

# Modelo de gestión de inventarios de carne de cerdo en puntos de venta

---

## Inventory management model in a butcher shop

Andrés Ordoñez Castano

*anforcas@hotmail.com*

Ingeniero industrial. Magister en Ingeniería con énfasis en ingeniería industrial, Universidad del Valle, Facultad de ingeniería, Cali (Colombia).

Juan Pablo Orejuela Cabrera

*juan.orejuela@correounivalle.edu.co*

Ingeniero industrial. Magister en ingeniería con énfasis en ingeniería industrial. Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle, Facultad de ingeniería, Cali (Colombia).

Juan José Bravo

*juan.bravo@correounivalle.edu.co*

Ingeniero industrial. Magister en ingeniería con énfasis en ingeniería de sistemas. Doctor en Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle, Facultad de ingeniería, Cali (Colombia).

### Resumen

Este artículo plantea un modelo analítico para la gestión de inventarios de carne de cerdo en carnicerías, considerando los costos de obsolescencia y faltantes. Para manejar los costos de obsolescencia se planteó considerar varios precios, los cuales disminuyen a medida que el producto permanece mayor tiempo en almacenamiento. Este modelo tiene como objetivo arrojar la cantidad óptima de pedido para maximizar la utilidad en un punto de venta de carne de cerdo. Se plantea el análisis de la obsolescencia y la posibilidad del abastecimiento de carne tanto por canal como por tipo de corte.

**Palabras claves:** *Sistemas de inventarios, programación lineal, productos perecederos.*

## Abstract

This article presents an analytic model for managing inventories in a butchers shops, considering the costs of obsolescence and stockout. In order to handle the cost of obsolescence we consider a variety of prices which were decreased while the product remains in storage. This aim of the model is to determine the optimal order quantity to maximize the utility in the point of sale of pork. We present the analysis of obsolescence and the possibility of supplying pork meat per cut type and also considering to buy the whole pork.

**Keywords:** *Inventory systems, linear programming, perishables.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, según el Boletín mensual del DANE y del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (octubre, 2012), en la última década la producción porcina ha aumentado en 108 %, siendo esta carne solo para consumo interno. Esta producción no es suficiente y por ello en la actualidad se importa carne de cerdo principalmente desde Estados Unidos. Según este Boletín, el consumo per cápita ha aumentado hasta casi duplicarse en la última década, llegando a los 5,16 kg/habitante promedio nacional en 2011, y Antioquia, Risaralda y Valle son los departamentos de mayor consumo actual. Sin embargo, este consumo es bajo comparado con el mayor consumidor de Suramérica que es Chile (22 kg/persona/año). A pesar de que el consumo es bajo, se muestra crecimiento en el tiempo y hay un amplio mercado mundial, lo que invita a buscar aumentar los niveles de producción y comercialización interna del producto. Salazar (2009) investigó la dinámica económica de la carne de cerdo en Colombia y otros estudios analizan la crianza del cerdo, su alimentación y aspectos de salubridad, como por ejemplo el del Ministerio del Medio Ambiente y otros (2002), SENA (2005), Documento CONPES 3458 de 2007, entre otros.

El propósito de este artículo es complementar los trabajos existentes y proponer una metodología, basada en programación lineal entera, para la gestión de inventarios de la carne de cerdo en las carnicerías, que pro-

---

Fecha de recepción: 8 de mayo de 2014

Fecha de aceptación: 5 de octubre de 2015

porcione la cantidad óptima de pedido que se debe ordenar para que se maximice el beneficio del propietario, considerando tanto la compra por canal (animal completo enviscerado) como por remesa (es decir, por tipo específico de corte), y teniendo en cuenta tanto el producto fresco como el producto congelado.

## 2. ESTADO DEL ARTE

En Colombia no se destacan aplicaciones de la programación matemática para el estudio de las carnicerías ni para el análisis de planeación del abastecimiento/producción de la carne de cerdo. Internacionalmente sí hay trabajos de significativa importancia sobre la crianza de cerdos y el consumo de esta carne. El bienestar del cerdo y el aseguramiento de la calidad de la carne ha sido una preocupación constante a nivel mundial y para ello pueden observarse los trabajos de Den Ouden (1996) y el de Backus y Dijkhuizen (2002). Den Ouden presenta un modelo multiobjetivo (1996, p. 124) en el que incluye el bienestar del cerdo y la reducción de emisiones de nitrógeno y fósforo en el procesamiento de este. Por su parte, Ohlmann y Jones (2011) desarrollan un modelo de programación entera para el mercadeo óptimo del cerdo. Reynisdóttir (2012) emplea la programación lineal para encontrar el plan de producción multiperiodo óptimo de una planta procesadora de carne de cerdo con consideraciones de inventarios, incluyendo aspectos asociados a la perecibilidad. La diferencia del trabajo de Reynisdóttir con el que aquí se presenta es que esta autora trabaja la perecibilidad usando un porcentaje de deterioro del producto y no involucra en el modelo matemático el tiempo de obsolescencia de la carne de cerdo, lo que quiere a su vez decir que manejan inventarios pero no controlan el tiempo en inventario. Además, Reynisdóttir no incluye en sus análisis la posibilidad de valores de salvamento del producto al final de su vida útil. Un trabajo compatible en cierta medida con las características de presente artículo, aunque no a nivel porcino sino pecuario, es el trabajo de Sanabria (2012), quien estudia en una planta procesadora de carne de res el problema de determinar de manera óptima tanto el número de canales (cuerpo del animal sacrificado) a procesar, como el conjunto de patrones de corte que mejor se adapte al comportamiento de la demanda de los productos. Debido a la perecibilidad, Sanabria (2012) decide no mantener inventarios en planta y opta mejor por realizar com-

pras a terceros en caso de demanda de productos no-rentables y venta a valores de salvamento de productos procesados que no se vendan. Sin embargo, Sanabria analiza solo un periodo y no involucra la problemática particular de los tiempos de obsolescencia de la carne que es algo que sí se considera en el presente artículo.

El problema de la perecibilidad de la carne puede ser visto como un asunto pertinente relacionado con cualquier producto perecedero. Para ello hay diversas referencias, como la de Nahmias (1982), Kanchana & Anulark (2006), Lin, Chen & Chen, (2007), entre otros. Particularmente para esta investigación fue importante el trabajo desarrollado por Lin et al. (2007), quienes estudian los televisores LCD como un producto perecedero y construyen un modelo de programación entera mixta que busca determinar la cantidad y la mezcla de productos que se van a producir en diversas plantas de manufactura, maximizando el margen de contribución total. En dicho artículo se considera la tasa de obsolescencia de los televisores LCD debido a que la venta de estos depende de la moda en cada período, y también considera la depreciación del producto a través del tiempo, considerando la diferencia entre el precio de venta del producto cuando fue comprado versus el precio de venta del producto en el periodo en el cual se vendió.

### 3. PROPUESTA METODOLÓGICA

En las carnicerías se abastecen de carne de cerdo a través de la compra por canal o por remesa. La compra por canal es cuando se adquiere el cerdo entero ya faenado y refrigerado. Los diferentes proveedores le dan un precio por kilo a la canal y, dependiendo del peso de esta en el momento de la transacción, se obtiene un precio total de la canal. La compra por remesa se da cuando se adquiere cada parte del cerdo de forma individual e independiente a unos mayores precios que en la compra de la carne por canal. El almacenamiento en las carnicerías se realiza mediante dos formas: congelación y refrigeración. La congelación es un proceso mediante el cual se mantienen las carnes a temperaturas por debajo de cero grados, con la cual se obtiene un mayor aprovechamiento de los productos y una pérdida mínima para el cliente. La refrigeración de la carne se produce a una temperatura entre los 0–4°C. Los cortes de la carne de cerdo tienen

una vida útil de tres días en refrigeración como máximo. Cuando la temperatura sube por encima de los 4°C, la carne tiende a exudar más líquidos, en los que se van muchos de los nutrientes más valiosos. Por otro lado, las bacterias que siempre llegan a la carne durante el proceso de obtención, aunque por lo general se encuentran en pequeñas cantidades, pueden crecer más.

Los precios de venta de la carne son estacionales, y se incrementan a medida que se acerca el fin de año. En las carnicerías se tienen cuatro clases de costos: a) El costo de caducidad que se presenta cuando un producto se descompone y ya no es apto para la venta al público; b) el costo de mantener inventario (ver Vidal, 2010); c) el costo de faltantes, que se produce cuando se recibe una orden desde el cliente y no hay suficiente inventario disponible para cubrirla, y d) el costo de ordenar al proveedor que corresponde al procesamiento, transmisión, manejo y compra efectiva de la orden.

El modelo de programación lineal entera mixta que se presenta permite maximizar el valor presente de la utilidad operacional bruta de una carnicería, considerando costos de faltantes y sobrantes, así como costos por mantener inventario y por pérdida de valor del producto debido al paso del tiempo de vida útil de este en almacenamiento. En el modelo se consideran precios y costos diferentes para cada periodo, debido a que los precios y costos cambian a medida que el producto pasa tiempo en almacenamiento. La carne que se vende fresca, sin necesidad de ser congelada, tendrá un mayor precio de venta que la que fue congelada. Hay tres tipos de productos:

- Carne fresca, la cual se conserva refrigerada y su periodo de venta es cercano al establecimiento del corte.
- Carne congelada, que tiene un periodo de venta superior al de la carne fresca, y
- Carne que supera el tiempo de vida útil estimada y que puede ser vendida con un valor de salvamento, razón por la cual se conserva en congelación. A esta carne se le llamará simplemente carne que pereció.

Para la construcción del modelo se consideran los siguientes supuestos:

- a. No se considera costo de ordenar debido a su bajo valor.
- b. No se presentan órdenes pendientes debido a la naturaleza del producto.
- c. Todas las canales que se compran pesan 100kg.
- d. El costo de mantener el producto dañado es el doble del costo de mantener producto en buen estado.

#### 4. FORMULACIÓN DEL MODELO

##### Conjuntos

$I$  = conjunto del tipo  $i$  de carne de cerdo, indexados por  $i$ . ( $i=1,\dots,m$ )

$T$  = conjunto de periodos, indexados por  $t, p, v$ . ( $1,\dots,n$ )

$J$  = conjunto de las formas de abastecerse de carne, indexados por  $j$  ( $j=1,\text{canal}; j=2,\text{remesa}$ ).

##### Parámetros

$m$  = Número total de los tipos  $i$  de carne de cerdo.

$n$  = Periodos  $t$  considerados en el modelo.

$dm_{it}$  = Demanda del tipo  $i$  de carne de cerdo en el periodo  $t$

$pr_{it}$  = Precio del tipo  $i$  de carne de cerdo fresca en periodo  $t$

$pv_{it}$  = Precio del tipo  $i$  de carne de cerdo que fue congelada vendida en periodo  $t$  ( $pr_{it} * 0,9$ )

$ls_{it}$  = Valor de salvamento por kg para el tipo  $i$  de carne de cerdo en el periodo  $t$  después de que pasa su tiempo de vida  $tvc_i$  en el congelador

$ha_{it}$  = Costo de mantener un kg fresco del tipo  $i$  de carne de cerdo en un periodo  $t$  ( $cm_i * up_{it}$ )

$fe_{it}$  = Costo de faltante por tipo  $i$  de carne de cerdo en el periodo  $t$

$za_{it}$  = Costo de mantener un kg de carne que pereció del tipo  $i$  en un periodo  $t$  ( $cm_i * up_{it} * 2$ )

$ma_{it}$  = Costo de mantener un kg congelado del tipo  $i$  de carne de cerdo en un periodo  $t$  ( $cm_i * up_{it} * 1,5$ ).

$vp_p$  = Costo de adquirir una canal de cerdo con un peso de 100 kg en el periodo  $p$ .

$up_{ip}$  = Costo de adquirir un kg del tipo  $i$  de carne de cerdo por remesa en el periodo de tiempo  $p$ .

$vr_i$  = Tiempo de vida del tipo  $i$  de carne de cerdo en el refrigerador.

$vc_i$  = Tiempo de vida del tipo  $i$  de carne de cerdo en el congelador.

$bp$  = porcentaje de salvamento calculado sobre el precio del tipo de carne de cerdo.

$ct_i$  = Porcentaje del tipo  $i$  de carne de cerdo en una canal.

$cm_i$  = Porcentaje de costo por mantener un kg de tipo  $i$  de carne de cerdo fresca. (% del costo del producto).

$pc$  = Peso de la canal del cerdo.

$cc$  = Capacidad de congelación en la carnicería (kg).

$cr$  = Capacidad de refrigeración en la carnicería (kg).

$Tasa$  = Tasa de costo de capital.

### Variables

$V_{it}$  = Ventas del tipo  $i$  de carne de cerdo fresca en el periodo  $t$ .

$VC_{it}$  = Ventas del tipo  $i$  de carne de cerdo que fue congelada en el periodo  $t$ .

$U_{it}$  = Ventas del tipo  $i$  de carne de cerdo que ha perecido en el periodo  $t$ .

$X_{ijpt}$  = Unidades del tipo  $i$  de carne de cerdo, comprada de la forma  $j$  en el periodo  $p$  que se destina a vender en el periodo  $t$ .

$IB_{it}$  = Inventario del tipo  $i$  de carne de cerdo fresca al final del periodo  $t$ .

$IM_{it}$  = Inventario del tipo  $i$  de carne de cerdo que ha perecido al final del periodo  $t$ .

$IC_{it}$  = Inventario del tipo  $i$  de carne de cerdo congelada al final del periodo  $t$ .

$K_p$  = Canales compradas en periodo de tiempo  $p$ .

$UT$  = Utilidad bruta en todo el horizonte de tiempo del modelo.

### Variables auxiliares

$B_{it}$  = Ventas perdidas del tipo  $i$  de carne de cerdo en el periodo de tiempo  $t$ .

### Función objetivo

*Maximizar el valor presente de las utilidades:*

$$VP = \frac{UT}{(1 + Tasa)^n} \quad (1)$$



Utilidades = UT=IPF +IPC+IPD -CCC-CCR -CF -CMF-CMC-CMD

La función objetivo busca maximizar el valor presente de la utilidad operacional bruta en la carnicería. La utilidad operacional bruta se compone de dos bloques: los ingresos por ventas y los egresos.

### Restricciones

Ingresos de venta de producto fresco

$$IPF = \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^n (V_{it} * pr_{it}) \quad (2)$$

Ingreso de venta de producto congelado

$$PC = \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^n (VC_{it}) * (pv_{it}) \quad (3)$$

Ingreso de venta de producto deteriorado

$$IPD = \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^n (U_{it}) * (ls_{it}) \quad (4)$$

Costo de compra de canales de cerdo

$$CCC = \sum_{p=1}^n (K_p * vp_p) \quad (5)$$

Costo de compra de carne por remesa

$$CCR = \sum_{p=1}^n \sum_{t=p}^n \sum_{i=1}^m (X_{i2pt} * up_{ip}) \quad (6)$$

Costo de faltantes

$$CF = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^m B_{it} f e_{it} \quad (7)$$

Costo de mantener producto fresco

$$CMF = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^m IB_{it} ha_{it} \quad (8)$$

Costo de mantener producto congelado

$$CMC = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^m IC_{it} ma_{it} \quad (9)$$

Costo de mantener producto deteriorado

$$CMD = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^m IM_{it} za_{it} \quad (10)$$

**Ventas**

Control de ventas totales.

$$V_{it} + VC_{it} + B_{it} = dm_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (11)$$

$$B_{it} \leq dm_{it} * (0,15) \quad \forall i \in I, t \in T \quad (12)$$

Ventas del producto fresco.

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{p=1}^t X_{ijpt} = V_{it} \quad \forall i \in I, t \in T / t \leq tvr_i \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{p=t-tvr_i}^t X_{ijpt} = V_{it} \quad \forall i \in I, t \in T / t > tvr_i \quad (14)$$

Ventas del producto congelado.

$$VC_{it} = 0 \quad \forall i \in I, t \in T / tvr_i + 1 \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{p=1}^{t-tvr_i-1} X_{ijpt} = VC_{it} \quad \forall i \in I, t \in T / t \leq tvr_i + 1 < t \leq tvc_i + 1 \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{p=t-tvc_i}^{t-tvr_i-1} X_{ijpt} = VC_{it} \quad \forall i \in I, t \in T / t > tvc_i + 1 \quad (17)$$

Ventas del producto que pereció.

$$U_{it} = 0 \quad \forall i \in I, t \in T / t \leq tvc_i + 1 \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{p=1}^{t-tvc_i-1} X_{ijpt} = U_{it} \quad \forall i \in I, t \in T / t > tvc_i + 1 \quad (19)$$

$$d_{mi} \geq U_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (20)$$

## Inventario

Inventario de producto fresco en refrigeración.

$$IB_{it} = \sum_{p=1}^t \sum_{s=1}^{p-t+tvr_i} \sum_{j=1}^2 X_{ijp(t+s)} \quad \forall i \in I, t \in T / t \leq tvr_i \quad (21)$$

$$IB_{it} = \sum_{p=(t-tvr_i+1)}^t \sum_{s=1}^{p-t+tvr_i} \sum_{j=1}^2 X_{ijp(t+s)} \quad \forall i \in I, t \in T / n - tvr_i \geq t \geq tvr_i \quad (22)$$

$$IB_{it} = \sum_{p=(t-tvr_i+1)}^t \sum_{s=1}^{\text{Min}((p-t+tvr_i), (n-t))} \sum_{j=1}^2 X_{ijp(t+s)} \quad \forall i \in I, \frac{t \in T}{t} > n - tvr_i \quad (23)$$

Inventario de producto bueno en congelación.

$$IC_{it} = \sum_{p=1}^t \sum_{s=1}^{p-t+tvci} \sum_{j=1}^2 X_{ijp(t+s)} - IB_{it} \quad \forall i \in I, t \in T / t \leq tvr_i \quad (24)$$

$$IC_{it} = \sum_{p=1}^t \sum_{s=1}^{p-t+tvci} \sum_{j=1}^2 X_{ijp(t+s)} - IB_{it} \quad \forall i \in I, t \in T / tvr_i < t \leq tvci \quad (25)$$

$$IC_{it} = \sum_{p=t-tvci+1}^t \sum_{s=1}^{p-t+tvci} \sum_{j=1}^2 X_{ijp(t+s)} - IB_{it} \quad \forall i \in I, t \in T / n - tvci \geq t > tvci \quad (26)$$

$$IC_{it} = \sum_{p=t-tvci+1}^t \sum_{s=1}^{\text{Min}((p-t+tvci),(n-t))} \sum_{j=1}^2 X_{ijp(t+s)} - IB_{it} \quad \forall i \in I, t \in T / t > n - tvci \quad (27)$$

Inventario de producto en mal estado en congelación.

$$IM_{it} = 0 \quad \forall i \in I, t \in T / t \leq tvci \quad (28)$$

$$IM_{it} = \sum_{p=1}^t \sum_{s=1}^{n-t} \sum_{j=1}^2 X_{ijp(t+s)} - IC_{it} - IB_{it} \quad \forall i \in I, t \in T, t > tvci \quad (29)$$

Restricción de capacidad para productos buenos y deteriorados en el congelador.

$$cc \geq \sum_{i=1}^m (IM_{it} + IC_{it}) \quad \forall t \in T \quad (30)$$

Restricción de capacidad para productos frescos en el refrigerador.

$$cr \geq \sum_{i=1}^m IB_{it} \quad \forall t \in T \quad (31)$$

## De abastecimiento

Descomposición de la canal en los diferentes tipos de carne de cerdo.

$$\sum_{t=1}^n X_{i1pt} = K_p * pc * ct_i \quad \forall p \in T, i \in I \quad (32)$$

Restringir que la compra sea primero que la venta del producto.

$$X_{ijpt} = 0 \quad \forall i, j, p, t / p > t \quad (33)$$

## 5. CASO ESTUDIO

El objetivo de este caso estudio fue validar el modelo propuesto en el proyecto y, posteriormente, hacer un análisis de sensibilidad con algunas variables importantes.

Para la realización de este caso se manejó un horizonte temporal de 10 semanas y se trabajó bajo los siguientes supuestos. Hay 10 tipos de carne de cerdo, cuya relación se puede observar en la tabla 1. La capacidad del congelador es de 200 kg y del refrigerador de 150 kg. El peso de la canal del cerdo es de 100 kg. *Los costos de mantenimiento de la carne de cerdo fresca, congelada y deteriorada en refrigeración se considera como el 8 %, 12 % y 16 %, respectivamente, del costo de la carne debido a un cálculo promedio hecho para una carnicería. Este costo incluye costos de energía, de manejo, de depreciación del sistema de frío y el costo de oportunidad. El valor de salvamento es el 20 % del precio de la carne fresca y el costo de faltante es el precio de la carne fresca menos el costo de compra.*

En la tabla 1 se establecen los valores de demanda para cada tipo de carne de cerdo en los diferentes periodos considerados.

Tabla 1. Demanda de tipos de carne de cerdo por periodo

demanda	Símbolo	Periodo										Unidades
		t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	
LOMO	dmit	25	38	30	28	30	38	38	88,0	31	31	kg/semana
PIERNA	dmit	80,0	90,0	87,0	88,0	87,0	90,0	90,0	22	84,0	84,0	kg/semana
BRAZO	dmit	17	15	20	22	20	15	15	17	18	18	kg/semana
CABEZA DE LOMO	dmit	22	15	23	17	23	15	15	53,00	15	15	kg/semana
TOCINETA PLANCHA CON COSTILLA	dmit	50,00	51,00	55,00	53,00	55,00	51,00	51,00	25	59,00	59,00	kg/semana
ESPINAZO	dmit	30	25	30	25	30	25	25	35	29	29	kg/semana
PEZUÑA	dmit	36	40	35	35	35	40	40	1,5	37	37	kg/semana
OREJAS	dmit	1,25	6,25	2,5	1,5	2,5	6,25	6,25	10	1	1	kg/semana
PAPADA	dmit	8	6	7	10	7	6	6	12	6	6	kg/semana
TOCINO	dmit	12	10	10	12	10	10	10	6	15	15	kg/semana

Fuente: Elaboración propia.

Los precios de la carne que se muestran en las tablas 2 y 3 no son fijos durante los periodos, ya que estos pueden cambiar en cualquier momento debido a incrementos inesperados en cualquier eslabón de la cadena productiva y también debido a factores externos. Para el desarrollo de este trabajo los valores de los precios de la carne se asumen conocidos para todas las semanas del horizonte de planeación.

Tabla 2. Precios de los cortes de carne de cerdo frescos

precio Carne fresca	Símbolo	Periodo										Unidades
		t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	
LOMO	prit	13500	14000	14000	14500	14000	14000	14500	13500	14000	14500	Precio/kg
PIERNA	prit	11000,0	11000,0	11800,0	11800,0	11000,0	11800,0	11800,0	11000,0	11800,0	11000,0	Precio/kg
BRAZO	prit	9500	9500	9000	9000	9500	9000	9000	9500	9000	8700	Precio/kg
CABEZA DE LOMO	prit	9300	9300	9500	9600	9300	9500	9600	9300	9500	9400	Precio/kg
TOCINETA PLANCHA CON COSTILLA	prit	9200,00	9200,00	9600,00	9600,00	9200,00	9600,00	9600,00	9200,00	9600,00	9200,00	Precio/kg
ESPINAZO	prit	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4100	Precio/kg
PEZUÑA	prit	3000	3000	3100	3100	3000	3100	3100	3000	3100	3100	Precio/kg
OREJAS	prit	1900	2000	2100	1900	2000	2100	1900	1900	2100	2000	Precio/kg
PAPADA	prit	4800	4800	4800	5000	4800	4800	5000	4800	4800	4800	Precio/kg
TOCINO	prit	2600	2600	2400	2400	2600	2400	2400	2600	2400	2500	Precio/kg

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Precios de los cortes de carne de cerdo congelados

precio Carne congelada	Símbolo	Periodo										Unidades
		t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	
LOMO	pvit	12150	12600	12600	13050	12600	12600	13050	12150	12600	13050	Precio/kg
PIERNA	pvit	9900	9900	10620	10620	9900	10620	10620	9900	10620	9900	Precio/kg
BRAZO	pvit	8550	8550	8100	8100	8550	8100	8100	8550	8100	7830	Precio/kg
CABEZA DE LOMO	pvit	8370	8370	8550	8640	8370	8550	8640	8370	8550	8460	Precio/kg
TOCINETA PLANCHA CON COSTILLA	pvit	8280	8280	8640	8640	8280	8640	8640	8280	8640	8280	Precio/kg
ESPINAZO	pvit	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3690	Precio/kg
PEZUÑA	pvit	2700	2700	2790	2790	2700	2790	2790	2700	2790	2790	Precio/kg
OREJAS	pvit	1710	1800	1890	1710	1800	1890	1710	1710	1890	1800	Precio/kg
PAPADA	pvit	4320	4320	4320	4500	4320	4320	4500	4320	4320	4320	Precio/kg
TOCINO	pvit	2340	2340	2160	2160	2340	2160	2160	2340	2160	2250	Precio/kg

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la tabla 4 muestra los tiempos de congelación, refrigeración y porcentaje que asocia el tipo de corte con la canal.

**Tabla 4.** Porcentaje en peso de cortes por canal y tiempo de vida útil de la carne de cerdo

Base de cálculo: 262 canales				
Corte	% Peso	Tiempo de vida en congelador	Tiempo de vida en refrigerador	Unidades
Lomo	7,7	4	2	semana
Pierna	21,8	4	2	semana
Brazo	10,3	4	2	semana
Cabeza de lomo	4,7	4	2	semana
Tocineta plancha con costilla	20,4	4	2	semana
Espinazo	3,8	4	2	semana
Hueso común (pelado)	5,3	4	2	semana
Pezuña	2,4	4	2	semana
Despojo (empella)	1,3	4	2	semana
Limpieza	7,8	4	2	semana
Carne industrial	1,9	4	2	semana
Orejas	0,9	4	2	semana

*Continúa...*

Base de cálculo: 262 canales				
Corte	% Peso	Tiempo de vida en congelador	Tiempo de vida en refrigerador	Unidades
Papada	3,9	4	2	semana
Tocino	4	4	2	semana
Garra tallada	2	4	2	semana
Riñones	0,3	4	2	semana
Merma ( H2o)	1,5	4	2	semana
Total	100			

Fuente: Elaboración propia.

*En la puesta en marcha del caso estudio se utilizó el software Lingo® Versión 8, generándose 1671 variables y 882 restricciones.*

## 6. RESULTADOS INICIALES DEL MODELO

*La función objetivo dio inicialmente un valor de \$5.949.966. De los ingresos totales, el 99,5 % se debe a las ventas de producto fresco, y dicho porcentaje es tan alto debido a que en el modelo no se tiene el costo por ordenar, porque en las carnicerías este costo es mínimo (cero en la mayoría de los casos) y por esto el modelo casi no considera las ventas de producto congelado o deteriorado. Este resultado también se presenta porque las ventas de producto congelado y deteriorado tienen mayores costos de mantenimiento y menores precios de venta.*

Los resultados no arrojaron faltantes para ningún tipo de producto en los periodos considerados y esto principalmente se presenta debido a que el *lead time* se considera como cero en el modelo.

La forma de abastecerse se realiza de las dos formas: por canal y por remesa, lo cual se ilustra en la figura 2.



## Compras

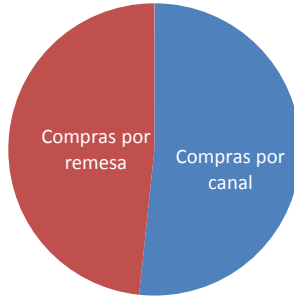


Figura 2. Compras en todo el horizonte de tiempo.

## 7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se muestran a continuación los cambios realizados en parámetros que se consideraron críticos del modelo y se evalúa el impacto de dichos cambios en la función objetivo, en los costos e ingresos.

### Variación en la demanda

La demanda puede incrementar bastante y los costos de mantener van a permanecer casi estables, lo cual muestra que el modelo prefiere comprar la carne para venderla en el mismo periodo. También se observa que a medida que crece la demanda, la función objetivo siempre va a crecer.

Para verificar la conveniencia de la compra por remesa, se aumentó la demanda de la mitad de los cortes (los más costosos) y se disminuyó la demanda de los restantes cortes en un 50 %, 80 % y 100 %. Se observó que el modelo, en efecto, determina comprar menos producto a través de la forma por canal y más por remesa debido a que si compra por canal, entonces los cortes que este incluye y que no tienen demanda se tendrían que vender como producto deteriorado, incurriendo además en un costo de mantenimiento elevado. Este resultado se debe a que comprar una canal es comprar una porción de todos los cortes de carne al mismo tiempo. (Ver figura 3).

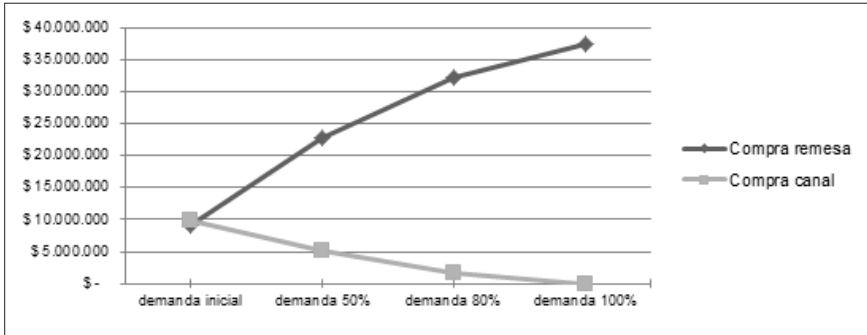


Figura 3. Variación de la demanda vs. Compra por canal y por remesa.

### Variaciones en el costo de comprar carne por remesa

A medida que sube el costo de la carne por remesa, la función objetivo va disminuyendo hasta llegar a un valor muy pequeño, e incluso cero; si el costo de remesa aumenta al doble, el modelo resulta no viable en la práctica ya que la función objetivo sería negativa.

En los resultados también se observa que aunque el costo de comprar carne por remesa sea mayor al precio de venta, de todas maneras se realizan compras de carne por remesa, esto se debe a que no se puede suplir la demanda solo comprando la carne por canal, ya que esto produciría mucho producto en inventario sobre todo en periodos donde hay picos de demanda para algún corte de carne específico. Un corte que genera mucha compra por remesa es la pezuña, lo cual se debe a que su demanda promedio es alrededor de 35kg/periodo y los kg de pezuña que vienen en una canal son apenas 4,4kg/canal.

Cuando el costo de comprar carne por remesa disminuye un 30 %, el total de las compras de carne se hace a través de compra por remesa. A medida que va aumentando el costo por remesa se empieza a comprar por canal hasta que llega a un punto en el que la carnicería se abastece de las dos formas (canal y remesa) por igual. Si el costo por remesa sigue aumentando, entonces se prefiere comprar por canal. Llega un punto en el que no se aumenta más el nivel de compra por canal debido al crecimiento de

los inventarios y, por lo tanto, el costo de las compras por remesa vuelve a ser mayor que el costo de las compras por canal. (Ver figura 4).

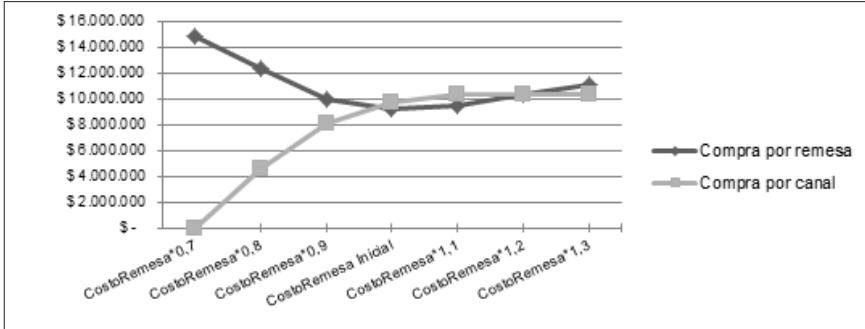


Figura 4. Relación de compra por canal y por remesa a medida que varía el costo por remesa.

### Variaciones en el costo de mantenimiento

La función objetivo disminuye levemente a medida que aumenta el costo de mantener producto fresco. Con un aumento de un 50 % del costo de mantener producto fresco (este aumento iguala el costo de mantener producto congelado), la función objetivo disminuye un 1,3 %. La disminución de la función objetivo es poco debido a que casi no se mantiene producto fresco en inventario.

### Variaciones en el precio de la carne congelada

Al aumentar el precio de la carne congelada se observa que los ingresos totales de la carnicería crecen a medida que el precio de la carne congelada es mayor al precio de la carne fresca. En la figura 5 se observa que crecen los costos de mantener debido a que para vender un producto congelado este requiere más tiempo de almacenamiento, ya que puede permanecer hasta 6 periodos almacenado. La función objetivo crece a medida que aumenta el precio de carne congelada puesto que los ingresos por venta de producto congelado crecen más que los costos de mantener.

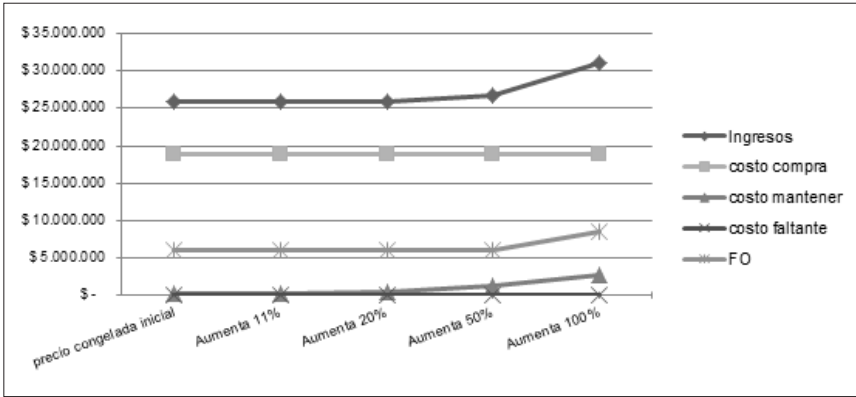


Figura 5. Variaciones en el precio de la carne congelada vs. costos e ingresos.

A pesar de que crezca el precio de la carne congelada por encima de la carne fresca, de todas maneras se sigue comprando carne fresca porque hay capacidad limitada en el congelador para suplir la demanda solo con carne congelada.

### Variaciones en el peso de la canal

Si disminuye el peso de la canal manteniendo el costo de esta, entonces el modelo no va a comprar más carne por canal debido a lo costoso y la función objetivo se va a ver afectada negativamente. Si aumenta el peso de la canal manteniendo el costo de esta, entonces se compra por canal y por remesa; no solamente se compra por canal a pesar de ser muy económico debido a que la restricción de capacidad de almacenamiento no lo permite.

### CONCLUSIONES

Los principales costos en la gestión de inventarios de un producto perecedero son: costo de ordenar, costo de mantener, costo por faltantes y costo de caducidad del producto. El costo de mantener y el costo de caducidad tienen una relación inversa con la cantidad óptima de pedido, mientras que el costo de escasez tiene una relación directa con la cantidad óptima de pedido.

En el presente caso estudio el abastecimiento de carne de cerdo se hizo casi en igual proporción a través de la compra de carne por canal y de la compra de carne por remesa debido a que cada forma tiene sus ventajas y desventajas. El comprar por canal es más económico y puede suplir la demanda de todos los cortes, aunque genera aumento en el costo de los inventarios cuando hay productos con poca demanda. El comprar por remesa sirve para suplir picos de demanda y no genera inventario, aunque es más costoso.

La utilidad para el caso estudio depende de que puedan vender la carne lo más rápido posible después de que es comprada, ya que a medida que pasa el tiempo la carne va perdiendo valor hasta que llega a su valor mínimo, llamado valor de salvamento, y también debido a los mayores costos de mantenimiento.

Para futuras investigaciones se debe analizar la gestión de inventarios de productos perecederos con un *lead time* diferente de cero y con un costo por ordenar considerable para así evaluar los cambios en la determinación de la cantidad a pedir y cómo se afectarían los diferentes costos.

## REFERENCIAS

- Backus, G. & Dijkhuizen, A., (2002). The future of the European pork chain. University of Minnesota, College of Veterinary Medicine, Allen D. Leman Swine Conference, September.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social-CONPES (2007). Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena porcícola. *Documento CONPES 3458*, Colombia.
- Den Ouden, M. (1996). Economic modelling of pork production-marketing chains. PhD-thesis, Department of Farm Management, Wageningen Agricultural University, Hollandseweg 1, 6706 KN Wageningen, The Netherlands.
- Departamento Nacional de Estadísticas (DANE) & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (octubre, 2012). *Boletín mensual insumos y factores de producción*. Colombia.
- Hu, Z., Jian, Z., Xiaoshuan, Z. & Zetian, F. (2009). Modeling Traceability Information Flow for Meat Food Quality Safety (pp. 68-75). In: *Computers and simulation in Modern Science*, WSEAS (The World Scientific and Engineering Academy and Society) Press. Eds. Nikos Mastorakis, Technical University

- of Sofia, Bulgaria, Metin Demiralp, Istanbul Technical University, Turkey, Imre Rudas, Budapest Tech, Hungary, Cornelia A. Bulucea, University of Craiova, Romania.
- Kanchana, K. & Anulark, T. (2006). *An approximate periodic model for fixed-life perishable products in a two-echelon inventory–distribution system*. *International Journal of Production Economics*, 100(1), 101-115.
- Lin, J.T., Chen, T.L. & Chen, W.J. (2007). *Capacity and product mix planning problem for TFT array multi-plant*. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24 (6), 489-504.
- Ministerio del Medio Ambiente, Sociedad de Agricultores de Colombia, Asociación Colombiana de Porcicultores & Fondo Nacional de la Porcicultura (2002). *Guía Ambiental para el Subsector Porcícola*. Colombia.
- Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: A review. *Operations Research*, 30(4), 680-708.
- Ohlmann, J.W. & Jones, P.C. (2011). An integer programming model for optimal pork marketing. *Annals of Operations Research*, 190, 271–287.
- Reynisdóttir, K. (2012). Linear optimization model that maximizes the value of pork products. Master of Science Research Thesis, Reykjavík University, Islandia.
- Rodríguez, S.V. (2010). Models under uncertainty to support sow herd management in the context of pork supply chain. PhD thesis, Departamento de Matematicas, Universidad de Leida, España.
- Salazar, L.M. (2009). Evaluación y rendimiento en canales de res y de cerdo e impacto económico en la industria cárnica. Tesis para optar por el título de Industrial Pecuaria, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Colombia.
- Sanabria, L.E. (2012). Un modelo de planeación de la producción para una planta empacadora de cárnicos. Tesis para optar por el título de Master en Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA (2005). *Manual de producción porcícola*. Tuluá, Colombia.
- Vidal, C.J. (2010). *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.