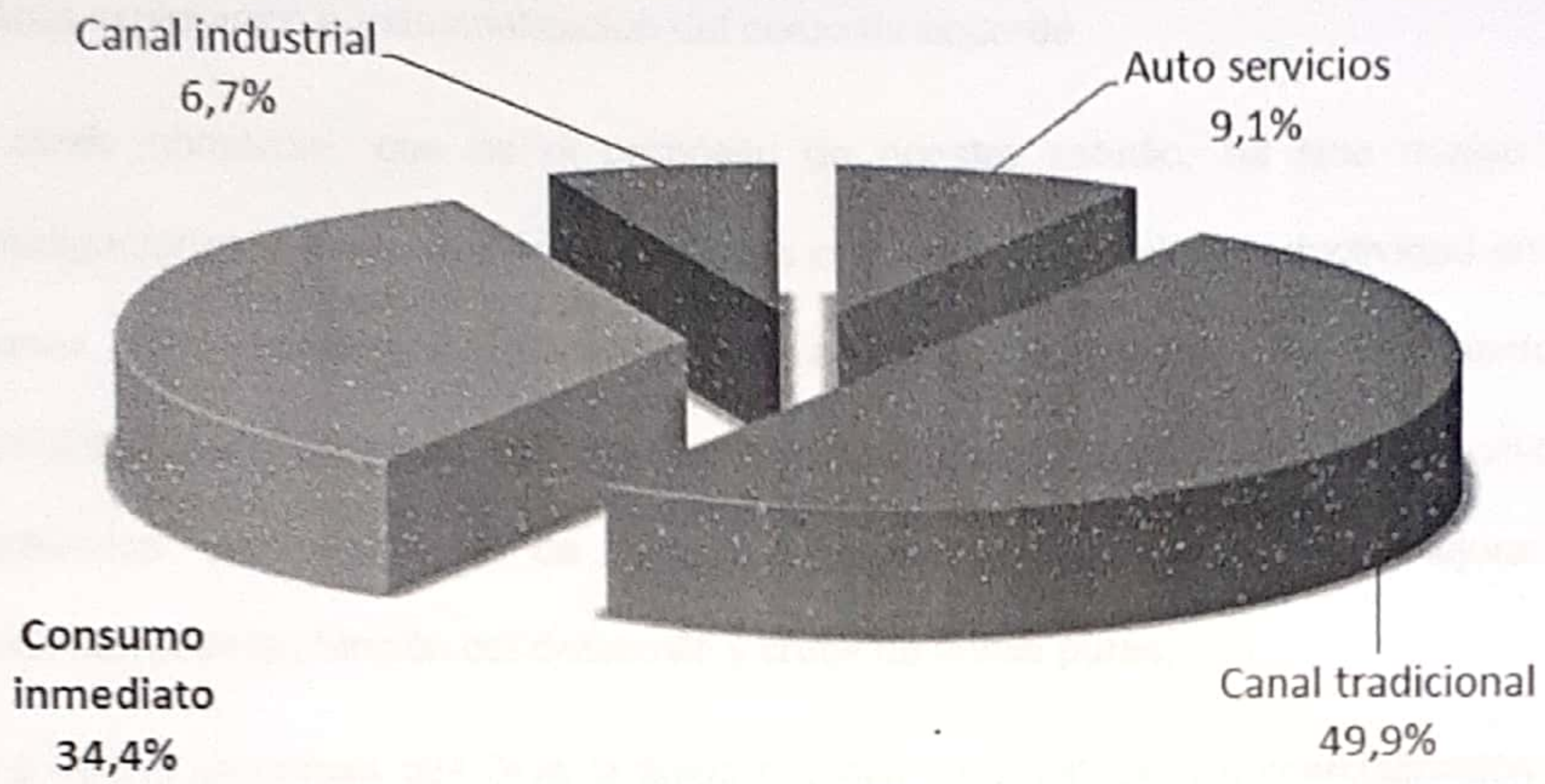
Dentro de las cadenas de supermercados el cliente tiene la capacidad de elegir cortes específicos y estandarizados, esto implica para el consumidor final un producto de mejor calidad; no obstante esto se traduce a la vez en mayores costos de producción, debido a la tecnificación y el aumento de los desperdicios. Los desperdicios se dan principalmente debido a que la demanda de producto se centra en ciertos ítems específicos y que son de agrado del consumidor. La generación de estos ítems, provoca por defecto la producción de otros artículos que no necesariamente son demandados por un tipo de cliente o canal de distribución, dejando inventarios no deseados para la empresa, por lo cual es menester encontrar un punto de equilibrio entre la demanda del mercado y la producción a fin de lograr un mejor servicio con los costos adecuados.

En el gráfico 1.1, se aprecia la estructura de ventas de carne de cerdo por canal de la empresa Pronaca. Los datos incluyen las ventas del año 2.009 incluso hasta el mes de octubre.

Gráfico 1.1

Pronaca

Distribución porcentual ventas carne de cerdo por canal





Capítulo 2

SISTEMA DE PRODUCCIÓN PORCINA EN GRANJAS.

Se comienza indicando cuál es el esquema genético que se ha desarrollado para una óptima explotación e industrialización del cerdo de engorde.

El cerdo comercial, que es el propósito de nuestro estudio, ha sido motivo de investigaciones genético-biológicas a fin de conseguir una mejor productividad en su crianza y comercialización. Parámetros referentes a: porcentajes de nacimiento y mortalidad, peso promedio, conversión alimenticia, ciclo productivo, edad de sacrificio, contenidos proporcionales de carne y grasa, etc., han estado mejorando continuamente en función del desarrollo y cruce de líneas puras.

Una de las empresas que lleva la égida mundial en el estudio y comercialización de estas líneas es la norteamericana PIC¹ Esta empresa ha desarrollado las razas denominadas "pedigree", línea que genera como descendencia un tipo de cerdos especializados para una operación específica a realizarse. Así por ejemplo, generan un tipo de cerdos solamente para procrear machos, y otros específicos para producir hembras. Esta segunda generación que se la denomina de "abuelos", será a futuro la encargada de gestar machos y hembras aptas para el cruce ideal y los que a su vez se constituirán en los "padres" del cerdo comercial.

El cuadro 2.1 sirve para graficar lo expuesto. Una hembra Landrace (L42), se cruza con un macho Duroc (L15) para producir hembras Camborough o también denominadas Large White (C15); los machos resultantes de esta cruce serán destinados a incrementar el hato de comerciales. Una hembra y macho Hampshire (L26) se cruzan en la línea de abuelos para producir machos Hampshire, en este caso, las hembras resultantes incrementarán el hato de comerciales. Finalmente, se cruzan una hembra C15 con un macho L26 para la producción de cerdos comerciales.

¹ PIG IMPROVEMENT COMPANY, Inc. -Pig USA Frin.- Franklin, KY 42

Cuadro No. 2.1

Genética producción cerdos engorde



Varias empresas ecuatorianas se dedican a la producción industrializada del cerdo. Algunas incluso tienen una generación anterior de la genética que son las bisabuelas. Esto les ha permitido asegurarse un flujo continuo de nacimientos y reemplazos de abuelas y por ende de madres, importando solamente la primera línea genética y los machos respectivos en cada generación (1 cada 20 hembras). A más de asegurar el flujo necesario, se ha buscado continuamente aprovechar las economías de escala.

Lo último será totalmente cierto si se logra establecer una pirámide óptima y adecuada a las demandas de cerdo comercial, debido a que, si se tiene un hato demasiado grande, frente a una estimación de venta preestablecida, se corre el riesgo de tener hembras ociosas ocupando espacio físico y consumiendo alimento sin producción alguna. A manera de ejemplo se menciona lo siguiente: Un animal adulto consume 3 kilos diarios de balanceado a un costo de 0,55 centavos por kilo. Además se necesita una infraestructura mínima por cerdo de 1,1 metros cuadrados de construcción.

En este capítulo se dará solución, vía programación lineal, al esquema óptimo de la pirámide generacional, dada una demanda de carne de cerdo comercial.

2.1. Ciclos de producción

El proceso de reproducción, maternidad, crianza y engorde de cerdos a nivel industrializado, se inicia con la importación del hato de bisabuelas, el mismo que inicialmente y en forma ideal, debe ser acompañado por otro contingente de abuelas y madres a fin de obtener la producción comercial lo más temprano posible. Los animales pueden ser importados a cualquier edad antes de su etapa de madurez. Esto dependerá básicamente de las condiciones geográficas del país importador, a las que deberán adaptarse los animales. Para nuestro país la empresa asesora PORGEN² de Chile ha recomendado a la ecuatoriana CHANACA³ se realicen las importaciones entre las 100 a 110 días de edad; esto significa que los animales tendrían un período de adaptación de 110 a 100 días antes de iniciar su ciclo reproductivo el mismo que parte con la inseminación de los animales en su edad de madurez (210 días).

Una vez gestadas las hembras, el embrión necesita 115 días para formarse completamente. Nacidos los cerditos, son alimentados durante 20 días exclusivamente con leche materna. A este período se lo denomina lactancia. Luego, los cerdos destetados, son clasificados por su sexo, para lo cual se les coloca un arete de identificación en la oreja, se los ubica en un ambiente de temperatura controlada y se los alimenta con un balanceado rico en hierro, hasta que cumplen 42 días de edad. Este período adicional de 22 días se lo denomina prerecría. Para los siguientes 28 días, los cerdos son cambiados de ambiente así como en la formulación del alimento a uno con más contenido proteico; terminado este ciclo, el cerdo cuenta con 70 días de edad y habrá concluido el período de recría. A esta edad los cerdos están listos para asimilar un alimento de gran contenido en calorías. Este balanceado busca una ganancia rápida de peso durante los 98 días adicionales de engorde (nombre con el

² Santiago.- Fax 005628442031

³ Parroquia Santa Rosa de Cusubamba-Cantón Cayambe-Provincia de Pichincha

que se conoce a este ciclo). A los 168 días de edad, el cerdo, con un peso promedio de 118 kilos está listo para ser trasladado al proceso.

Cuadro No. 2.2.
Parámetros generales a las tres generaciones

Días gestación	115
Semanas detección preñez	4
Días maternidad	20
Días seca	5
Semanas ciclo	20,0
Mortalidad destete	8,23%
Mortalidad prerecra y recra	1,82%
Mortalidad engorde	3,13%
% Anual reemplazo madres	53,02%

Parámetros madres

Nacidos vivos	11,51
% Fertilidad	91,2%

Parámetros abuelas

% Selección total	32,51%
Nacidos vivos	11,37
% Fertilidad	90,5%

Parámetros bisabuelas

% Selección total	34,22%
Nacidos vivos	11,37
% Fertilidad	91,43%

Para plantear el modelo de optimización, es necesario conocer los parámetros generales en la producción del cerdo a través de sus distintas etapas. El cuadro No. 2.2., resume estos parámetros, unos generales para todo tipo de hembras, y otros particularizados dependiendo si se trata de una madre, una abuela o una bisabuela.

Los parámetros comunes a todas las generaciones son: días de gestación, semanas de detección de preñez (coincidente con el ciclo de ovulación de las hembras), días de maternidad o lactancia, mortalidad de los cerditos en cada ciclo, y lo que en el lenguaje de la crianza de cerdos se denomina días de seca, que no es sino aquel período en el cual las hembras no han sido inseminadas nuevamente.

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Las semanas del ciclo, corresponden a la suma de los días de gestación, maternidad y seca (140 días o 20 semanas).

Es importante tomar en cuenta lo que se ha denominado el porcentaje de selección total para abuelas y bisabuelas. Este valor corresponde al número de hembras aptas para que lleguen a ser reproductoras futuras previas a un porcentaje de selección. Por ejemplo de cada 100 cerdos que se obtenga en la camada de abuelas, únicamente 32 a 33 animales cumplirán con las características necesarias para poder ser una reproductora al futuro, los demás animales serán tratados igual que un cerdo comercial, engrosando el hato de los cerdos de engorde.

En este análisis de 20 semanas, lo que se pretende es el conocimiento y la elaboración correcta de la programación de la producción que maximice la disponibilidad de la capacidad instalada, y el uso mínimo de recursos.

Tomando como referencia los parámetros del cuadro No. 2.1, se pueden deducir los siguientes puntos:

- El tiempo transcurrido durante las etapas de: gestación, maternidad y seca, es de aproximadamente 140 días, es decir 20 semanas entre cada inseminación. Esto implica que, con el objeto de asegurar una producción continua de cerdos y abastecer uniformemente las demandas del mercado, las reproductoras deberán ser agrupadas en grupos de igual cantidad de individuos. Por el mismo principio, en la semana 21, las hembras que gestaron en la primera semana, estarán listas para ingresar nuevamente a otro ciclo de inseminación
- En el transcurso de este ciclo de 20 semanas, que se denominará "n", se preñarán, de acuerdo al promedio de fecundidad (f) de las madres, el 91,15% de las que fueron inseminadas. La cantidad semanal de gestantes se las denominará "Y".

Hasta aquí se ha determinado el número de hembras gestantes, pero, existe otras hembras que no se preñaron pese a la inseminación y que tendrán otra



Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

oportunidad luego de que se detecte su no preñez y que se las denomina "repetidoras" y para fines de cálculo se las conocerá como "X". Estas repetidoras podrán ingresar a un hato semanal, junto a las que estén listas para inseminarse en ese período.

Si, al hato inicial disponible de hembras, se la denomina "N", y se plantea como objetivo el contar siempre con una cantidad similar de hembras preñadas (por uniformidad de entrega de cerdos), se tiene la siguiente ecuación básica:

$$nY + (s + 1)X = N$$

Donde "s" es el número de semanas que se demora en detectar una gestación. Esto quiere decir que las repetidoras que se dan durante las primeras 20 semanas del ciclo, estarán incrementando el hato hasta la semana 24. Así por ejemplo, en la semana 21 ingresarán al hato inseminado, la repetidoras de la semana 17 más las que terminaron de parir, amamantar y pasar el período de seca, de las que gestaron la primera semana.

Cuando se estabiliza la cadena en el tiempo, se puede deducir fácilmente la siguiente ecuación:

$$(X + Y) f = Y$$

Es decir que, $(X + Y)$ representa la cantidad de hembras que siempre tendrán que ingresar a monta, a fin de asegurar una cantidad de gestantes "Y", con un porcentaje de fertilidad "f".

Cuadro No. 2.3.
Inseminación y gestación hato 1.000 madres

Hembras disponibles	1.000
Tamaño hato gestante	Y
Saldo repetidoras	X

1ra Ecuación:	$20Y + 5X = 1000$
2da Ecuación:	$(Y + X) 91,15\% = Y$
X =	5
Y =	49

Semana	Disponible inicial	Inseminadas	Detección Preñez (Y)	Repetidora (X)	Disponible final
1	1.000	54			946
2	946	54			893
3	893	54			839
4	839	54			786
5	786	54	49	5	737
6	737	54	49	5	688
7	688	54	49	5	639
8	639	54	49	5	591
9	591	54	49	5	542
10	542	54	49	5	493
11	493	54	49	5	444
12	444	54	49	5	395
13	395	54	49	5	346
14	346	54	49	5	298
15	298	54	49	5	249
16	249	54	49	5	200
17	200	54	49	5	151
18	151	54	49	5	102
19	102	54	49	5	54
20	54	54	49	5	5
21	54	54	49	5	5
22	54	54	49	5	5

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Planteadas las dos ecuaciones con dos incógnitas, ya se puede calcular el cuadro 2.3., el mismo que ejemplifica iniciar con 1.000 madres reproductoras, y cómo inseminar en grupos homogéneos, considerando las hembras disponibles en un inicio más las repetidoras:

El cuadro sugiere que para un hato de 1.000 madres, se inseminen semanalmente 54 hembras. De estas se esperaría queden preñadas 49 y queden como repetidoras 5. Al final de la semana 19, se dispondrán únicamente de 49 hembras nuevas, que

sumadas a las 5 repetidoras que inicialmente se las inseminaron en la 16 conformarán el hato uniforme de 54.

A partir de aquí, el ciclo se estabiliza y siempre se dispondrán de 54 hembras para la inseminación.

2.2. Hato óptimo:

Lo más elaborado para estructurar el hato óptimo en la producción de cerdos industriales está en la concepción y comprensión de los parámetros productivos. Una vez concebidos los reemplazos de hembras a través de las cadenas de Markov (capítulo 3), el número de gordos comerciales y reemplazos que puede producir una hembra por ciclo en cada generación, y los porcentajes de fertilidad, asociados, se facilita el planteamiento de las ecuaciones lineales que conducen a la optimización.

Siguiendo con la simbología anterior se tiene:

N_1 , N_2 y N_3 al hato óptimo de madres abuelas y bisabuelas.

X_1 , X_2 y X_3 al número de hembras repetidoras por semana en cada generación

Y_1 , Y_2 y Y_3 al número de hembras gestantes (por añadidura paridas) por semana

G_1 , G_2 y G_3 al número de gordos comerciales que se obtendrían por semana

H_2 y H_3 la cantidad anual de hembras nuevas para reemplazo como madres y abuelas respectivamente

A estos parámetros hay que añadir las constantes conocidas, y que fueron explicadas en el cuadro No. 2.1:

f_1 , f_2 y f_3 representan los porcentajes de fertilidad de las madres, abuelas y bisabuelas respectivamente.

g_1 , g_2 y g_3 los gordos comerciales por hembra por ciclo.

h_2 y h_3 la selección de reproductoras que en promedio producirán cada abuela y cada bisabuela respectivamente por el ciclo de 20 semanas.

r_2 y r_3 el porcentaje de reemplazo anual de las madres y las abuelas (cadenas de Markov)

Estas constantes conocidas⁴ son como se muestran a continuación:

f1	f2	f3
91,15%	90,51%	91,43%

g1	g2	g3
10,05	6,70	6,53

h2	h3
3,23	3,40

r2	r3
0,53	0,53

La idea principal es conocer cuántas madres, abuelas y bisabuelas debe tener una pirámide de cerdos industriales a fin de producir un número **G** conocido y demandado de gordos comerciales por semana, sin reemplazar y/o producir hembras más allá de las que sean necesarias.

2.3. Función objetivo:

Siendo así, la función objetivo se puede definir como:

$$Min_Z = \sum_{i=1}^3 N_i + \sum_{i=2}^3 H_i$$

Pero como ya se sabe, $20Y + 5X = N$, la función objetivo sería:

$$Min_Z = 20 \sum_{i=1}^3 Y_i + 5 \sum_{i=1}^3 X_i + 52 \sum_{i=2}^3 h_i Y_i$$

Como se observa, la ecuación referente al número de reemplazos, se la multiplica por 52 semanas para dejarla en términos de producción anual.

⁴ Datos de Pronaca 2008 - 2009



Restricciones:

Sujeto a las siguientes ecuaciones de constreñimientos:

1) Restricción entre las hembras repetidoras y las gestantes:

$$X_i \geq Y_i \frac{(1-f_i)}{f_i}, \text{ para } i = 1, 2, 3$$

2) Restricción de la demanda de gordos comerciales:

$$\sum_{i=1}^3 G_i \geq G$$

Pero como se conoce g_i , se los multiplica por el número de partos Y_i semanales, y la restricción sería:

$$\sum_{i=1}^3 g_i Y_i \geq G$$

3) Restricción de la cantidad de demanda interna de hembras de reemplazo

$$r_i N_i \leq H_i.$$

De esta ecuación ya se tienen expresadas las N_i ; y los H_i se los calcula con las constantes conocidas h_i .

Transformando, la restricción queda:

$$r_i(20Y_i + 5X_i) \leq 52h_i Y_i, \text{ para } i = 2, 3$$

4) Finalmente la restricción de no negatividad:

$$X_i, Y_i \geq 0$$

Si bien, tal como se han planteado las ecuaciones, a los resultados N_i obtenidos se les permite un relajamiento, se hizo una corrida exigiendo números enteros, con una

respuesta rápida en el tiempo de proceso. En el cuadro No. 2.4. se presentan los resultados comparativos con relajamiento y sin este sobre un ejemplo en particular que demanda 4 mil cerdos comerciales por semana.

Cuadro No. 2.4.

Mejor solución hato de hembras

Con relajamiento					
Ni	Gi	Hi	Yi	Xi	Yi + Xi
7.800	3.825	4.135	381	37	418
506	165	268	25	3	27
31	10		2	0	2
8.337	4.000	4.404	407	40	447
Con números enteros					
Ni	Gi	Hi	Yi	Xi	Yi + Xi
7.805	3.827	4.194	381	37	418
515	167	353	25	3	28
45	13		2	1	3
8.365	4.008	4.547	408	41	449

Como se aprecia, los resultados son bastante similares, difiriendo en solamente 28 hembras en el hato total. El cambio más significativo se produce en las bisabuelas que exige 14 unidades más con números enteros que con relajamiento, situación más apreciable todavía, si se mide desde el punto de vista incremental (45% más). En madres son 5 unidades más, y en abuelas 9 más.

La cantidad producida de gordos comerciales, prácticamente es la misma.

Las hembras de reemplazo, si representan una mayor cantidad (143 más, principalmente por el mayor número de bisabuelas del hato).

Con estas cifras los porcentajes anuales de reemplazo en madres ascenderían al 53,7%, y de abuelas, el 68,6%.

Vale la pena considerar que la programación entera se facilita debido a que se mantienen las ecuaciones de las restricciones con las desigualdades, sino, el problema no tendría solución.

La sugerencia sería trabajar con programación entera dado que las inseminaciones semanales ($X_i + Y_i$), tienen que hacerse con unidades de hembras y mas bien promover un reemplazo más alto de abuelas por año.

Con base al modelo realizado, este es posible extenderlo hacia una programación semanal de la producción. Bastaría con ampliar los pedidos semanales G , los mismos que no deberían sufrir cambios bruscos, dado que el plan debe ser de mediano plazo debido a los ciclos involucrados por la propia actividad del negocio.

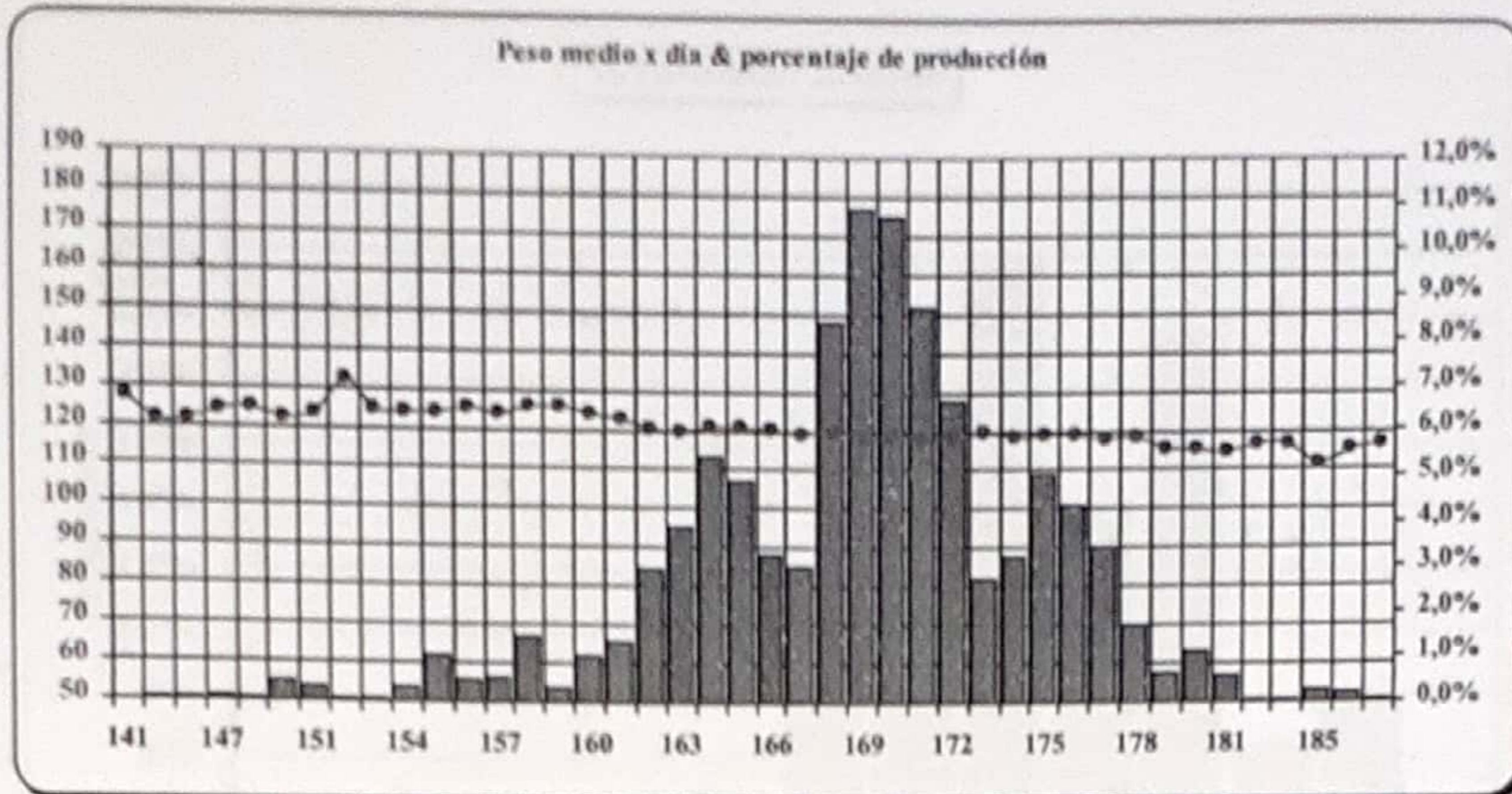
2.4. Variabilidad de los parámetros:

El análisis de optimización anterior se lo ha realizado considerando un promedio de los parámetros zootécnicos obtenidos a través del tiempo. En el campo real la crianza del cerdo comercial está sujeta a un sinnúmero de variaciones alrededor de las medias estimadas. Por ejemplo, existen diferentes probabilidades respecto a: días de gestación, ciclo entre pariciones, porcentaje de preñez, número de cerdos destetados por hembra, edad de sacrificio de los gordos comerciales, peso al final del ciclo de engorde, etc. etc.

De los parámetros mencionados, acaso si el que más se trata de disminuir el impacto de variabilidad, es el referente al peso final del gordo comercial. Es práctica común en las empresas de crianza y producción porcina, realizar lo que se denomina un "sorting" o cosecha de aquellos animales que están listos para la faena. La idea consiste en ir controlando periódicamente la ganancia diaria de peso de los animales (ya sea por muestreo o por simple inspección) en cada una de las granjas destinadas a la crianza final. Una vez que un grupo de animales es catalogado como idóneo, se lo envía al proceso.

El gráfico 2.1 expuesto, hace relación a una estadística de la empresa Pronaca sobre 123 mil cerdos comerciales.

Gráfico 2.1



Biblioteca del ICM
Homero Ortiz Egas



Con detalles de color rojo se ha remarcado la característica correspondiente al peso medio obtenido por los animales a diferentes edades de proceso (abscisas), y con color azul los porcentajes de gordos relacionados con la misma edad:

Como se puede apreciar, el rango de edad de proceso es muy amplio (desde 141 hasta 187 días); sin embargo, la variabilidad de peso promedio final, es muy pequeña, existiendo una fuerte concentración alrededor de los 120 kilos por cada individuo procesado. Otra cosa que se puede observar es que casi el 75% de los animales es procesado entre los 165 y los 174 días.

Otras variaciones importantes, y sobre las cuales no es posible modificar su incidencia son las que se presentan más abajo. Estos hacen referencia al porcentaje de fertilidad de las madres, cerdos destetados por parto, y el porcentaje de mortalidad en la etapa de engorde.

Los gráficos correspondientes al porcentaje de fertilidad de las madres y a los cerdos destetados por madre, corresponden a una estadística de 381 semanas, mientras que, el gráfico relacionado a la mortalidad en la etapa de engorde, hace referencia a una estadística de 131 semanas.

En cada uno de los tres gráficos, se observa una alta volatilidad.

Gráfico 2.2

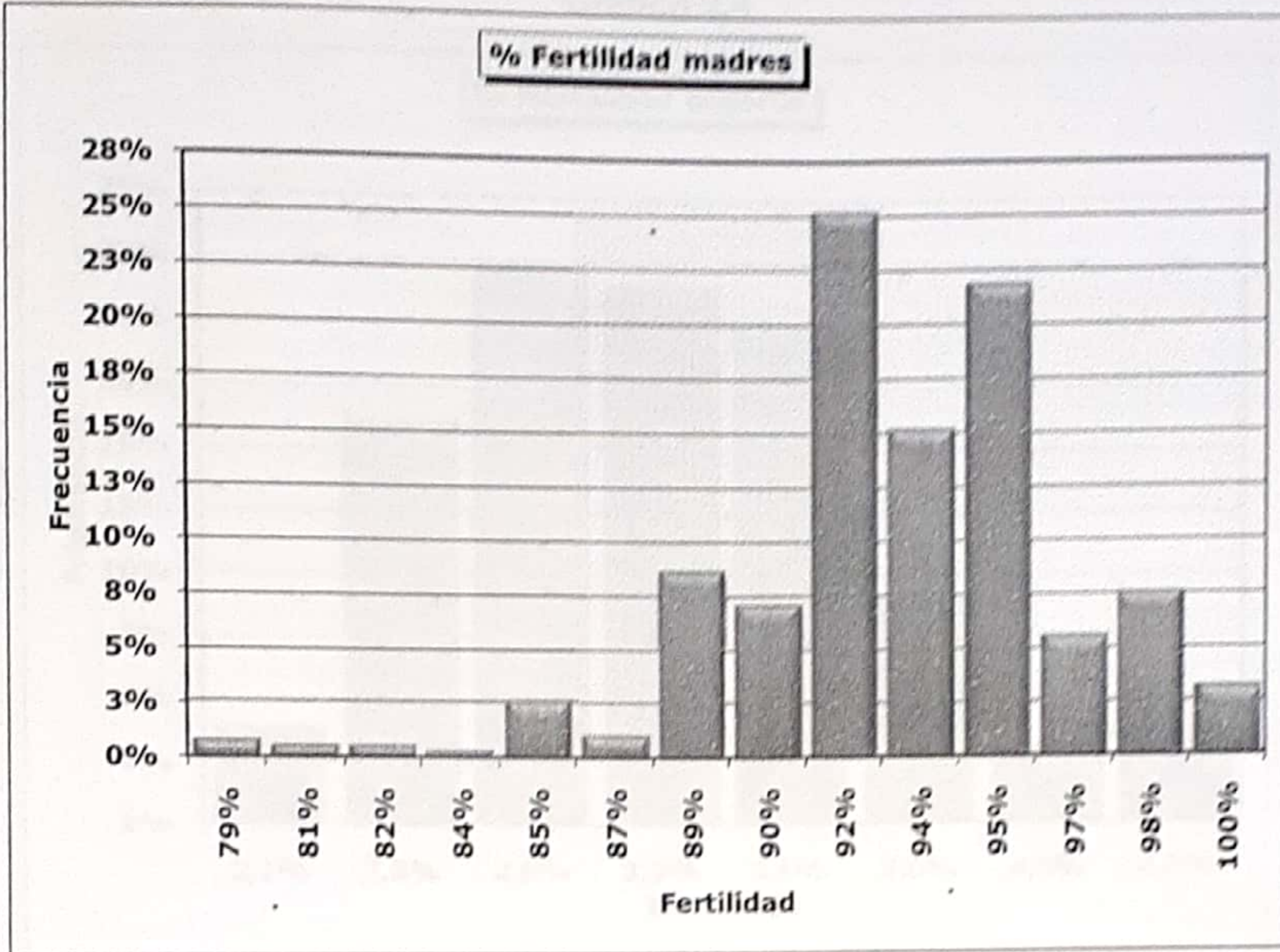


Gráfico 2.3

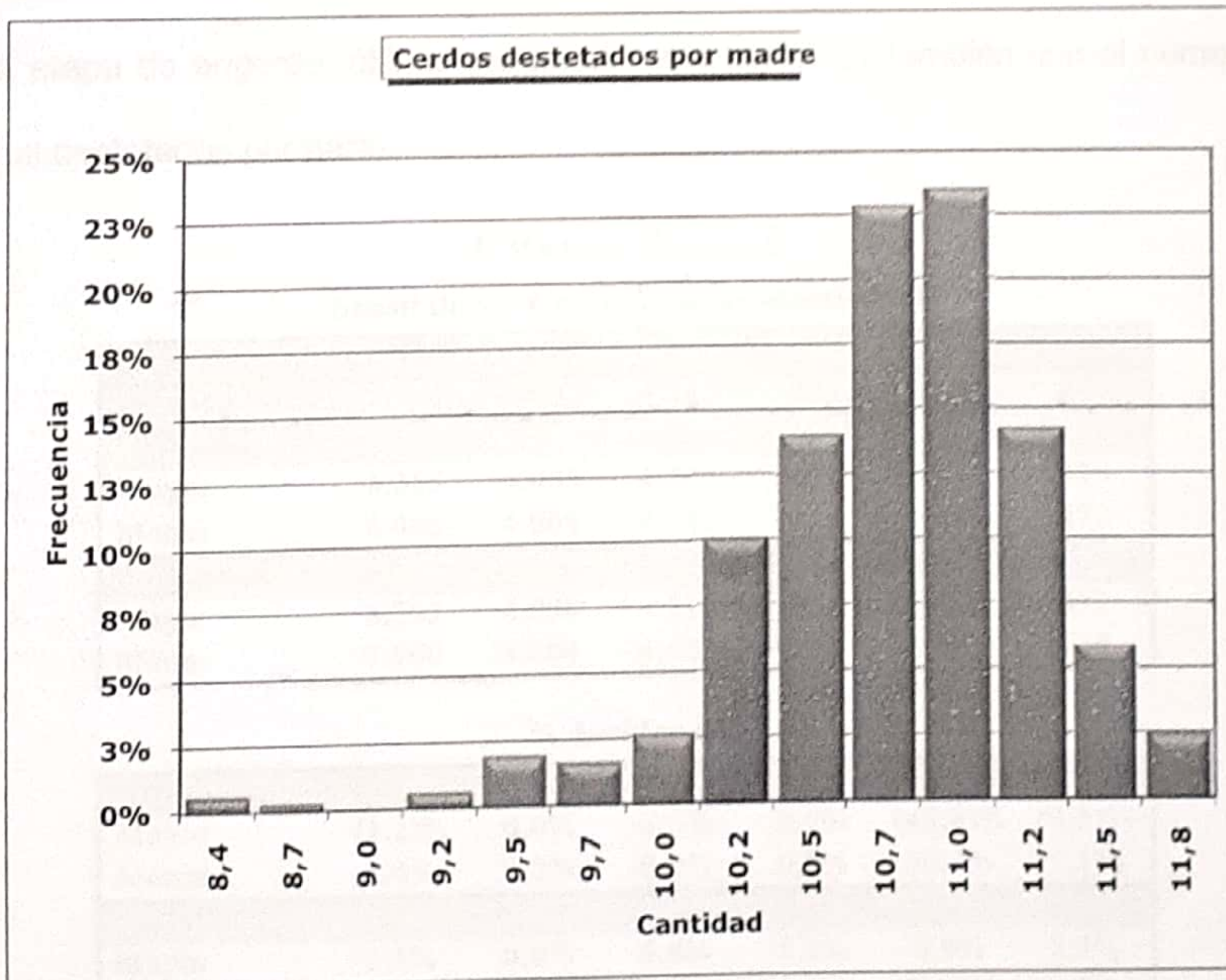
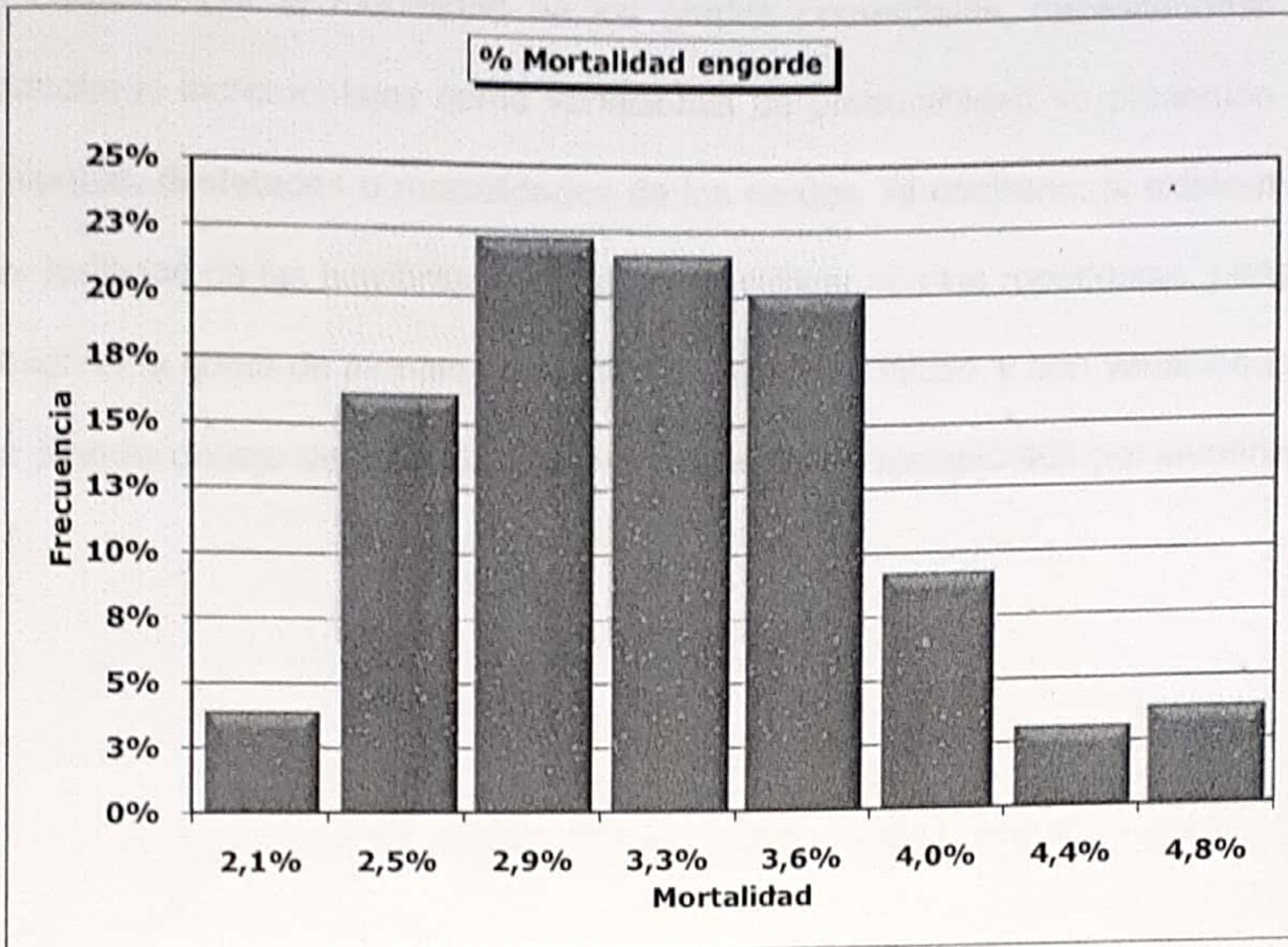


Gráfico 2.4



¿Cómo afecta esta volatilidad al hato necesario de madres y reproductoras? En el cuadro No. 2.4, se presenta un análisis numérico de las incidencias que tiene sobre la cantidad de animales un delta de 5% sobre la fertilidad de las hembras y la mortalidad en la etapa de engorde, última que puede estar asociada también con el número de cerdos destetados por parto.

Cuadro No. 2.5

Sensibilidad fertilidad & productividad

Escenario	Ni	Gi	Hi	Yi	Xi	Yi + Xi
Solución inicial	8.365	4.008	4.547	408	41	449
Fertilidad						
Mayor	8.265	4.008	4.547	408	21	429
Menor	8.480	4.008	4.547	408	64	472
Mortalidad						
Mayor	8.795	4.008	4.810	429	43	472
Menor	7.960	4.004	4.422	388	40	428

% Incidencia

Fertilidad						
Mayor	(1,2)%	0,0%	0,0%	0,0%	(48,8)%	(4,5)%
Menor	1,4%	0,0%	0,0%	0,0%	56,1%	5,1%
Mortalidad						
Mayor	5,1%	0,0%	5,8%	5,1%	4,9%	5,1%
Menor	(4,8)%	(0,1)%	(2,7)%	(4,9)%	(2,4)%	(4,7)%

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Claramente se puede observar que el mayor impacto sobre el hato Ni de hembras sería causado por la mortalidad de los gordos comerciales, necesitándose tantas reproductoras incrementales como variaciones de productividad se presenten en los nacimientos, destetados o mortalidades de los cerdos. Al contrario, si existe mayor o menor fertilidad de las hembras, esta se puede mitigar con las repetidoras, pues como se observa, la cuota de montas semanal de la solución inicial, y con variaciones hacia arriba o hacia debajo de la fertilidad, se mantiene (en el ejemplo 408 por semana).



Capítulo 3

CADENAS DE MARKOV

Definición⁵:

"Una cadena de **Markov** es una sucesión de ensayos similares u observaciones en la cual cada ensayo tiene el mismo número finito de resultados posibles y donde también la probabilidad de cada resultado para un ensayo dado depende sólo del resultado del ensayo inmediatamente precedente y no de cualquier resultado previo"

Estas cadenas que deben su nombre a un prestigioso matemático ruso. En nuestro medio, no han llegado a tener una gran popularidad en el campo administrativo, quizá porque los datos para su aplicación y estudio no son de fácil obtención, y además, por su característica de suponer estacionalidad en los resultados obtenidos, y al condicionamiento dado a sus probabilidades de suceso

A pesar de esto, los postulantes piensan que esta teoría es de gran aplicación en la programación del reemplazo del hato reproductor de los cerdos de engorde, dado su vida limitada y duración variable en el tiempo.

3.1. El reemplazo markoviano en los cerdos:

En promedio, una cerda reproductora tiene 2.5 años de vida útil, comprendiéndose como tal, desde la edad en que está apta para la reproducción (210 días), hasta su venta final. Esto significa que, también en promedio, tendrá aproximadamente 5 partos antes de ser considerada como desecha.

Las razones para desechar una reproductora son de diferente índole, entre estas se encuentran: postración, baja fertilidad, infecundidad, camada de cerditos enferma o de mala formación, ciclo menstrual variable, etc.⁶. Los criadores de cerdos de raza a nivel

⁵ ARYAL & LARDNER.- Matemáticas aplicadas a la Administración y a la Economía.- Tercera edición.- Cap. 10, pág. 404.

⁶ Referencia: CHANACA.- Cotacachi Ecuador

nacional, y por sugerencia de las casas distribuidoras de los reproductores, acostumbran a reemplazar entre el 40% al 60% de su hato reproductor al año⁷.

Este hecho hace el que salgan a flote las siguientes preguntas: ¿siempre se deben reemplazar los cerdos en este porcentaje?, y si no es así, ¿cómo se debe hacer la planificación de reemplazos a largo plazo?

Según estudios realizados por PIG IMPROVEMENT COMPANY, para una muestra de 27 mil reproductoras, se observó las probabilidades de reemplazo de madres, que constan en el cuadro N° 3.1. De este estudio, se puede observar que, antes de llegar al quinto parto, han sido reemplazadas algo más de la mitad de reproductoras (descarte acumulado y porcentaje de sobre vivencia tercera y cuarta columnas del cuadro N° 3.1), y apenas el 7,55% de ellas llega a tener más de nueve partos (columna 2).

Cuadro N° 3.1

PROBABILIDAD REEMPLAZO CERDOS

Parto N°	Descart (%)	Descart acumu	Sobrevi (%)	Parto promed
0			100,00%	
1	15,40%	15,40%	84,60%	0,15
2	10,50%	25,90%	74,10%	0,21
3	9,90%	35,80%	64,20%	0,30
4	10,40%	46,20%	53,80%	0,42
5	11,05%	57,25%	42,75%	0,55
6	12,00%	69,25%	30,75%	0,72
7	10,70%	79,95%	20,05%	0,75
8	7,45%	87,40%	12,60%	0,60
9	5,05%	92,45%	7,55%	0,45
>9	7,55%	100,00%	0,00%	0,76
Promedio vida en partos				4,90

Fuente: Pig Improvement Company

En la última columna del cuadro N° 3.1, se ha calculado el promedio de partos de la muestra, el mismo que asciende a 4,9 por hembra (cada parto significa 140 días

⁷ Chanchos del Toachi, - Santo Domingo y CHANACA

aproximadamente). Este promedio es producto de la sumatoria total de las multiplicaciones de la primera y segunda columnas

A fin de obtener a lo largo del tiempo, una producción uniforme de gordos, es necesario así mismo, el que se mantenga constante el hato de madres. Esto quiere decir que, si al final de la primera parición, fueron descartadas 15,40% de hembras, estas tendrán que ser reemplazadas inmediatamente por una cantidad similar.

La metodología es la siguiente:

- Por ejemplo si se tienen 1000 reproductoras al inicio de una producción, al final de la primera parición, (y de acuerdo al cuadro N° 3.1), tendrían que reemplazarse 154 desechas, por 154 hembras jóvenes.
- Al final de la segunda parición, del hato inicial de 1000 hembras, serán necesarias reemplazar 105 desechas (10,5% de 1000), pero, de las 154 jóvenes que reemplazaron a las desechas del primer período, también serán necesarias reemplazar el 15,40% o, 23,72 cerdas (24 en enteros); por lo tanto el reemplazo de la segunda parición ascenderá a 129 madres (105 + 24)
- Después de la tercera parición, de las 1000 iniciales, se reemplazarán 99 (9.9% de 1000). De las 154 que fueron las jóvenes reemplazantes del período uno, también se reemplazarán 16,17 madres (10,5% o 16 en enteros), y por último, de las 129 últimas reemplazantes de fines del segundo período, se espera que al final del tercero sean desechas 19,82 (20 enteras o 15,4%), para un total de reemplazo de 135 hembras (99 + 16 + 20).

El esquema de cálculo, se va complicando cada vez más, por el manejo de los saldos de reemplazantes; así, al final del cuarto período, habrá que mantener para fines de cálculo 4 saldos: Las 1000 del hato inicial, las 154 reemplazantes del primer período, las 129 del segundo, y las 135 del tercero, saldos que se multiplicarán a su vez por el

porcentaje de, la cuarta, tercera, segunda y primera pariciones del cuadro N° 3.1. (Períodos n, n-1, n-2,....., n-n+1, respectivamente).

3.2. Método de cálculo matricial:

En algo se facilitan los cálculos haciendo uso de la multiplicación matricial. Así por ejemplo, para encontrar la combinación de probabilidades que se dan en el segundo parto, se toma la segunda columna del cuadro N° 3.1, denominando a todos sus 10 elementos como la matriz de descarte D. Si a esta matriz, se la multiplica por su transpuesta D^T , se obtiene la matriz $DD^T = Y$, la misma que consta de 10 filas f_i por 10 columnas c_i y es tal como aparece en el cuadro N° 3.2. Cada elemento de esta matriz representa a una probabilidad P_{fc} de reemplazo, partiendo del hecho de que se está en el segundo parto. El espacio probable para este caso, asciende hasta un máximo de 20 partos con 2 hembras reemplazadas: 10 partos como máximo por cada hembra.

Así se podría conocer por ejemplo cuál es la probabilidad de reemplazar dos madres en el segundo parto.

Cuadro N° 3.2

MATRIZ $DD^T = Y$

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}
f_1	2,37%	1,62%	1,52%	1,60%	1,70%	1,85%	1,65%	1,15%	0,78%	1,16%
f_2	1,62%	1,10%	1,04%	1,09%	1,16%	1,26%	1,12%	0,78%	0,53%	0,79%
f_3	1,52%	1,04%	0,98%	1,03%	1,09%	1,19%	1,06%	0,74%	0,50%	0,75%
f_4	1,60%	1,09%	1,03%	1,08%	1,15%	1,25%	1,11%	0,77%	0,53%	0,79%
f_5	1,70%	1,16%	1,09%	1,15%	1,22%	1,33%	1,18%	0,82%	0,56%	0,83%
f_6	1,85%	1,26%	1,19%	1,25%	1,33%	1,44%	1,28%	0,89%	0,61%	0,91%
f_7	1,65%	1,12%	1,06%	1,11%	1,18%	1,28%	1,14%	0,80%	0,54%	0,81%
f_8	1,15%	0,78%	0,74%	0,77%	0,82%	0,89%	0,80%	0,56%	0,38%	0,56%
f_9	0,78%	0,53%	0,50%	0,53%	0,56%	0,61%	0,54%	0,38%	0,26%	0,38%
f_{10}	1,16%	0,79%	0,75%	0,79%	0,83%	0,91%	0,81%	0,56%	0,38%	0,57%

La única respuesta posible es que se de P(1,1), donde los números dentro del paréntesis indican los períodos en los que tuvieron que ser desechadas las

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

reproductoras precedentes. En este caso, para llegar al segundo período con dos reemplazos, significa que el hato ha tenido, en cada período solamente una parición. La probabilidad de ser desechadas en el primer período, de acuerdo al cuadro N° 3.1, es de 15,4%, por lo que, para determinar la probabilidad total, hay que multiplicar cada reemplazo individual: $15,4\% \times 15,4\% = 2,37\%$, cifra que consta en el cruce f_{1c_1} .

Otro ejemplo suponiendo se está en el segundo parto, sería averiguar cuál es la probabilidad de llegar con dos hembras hasta el décimo octavo parto. La probabilidad estaría dada por las siguientes combinaciones: $P(8,10)$, $P(9,9)$ y $P(10,8)$. Los cruces de estas probabilidades en el cuadro No. 3.2 son: $f_{8c_{10}}$, f_{9c_9} y f_{10c_8} , con valores 0,56%, 0,26% y 0,56% respectivamente. Esto quiere decir que existe una probabilidad de 1,38% de llegar con 2 hembras hasta el parto No. 18.

Como es obvio, la sumatoria de la matriz Y del cuadro No. 3.2 es de 100%.

La segunda matriz, que se forma a partir de la matriz Y, está compuesta de 19 elementos calculados de manera similar a los ejemplos anteriormente expuestos. Estos 19 elementos corresponden desde un mínimo de 2 pariciones que se darían con 2 reproductoras, hasta un máximo de 20. Cada probabilidad de parto se lo representa de la siguiente manera:

$$\{f_{1c_1}; f_{1c_2}+f_{2c_1}; f_{1c_3}+f_{2c_2}+f_{3c_1}; \dots ; f_{9c_{10}}+f_{10c_9}; f_{10c_{10}}\}$$

Donde f_{ij} es el valor que consta en el cruce de la fila i y la columna j .

Es fácil deducir que cada probabilidad de parto, no es más que la sumatoria de cada diagonal principal de la matriz Y.

Las sumatorias se resumen en la matriz E, con los siguientes valores:

MATRIZ E

	c_1	c_2	c_3	c_4	•••••	c_{17}	c_{18}	c_{19}
f_1	2,37%	3,23%	4,15%	5,28%	•••••	1,38%	0,76%	0,57%

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Como se observa en la Matriz E aparecen los valores para 2 partos (2,37%) y 18 partos (1,28%) anteriormente ejemplificados.

Multiplicando nuevamente la matriz D, ahora por la matriz E, se obtiene la matriz Z que consta de 10 filas y 19 columnas, y resumida es como aparece en el cuadro N° 3.3.

Cuadro N° 3.3

MATRIZ Z

	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	.....	c ₁₇	c ₁₈	c ₁₉
f ₁	0,37%	0,50%	0,64%	0,81%	1,01%	.....	0,21%	0,12%	0,09%
f ₂	0,29%	0,34%	0,44%	0,55%	0,69%	.....	0,14%	0,08%	0,06%
f ₃	0,23%	0,32%	0,41%	0,52%	0,66%	.....	0,14%	0,08%	0,06%
f ₄	0,23%	0,34%	0,43%	0,55%	0,68%	.....	0,14%	0,08%	0,06%
f ₅	0,26%	0,36%	0,46%	0,58%	0,73%	.....	0,15%	0,08%	0,06%
f ₆	0,28%	0,39%	0,50%	0,63%	0,79%	.....	0,17%	0,09%	0,07%
f ₇	0,29%	0,39%	0,44%	0,57%	0,70%	.....	0,15%	0,08%	0,06%
f ₈	0,18%	0,24%	0,31%	0,39%	0,49%	.....	0,10%	0,06%	0,04%
f ₉	0,12%	0,16%	0,21%	0,27%	0,33%	.....	0,07%	0,04%	0,03%
f ₁₀	0,18%	0,24%	0,31%	0,40%	0,50%	.....	0,10%	0,06%	0,04%

La tercera matriz buscada (una vez obtenidas D^T y E), se la encuentra a partir de Z, y se la calcula de manera similar a la que se hizo para E. Esta es la matriz F la misma consta de 29 elementos (3 partos hasta 30 partos con 3 hembras) y un resumen de sus valores es como sigue a continuación:

MATRIZ F

	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	.....	c ₂₇	c ₂₈	c ₂₉
f ₁	0,37%	0,75%	1,21%	1,82%	2,58%	.....	0,19%	0,09%	0,04%

Hasta este punto, se han formado tres matrices resultantes, las mismas que corresponden a los tres primeros ciclos de reemplazo: D^T , E y F. Sumando los elementos de las matrices, de acuerdo a su período equivalente de reemplazo (esto es la D^T desde el primer período, la E desde el segundo, y la F desde el tercero), se obtienen la hembras desechadas en cada uno de ellos. Este cálculo se ha resumido

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

en el cuadro N° 3.4, con resultados iguales a los que se dieron anteriormente en el cálculo manual⁸.

Los cálculos realizados, también aparecen engorrosos bajo este sistema matricial, pero valen la pena realizarlos ya que sus resultados permiten analizar la distribución de probabilidades acerca de un período de reemplazos específico. Para aclarar esto se toma por ejemplo la matriz F en la cuarta columna del cuadro N° 3.4, así:

Cuadro 34

DETALLE DE REEMPLAZOS

Parto N°	Matriz D	Matriz E	Matriz F	Total suma	Por 100 ordbs
1	154%			154%	154
2	105%	23%		128%	129
3	99%	32%	0,37%	135%	135
4	104%	41%	0,75%		
5	110%	52%	1,2%		
6	120%	65%	1,8%		
7	107%	80%	2,5%		
8	74%	90%	3,5%		
9	50%	92%	4,5%		

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Tercer período (0,37%): Dado que se está efectuando el tercer reemplazo, la probabilidad de llegar al tercer período con igual número de reemplazos es de $P(1,1,1)$, donde, como se dijo, los números dentro del paréntesis indican los períodos en los que tuvieron que ser desechados los reproductores precedentes. En este caso, para llegar al tercer parto con tres reemplazos, significa que el hato ha tenido, en cada período solamente una parición. La probabilidad de ser desechados en el primer parto, de acuerdo al cuadro N° 3.1, es de 15,4%, por lo que, para determinar la probabilidad total, hay que multiplicar cada reemplazo individual ($15,4\% \times 15,4\% \times 15,4\%$).

Cuarto período (0,75%): Dado que se está efectuando el tercer parto, la probabilidad de llegar al cuarto parto con esta cantidad de reemplazos es de $P(1,1,2)$; o de $P(1,2,1)$; o $P(2,1,1)$. Esto quiere decir que, para llegar a este período con tres reemplazos,

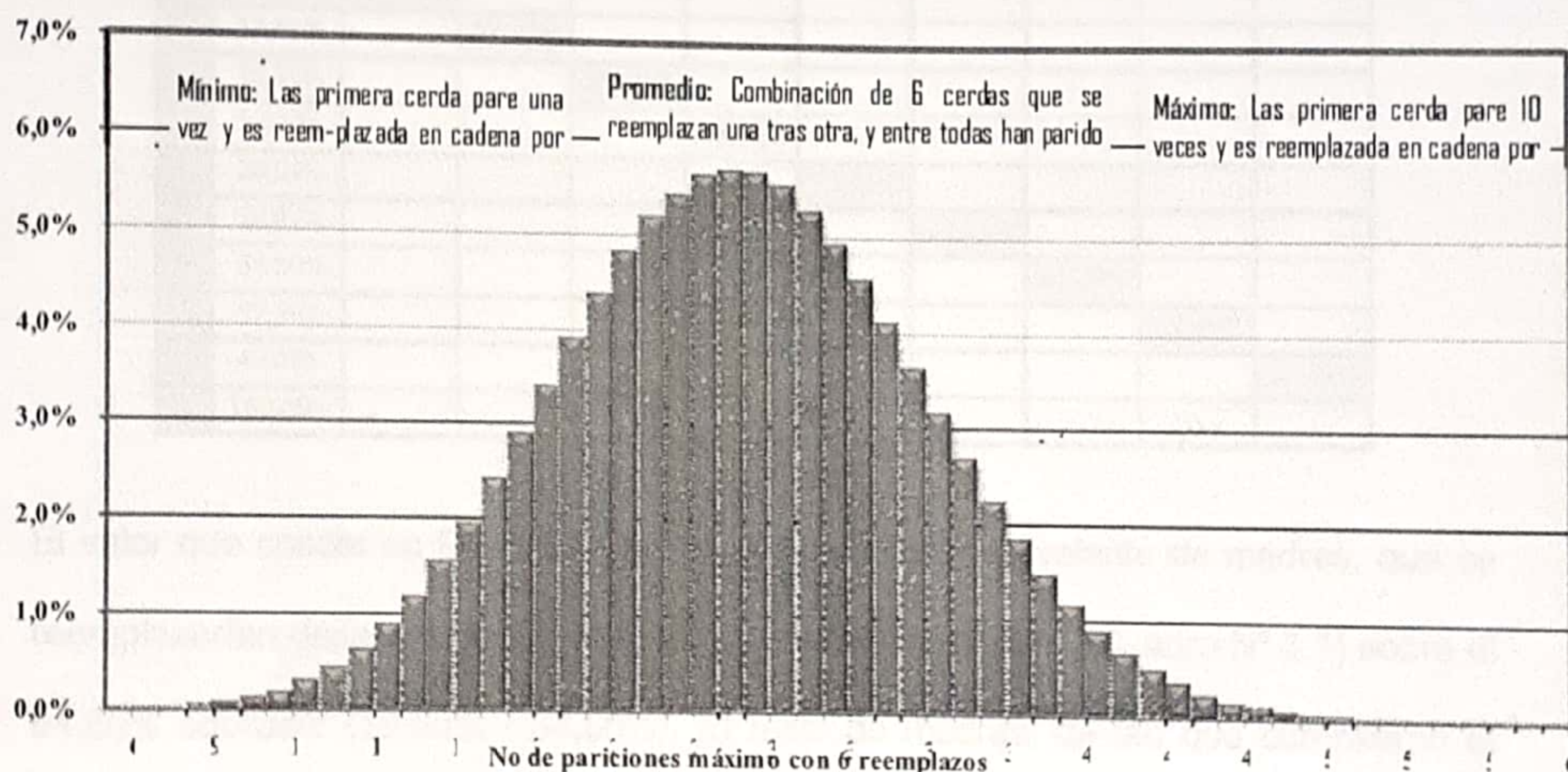
⁸ A partir del cuarto período no se ponen los reemplazos, debido a que debe existir tantos períodos como matrices calculadas.

existen tres posibilidades, en las cuales, uno de los reemplazos se efectúa luego de dos partos. La operación para el cálculo de la probabilidad total es la siguiente: $(15,4\% \times 15,4\% \times 10,5\%) + (15,4\% \times 10,5\% \times 15,4\%) + (10,5\% \times 15,4\% \times 15,4\%)$.

Quinto período (1,21%): Al efectuar el tercer reemplazo, la probabilidad de llegar al quinto período es de $P(1,1,3)$; o de $P(1,3,1)$; o $P(3,1,1)$; o $P(1,2,2)$; o $P(2,1,2)$; o $P(2,2,1)$. Aplicando las probabilidades individuales del cuadro N° 3.1, se obtiene la respuesta total de 1,21%.

De esta manera se sigue estructurando la distribución hasta llegar a la probabilidad de alcanzar el período N° 30 con tres reemplazos: $P(10, 10, 10)$ igual a 0,04%.

Gráfico 3.1



El gráfico anterior, diagrama esta distribución de frecuencias correspondientes al sexto reemplazo.

3.3 Matriz de transición:

Vistos los dos métodos de cálculo, se ve que ninguno de ellos calcula la edad de los reproductores al final de un período cualquiera. Aplicando lo que se ha denominado

Matriz de Transición⁹, es posible obtener tanto los reemplazos que se deben hacer en los diferentes períodos, como el número de pariciones que se ha obtenido del hato total.

Esta matriz se la presenta en el cuadro N° 3.6. Para su estructura, se parte de los datos del Cuadro N° 3.1; así por ejemplo, el valor de f_{1c_1} (15,40%), es el porcentaje de madres que se espera sean reemplazadas después del primer parto. mientras que, el valor de f_{1c_2} , indica el porcentaje de cerdos que pasarán al segundo parto (1 - 0,154).

Cuadro N° 3.6
Matriz de transición reemplazo cerdos

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}
f_1	15,40%	84,60%								
f_2	12,41%		87,59%							
f_3	13,36%			86,64%						
f_4	16,20%				83,80%					
f_5	20,54%					79,46%				
f_6	28,07%						71,93%			
f_7	34,80%							65,20%		
f_8	37,16%								62,84%	
f_9	40,08%									59,92%
f_{10}	100,00%									

El valor que consta en f_{2c_1} (12,41%), es el porcentaje equivalente de madres, que se reemplazarían después del segundo parto; esto es, el 10,50% (Cuadro N° 3.1) sobre el 84,60% sobrante (10,50% / 84,60%). El resto de madres, de las que cumplieron el segundo parto y además no fueron reemplazadas, pasarán al tercer parto. Este valor consta en f_{2c_3}

En f_{3c_1} , se ha colocado el porcentaje de madres que tendrán que ser reemplazadas luego del tercer parto. Al igual que para el segundo reemplazo, se calcula el porcentaje equivalente sobre el saldo, es decir 9,90% del Cuadro N° 3.1 dividido para el saldo de

⁹ La matriz de transición representa la condición o estado de un objeto en el tiempo. Los estados y las transiciones comprenden los elementos que un objeto puede enviar o recibir a través del tiempo. En el ejemplo de la matriz de transición de cerdos, refleja la probabilidad de descarte , y por ende su reemplazo por una nueva, de una hembra dado que llegó a un determinado parto.

74,10% (100,00%-15,40%-10,50%). El porcentaje de madres que llegaría hasta el cuarto parto será de 86,64% (100,0%-13,36%) que consta en f_{3C_4} .

Cuando se llegue al décimo parto, quedarán todavía 7,55% de madres correspondientes hato inicial. Todas ellas serán reemplazadas luego de este período; esto consta en f_{10C_1} .

Para poder determinar los reemplazos y los saldos de los reproductores, se multiplica una matriz **S** de saldos, por la matriz de transición **T**. Inicialmente esta matriz **S**, consta del número de cerdas que están listas para tener su primera parición (para el ejemplo 1000 cerdas).

La matriz inicial de saldos, que se denominará **S(0)**, es como a continuación consta:

Matriz S(0)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Las cifras superiores corresponden al número de pariciones obtenidas

Para obtener **S(1)**, se multiplica la matriz **S(0)** por la matriz de transición **T**, con los siguientes resultados:

Matriz S(1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
154	846	0	0	0	0	0	0	0	0

La matriz **S(2)**, es producto de multiplicar la matriz **S(1)**, nuevamente por la matriz **T**, con los siguientes resultados:

Matriz S(2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
129	130	741	0	0	0	0	0	0	0

Con similar procedimiento se van calculando las siguientes matrices **S(n)**, las mismas que contienen el número de cerdas a reemplazarse (período N° 1), así como los saldos de reproductoras con su respectiva información de partos. En el cuadro N° 3.7 se resume la información de algunos períodos en el reemplazo de cerdos

Cuadro Nº 3.7
Saldos cerdas por período de parición

S(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	154	846	0	0	0	0	0	0	0	0
2	129	130	741	0	0	0	0	0	0	0
3	135	109	114	642	0	0	0	0	0	0
4	154	114	95	99	538	0	0	0	0	0
5	177	130	100	83	83	428	0	0	0	0
6	207	150	114	87	69	66	308	0	0	0
7	219	175	131	99	73	55	47	201	0	0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	203	171	152	131	110	88	64	41	25	15
23	204	172	150	132	109	87	63	41	26	15
24	204	172	151	130	110	87	63	41	26	15
25	204	173	151	130	109	88	63	41	26	16

Lo primero que se puede observar, es que, los valores que se han calculado para el primer período, coinciden con los reemplazos ya establecidos a través de los otros dos métodos indicados anteriormente. Lo segundo que se observa es que, a medida que van aumentando el número de reemplazos, la cantidad de desechos, y los saldos de reproductoras, en las distintas etapas de parición, van estabilizándose. Esto quiere decir que la matriz $S(n)$ tiene un límite; este límite cuando el período tiende al infinito (∞), da como resultado los siguientes saldos:

Matriz $S(\infty)$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
204	173	151	131	110	87	63	41	26	15

lo que quiere decir que los reemplazos se estabilizarán en 204 madres por período o 20,40%. Esta cifra equivale más o menos al 50% de reemplazo anual que sugieren las casas distribuidoras de razas puras.

Para calcular la matriz $S(\infty)$ en el reemplazo de cerdos, se procede de la siguiente manera:

- Por características propias de la matriz de transición, en períodos muy avanzados de reemplazo, se produce la siguiente propiedad de la multiplicación de matrices:

$$S(n) \times T = S(n)$$

que significa que, la matriz $S(n)$ multiplicada por la matriz de transición T , produce como resultado nuevamente $S(n)$; es decir, se ha llegado al límite de las cadenas markovianas.

Cuadro N° 3.8

$S(n) \times T$										$S(n)$
$0,154 X_1 +$	$0,124 X_2 +$	$0,134 X_3 +$	$0,162 X_4 +$	$0,205 X_5 +$	$0,281 X_6 +$	$0,348 X_7 +$	$0,372 X_8 +$	$0,401 X_9 +$	X_{10}	$= X_1$
$0,846 X_1$										$= X_2$
	$0,876 X_2$									$= X_3$
		$0,866 X_3$								$= X_4$
			$0,838 X_4$							$= X_5$
				$0,795 X_5$						$= X_6$
					$0,719 X_6$					$= X_7$
						$0,652 X_7$				$= X_8$
							$0,628 X_8$			$= X_9$
								$0,599 X_9$		$= X_{10}$

- Si se denominan a los diez elementos desconocidos de la matriz $S(n)$, como: $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{10}$, se obtiene el sistema de ecuaciones que consta en el cuadro N° 3.8.

Además si se conoce que: $X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{10} = 1000$, con lo que se completa el sistema de ecuaciones

- Resolviendo este sistema, se obtiene la matriz $S(n) = S(\infty)$ buscada.

Las soluciones al sistema de ecuaciones inicia despejando las igualdades de la siguiente manera:

$$X_9 = \frac{X_{10}}{0,5992}$$

$$X_8 = \frac{X_9}{0,6284} = \frac{X_{10}}{0,5992 \times 0,6284}$$

$$X_7 = \frac{X_8}{0,6520} = \frac{X_{10}}{0,5992 \times 0,6284 \times 0,6520}$$

$$X_6 = \frac{X_7}{0,7193} = \frac{X_{10}}{0,5992 \times 0,6284 \times 0,6520 \times 0,7193}$$

$$X_i = \frac{X_{10}}{\prod_{j=i}^n f_j}$$

Luego haciendo 100% X_{10} , y cumpliendo con la condición $\sum_{i=1}^{10} X_i = 1$, se tiene:

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

	X_{10}	X_9	X_8	X_7	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1
Πf_j	1,000	0,599	0,377	0,246	0,177	0,140	0,118	0,102	0,089	0,076
$\Pi \Pi_j / f_{10}$	1,000	1,669	2,656	4,073	5,662	7,126	8,503	9,815	11,205	13,245
$\Sigma \Pi \Pi_j / f_{10}$		64,954								
$S(\infty)$	0,015	0,026	0,041	0,063	0,087	0,110	0,131	0,151	0,173	0,204

Para concluir, se cita una operación que comprueba el porcentaje estable de reemplazos de cerdos a largo plazo. Este valor que se lo ha calculado en 20,4% por período, se lo puede obtener también, sacando la inversa del número de partos promedio del cuadro N° 3.1 esto es:

$$20,40\% = \frac{1}{4,9}$$

Si el 20,4% se lo divide para 20 semanas del ciclo y se lo anualiza multiplicándolo por 52, el factor de reemplazo ascenderá a 53,02% hembras por año.

El siguiente gráfico recoge el concepto de la cadena markoviana en el reemplazo de reproductoras, y se aprecia cómo son los flujos entre los períodos y su condición de no absorbente. De período 1 se va únicamente al dos y desde este de manera ordenada de uno en uno hasta el período diez; además todos los períodos, e inclusive el uno regresa al primero, sin producirse ciclos absorbentes.

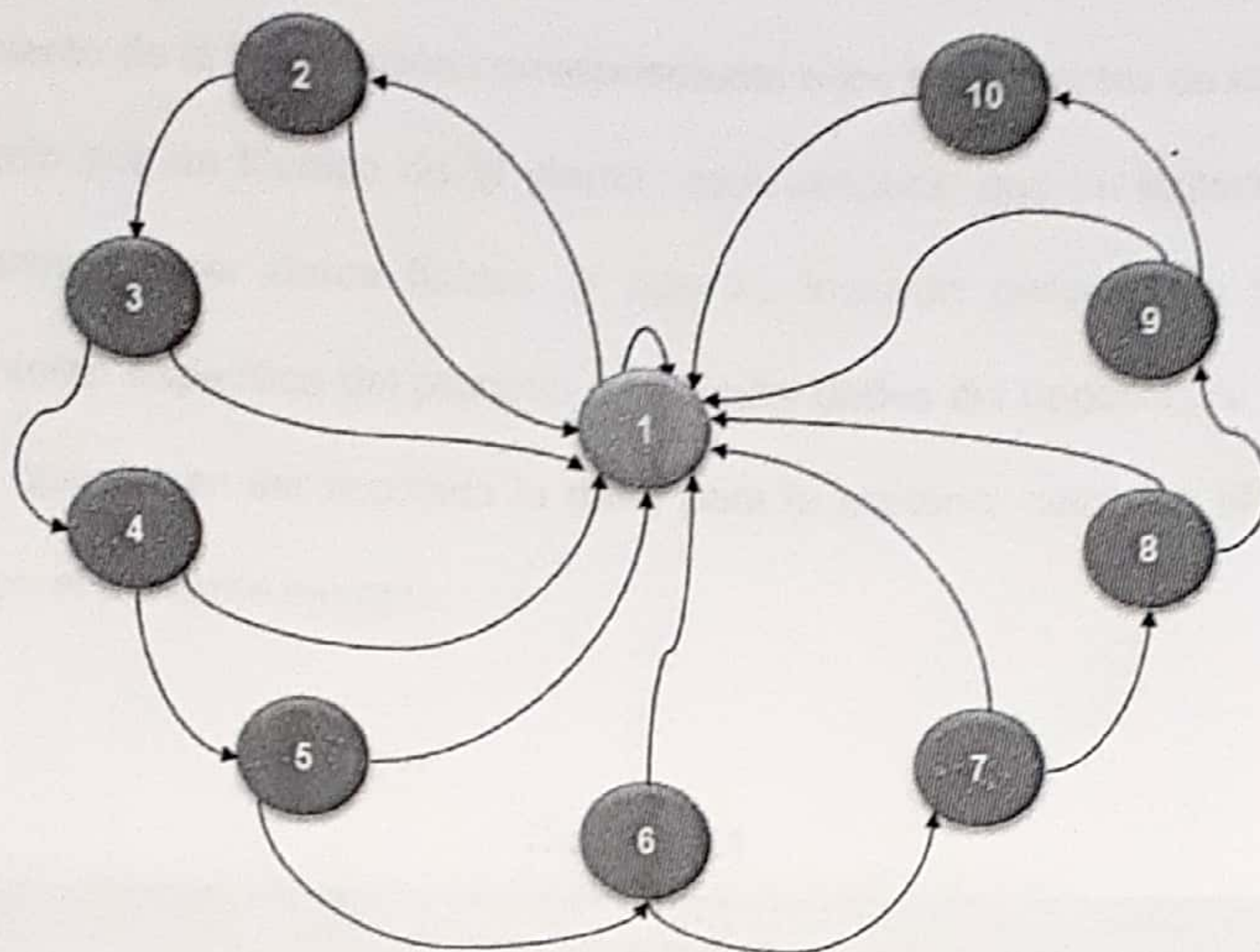
Las cifras reflejadas en la matriz $S(\infty)$, reflejan el estado en el que se encontrarían 1.000 hembras respecto a su condición de parto. A fin de comparar la teoría con la realidad, se solicitó a la empresa Pronaca las estadísticas de partos por hembra de todas sus granjas porcinas.

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Gráfico 3.2

Cadena de markov no absorbente en el reemplazo de reproductoras de cerdos



El cuadro 3.9 refleja dicha comparación, la misma que se la realizó sobre 9.200 hembras. Como se aprecia en las columnas porcentuales, la realidad se ve bastante bien reflejada por la teoría.

Cuadro No. 3.9

Comparativo resultado cadenas de markov vs realidad granjas porcinas Pronaca

Parto	No. madres	% Madres	Teórico
1	2.051	22,3%	20,4%
2	1.567	17,0%	17,3%
3	1.363	14,8%	15,1%
4	1.260	13,7%	13,1%
5	1.055	11,5%	11,0%
6	842	9,2%	8,7%
7	608	6,6%	6,3%
8	299	3,3%	4,1%
9	107	1,2%	2,6%
10	38	0,4%	1,5%
11	9	0,1%	
12	1	0,0%	
	9.200	100,0%	100,0%

CAPITULO 4

Generación de Matriz de Rendimientos

El levantamiento de la información correspondiente a los rendimientos de los animales, será realizado por un técnico de la planta, para asegurar que su experiencia en el proceso permita tener datos fiables, y que no incluyan distorsiones propias del desconocimiento específico del proceso o particularidades del negocio; no obstante la manera en que deben ser recogida la data, para la posterior carga en el sistema se especifica en el presente ejemplo:

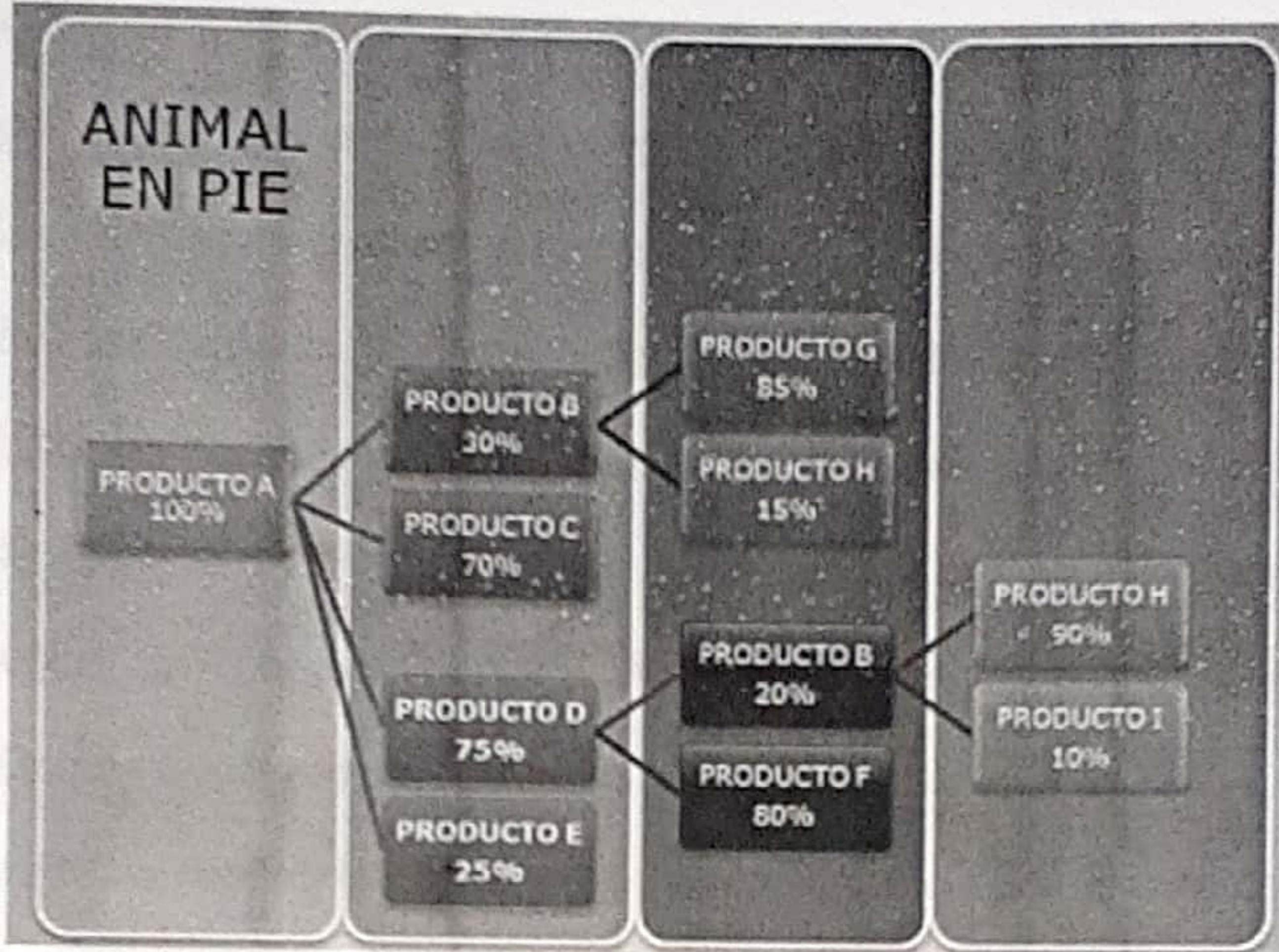
Cuadro 4.1

CANAL COMERCIALES						
Fecha:						
No Unidades		10				
Peso canal c/c y cp		975				
Código	Producto	Peso	%	Pesos		Observaciones
				Promedio	Individual	
	Canal c/c y cp en frío	975	100	97,5		
	Piernas	276,9	28,40	27,7	13,85	
	Brazos	183,9	18,81	18,4	8,19	
	Costillares	197,8	20,27	19,8	9,88	
	Chuleteros	218,8	22,44	21,9	10,94	
	Lomo fino	15,1	1,55	1,5	0,75	
	Unto	8,5	0,87	0,9	0,43	
	Cabeza	78,8	7,87	7,7		
	Patás	18,8	1,70	1,7	0,41	
	TOTAL	974,2	99,92	97,4		
	MERMA	0,8	0,08	0,1		

El formato anterior facilita y acelera la manera en que se toman los datos, mismos que se estructuran en forma de un árbol con múltiples ramificaciones o posibilidades de corte para un mismo ítem, puesto que un ítem final (comercial) puede provenir de distintas opciones de corte, un ejemplo claro es la carne molida, misma que se puede obtener de distintos partes del animal, y finalmente se la distribuye en tipos de presentación. En la grafica siguiente podemos ver un ejemplo de la manera en que se

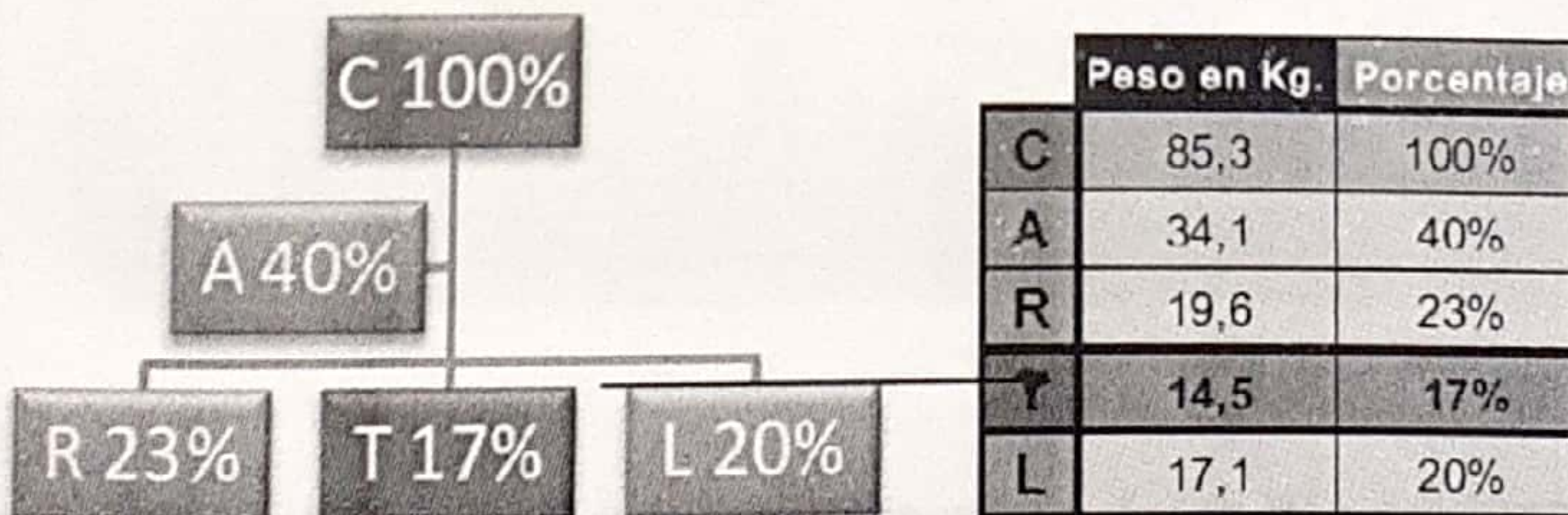
despresan los ítems, y si vemos por ejemplo el producto 'B', este tiene dos orígenes distintos.

Gráfico 4.1



Por tanto una vez que se han tomado los rendimientos de los ítems de los productos anatómicos, se debe proceder a tomar los rendimientos de los productos comerciales que requieran de un procedimiento especial de corte y que no salgan por explosión, es decir presionaremos la producción para lograr obtener ese ítem, y sacaremos su rendimiento, así como de los ítems que obtenemos por explosión.

Gráfico 4.2



Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Una vez que se han tomado los datos de la forma antes presentada, se procede a formar una matriz de distancias entre ítems, similar a las matrices de distancias de las ciudades, la misma que explica que a partir de un ítem, solo se puede obtener ítems inferiores (orígenes y destinos), por tanto el viaje que realizan el proceso es hacia la derecha y para abajo, por tanto no se puede re construir ítems superiores; Esta matriz de distancias implica un proceso de transformación en el cual se incluyen costos al momento de trasladarse de un origen a un destino, no obstante es posible llegar a un destino a partir de distintos orígenes, y distintos orígenes pueden generar distintitos destinos, de igual al salir de un origen hacia un destino es necesario pasar por distintos puntos, lo cual en la matriz de rendimientos se conoce como ítem de explosión. Debido a que ningún animal es similar en tamaño, peso, etc. Trabajaremos con porcentajes, lo cual corresponde a proporciones, las cuales se consideran que son similares entre los animales de la misma raza o especie, la ventaja de trabajar con porcentajes es que disminuye la variabilidad de los productos finales que se obtienen. De igual manera es importante tener en cuenta que se está trabajando en kilos, y no en unidades, ya que si construimos un sistema mixto de unidades y kilos, nos enfrentaríamos a un problema MIP (mixed integer problem) lo cual haría que la talla del problema o la complejidad computacional crezca de manera exponencial.

Cuadro 4.2

	a	b	c	d	e	f	residuos	TOTAL
a	% -100	% 70	% 0	% 25	% 0	% 5	% 0	0%
b	% 0	% -100	% 78	% 0	% 0	% 12	% 10	0%
b	% 0	% -100	% 0	% 50	% 28	% 2	% 20	0%
c	% 0	% 0	% -100	% 0	% 60	% 20	% 20	0%
c	% 0	% 0	% -100	% 0	% 12	% 87	% 1	0%
d	% 0	% 0	% 0	% -100	% 20	% 50	% 30	0%

La distancia desde el origen a si mismo corresponde a menos cien por ciento, puesto que se busca que los ítems despresados, no sean mayores al ítem padre, es decir que la suma final de estos sea cero, por ejemplo del ítem **a** obtenemos **b**, **d** y **f**, mismos

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

que si se pudieran nuevamente unir formarán nuevamente al ítem **a**, por lo cual la matriz de rendimientos se la puede representar de la siguiente manera:

$$a = 0,7b + 0,25e + 0,05f$$

$$b = 0,78c + 0,12f + 0,1 \text{ residuos}$$

$$b = 0,5d + 0,28e + 0,2f + 0,2 \text{ residuos}$$

$$c = 0,6e + 0,2f + 0,2 \text{ residuos}$$

$$c = 0,12e + 0,87f + 0,1 \text{ residuos}$$

$$d = 0,2e + 0,5f + 0,3 \text{ residuos}$$

El poder representar los rendimientos de manera de ecuaciones, nos permitirá a posterior calcular valores óptimos de producción, capacidades, requerimientos, costos, etc.

Capítulo 5

5.1. Costeo de la carne industrializada de cerdo

El costo de un producto está asociado con los diferentes valores monetarios que se van agregando a través de un proceso productivo. Lo más generalizado es separar a los componentes del costo en tres elementos: materia prima & materiales, mano de obra y, gastos de producción. Para productos que se ensamblan de a poco, hasta llegar a obtener el producto final, el tema no tiene mayor complicación y existen varias metodologías a fin de estructurar un costo unitario que sea aceptable¹⁰, Así por ejemplo existen las órdenes de producción, donde se abre una hoja para registrar los cargos directos y asignados a fin de costear una familia de productos. Otro método es el denominado por procesos, donde a los productos se les carga los valores según las diferentes etapas de terminado que vayan obteniendo en distintos departamentos de proceso.

Otras variaciones más recientes son el costeo ABC y el costo de reposición. El ABC combina la asignación de los costos directos generados en los métodos de órdenes de producción o por procesos, con una asignación de costos indirectos más pormenorizada; por ejemplo, se pueden asociar los gastos de despacho con el número de pedidos, el gasto de cámaras con las unidades de stock y/o con el volumen, etc. Los costos de reposición se refieren, más que a una metodología de registro contable, a una herramienta de manejo gerencial, pues, incorpora temas como valor de los insumos y los activos a precios de mercado, y además el costo de oportunidad de la inversión en esos activos más el capital de trabajo.

A todo lo anterior, súmense los costos fijos, costos variables, semi fijos, semi variables, costos promedio, fifo, lifo, costos marginales, etc. que en su conjunto conforman un complemento de todos los anteriores para registro contable y/o análisis de resultados.

¹⁰ Jamás habrá exactitud. Dos contadores tendrán dos costos unitarios diferentes para cada producto, pese a contar con la misma información.

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Como se aprecia, existe una gama de posibilidades para poder determinar el costo de producción de aquellos productos que amalgaman sus componentes, pero ¿qué de aquellos que parten de un producto final y explotan hacia varios otros productos con su propia demanda de mercado? ¿cuánto se le asigna por concepto de materia prima, ejemplo a un filete de pierna de cerdo dado que en conjunto, todo el animal vivo tuvo un costo implícito único? ¿acaso no tienen similar costo las menudencias, si al animal se lo alimentó por igual para todas las partes de su cuerpo?. En esencia si, pero al tratarlo de esta manera y preparar un margen de rentabilidad por item, existirán productos en los que aparentemente se tendría una exagerada rentabilidad, frente a otros que reflejarían altas pérdidas contables.

Biblioteca del ICM
Homero Ortiz Egas



Hasta hace no mucho tiempo, era una práctica general en el Ecuador el manejar para este tipo de productos un solo costo mix; es decir, la sumatoria de todos valores agregados que intervenían en la producción, se dividía para todos los kilos procesados (cualquiera sea su naturaleza), obteniendo así un solo valor referencial para todos los elementos, el mismo que se lo comparaba con el precio mix calculado de similar manera pero con el insumo de las ventas. Con estos dos valores, ya se podía calcular la utilidad bruta por kilo y su respectivo margen, que como concepto, es lo que finalmente importa, principalmente al accionista de la empresa, ya que cualquiera sea la metodología adoptada, la línea final no cambiará significativamente, pero, a su vez no permite un análisis de probabilidades de mejora.

El tema es que se deben valorar estos productos de la manera más objetiva posible, tratando de conseguir información que permitan tomar buenas decisiones. Cada vez las empresas tratan de mejorar la información del costo de sus productos. De referencias de primera mano se conoce que Sadía, la empresa más grande de producción de pollos a nivel mundial y una de la más representativa en la faena de cerdos, asigna sus costos a través del valor del precio de mercado. Así por ejemplo, si tienen 2 productos, A y B, el primero con 10 kilos de producción y el segundo con 15,

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

se multiplican estos por los precios de mercado, supongamos 4 y 2 respectivamente para un valor de mercado total de 70 (40 +30). Este valor será a su vez el inductor del costo. Así, continuando con el ejemplo, si se tiene un acumulado por asignar digamos de 35 unidades monetarias, al producto A se le cargarán 20 y al B 15, resultando los costos unitarios de 2 y 1 unidades monetarias respectivamente.

Se observa que este método trata de dar un término de "justicia" a los cargos, asignando en mayor proporción aquellos productos que mejor precio tienen en el mercado.

Basados en este principio, los postulantes quieren ir más allá de la relación directa precio, costo, y aprovechar el esquema de optimización del despesado generar una asignación por: precio, rendimiento y productos subordinados, y apoyándose además en la departamentalización de los procesos.

Tiempo atrás Pronaca quiso implementar a través de un ERP el concepto propuesto, pero el programa no contaba con un modelo interno que simule una asignación de costos vía explosión de la producción. Hasta donde se ha investigado (y visto con otros productos de la Compañía), los ERP's son extraordinarios en el manejo de productos que se ensamblan, más no manejan de similar manera los generados por explosión. De hecho, lo que se ha diseñado en esta tesis, es un sistema "parche" que se adecue al ERP a fin de que este último contenga la información ya transformada en línea.

El sistema aquí desarrollado, no solo servirá para costear productos cárnicos como cerdo, pollo, pavo, etc., sino que puede ser adaptado para cualquier tipo de producción catalogada como "cutting-stock", por lo cual no se pondrá especial énfasis en la fidelidad de la información de los costos o precios asignados a los productos, sino a la metodología que se debe seguir independientemente del tipo de producto que se trate o los departamentos por los cuales tenga que procesarse.

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Para explicar el modelo, se parte de un ejemplo con un ligero grado de complejidad y que pueda ser seguido paso a paso en Excel y con la ayuda de cualquier optimizador en la solución de la programación lineal. Como ya se conoce, la probabilidad de combinaciones en cortes es infinita, y el ejemplo más sencillo, debe contener algunas variables, a fin de captar todos los casos que sean posibles. La idea es plantearse un caso que combine algunas posibilidades de subordinación entre los diferentes productos. Dado este paso, el siguiente será utilizar una herramienta más poderosa como el Matlab, a fin de operar con la inmensa matriz que se presenta en la valoración de los costos en los cortes de la industria porcina.

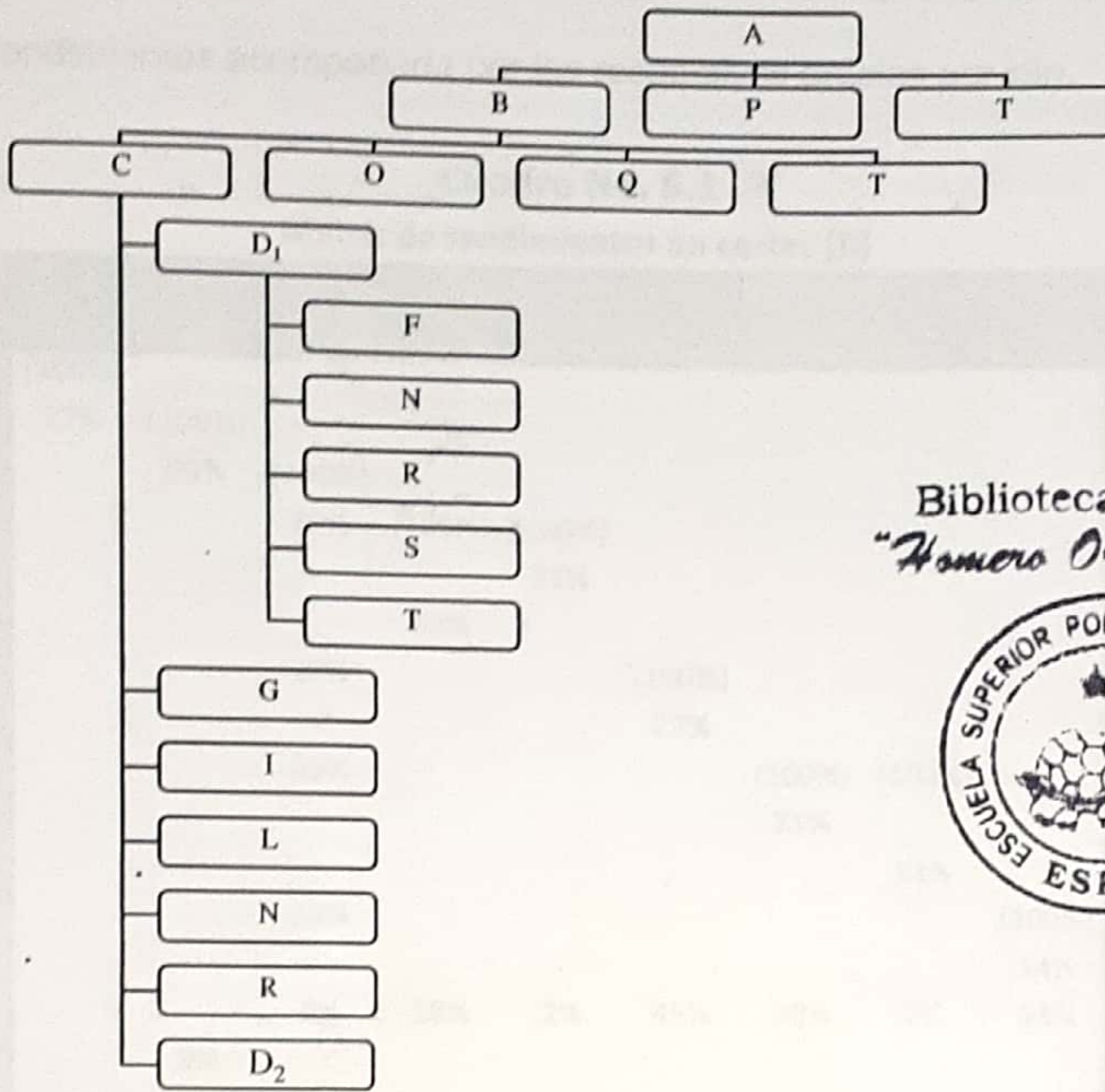
Tres son los temas principales a abordarse:

- Definición del costo estándar
- Definición de los costos y precios estructurados
- Liquidación de los costos reales

El ejemplo es como se diagrama en el gráfico No. 5.1, el mismo que parte de un producto principal A y tiene como productos subordinados al B, P y T¹¹.

¹¹ En el cerdo comercial el primer nivel es el cerdo en pie (A), y sus subordinados lo constituyen la canal con cabeza y patas (B), la menudencia (P) y una merma (T) compuesta por sangre, contenido intestinal, cerdas de la piel, etc.

Gráfico No. 5.1
Estructura de cortes del producto A



Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



A su vez el producto B, tiene 4 productos subordinados: C, O, Q y T. Vale la pena aquí un comentario. A excepción de los productos A y T, todos los productos son comerciales y pueden tener una demanda de por medio. Esto porque la estructura de las ecuaciones tiene solución únicamente si se lo plantea de esta manera. Dado el caso que el producto A sea también comercial, habría que crear un nivel superior a fin de que se constituya en un producto subordinado.

El producto C tiene a su vez 8 subordinados: Dos formas de cortar el producto D más los productos G, I, L, N y R¹².

Así sucesivamente hasta procesar todos los niveles. Los 8 productos que no tienen subordinados son los que van desde el M hasta el T.

¹² En el gráfico aparecen los subordinados del D₁ que son F, N, R, S, T; pero como se verá en la matriz de rendimientos, el D₂ tiene como subordinados a E, N, R, S, T

A fin de estructurar las ecuaciones, cada producto subordinado representa una proporción del producto principal. En el cuadro No. 5.1, se presentan los datos de la matriz de rendimientos acompañada por los respectivos precios por kilo.

Cuadro No. 5.1
Matriz de rendimientos en cortes [R]

Prod	A	B	C	D1	D2	G	I1	I2	L	Precio kilo
A	(100%)									
B	77%	(100%)								2,09
C		90%	(100%)							2,26
D			30%	(100%)	(100%)					2,51
E					92%					2,66
F				63%						3,51
G			20%			(100%)				2,26
H						22%				3,44
I			25%				(100%)	(100%)		2,10
J							31%			2,85
K								61%		2,54
L			23%						(100%)	2,31
M									24%	5,09
N			2%	18%	2%	45%	39%	7%	53%	2,31
O		9%								0,99
P	11%									0,21
Q		2%								0,93
R			1%	11%	0%	21%	17%	20%	18%	1,07
S				8%	5%	11%	9%	9%	5%	1,47
T	12%	0%		0%	0%	1%	3%	3%	0%	

El encabezado de cada columna, representa el nivel principal, es decir, aquellos productos que son susceptibles de despresar. Las filas representan tanto a los productos principales como a los productos subordinados.

Leyendo por columnas se interpreta por ejemplo que en producto principal A, entrega el 77%, 11% y 12% a los subordinados B, P y T respectivamente. El producto principal D₁, entrega el 63%, 18%, 11% y 8% a los productos F, N, R y S respectivamente. Para fines del ejercicio, se ha supuesto que los productos como por ejemplo D₁ y D₂, tienen igual apreciación en el mercado, diferenciándose únicamente por cómo se los corta.

Supongamos que el pedido mínimo [D] está dado por las siguientes unidades:

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

E	F	G	H	J	K	M
680	40	170	80	40	340	150

Además suponemos los componentes de costos de materia prima, mano de obra y gastos fijos que constan en el cuadro No. 5.2.

Cuadro No. 5.2
Costos asociados al proceso de cortes

[P]	Costo MP x TM	Horas TM	Valor hora	Otros fijos x depart
A	1.210	5	1,6	35
B	0	10	2,0	50
C	0	15	1,6	8
D1	0	1	1,8	40
D2	0	1	1,6	4
G	0	4	2,0	70
I1	0	11	1,6	50
I2	0	3	1,6	10
L	0	6	1,6	20
				287

La primera columna se la ha nombrado como [P] y se refiere a los productos que se despresarán, y que como se verá posteriormente, son los valores a calcularse en la programación lineal.

En el tema de la materia prima, se supone que el costo realmente está asociado con el producto del primer nivel, y que se quiere sea distribuido de manera racional hacia todos los subordinados.¹³

La mano de obra y los gastos fijos (estos últimos representados en miles de dólares), están directamente relacionados con los departamentos y que a su vez son los productos que son sujetos de corte. Hay que considerar que solamente se colocará un valor monetario cuando se esté totalmente seguro de la clasificación; si no se tiene seguridad, y, si además, para asignar el valor al departamento, existen métodos muy complicados (ejemplo: inductores de diferente clase), es preferible mantener el valor en los niveles superiores. Por el contrario, si se está seguro del costo directo de un

¹³ En la industrialización del cordero, la materia prima es el cordero en pie que ingresa al proceso

proceso, pues se establece un nivel adicional de corte con un producto principal y uno o varios subordinados.

Se ha supuesto además que la mano de obra se la carga de acuerdo a las horas de trabajo por unidad de producción.

Finalmente se puede tener un costo variable como por ejemplo el empaque de los productos, el mismo que se ha supuesto es como sigue:

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Q	S
0,02	0,02	100	0,03	0,04	0,01	0,02	100	0,02	0,01	100	0,04	0,02	0,01	0,01

Se han puesto altos costos de empaque para los productos D, I y L debido a que, en la mejor solución, no se desea queden saldos sin cortar.

Con los parámetros predefinidos, se puede establecer un modelo de programación lineal, donde se minimicen los costos de cortar.

La ecuación básica no es más que la general de la programación lineal:

$$[R] \cdot [P] \geq [D]$$

Donde como se dijo **[R]** es la matriz de rendimientos, **[P]** la matriz de los productos a despresarse y que constituyen las incógnitas a calcularse, y **[D]** la matriz de pedidos. El hecho de poner un signo de mayor o igual al pedido, es debido a que, al tratarse de un costo estándar, ya se conoce por la historia que la capacidad de producción es suficiente para satisfacer la demanda. Como es de colegir, **[R] \cdot [P]** no es más que la producción de cortes.

La función objetivo, y las respectivas restricciones son las siguientes:

$$Min_z = \sum_{i=1}^n P_i (Mp_i + H_i Vh_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} P_i e_i + F$$

Cuadro No. 5.3

Producción optimizada de cortes

Product	Cantd TM [P]	Costo MP x TM	Valor MP	Horas TM	Valor hora	Valor MOD	Otros fijos x depart	Valor gastos departamentos
A	4.020	1.210	4.864	5	1,6	32	35	4.932
B	3.104	0	0	10	2,0	62	50	112
C	2.778	0	0	15	1,6	67	8	75
D ₁	64	0	0	1	1,8	0	40	40
D ₂	764	0	0	1	1,6	1	4	5
G	370	0	0	4	2,0	3	70	73
I ₁	128	0	0	11	1,6	2	50	52
I ₂	558	0	0	3	1,6	3	10	13
L	639	0	0	6	1,6	6	20	26
			4.864			176	287	5.328
								5.380

Sujeto a:

$$1.- \sum_{i=2}^n R_{ij} P_i \geq D_i, \text{ para } i = 2, 3, \dots, n$$

$$2.- P_i \geq 0$$

Donde:

Mp_i = Costo por unidad de materia prima del producto i

H_i = Horas trabajadas por unidad en el departamento i

Vh_i = Valor por hora en el departamento i

e_i = Costo empaque producto i

F = Costos fijos totales

Corriendo el programa en What's Best, se obtuvieron los resultados que constan en la segunda columna en el cuadro No.5.3, cifras que se han complementado con las de costos a fin de estructurar todo el cuadro.

El costo optimizado, asciende a 5.350 unidades monetarias y se han cumplido todas las restricciones.

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



La siguiente es la matriz resultante de la producción:

	[R] . [P]
A	(4,626)
B	(0)
C	0
D	0
E	705
F	40
G	174
H	80
I	0
J	40
K	340
L	0
M	153
N	665
O	267
P	434
Q	56
R	376
S	180
T	510

El pedido [D], ha sido satisfecho con exactitud para los productos F, H, J y K; y con una ligera desviación para los productos E, G y M (25, 4 y 3 TM sobre lo solicitado respectivamente). Además aparece la producción de otros productos que no constaban en el pedido (desde el N hasta el T) y que por estructura de la materia prima, se dan por explosión.¹⁴

El resultado de la producción por producto cortado y su (s) correspondiente (s) ítems comerciales, aparece en la tabla No. 5.4

Cada elemento del cuadro No. 5.4, es producto de un elemento R_{ij} de la matriz de rendimientos [R], por el respectivo P_i de la matriz de cortes [P], de tal manera que:

$$U_{ij} = R_{ij} P_i$$

¹⁴ En el cerdo existen productos de difícil comercialización como: cabeza, menudencias, grasa, cuero, y otros que no son explícitamente demandados pero que resultan como producto del desprese como la fritada y las patas. En el ejemplo realizado el producto T del cerdo lo constituiría la merma, dado que no tiene precio.

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Cuadro No 5.4
Cortes por producto principal & ítem comercial [U]

		Producto principal cortado										Prod. Term d	Prodc Pr _i	
		A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L				
Ítem comercial	A	(4.020)										(4.020)		
	B	3.104	(3.104)									(0)	3.104	
	C		2.778	(2.778)										2.778
	D			828	(64)	(764)						0	828	
	E					705						705	705	
	F				40							40	40	
	G			544			(370)					174	544	
	H						80					80	80	
	I			686				(128)	(558)					686
	J							40				40	40	
	K								340			340	340	
	L			639						(639)				639
	M									153		153	153	
	N			44	12	15	167	50	40	337		665	665	
	O										267	267	267	
	P	434										434	434	
	Q		56									56	56	
	R			36	7	2	78	22	113	118		376	376	
	S				5	40	41	12	51	30		180	180	
	T	482	3		0	2	4	4	14	1		510	510	

En las columnas se han colocado los productos principales (cortes), y en las filas estos, más los comerciales.

Este cuadro No. 5.4, segrega dos tipos de información importantes que se han colocado en las dos últimas columnas: La una se refiere al volumen de producto terminado que no es más que la multiplicación de $[R].[P]$ acumulándola en ítems de igual percepción comercial, y que no resulta ser otra cosa que la suma de la fila respectiva. La segunda se refiere a todos los productos que tuvieron que cortarse ya sea para constituirse en un ítem comercial, o ya sea para corte posterior (producto principal a producto subordinado).¹⁵

Esta segunda columna de cálculo resulta de la acumulación de los valores positivos de cada columna del mismo cuadro No. 5.4 y se los denominará Pr_i

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



¹⁵ Se recuerda que un producto se corta ya sea para venderlo como producto final o ya sea para uso como materia prima de un subordinado

5.2. Costo estándar: Con el modelo optimizado (que viene a constituirse en la producción estándar) y teniendo los costos por departamento, se procederá a estructurar los costos estándar por producto.

El siguiente paso consiste en asociar a los rendimientos, el primer inductor de asignación de los costos que es el precio del mercado. Para ello se utiliza el cuadro No. 5.5. En la última fila de este cuadro, se ha colocado el precio esperado que no es más que la sumatoria de la multiplicación de cada columna del cuadro No.5.1 por los precios de los productos.

$$Pe_j = \sum_{i=1}^n R_{ij} p_i, \text{ para } R_{ij} \geq 0$$

Donde Pe_j es el precio esperado, del producto principal j , y p_i , es el precio de mercado del producto subordinado i

En los datos internos del cuadro No 5.5, se asocian tanto los rendimientos de los cortes, como el valor de venta de los productos comerciales, formando un inductor combinado para la asignación de costos.

Para el cálculo se hace la siguiente consideración:

If $R_{ij} < 0$

$$C_{ij} = R_{ij}$$

Else

$$C_{ij} = \frac{R_{ij} \cdot p_i}{Pe_j}$$

End if

Cuadro No. 5.5

Product	Matriz auxiliar distribución costos [C]								
	A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L
A	(100%)								
B	99%	(100%)							
C		95%	(100%)						
D			33%	(100%)	(100%)				
E					95%				
F				77%					
G			19%			(100%)			
H						34%			
I			23%				(100%)	(100%)	
J							42%		
K								75%	
L			23%						(100%)
M									45%
N			2%	15%	2%	48%	43%	8%	45%
O		4%							
P	1%								
Q		1%							
R			1%	4%	0%	10%	9%	11%	7%
S				4%	3%	8%	6%	7%	3%
T									
Precio esperad	1,64	2,12	2,29	2,85	2,58	2,17	2,12	2,06	2,71

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Paralelo a este cálculo, puede estructurarse una primera asignación de los costos por departamento.

Con los datos de la última columna del cuadro No. 5.3 (costos) y la información completa del cuadro No. 5.4, ya es posible realizar la primera asignación de los costos departamentales.

Esta asignación es tal como consta en el cuadro No. 5.6 en el cual, como se puede observar se ha colocado la columna de costos del No. 5.3 en la última fila del 5.6. Para formar los datos internos del cuadro, basta multiplicar esta fila de costos, por la respectiva proporción calculada en la matriz de costos [C] del cuadro No. 5.5.

En este cuadro ya es necesaria la segmentación como la que se hizo con la matriz [U] (cuadro No. 5.4), pues lo único que se necesita conocer es el valor que se asigna a los productos subordinados, que, para la primera corrida son todos excepto el producto A.

Cuadro No. 5.6

Matriz inicial dólares

Producto	A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L	Prodc
A	#####									
B	4.863	(112)								4.863
C		107	(75)							107
D			24	(40)	(5)					24
E					5					5
F				31						31
G			14			(73)				14
H						25				25
I			17				(52)	(13)		17
J							22			22
K								10		10
L			17						(26)	17
M									12	12
N			1	6	0	35	22	1	12	77
O		4								4
P	68									68
Q		1								1
R			0	2	0	8	5	1	2	17
S				2	0	5	3	1	1	12
T										
Valor asignar	4.932	112	75	40	5	73	52	13	26	5.328

Con esta primera asignación nace la pregunta de ¿cómo asignar los costos que le cayeron nuevamente por ejemplo al producto B desde su principal A, hacia sus subordinados C, O y Q, dado que el B no es un producto demandado y por ende no debe absorber ningún costo para sí mismo?

Para tal propósito se estructura el cuadro No. 5.7, mismo que contiene la información de la proporción de la producción destinada al corte y la proporción de la producción destinada para sí mismo como producto terminado, de tal manera que cada una de sus filas sume 100%

El diseño del cuadro tiene como punto de partida la matriz **[U]** definida en el cuadro No. 5.4, y se lo arma de la siguiente manera:

Para los productos principales:

$$\text{If } U_{ij} < 0$$

$$K_{ij} = -\frac{U_{ij}}{Pr_i}$$

Else

$$K_{ij} = 0$$

End if

Cuadro No. 5.7

Matriz proporción producción [K]

Producto	A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L	Prod. Termd
A										
B		100%								
C			100%							
D				8%	92%					0%
E										100%
F										100%
G						68%				32%
H										100%
I							19%	81%		
J										100%
K										100%
L									100%	
M										100%
N										100%
O										100%
P										100%
Q										100%
R										100%
S										100%
T										100%

Para la columna de productos terminados:

If $U_{ij} < 0$

$$K_{ij} = 0$$

Else

$$K_{ij} = \frac{U_{ij}}{Pr_i}$$

End if

Donde U_{ij} y Pr_i , son los valores calculados en el cuadro No. 5.4.

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Esta matriz [K] de proporción de la producción, es la base para la reasignación en cascada de los costos que hayan caído desde un producto principal y que tengan que a su vez ser redistribuidos para sí mismo y para posibles subordinados.

La primera reasignación es tal como consta en el cuadro No. 5.8.

Cuadro No. 5.8

Matriz solución 1										
Producto	A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L	Prod. Term
A										
B		4.863								
C			107							
D				2	22					0
E										5
F										31
G						10				5
H										25
I							3	14		
J										22
K										10
L									17	
M										12
N										77
O										4
P										68
Q										1
R										17
S										12
T										
Total		4.863	107	2	22	10	3	14	17	289

Para formar este cuadro, no hay más que multiplicar cada elemento de la matriz [K] por los valores monetarios que resultaron a la columna de "Producción" del cuadro No. 5.6. Lo que se ha hecho en este primer paso es asignar de manera proporcional las 5.328 unidades monetarias entre productos que van al mercado (289 u.m.), y productos que tendrán posterior corte (5.038 u.m.)

De aquí en adelante y utilizando el principio de los cuadros 5.6 y 5.8 se va repitiendo el mismo proceso, asignando los costos de los departamentos hasta que ya no quede más por distribuir y los valores queden concentrados únicamente en aquellos productos que tengan salida comercial.

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Por ejemplo, el cuadro No. 5.9 es un fiel reflejo de los cálculos realizados en el cuadro No. 5.6 cambiando solamente los valores a asignar que para este caso, son los 5.039 u.m. que ya dejó calculado el cuadro No. 5.8. Es de observarse que la fila "Valor a asignar" del cuadro No. 5.9, es la misma que la fila "Producción" del cuadro No. 5.8

Cuadro No. 5.9										
Matriz 2 dólares										
Producto	A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L	Prodc
A										
B		#####								
C		4.630	(107)							4.630
D			35	(2)	(22)					35
E					21					21
F				1						1
G			21			(10)				21
H						3				3
I			24				(3)	(14)		24
J							1			1
K								10		10
L			25						(17)	25
M									8	8
N			2	0	0	5	1	1	8	17
O		195								195
P										
Q		38								38
R			1	0	0	1	0	1	1	5
S				0	1	1	0	1	0	3
T										
Valor asignar		4.863	107	2	22	10	3	14	17	5.038

La próxima matriz de solución, partirá de lo asignado en la columna de "producción" del cuadro No. 5.9, y procederá con el mismo cálculo que se hizo para el cuadro No. 5.8. El resultado se presenta en el cuadro No. 5.10.

Como se aprecia en este nuevo cuadro, las columnas y las filas de los productos A & B, ya aparecen en cero debido a que han enviado todas sus asignaciones a sus respectivos subordinados. De las 5.038 u.m. que dejó por asignar la "Matriz 2 dólares" del cuadro No. 5.9, 311 u.m. se asignan a los productos terminados, y la diferencia (4.728 u.m.) a los productos que van a seguir cortándose.

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Con la misma metodología se llega hasta la "Matriz 4 dólares" y la "Matriz solución 4" donde ya se asignan todos los costos hacia los productos que ya no se cortan y no tienen más subordinados; es decir productos exclusivamente comerciales. El resultado final es tal como aparece en el cuadro No. 5.11 donde se ha colocado exclusivamente los productos que tengan valores diferentes a cero.

Cuadro No. 5.10

Matriz solución 2										
Producto	A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L	Prod. Term
A										
B										
C			4.630							
D				3	32					0
E										21
F										1
G						14				7
H										3
I							4	20		
J										1
K										10
L									25	
M										8
N										17
O										195
P										
Q										38
R										5
S										3
T										
Total			4.630	3	32	14	4	20	25	311

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Finalmente ya se pueden calcular los costos estándar para cada producto comercial. Para esto, se suman los valores correspondientes a cada producto ij en todas las matrices de solución (columna producto terminado) y se le adiciona el valor del empaque (o puede ser cualquier otro costo variable asociado a la unidad de producción)

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Cuadro No. 5.11

Matriz 4 dólares							
Producto	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	I	Prodc
D	(116)	(1.395)					
E		1.327					1.327
F	90						90
G			(609)				
H			208				208
I				(195)	(853)		
J				82			82
K					639		639
L						(1.073)	
M						484	484
N	17	24	292	84	68	484	968
R	5	2	63	17	90	78	254
S	5	42	46	12	56	27	188
Valor asignar	116	1.395	609	195	853	1.073	4.241

Matriz solución 4	
Producto	Prod. Term d
E	1.327
F	90
H	208
J	82
K	639
M	484
N	968
R	254
S	188
Total	4.241

Cuadro No. 5.12

Ventas, costo & margen bruto productos terminados

Product	TM	Venta total	Precio kilo	Costo total	Costo kilo	Margn	% Margn
E	705	1.876	2,7	1.405	2,0	470	25%
F	40	140	3,5	126	3,1	15	10%
G	174	393	2,3	299	1,7	94	24%
H	80	275	3,4	243	3,0	32	12%
J	40	114	2,9	108	2,7	6	5%
K	340	864	2,5	677	2,0	186	22%
M	153	780	5,1	521	3,4	259	33%
N	665	1.536	2,3	1.173	1,8	363	24%
O	267	264	1,0	199	0,7	65	25%
P	434	91	0,2	68	0,2	23	25%
Q	56	52	0,9	40	0,7	12	23%
R	376	403	1,1	311	0,8	92	23%
S	180	264	1,5	209	1,2	55	21%
Total	3.510	7.053	2,0	5.380	1,5	1.673	24%

Los valores totales y unitarios, son como constan en el cuadro No. 5.12, cuadro al que se le ha añadido las ventas y el margen bruto por cada producto.

Obviamente la cifra de costo total asciende a las 5.380 u.m. obtenidas en el cuadro No. 5.3 de la optimización.

La cantidad (3.510 TM), se refiere solamente para los productos que tuvieron un precio de venta excluyéndose las 510 TM del producto T que es la merma. Aumentada esta cifra, son las 4.020 TM de la solución óptima.

En este cuadro No. 5.12, ya es posible observar que ciertos productos no generan una rentabilidad adecuada, como por ejemplo el F, H y J. La razón principal se la encuentra en que los costos fijos asociados a su corte principal (cuadro No. 5.3), son muy altos por TM. Si se sigue la línea de procedencia, estos tres cortes están asociados a sus principales D_1 , G e I_1 respectivamente que tienen altos valores departamentales considerando la cantidad de TM cortadas. Este análisis se complementará más adelante cuando se analicen los precios y costos estructurados.

Como se ha visto, la metodología es de fácil aplicación a cualquier sistema informático, sin importar la dimensión de las matrices de rendimiento. Una vez que se arma la optimización, se estructuran la matriz inicial en dólares, la de proporción de la producción y desde ahí se procede con un ciclo repetitivo hasta llegar a la asignación final.

5.3. Precios y costos estructurados: Una vez que se ha determinado el costo estándar para cada producto comercial, sería importante conocer cuál es la forma más rentable de cortar. Si bien en este trabajo se ha incluido el tema de optimización de la rentabilidad en el corte industrial del cerdo, hasta el momento no se ha realizado una sinopsis de cómo enfocar la información a fin de que esta sea visible a la hora de escoger las mejores decisiones.

El costo estructurado se enfoca hacia los cortes principales y no como se lo hizo con el estándar hacia los productos subordinados. Así por ejemplo, en el cerdo comercial sería importante conocer si un brazo debo filetearlo, o en su defecto, venderlo sin cuero y grasa; partirlo en chuletas o venderlo entero, etc. Por otro lado, si la empresa quiere enfocarse hacia todos los canales de venta y a todos los portafolios de productos, el costo estructurado le servirá para fijar un precio justo a las diferentes combinaciones de producción, para que no vayan en detrimento de otra u otras combinaciones de cortes.

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Para iniciar el análisis del costo estructurado, se ha elaborado en primer lugar una matriz auxiliar de respuestas en costos, la misma que se resume en el cuadro No. 5.13

Cuadro No. 5.13									
Matriz auxiliar respuesta costos									
Product	A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L
A									
B									
C									
D			0	(0)	(0)				
E					####				
F				126					
G			299			(227)			
H						243			
I									
J							108		
K								677	
L									
M									521
N			78	24	25	342	110	72	521
O		199							
P	68								
Q		40							
R			29	7	2	73	22	95	83
S				6	44	53	16	59	29
T									
Total	68	239	407	163	####	711	257	903	####

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Cada elemento ij del cuadro No. 5.13 viene dado por la sumatoria de los ij de las "matrices n dólares" que se calcularon en el costo estándar, partiendo desde la "matriz inicial dólares" del cuadro No. 5.6. A cada suma ij se le multiplica por el respectivo porcentaje de proporción de producto terminado de la matriz [K] (última columna del cuadro No. 5.7). El valor de cada ij se lo complementa con el valor del empaque, para lo cual se multiplica cada elemento i de la matriz [R].[P], por el valor del empaque y por el respectivo porcentaje de la proporción de producto terminado.

Para continuar armando el costo estructurado, se suman por columnas solamente las cifras positivas. Los datos procesados son como aparecen en la fila "Total" del cuadro No.13. El valor de esta fila asciende a 5.380 u. m., iguales a las que se distribuyeron para el costo estándar del cuadro No.5.3.

Como se desea realizar una agrupación por producto principal, se necesita efectuar una operación que permita realizar trazabilidad de los productos principales y sus subordinados. En otras palabras poner de forma numérica lo que consta en el árbol estructurado en el Gráfico No. 1¹⁶.

Cuadro No 5.14

Matriz incidencia productos despresados									
Producto	A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L
A	1								
B	1	1							
C	1	1	1						
D ₁	1	1	1	1					
D ₂	1	1	1		1				
G	1	1	1			1			
I ₁	1	1	1				1		
I ₂	1	1	1					1	
L	1	1	1						1

Para tal efecto se crea una matriz binaria cuadrática, como la que consta en el cuadro No. 5.14, donde se pueden observar cómo incide cada producto cortado sobre los otros subordinados que también se cortarán.

Así por ejemplo el producto principal A a más de incidir sobre sí mismo, incide directamente sobre su único subordinado B, e indirectamente sobre los otros productos que se cortarán sucesivamente a partir del B. La matriz se la arma hasta que no exista ningún subordinado adicional que se corte; así se observa que los productos que tienen un solo valor 1 en sus columnas, ya no tienen subordinados que sean principales de otros productos.

¹⁶ En el ejercicio se lo realiza con Excel, pero para matrices más grandes se recomienda utilizar cualquier base de datos que permita a través de una codificación adecuada, realizar el seguimiento de los productos

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Cuadro No. 5.15
Matriz auxiliar respuesta ventas

Producto	A	B	C	D1	D2	G	I1	I2	L
A									
B									
C									
D			0	(0)	(0)				
E					1.876				
F				140					
G			393			(268)			
H						275			
I									
J									
K							114		
L								864	
M									
N									780
O			103	27	34	386	116	92	779
P	91	264							
Q		52							
R									
S			39	8	2	83	24	121	126
T				7	60	60	17	76	44
Total	91	316	535	182	1.971	805	271	1.152	1.730

El costo estructurado no es más que la multiplicación matricial del cuadro No. 5.14 por la fila "Total" del cuadro No. 5.13.

Antes de presentar las cifras resultantes, y para fines comparativos se arma una matriz auxiliar de ventas. Esta consta en el cuadro No. 5.15 y se estructura de similar manera a la del cuadro No. 5.13. Cada ij del No. 5.15, es producto de multiplicar las unidades ([U] del cuadro No. 5.4, por el precio de cada producto del cuadro No. 5.1 y por la respectiva proporción de producción del cuadro No. 5.7.

El precio estructurado es igual que el costo estructurado solamente cambiando el "Total" del cuadro No. 5.13 con el del cuadro No. 5.15.

El resumen comparativo se presenta en el cuadro No. 5.16.

Hay algunos temas importantes a analizar en el cuadro No. 5.16 y que se los detalla a continuación:

- Primero: y el más importante es que hace referencia únicamente a los productos que se cortan

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



- Segundo: el análisis se lo hace acumulando las unidades físicas y monetarias desde los subordinados hacia los productos principales. Obsérvese que el cuadro No. 5.16 resume la cantidad de los productos que salieron de la matriz de optimización, y como valores de venta y costo para el producto A, son los correspondientes a los grandes totales de toda la producción.

Cuadro No. 5.16

Precios y costos estructurados

Producto	A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L
TM	4,020	3,104	2,778	64	764	370	128	558	639
Venta	7,053	6,961	6,645	182	1,971	805	271	1,152	1,730
Precio	1.8	2.2	2.4	2.9	2.6	2.2	2.1	2.1	2.7
Costo	5,380	5,311	5,072	163	1,476	711	257	903	1,155
C. unitario	1.3	1.7	1.8	2.6	1.9	1.9	2.0	1.6	1.8
Margen	1,673	1,650	1,573	19	495	94	14	248	575
% Margen	23.7%	23.7%	23.7%	10.5%	25.1%	11.7%	5.2%	21.6%	33.2%

- Tercero: un tema que hay que considerar y que no consta en el ejercicio es que pueden existir algunos departamentos que pese a tener un costo monetario, no tienen producción en unidades a las cuales asignar ese valor. Cuando esto sucede, el valor total del cuadro No. 5.13 no coincide con el valor total del cuadro No. 5.3. Cuando se da esto, pueden suceder dos cosas: o se tratan de costos ociosos sobre los cuales existen posibilidades de ahorro real, o en su defecto, se trata de un mala asignación inicial, en cuyo caso y como se dijo anteriormente; que, cuando no se está de cómo distribuir un valor en los departamentos, es preferible ponerlo en los niveles superiores.
- Cuarto: los análisis se los debe emparejar por productos de igual categoría. Así por ejemplo se podrían comparar todos los costos de los productos principales D y averiguar el porqué resultó más caro una forma de cortar frente a otra. En el cuadro No. 5.16, se tienen cuatro productos principales cortados de diferente manera: 2 para el D y 2 para el I. Si se coge como referencia al D₁ y D₂, se observa que el porcentaje de margen bruto es muy disímil entre los dos, con 10.5% y 25.1% respectivamente. Esta simple comparación dice que existe un

problema al cortar de la primera forma, y la causa puede estar en los costos del departamento para producir D_1 , o en el precio del producto F, primer subordinado por el cual se lo cortó. Aquí no deben incidir mayormente los análisis de los productos N, R, S¹⁷ que también resultan del D_1 , ya que estos fueron comunes a muchos otros cortes que tuvieron mejores márgenes. Lo que si puede afectar es el producto T, que al ser una merma, y no tener precio, un porcentaje de rendimiento alto incidirá directamente en el costo del producto principal. De similar manera, se pueden analizar los resultados del I_1 y el I_2 .

- Quinto: Sirve para tomar decisiones de corte y precio para productos de igual procedencia. Frente a una propuesta de venta, como no se conoce el precio del nuevo producto, el precio estándar no es objetivo, como si lo es el costo estructurado. Basta con tener los rendimientos de la propuesta y valorar los subordinados que ya se conocen, para compararlo con otra forma de cortar el mismo producto principal y tomar una decisión de precio.

Biblioteca del ICM
Homero Ortiz Egas



5.4. Liquidación de costos reales: Es común en los cortes de carne (y se puede imaginar en cualquier esquema de corte), no contar con la respectiva trazabilidad desde los productos principales hacia los productos subordinados. No es que no haya como efectuarlo, pero el costo de hacerlo sería inmenso y no necesario. Por ejemplo, en la industria de producción de carne de cerdo el pesar los productos en cada corte que se vaya sucediendo; habría que poner balanzas en cada estación de trabajo y una persona que esté pesando y registrando cada producto que se procese. Definitivamente algo inmanejable.

Por otro lado, al finalizar un período contable lo que si se tiene es la producción por ítem comercial, los productos en proceso (los principales que quedaron por cortar), el

¹⁷ En el cerdo industrial el producto D puede ser una pierna entera, el D1 pierna deshuesada y el D2 corte para jamón serrano. N, R y S puede asociarse a fritada, grasa y cuero.

ingreso total de cerdos en pie (con su respectivo al ingreso del proceso) y todos los costos departamentales.

Aquí existen dos posibilidades de liquidación:

- La primera sería aplicar los valores de costos unitarios estándar calculados, multiplicándolos por su respectivo volumen de producción y ajustar la diferencia de los cargos departamentales vía por ejemplo precio - volumen, o,
- Inferir la matriz de corte **[P]** y proceder con una liquidación como se hizo en el tratado anterior.

Para aplicar esta segunda metodología, lo recomendable es tener un estudio muy amplio y pormenorizado de los rendimientos. Las muestras deben ser suficientemente repetidas y siguiendo todas las alternativas de corte.

Con una base muy robusta, se pueden hacer diferentes escenarios dependiendo de la variabilidad de los resultados.

El principio de la liquidación sugerida parte del conocimiento de la matriz de pedidos (producción) **[D]** y una o varias propuestas para la matriz de rendimientos **[R]**. Con estos dos insumos se puede inferir la matriz **[P]** para lo cual se parte de la fórmula fundamental:

$$[R] \cdot [P] \geq [D]$$

Primero para despejar **[P]** se puede multiplicar **[R]** por $[R]^{-1}$, pero resulta que a **[R]** no se le puede invertir fácilmente ya que no es una matriz cuadrática.

Para solucionar este inconveniente se puede en primera instancia multiplicar la matriz **[R]** por su transpuesta $[R]^t$, y formar un resultado cuadrático. La fórmula original después de esta operación quedaría de la siguiente manera:

$$[R]^t \cdot [R] \cdot [P] \geq [R]^t \cdot [D]$$

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

Ahora ya se procede a invertir la matriz conjunta $[R]^t \cdot [R]$, y multiplicarla a los dos lados de la ecuación, resultando:

$$[[R]^t \cdot [R]]^{-1} \cdot [[R]^t \cdot [R]] \cdot [P] \geq [[R]^t \cdot [R]]^{-1} \cdot [R]^t \cdot [D]$$

Con lo cual:

$$[P] \geq [[R]^t \cdot [R]]^{-1} \cdot [R]^t \cdot [D]$$

Vía esta operación, se puede partir de una producción conocida, e inferir la cantidad y los ítems cortados.

$[R] \cdot [P] = [D]$	
A	(4,068)
B	0
C	0
D	0
E	714
F	40
G	181
H	80
I	0
J	40
K	345
L	0
M	155
N	670
O	270
P	439
Q	57
R	380
S	181
T	516

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Para aplicar el método, supongamos la cantidad producida en el cuadro anterior:

Conocida la matriz $[R]$ del cuadro No. 5.1, se calcula primero $[R]^t \cdot [R]$ que consta en el cuadro No. 5.17, y la matriz inversa como consta en el cuadro No. 5.18

Cuadro No. 5.17

Matriz R'.R								
1.6	(0.8)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(0.8)	1.8	(0.9)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	(0.9)	1.2	(0.3)	(0.3)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.2)
0.0	0.0	(0.3)	1.4	1.0	0.1	0.1	0.0	0.1
0.0	0.0	(0.3)	1.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	(0.2)	0.1	0.0	1.3	0.2	0.1	0.3
0.0	0.0	(0.2)	0.1	0.0	0.2	1.3	1.1	0.2
0.0	0.0	(0.2)	0.0	0.0	0.1	1.1	1.4	0.1
0.0	0.0	(0.2)	0.1	0.0	0.3	0.2	0.1	1.4

Aplicando $[[R]^t \cdot [R]]^{-1} \cdot [R]^t \cdot [D]$, llegamos a la matriz $[P]$ que consta en el cuadro No. 5.19 y con la cual ya se puede proceder a liquidar los costos tal como se trataron en el acápite de los costos estándar

Se debe tener mucho cuidado de que las cifras de $[P]$ sean positivas, sino, quiere decir que el estudio de rendimientos adolece de deficiencias y tendrá que ser revisado.

Cuadro No. 5.18

Matriz $[R'.R]^{-1}$								
0.9	0.7	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1
0.7	1.4	1.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1
0.5	1.1	1.8	0.2	0.2	0.2	0.0	0.3	0.2
0.1	0.1	0.2	1.2	(0.6)	(0.0)	(0.1)	0.1	(0.0)
0.1	0.1	0.2	(0.6)	0.9	0.0	0.1	(0.0)	0.1
0.0	0.1	0.2	(0.0)	0.0	0.8	(0.2)	0.1	(0.1)
0.0	0.0	0.0	(0.1)	0.1	(0.2)	2.2	(1.6)	(0.2)
0.1	0.2	0.3	0.1	(0.0)	0.1	(1.6)	2.0	0.2
0.1	0.1	0.2	(0.0)	0.1	(0.1)	(0.2)	0.2	0.8

Hasta esta instancia lo que se ha resuelto es el costo de producción de cada producto, suponiendo que no existe inventario inicial ni final en cámaras o bodegas; pero ¿cómo se debe proceder cuando se trata de estimar el costo cuando existen productos sujetos a cortarse en el inventario inicial?

Nuevamente, si la base de rendimientos es robusta, un producto principal se transformará vía proporción en uno o más productos subordinados sin alterar la

esencia de los cortes (no hay creación ni destrucción de unidades, solo transformación de ellas). A manera de ejemplo, supongamos el escenario de inventarios y producción que consta en el cuadro No. 5.20.

Cuadro No. 5.19
Producción cortes partiendo de una [R] y [D] conocidos

Product	Cantd TM [P]	Costo MP x TM	Valor MP	Horas TM	Valor hora	Valor MOD	Otros fijos x depart	Valor gastos departamentos
A	4.068	1.210	4.923	5	1,6	33	35	4.990
B	3.141	0	0	10	2,0	63	50	113
C	2.811	0	0	15	1,6	67	8	75
D1	64	0	0	1	1,8	0	40	40
D2	774	0	0	1	1,6	1	4	5
G	370	0	0	4	2,0	3	70	73
I1	128	0	0	11	1,6	2	50	52
I2	567	0	0	3	1,6	3	10	13
L	647	0	0	6	1,6	6	20	26
			4.923			178	287	5.388
								5.441

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Este cuadro indica que, a inicios del período analizado, en bodegas o cámaras existían 980 TM de productos principales por cortarse (columna 1); además se conoce la producción total del período, la misma que incluye los cortes de los productos que constaban en el saldo inicial, más la nueva producción realizada con materia prima ingresada durante el período (columna 2); también se tiene la venta por producto (columna 3) y el saldo final en TM (columna 4), que no es sino el saldo inicial cortado, más la producción realizada con nueva materia prima ingresada desde producto principal A.

Como se puede observar, la producción total asciende a 5786 TM, resultantes de sumar 980 TM de saldo inicial, más 4.826 TM de nueva materia prima. La idea es segregarse los costos de una y otra fuente de corte y realizar la asignación debida a los productos comerciales.

Cuadro No. 5.20
Movimiento inventarios período analizado

Product	Saldo inicial sin cortar (1)	Prod disponib (2)	Venta (3)	Saldo final (4:2-3)	Valor buscado (5:2-1)
A		(4,806)			
B	360	20	10	10	(340)
C	80	90	30	60	10
D	60	60	12	48	0
E		886	700	186	886
F		74	50	24	74
G	160	259	230	29	99
H		132	112	20	132
I	180	40	25	15	(140)
J		110	93	17	110
K		415	370	45	415
L	140	100	92	8	(40)
M		209	51	158	209
N		1,019	1,000	19	1,019
O		348	318	30	348
P		519	500	19	519
Q		73	70	3	73
R		550	500	50	550
S		264	203	61	264
T		618			
Total	980	5,786	4,366	801	4,187

El cuadro no determina en qué productos se transformaron los principales del saldo inicial, así como tampoco los que se generaron de la materia ingresada durante el período. Como no existe destrucción ni generación de volumen, se supone que, si a la producción disponible, se le resta el saldo inicial, da una idea general de la transformación de la nueva materia prima. Esta operación consta en la columna 5 del cuadro No. 5.20, y es la que se debe demostrar y que a la vez servirá de base para asignación de costos. A esta columna le faltan dos elementos para ser trabajada con el método de la inversión de matrices: el producto principal A y la merma T. A fin de identificarlos, se procede a trabajar con unos rendimientos que los excluya, el mismo que consta en el cuadro No. 5.21.

Como se observa, el cuadro No. 5.21 es el mismo que el No. 5.1 sin los productos desconocidos.

Cuadro No. 5.21

Matriz de rendimientos en cortes sin A y T [R]

Prod	B	C	D1	D2	G	I1	I2	L
B	(100%)							
C	90%	(100%)						
D		30%	(100%)	(100%)				
E				92%				
F			63%					
G		20%			(100%)			
H					22%			
I		25%				(100%)	(100%)	
J						31%		
K							61%	
L		23%						(100%)
M								24%
N		2%	18%	2%	45%	39%	7%	53%
O	9%							
P								
Q	2%							
R		1%	11%	0%	21%	17%	20%	18%
S			8%	5%	11%	9%	9%	5%

Sobre esta matriz aplicamos $[P] = [[R]^t \cdot [R]]^{-1} \cdot [R]^t \cdot [D]$, y obtenemos:

Product	Cantd TM [P]
A	4,806
B	4,050
C	3,615
D ₁	118
D ₂	959
G	609
I ₁	351
I ₂	682
L	871

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Ahora, si aplica $[R] \cdot [P] = [D]$ con la matriz [R] del cuadro No.5.1, se obtiene que el producto principal A es igual a 4.806 TM, y el T 618 TM, más todos los valores que se pusieron para los diferentes productos en la columna 5 del cuadro No. 5.20, con lo cual se ha realizado una inferencia completa de la producción con la nueva materia prima.

Ahora quedan únicamente dos temas por solucionar: cómo establecer un cuadro de costos equivalente a los tratados en el No. 5.19, y otro de auxiliar de respuesta en unidades similar al cuadro No. 5.4.

En el cuadro No. 5.22, se da respuesta a la primera pregunta; se incorporan dos columnas para el saldo inicial en unidades y en miles de dólares. Las unidades deben ser cortadas y por tanto forman parte de la necesidad de horas de mano de obra. Los gastos fijos se ha supuesto tienen una ligera variación respecto a los dos ejercicios anteriores. La suma de los valores en unidades monetarias, se los acumula en la última columna.¹⁸

Cuadro No. 5.22

Producción cortes partiendo de una [R] y [D] conocidos

Producto	Unidad Saldo	Valor saldo inicial	Cantd TM [P]	Costo MP x TM	Valor MP	Horas TM	Valor hora	Valor MOD	Otros fijos x depar	Valor gastos depart
A			4,806	1,210	5,815	5	1.6	38	42	5,895
B	360	616	4,050			10	2.0	88	71	775
C	80	146	3,615			15	1.6	89	11	245
D1	7	13	118			1	1.8	0	111	231
D2	53	106	959			1	1.6	2	5	7
G	160	307	609			4	2.0	6	145	459
H	61	104	351			11	1.6	9	208	522
I2	119	201	682			3	1.6	3	12	15
L	140	253	871			6	1.6	10	32	294
	980	1,746			5,815			246	637	8,443
										8,519

Si los datos obtenidos hasta aquí, son tratados de similar forma que se lo hizo en el cuadro No. 5.4 (y solamente con la columna de cantidades de la columna [P]), dan como resultado una tabla igual a la que se aprecia en el cuadro No. 5.22, donde obviamente (porque así se lo determinó al inicio del problema), existen productos principales con valores negativos y que impedirán armar el siguiente paso del esquema de costeo, consistente en la matriz K de proporción de producción, tal como se lo hizo en el cuadro No. 5.7

¹⁸ Para productos similares como D₁ y D₂, la materia prima del saldo inicial del principal, se le asigna proporcionalmente a la producción.

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

A fin de corregir este desfase, se hace necesario reconocer las unidades que se cortaron del saldo inicial, incorporándolas a los primeros datos obtenidos en el cuadro No. 5.23

Los datos ordenados del saldo inicial, son como se muestran en el cuadro No. 5.24.

Cuadro No 5.23
Cortes por producto principal & item comercial [U]

		Producto principal cortado									Prod. Term d	Prode Pri
		A	B	C	D1	D2	G	I1	I2	L		
Item comercial	A	(4.806)									(4.806)	
	B	3.710	(4.050)								(340)	3.710
	C		3.625	(3.615)							10	3.625
	D			1.077	(118)	(959)					(0)	1.077
	E					886					886	886
	F				74						74	74
	G			708			(609)				99	708
	H						132				132	132
	I			893				(351)	(682)		(140)	893
	J							110			110	110
	K								415		415	415
	L			831						(871)	(40)	831
	M									209	209	209
	N			58	21	18	275	138	48	460	1.019	1.019
	O		348								348	348
	P	519									519	519
	Q		73								73	73
	R			47	13	3	128	60	138	160	550	550
	S				9	51	68	32	63	41	264	264
	T	577	4		0	2	7	10	17	1	618	618

Los valores corresponden a las 980 TM, y que tienen que sumarse en la posición respectiva del cuadro No. 5.23. Realizada esta operación, los datos quedan como se observa en el cuadro No. 5.25, con los cuales ya es posible calcular los elementos K, tal como se lo hizo en la tabla No. 5.7, y continuar con el esquema de costeo planteado.

Cuadro No 5.24
Cortes saldo inicial

	A	B	C
A			
B	360		
C		80	
D			60
E			
F			
G			160
H			
I			180
J			
K			
L			140

Como se aprecia, se ha logrado replicar en la columna de productos terminados, la columna de producción disponible que consta en el cuadro No. 5.20, pero a sabiendas de la cantidad de cortes principales tanto de la nueva materia prima como de los saldos que quedaron.

Cuadro No 5.25
Cortes por producto principal & item comercial [U]

		Producto principal cortado								Prod. Termd	Prodc Pr _i	
		A	B	C	D ₁	D ₂	G	I ₁	I ₂	L		
Item comercial	A	(4.806)									#####	
	B	4.070	(4.050)								20	4.070
	C		3.705	(3.615)							90	3.705
	D			1.137	(118)	(959)					60	1.137
	E					886					886	886
	F				74						74	74
	G			868			(609)				259	868
	H						132				132	132
	I			1.073				(351)	(682)		40	1.073
	J							110			110	110
	K								415		415	415
	L			971						(871)	100	971
	M										209	209
	N			58	21	18	275	138	48	460	1.019	1.019
	O		348								348	348
	P	519									519	519
	Q		73								73	73
	R			47	13	3	128	60	138	160	550	550
	S				9	51	68	32	63	41	264	264
	T	577	4		0	2	7	10	17	1	618	618

Cuadro No. 5.26

Sensibilidad al problema de cortes proporcionada por el Excel

Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido	Coefficiente objetivo	Aumento permisible	Disminución permisible
A Cantd TM [P]	4.020	0,00	1,23	1,E+13	1,23
B Cantd TM [P]	3.104	0,00	0,02	1,E+13	1,62
C Cantd TM [P]	2.778	0,00	77,51	1,E+13	1,83
D1 Cantd TM [P]	64	0,00	(99,97)	1,E+30	0,00
D2 Cantd TM [P]	764	0,00	(99,97)	0	6,14
G Cantd TM [P]	370	0,00	0,01	1,E+30	0,01
I1 Cantd TM [P]	128	0,00	(99,97)	1,E+30	7,43
I2 Cantd TM [P]	558	0,00	(99,99)	1,E+30	7,41
L Cantd TM [P]	639	0,00	(99,97)	100	7,96

Nombre	Valor Igual	Sombra precio	Restricción lado derecho	Aumento permisible	Disminución permisible
B	(0)	1,60	0	1,E+30	3.103,6
C	0	1,81	0	1,E+30	2.777,7
D	(0)	99,97	0	27,2	1,E+30
E	705	0,00	680	25,1	1,E+30
F	40	0,00	40	17,1	40,0
G	174	0,00	170	4,1	1,E+30
H	80	0,06	80	0,9	80,00
I	(0)	107,40	0	1,E+30	5,1
J	40	23,74	40	1,E+30	1,6
K	340	12,17	340	1,E+30	3,1
L	0	99,97	0	13,9	1,E+30
M	153	0,00	150	3,3	1,E+30
N	665	0,00	0	664,9	1,E+30
O	267	0,00	0	266,9	1,E+30
P	434	0,00	0	434,2	1,E+30
Q	56	0,00	0	55,9	1,E+30
R	376	0,00	0	376,2	1,E+30
S	180	0,00	0	179,7	1,E+30
T	510	0,00	0	509,9	1,E+30

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Para valorar el costo de ventas, ya no existe inconveniente, pues ya se tendría el costo total de la producción disponible y por el método tradicional del costo promedio, ya se puede asignar lo que corresponde al costo y al inventario final.

5.5 Parametrización.- Si se procesa la sensibilidad en un optimizador, las respuestas que arroja están sujetas a la independencia de las variables calculadas; típica solución a los problemas de ensamblaje; pero en cuestiones de explosión del producto principal, estas soluciones deben estar en relación directa al equilibrio con el producto principal, que en caso de estudio corresponde al cerdo en pie.

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

En el cuadro No. 5.26 se expone la solución optimizada y con rangos de sensibilidad aceptados para el problema original planteado en este capítulo

Como se puede observar en el cuadro, las respuestas a la columna "Valor igual" son exactamente a las que se obtuvieron en el cuadro No. 5.3, y el coeficiente objetivo es igual al valor unitario de la materia prima (en este caso solo para el producto A), más el costo de la mano de obra (horas TM por valor hora), más el valor del empaque que no es más que la matriz transpuesta **R**, por el precio respectivo de los empaques.

Hasta aquí ninguna diferencia respecto a la solución propuesta. El problema viene dado cuando se analizan los precios sombra. Uno generado por el planteamiento del problema inicial cuando se puso precios altos al empaque de ciertos productos que no se deseaban que salieran en la respuesta óptima (D, I & L), y que hacen incluso se distorsionen los coeficientes objetivos, y otro (el más importante) porque no se toma en cuenta el ligero equilibrio de las soluciones; pues, hay que tomar en cuenta que, un producto puede ser a su vez la incógnita buscada, y la restricción del recurso.

Frente a esto, se propone la metodología de análisis que consta en el cuadro No. 5.27.

Cuadro No. 5.27

Cálculo de holguras a la restricción lado

Matriz Rt			
Producto	E	G	M
Original	680	170	150
A			
B			
C		20%	
D1			
D2	92%		
G		(100%)	
I1			
I2			
L			24%
Holgura	25	4	3

Lo primero que se debe hacer es colocar la matriz R transpuesta, resumida en aquellos productos que están en la base de respuestas y que tengan una holgura

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

superior a cero. En el cuadro No. 5.27 se ha remarcado en la fila que consta como original la restricción del pedido, y con holgura la diferencia que hubo entre este pedido, y la respuesta final.

Como se observa, existen cuatro productos que constan en la base de respuestas (C, D₂, G & L), que tienen holgura positiva, y que están asociados a su vez con la producción de tres productos subordinados (E, G & M).

Si se divide la holgura para los porcentajes de rendimiento, se obtiene la máxima disminución (división con signo positivo), o máximo aumento (división de signo negativo) posible que será factible en un producto principal o subordinado, sin que afecte a la disponibilidad inicial del corte principal (en el ejemplo, cerdo en pie), y guardando a su vez el principio de no negatividad.

Lo anterior determina que la respuesta en cantidades de la materia prima inicial, no se modificará de su respuesta inicial, si por ejemplo se disminuye el corte del producto D₂ en 27 TM (25 / 92%), o el que se aumente el corte del producto G en 4 TM.

El cuadro No. 5.28 presenta el análisis de sensibilidad sugerido, para todas las alternativas de aumento o disminución de corte de productos, así como el respectivo cálculo del precio sombra. También se presenta la producción resultante de cada alternativa, en lo que se refiere a productos subordinados, todas ellas, comparadas con la respuesta inicial.

Por ejemplo, se observa en el escenario 3 que si, se disminuye el corte del producto L en 14 TM, desde las 639 iniciales a las 625 propuestas, la cantidad general de materia principal se mantendrá en las 4.020 cortadas originalmente, pero que si impactarán en la producción del producto M el cual es un subordinado directo del L (24%), más un descenso en otros productos comerciales que no fueron explícitamente pedidos como el N, y el R. A su vez, existirá una disponibilidad de 14 TM para el mismo producto

comercial L, que al no ser cortado, se queda como producto comercial disponible para la venta.

El precio sombra es mejor enfocarlo hacia el producto principal analizado, que para el escenario 3 es el L. La variación en costo asciende a 822,2 miles de dólares, lo que significa un impacto por TM no cortada de \$30,23. Este sería el máximo valor que se esté dispuesto a pagar por cortar una TM del producto L.

Otro análisis que se puede observar en el cuadro No. 5.28, es el del escenario 4. Este sugiere que el producto C puede disminuir su corte en 21 TM, pasando desde 2.778 TM originales hasta 2.757. Esta operación en si es factible, pues, como se observa, mantiene intacta la respuesta de 4.020 TM originales de la materia prima principal. Sin embargo se aprecia la infactibilidad de su aplicación dado que las respuestas de algunos de sus productos subordinados (D, I & L), son negativas, volando el principio de no negatividad.

El último tema importante sobre el cuadro No. 5.28, es que, por la característica de la explosión, permite realizar un análisis de sensibilidad combinado. Esto se puede apreciar en la última columna del mismo. Como ya se mencionó los productos D_1 y D_2 son cortes iguales, separados en codificación únicamente por el destino final para el cual fueron posteriormente cortados. En el primer caso se determinó que el principal producto subordinado era el F, y en el segundo el E. Como el producto D_2 dio holgura en su disponibilidad, se podría disminuir su corte en 27 TM a favor de entregar la misma cantidad a su similar D_1 . La operación genera un efecto directo en una menor disponibilidad del subordinado E, a favor del F, con la respectiva interpretación del precio sombra.

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



Cuadro No. 5.28

Sensibilidad y precio sombra al corte de productos

Prodct	Disminución				Aumento	Combinada
	Escen 1 Original	Escen 2 D2 = -27	Escen 3 L = -14	Escen 4 C = -21	Escen 5 G = +4	Escen 6 D2 = -27 D1 = +27
A	4.020	4.020	4.020	4.020	4.020	4.020
B	3.104	3.104	3.104	3.104	3.104	3.104
C	2.778	2.778	2.778	2.757	2.778	2.778
D1	64	64	64	64	64	91
D2	764	737	764	764	764	737
G	370	370	370	370	374	370
I1	128	128	128	128	128	128
I2	558	558	558	558	558	558
L	639	639	625	639	639	639
Costo	5.380	5.379	5.379	5.380	5.380	5.380
Precio sombra TM		30,20	30,23	6,28	(12,45)	(1,09)

A	(4.020)	(4.020)	(4.020)	(4.020)	(4.020)	(4.020)
B	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	21	0	0
D	0	27	0	(6)	0	0
E	705	680	705	705	705	680
F	40	40	40	40	40	57
G	174	174	174	170	170	174
H	80	80	80	80	81	80
I	(0)	(0)	(0)	(5)	(0)	(0)
J	40	40	40	40	40	40
K	340	340	340	340	340	340
L	(0)	(0)	14	(5)	(0)	(0)
M	153	153	150	153	153	153
N	665	664	658	665	667	669
O	267	267	267	267	267	267
P	434	434	434	434	434	434
Q	56	56	56	56	56	56
R	376	376	374	376	377	379
S	180	178	179	180	180	180
T	510	510	510	510	510	510

El último tema importante sobre el cuadro No. 5.28, es que, por la característica de la explosión, permite realizar un análisis de sensibilidad combinado. Esto se puede apreciar en la última columna del mismo. Como ya se mencionó los productos D₁ y D₂ son cortes iguales, separados en codificación únicamente por el destino final para el cual fueron posteriormente cortados. En el primer caso se determinó que el principal

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

producto subordinado era el F, y en el segundo el E. Como el producto D_2 dio holgura en su disponibilidad, se podría disminuir su corte en 27 TM a favor de entregar la misma cantidad a su similar D_1 . La operación genera un efecto directo en una menor disponibilidad del subordinado E, a favor del F, con la respectiva interpretación del precio sombra.

Todas las respuestas arriba mencionadas, las da el optimizador ya sea a través del aumento - disminución de los productos principales, o de los subordinados. Existen otras respuestas que no tienen sentido por que violan los parámetros predefinidos de cumplimiento, y son las que se encuentran exclusivamente en la disminución posible. El más claro ejemplo es que se puede disminuir la producción del producto F en 40TM, situación que conlleva al no cumplimiento del pedido mínimo solicitado. Otras son las disminuciones sugeridas para los productos I o B que inducen a respuestas inadecuadas del equilibrio en los cortes.



CAPITULO 6

Resultados, conclusiones y recomendaciones

Una de las ciencias que más se ha desarrollado en el transcurso de los últimos 25 años es la Investigación Operativa. Sus técnicas han sido aplicadas en un sinnúmero de empresas sobre todo si se toma en cuenta que su desarrollo ha ido de la mano con el de la informática. Los réditos y ahorros han sido muy importantes, y dependiendo del volumen monetario sobre las cuales se han aplicado, han significado varios miles de millones de dólares. Según un estudio realizado por Forgionne en varias empresas de Estados Unidos los Directivos utilizan las técnicas de la IO a la par de las que ejecutan con estadística, simulaciones computacionales o las de PERT CPM. Además mencionan que su nivel de conocimiento en programación lineal asciende al 83,8%, programación entera de 38,5% y procesos markovianos del 30,7%.

En este trabajo se han utilizado dos de las técnicas mencionadas y que se las ha aplicado a la industria porcina: las cadenas de markov y la programación lineal.

La tecnología usada para el desarrollo la programación lineal, y su posterior interfase para uso fácil de usuarios finales se soporta en lenguaje .M, mismo que se lo puede apreciar en su mayoría en los anexos.

Luego de este trabajo, los resultados que se han obtenido son:

- El estudio ha permitido encontrar una correcta manera de planificar la cadena de producción de cerdos, desde su origen (genética abuelas) hasta el despresado en plantas, para lo cual se ha aplicado modelos tales como cadenas de Markov (en la crianza y reemplazo de madres) y optimización lineal (en el despresado).
- La aplicación de la programación lineal y cadenas markovianas permitirán tener un hato ajustado de madres a fin de contar con las estrictamente necesarias para una demanda determinada de carne de cerdo. La pirámide está alineada

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

con la producción desde la inseminación, nacimiento, reemplazo y faenamiento de los cerdos.

- El modelo de optimización de despresado, a la vez ha facilitado dos temas:
 - Faenar de la manera más óptima, evitando desperdicios por no sincronizar la faena y los pedidos del mercado
 - Determinar un costo adecuado por rendimientos y precio para los diferentes ítems, tema que combinados con los precios y costos estructurados, permitirán tomar mejores decisiones gerenciales en cuanto a descuentos por canal o enfoque de producción hacia clientes diferenciados.
- El desarrollo completo del modelo de programación, está estructurado para que sea una herramienta de trabajo diaria para la planta de faena, el centro logístico de consolidación de pedidos, y un apoyo en el costeo y la toma de decisiones.

Como conclusiones del estudio, se puede decir:

- Los temas abordados y desarrollados en los modelos, a no dudar serán fuente importante para la generación de una mayor competitividad inicialmente en la línea de cerdos de la empresa Pronaca; pero sin lugar a dudas dejará la base lista para ser aplicada en otras líneas de similares características (explosión en la producción) como son por ejemplo pollos, gallinas, pavos e inclusive palmito, todos ellos productos de la misma empresa.
- La mejor programación de las pirámides en las granjas de crianza y producción, necesariamente impactan en una mejor distribución de la infraestructura que alberga estos animales, produciendo no solo ahorro en el consumo de balanceado sino también de las construcciones.
- El programa de optimización final que se ha desarrollado, puede ser unificado con distintas interfases, lo cual permite realizar pruebas a priori de nuevos

Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística

productos verificando cuál es la mejor forma de cortar un ítem de nivel superior, así como una gran estabilidad para el manejo de información transaccional.

A futuro se recomienda:

- Actualizar continuamente la matriz de rendimientos, en fin de obtener simulaciones más ajustadas a la realidad, y a la vez evitar distorsiones relacionadas a cambios de genética o de procesos productivos.
- Capacitar al personal de planta, logística y costeo a fin de que se cuente con una información única, clara y oportuna al interior de la organización.
- Aplicar los conocimientos y tecnología tratados lo más pronto posible en otra líneas de la compañía
- Hacer de la IO una herramienta diaria de trabajo, no solo para optimizar los macro procesos, sino también aquellos que se tienen que tratar día tras día, como por ejemplo secuenciación de la producción, manejo de inventarios, plan de compras, etc.

Bibliografía

LIBROS:

INFANTE DEL RIO. Métodos numéricos – Teoría, problemas y prácticas con MATLAB. J. M. 2da Edición - Pirámide. 2002.

MATHEWS J.H, & FINK K.D. Métodos Numéricos con Matlab.. 3ra Edición - Prentice Hall 2000.

NAKAMURA SHOICHIRO. “Análisis numérico y visualización gráfica con MATLAB”. Pearson Educación, 1997.

BAZARAA M., JARVIS J., SHERALI H. Linear Programming and Network Flows. John Wiley & Sons, 2a edón., 1990.

BRONSON R. *Investigación de Operaciones*. Schaum Mcgraw-Hill, 1983.

CALVETE FERNÁNDEZ H., MATEO COLLAZOS P. Programación lineal, entera y meta. Problemas y aplicaciones. Prensas Universitarias de Zaragoza, 1994.

HILLIER F., LIEBERMAN G. Introducción a la investigación de operaciones. McGraw-Hill, 7a edón., 2003.

PARDO L., FELIPE A., PARDO J. Programación Lineal Entera. Aplicaciones prácticas en la empresa. Díaz de Santos, 1990.

RIOS INSÚA S. Investigación operativa. Optimización. Centro de est. Ramón Areces, 1988.

RÍOS INSÚA S. Investigación Operativa. Programación lineal y aplicaciones. Ramón Areces, 1993.

STEUER R.E. Multiple Criteria Optimization: theory, computation, and application. Probability and Mathematical statistics - applied. John Wiley & Sons, 1986.

TAHA H. Integer Programming Theory, Applications, and Computations. Academic Press, 2005.

TAHA H. Investigación de Operaciones. Alfaomega, 5a edón., 1995.

WINSTON W. Operations research: applications and algorithms. Duxbury, 1987.

RAFFO LECCA – Investigación de Operaciones – Primera Edición – Lima-Perú – 1997

CESAR PEREZ. Matlab y sus aplicaciones en las Ciencias y la Ingeniería.. Prentice Hall, Madrid, 2002.

PAGINAS WEB:

<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r6909.DOC>.

ANEXOS

Biblioteca del ICM
"Homero Ortiz Egas"



PANTALLAS DE INTERFAZ DE USUARIO - SISTEMA DE DESPRESADO

NUMERO DE CERDOS: 19568
 PESO PROMEDIO: 120.6 2,359,901
 Comprobar Capacidad PRECIO MIX

#	CODIGO	CONCEPTO	DEMANDA	NO PRODUCIR	Ing. Marginal	Precio	Costo	PRODUCCION FINAL
1	MPID0010	Cerdo en Pie			0			-2359901
2	3214	Canal cc cp	23.657		0			28.852
3	3271	Canal sc sp	36.313		0			36.313
4	3213	Canal sc cp			0			0
5	3216	Canal cc sp	25.278		0			25.278
6	3708	Canal Hornaderia cc sp	9.973		0			9.973
7	3279	Media canal sc sp	56.898		0			56.898
8	3293	Media canal despresada sc sp	10.460		0			10.460
9	3290	Media canal despresada cc sp			0			13.002
10	3203	Cabeza comercial	129.073		0			139.601
11	3208	Pierna cc cg	22.010		0			22.010
12	3209	Pierna sc sg	18.787		0			18.787
13	3229	Pierna deshuesada	12.179		0			101.256
14	3277	Pierna Jamón Serrano	504		0			504
15	3302	Carne de pierna	63.671		0			63.671
16	3711	Carne suave de pierna	22.146		0			22.146
17	3234	Fritada con costillas	17.971		0			17.971
18	3748	Bayune	2.969		0			2.969
19	3722	Carne de pierna Juris	23.570		0			23.570
20	3287	Pierna Mayflower	3.193		0			8.683
21	3282	Pierna Chuleteada c/kg lcm	0		0			0
22	3283	Pierna Chuleteada s/kg lcm	0		0			0

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data visible in the table:

#	CODIGO	CONCEPTO	DEMANDA	NO PRODUCIR	Ing. Marginal	Precio	Costo	PRODUCCION FINAL
92	85	3238	Fritada	60.126	0			60.126
93	86	3239	Cuerpo en sal	50.406	0			105.209
94	87	3254	Cuerpo granal	1				1.269
95	88	3284	Cuerpo en lonjas	5.437				5.437
96	89	3112	Patas en bandeja	3.168				5.869
97	90	3268	Funda 4 patas	25.417				25.417
98	91	3299	Grasa chi 1 kg	-				263
99	92	3284	Mexclerarias	191.828				251.818
100	93	3151	Hígado en bandeja	53	0			3.188
101	94	3152	Riñón en bandeja	576	0			666
102	95	3153	Corazón en bandeja	0	0			490
103	96	3318	Caracas	116	0			116
104	97	3319	Diáfragma	611	0			611
105	98	3719	Billo de chanchito	0	0			114
106	99	3329	Moleja tripa	336	0			3.246
107	100	3158	Mexado sacochado	12.764	0			12.764
108	101	3160	Jugo M Sacochado	1.704	0			1.704
109	102	3278	Sangre cerdo	2.574	0			75.969
110	103	3313	Hueso pelado		0			1.786
111	104	3751	Sopa y seca		0			0
112	105		Decanado		0			4.521
113	106		Merna		0			52.801

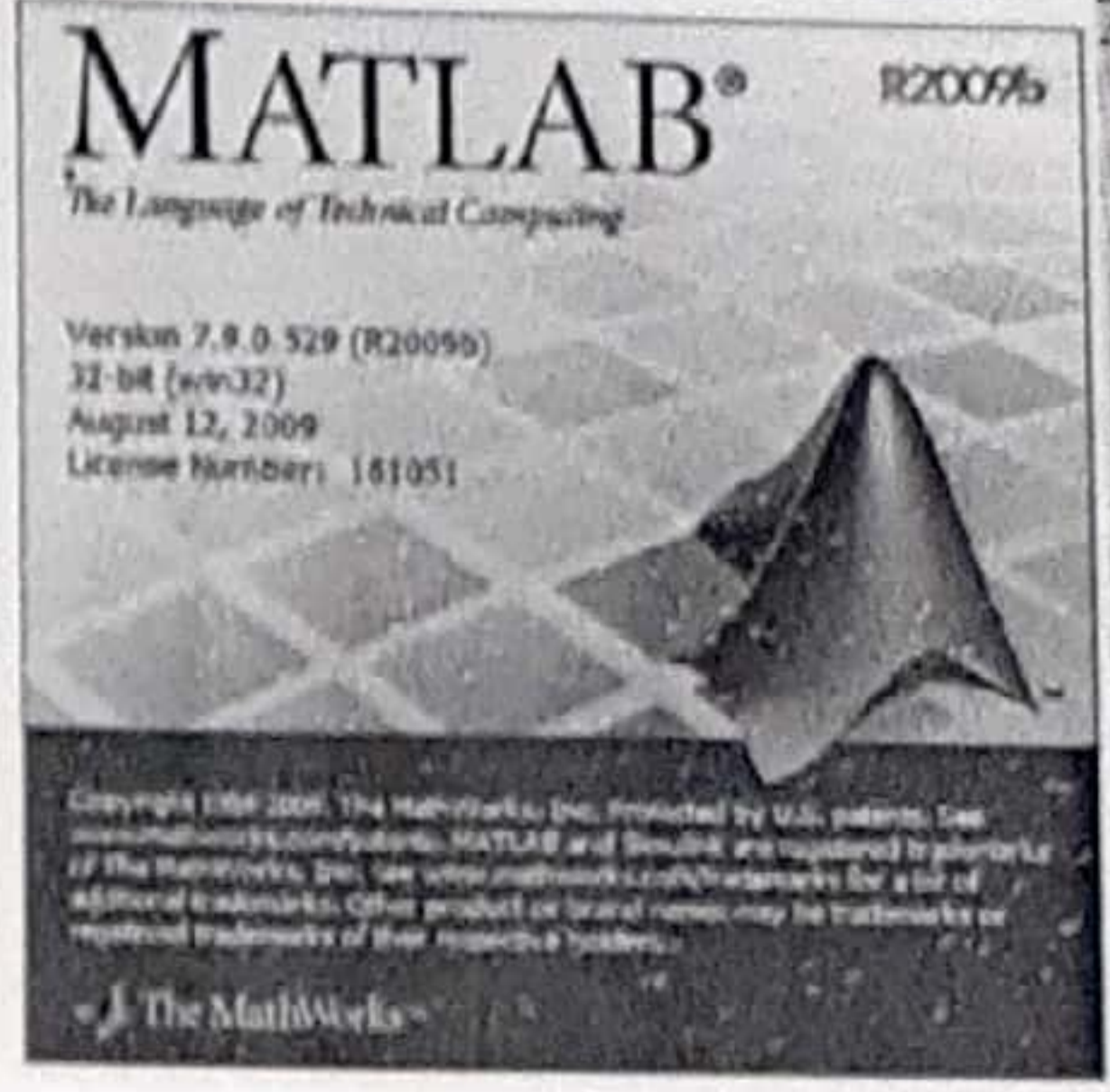
A dialog box is overlaid on the spreadsheet with the text: "El precio mix es = \$0 El costo mix es = \$0" and an "OK" button.

CODIGO DESARROLLADO EN LENGUAJE .M Y COMPILADO COMO .DLL

```

32 % DIMENSIONES DE LAS MATRICES DE PRINCIPALES RENDIMIENTOS
33 qC=size(COMERCIALES);
34 qD=size(DESCARTES);
35 qR=size(REPRODUCTORES);
36 qL=size(LECHONES);
37 % MATRICES DE COMERCIALES
38 % [DINCLASE] = vector donde n la matriz que son indices que se pueda y que no
39 % se puede producir de los ordos comerciales.
40 ComercialP= repmat(DINCLASE(1,1),1,qC(1))', *COMERCIALES;
41 ComercialE= repmat(DINCLASE(1,2),1,qC(1))', *COMERCIALES;
42 ComercialI= repmat(DINCLASE(1,3),1,qC(1))', *COMERCIALES;
43 ComercialM= repmat(DINCLASE(1,4),1,qC(1))', *COMERCIALES;
44 % DIMENSIONES DE LAS MATRICES SECUNDARIAS DE RENDIMIENTOS
45 qC=size(ComercialP);
46 qD=size(ComercialE);
47 qR=size(ComercialI);
48 qL=size(ComercialM);
49 % GENERACION DE DEMANDAS
50 C=[sum(abs(COMERCIALES))];
51 D=[sum(abs(DESCARTES))];
52 R=[sum(abs(REPRODUCTORES))];
53 L=[sum(abs(LECHONES))];
54
55 for i=1:qC(2)
56     if C(i) <= 0;
57         C(i)=0;
58     else
59         C(i)=1;
60     end
61     if D(i) <= 0;
62         D(i)=0;
63     else
64         D(i)=1;
65     end
66     if R(i) <= 0;
67         R(i)=0;
68     else
69         R(i)=1;
70     end
71     if L(i) <= 0;
72         L(i)=0;
73     else
74         L(i)=1;
75     end
76 end
77
78 T=pevsort(C*pesoC*NumComercial,R*pesoR*NumReproductores, ...
79           D*pesoD*NumDescartes,L*pesoL*NumLechones);
80 PROPDENANDA=repmat(DEMANDA,1,4) .* (T ./ repmat(num(T),4,1))';
81
82
83
84
85
86
87 for i=1:qC(2)
88     for j=1:4
89         Z = isnan(PROPDENANDA(i,j));
90         Z2=Z*-1;
91         if Z2<0
92             PROPDENANDA(i,j)=0;
93         else
94             end
95     end
96 end
97 DemC=PROPDENANDA(1,1);
98 DemR=PROPDENANDA(1,2);
99 DemD=PROPDENANDA(1,3);
100 DemL=PROPDENANDA(1,4);
101 % Generacion de subdemandas para canales clasificados
102 CP=(sum(abs(ComercialP)))';
103 CE=(sum(abs(ComercialE)))';
104 CI=(sum(abs(ComercialI)))';
105 CM=(sum(abs(ComercialM)))';
106 CL=(sum(abs(ComercialL)))';

```




```

106 for i=1:gC(2)
107     if CP(i)<=0:
108         CP(i)=0:
109     else
110         CP(i)=1:
111     end
112     if CE(i)<=0:
113         CE(i)=0:
114     else
115         CE(i)=1:
116     end
117     if CJ(i)<=0:
118         CJ(i)=0:
119     else
120         CJ(i)=1:
121     end
122     if CD(i)<=0:
123         CD(i)=0:
124     else
125         CD(i)=1:
126     end
127     if CL(i)<=0:
128         CL(i)=0:
129     else
130         CL(i)=1:
131     end
132 end
133
134
135
136 Tc=horzcat(CP*pesoCP*NumComercialP,CE*pesoCE*NumComercialE,...
137            CJ*pesoCJ*NumComercialJ,CD*pesoCD*NumComercialD,CL*pesoCL*NumComercialL);
138 PROPEMANDAC= repmat(DemC,1,5).*(Tc./repmat(sum(Tc'),5,1)');
139
140 for i=1:gC(2)
141     for j=1:5
142         Z=isnan(PROPEMANDAC(i,j));
143         Z2=Z*-1:
144         if Z2<0
145             PROPEMANDAC(i,j)=0:
146         else
147             end
148         end
149     end
150 end
151
152 DemCP=PROPEMANDAC(:,1):
153 DemCE=PROPEMANDAC(:,2):
154 DemCJ=PROPEMANDAC(:,3):
155 DemCD=PROPEMANDAC(:,4):
156 DemCL=PROPEMANDAC(:,5):
157
158
159 %% MATRICES DE DEMANDA
160 Comerciales
161 bCP=-DemCP':
162 bCE=-DemCE':
163 bCJ=-DemCJ':
164 bCD=-DemCD':
165 bCL=-DemCL':
166
167 % Descartes
168 bD=-DemD':
169
170 % Reproductores
171 bR=-DemR':
172
173 % Lechones
174 bL=-DemL':
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```



```

194  \ Por el lado de las Demandas
195  beqCP=vertcat (NumComercialP*pesoCP, zeros (gCP (2)-1,1));
196  beqCE=vertcat (NumComercialE*pesoCE, zeros (gCE (2)-1,1));
197  beqCJ=vertcat (NumComercialJ*pesoCJ, zeros (gCJ (2)-1,1));
198  beqCD=vertcat (NumComercialD*pesoCD, zeros (gCD (2)-1,1));
199  beqCL=vertcat (NumComercialL*pesoCL, zeros (gCL (2)-1,1));
200  beqD=vertcat (NumDescartes*pesoD, zeros (gd (2)-1,1));
201  beqR=vertcat (NumReproductores*pesoR, zeros (gR (2)-1,1));
202  beqL=vertcat (NumLechones*pesoL, zeros (gL (2)-1,1));
203
204  %% FUNCION OBJETIVO
205  fCP=(Ing' *ComercialP');
206  fCE=(Ing' *ComercialE');
207  fCJ=(Ing' *ComercialJ');
208  fCD=(Ing' *ComercialD');
209  fCL=(Ing' *ComercialL');
210  fD=(Ing' *DESCARTES');
211  fR=(Ing' *REPRODUCTORES');
212  fL=(Ing' *LECHONES');
213
214  %% OPTIMIZACION
215  xCP=linprog (fCP, ACP, bCP, AeqCP, beqCP, lb, ubCP, [], options);
216  xCE=linprog (fCE, ACE, bCE, AeqCE, beqCE, lb, ubCE, [], options);
217  xCJ=linprog (fCJ, ACJ, bCJ, AeqCJ, beqCJ, lb, ubCJ, [], options);
218  xCD=linprog (fCD, ACD, bCD, AeqCD, beqCD, lb, ubCD, [], options);
219  xCL=linprog (fCL, ACL, bCL, AeqCL, beqCL, lb, ubCL, [], options);
220  xD=linprog (fD, AD, bD, AeqD, beqD, lb, ubD, [], options);
221  xR=linprog (fR, AR, bR, AeqR, beqR, lb, ubR, [], options);
222  xL=linprog (fL, AL, bL, AeqL, beqL, lb, ubL, [], options);

```

FUNCION OBJETIVO

```

2
3  function [x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] = untitled1(ineq)
4  \ This is an auto generated M-file from Optimization Tool.
5
6  \ Start with the default options
7  options = optimset;
8  \ Modify options setting
9  options = optimset(options,'Display','off');
10 options = optimset(options,'Algorithm','active-set');
11 [x,fval,exitflag,output,lambda,grad,hessian] = ...
12 fmincon (@objfun, [], Aineq, [], [], [], [], [], [], options);
13

```

UNIFICACION CON EXCEL PARA PRUEBAS

```

Microsoft Visual Basic - PROGRAMA.xls - [Module1 (Code)]
File Edit View Insert Format Debug Run Tools Add-Ins Window Help
Ln1, Col1
Project Explorer:
- PROGRAMA
  - Microsoft Excel Objects
    - Sheet1 (RESULTADO)
    - Sheet2 (COMERCIAL)
    - ThisWorkbook
  - Modules
    - Module1
Module1 Module
Alphabetic Categorized
Name Module1
(General) (Declarations)
Dim MCLUtil As Object
Dim bModuleInitialized As Boolean
Dim corteClass As Object

Private Sub InitModule()
    If Not bModuleInitialized Then
        On Error GoTo Handle_Error
        If MCLUtil Is Nothing Then
            Set MCLUtil = CreateObject("MVCComUtil.MVCUtil17.6")
        End If
        Call MCLUtil.MVInitApplication(Application)
        bModuleInitialized = True
    End Sub

Handle_Error:
    bModuleInitialized = False
End If
End Sub

Function cerdos(Optional Rend As Variant, Optional Ing As Variant, _
Optional Demanda As Variant, Optional KilosMax As Variant, _
Optional NO As Variant) As Variant
    Dim w As Variant

    On Error GoTo Handle_Error
    Call InitModule
    If corteClass Is Nothing Then
        Set corteClass = CreateObject("corte.corteClass.1_0")
    End If
    Call corteClass.cerdos(1, w, Rend, Ing, Demanda, KilosMax, NO)
    cerdos = w
    Exit Function
Handle_Error:
    cerdos = "Error in " & Err.Source & " : " & Err.Description
End Function

Function objetivo(Optional x As Variant) As Variant
    Dim f As Variant

```