

# Determination of the Optimal Lot Size of Cattle Heads in Order to Satisfy the Monthly Demand of Meat in a Supermarket Chain and Maximize the Return on Investment

Marcos Moya Navarro, PhD  
Universidad Latina de Costa Rica, Costa Rica, marcos.moya@ulatina.cr

*Abstract -- Currently, beef production is one of the most sustained economic development activities in Costa Rica, allowing not only the supply of meat to satisfy the diet of the population, but also allowing the commercialization by the supermarket chains of products and byproducts on a significant scale.*

*The problem of determining the number of cattle heads that a supermarket chain should acquire monthly to maximize the return on investment is a complex problem to solve.*

*Deterministic mathematical modeling combined with a simulation model results in a powerful optimization procedure that contributes significantly to the solution of the problem.*

*The objective of this document is to present a mixed methodology that combines a single period mathematical inventory model with a simulation model in order to determine the amount of livestock that a supermarket chain should acquire monthly to maximize the return on investment.*

*Keywords– Supply Chain, Inventory, Optimization, Simulation.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.273>  
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

# Determinación del Tamaño Óptimo del Lote de Cabezas de Ganado Para Satisfacer la Demanda Mensual de Carne En Una Cadena de Supermercados y Maximizar el Retorno de Inversión

Determination of the Optimal Lot Size of Cattle Heads in Order to Satisfy the Monthly Demand of Meat in a Supermarket Chain and Maximize the Return on Investment

Marcos Moya Navarro, PhD

Universidad Latina de Costa Rica, Costa Rica, marcos.moya@ulatina.cr

*Resumen—En la actualidad, la producción de carne de res es una de las actividades de desarrollo económico más sostenidas en Costa Rica, permitiendo no solo el suministro de carne para satisfacer la dieta de la población, sino también la comercialización por parte de las cadenas de supermercados de productos y subproductos en una escala significativa.*

*El problema de determinar la cantidad de cabezas de ganado que una cadena de supermercados debería adquirir mensualmente para maximizar el retorno de la inversión es un problema complejo de resolver.*

*El modelado matemático determinista combinado con un modelo de simulación resulta en un poderoso procedimiento de optimización que contribuye significativamente a la solución del problema.*

*El objetivo de este documento es presentar una metodología mixta que combine un modelo matemático de inventario de un solo período con un modelo de simulación para determinar la cantidad de ganado que una cadena de supermercados debe adquirir mensualmente para maximizar el retorno de la inversión.*

*Palabras Clave— Cadena de Suministros, Inventarios, Optimización, Simulación.*

*Abstract Currently, beef production is one of the most sustained economic development activities in Costa Rica, allowing not only the supply of meat to satisfy the diet of the population, but also allowing the commercialization by the supermarket chains of products and byproducts on a significant scale.*

*The problem of determining the number of cattle heads that a supermarket chain should acquire monthly to maximize the return on investment is a complex problem to solve.*

*Deterministic mathematical modeling combined with a simulation model results in a powerful optimization procedure that contributes significantly to the solution of the problem.*

*The objective of this document is to present a mixed methodology that combines a single period mathematical inventory model with a simulation model in order to determine the amount of livestock that a supermarket chain should acquire monthly to maximize the return on investment.*

*Keywords-- Supply Chain, Inventory, Optimization, Simulation*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.273>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

## I. INTRODUCCION

El número de cabezas de ganado, adquiridas por mes por una cadena de supermercados para satisfacer la demanda mensual de carne de los clientes, impacta significativamente el margen de utilidad de la cadena si esta no adquiere la cantidad adecuada de unidades. Si la cadena adquiere menos unidades de las requeridas, incurre en un costo de oportunidad significativo por la ganancia no percibida por no tener carne suficiente en los puntos de venta. Por otra parte, si se adquieren más unidades de las requeridas, entonces la cadena de supermercados incurre en un costo significativo por exceso de inventario, lo cual la obliga a vender las unidades sobrantes a un valor de salvamento, generalmente menor al costo inicial del producto.

Determinar la cantidad apropiada de cabezas de ganado que una cadena de supermercados debería adquirir por periodo no es un problema sencillo de resolver. El número de puntos de venta de la cadena, la demanda variable de carne de un periodo a otro en cada punto de venta, el número de cortes de carne que se comercializan y la variación en los costos del ganado hacen que el modelado matemático del problema de aprovisionamiento sea complejo de resolver.

En el contexto de este tipo de problemas Guo y otros (2018) [4] establecen que, en un problema de inventario incierto de período único, la decisión óptima a menudo depende en gran medida de la distribución de la demanda incierta del mercado. Indican que cuando solo se dispone de información parcial sobre la distribución de la demanda, es importante que los encargados de la toma de decisiones ordenen una cantidad confiable para inmunizar contra la incertidumbre de la distribución. Los autores proponen un nuevo método de optimización de distribución robusta para el problema del inventario de un solo período, en el que la demanda incierta del mercado se caracteriza por la distribución de valor de intervalo paramétrico generalizado de demanda incierta (PIV). Para resolver el robusto modelo de inventario de un solo período, los autores analizan el problema computacional sobre las infinitas restricciones integrales de Lebesgue-Stieltjes ( $L - S$ ) y

reformulan el problema de la contraparte robusta como sus submodelos deterministas equivalentes de inventario.

Jinsoo y otros (2017) [6] examinan un sistema de colas con un inventario adjunto. Los autores indican que los clientes llegan al sistema de acuerdo con un proceso de llegada general, y un solo servidor sirve a los clientes en orden. Se supone que los tiempos de servicio son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. Adicionalmente, si el nivel de inventario cae a cero, el servicio se detiene y los clientes restantes en la cola esperan en el sistema hasta que se repone el inventario. Las ventas potenciales a clientes que llegan durante este período de desabastecimiento se pierden. El inventario generalmente es administrado por una de las políticas de control de inventario populares, como las políticas  $(r, Q)$  y  $(s, S)$ .

Katoa (2015) [9] establece que la gestión eficaz del inventario se ocupa de satisfacer la demanda de los clientes y, al mismo tiempo, mantener los costos asociados con llevar los inventarios al mínimo. El autor indica que, si la demanda es subestimada, la pérdida de ventas puede ocurrir y la competencia probablemente atraerá a aquellos clientes descontentos. Si se sobreestima la demanda, el superávit en inventario puede ser económicamente agotador debido a los costos asociados con la tenencia y almacenamiento del exceso de stock. El autor también indica que los modelos de inventario estocástico utilizan la distribución de probabilidad de la demanda como una entrada clave. Sin embargo, la distribución de probabilidad de la demanda también suele ser incierta.

Lavin (2012) [10] establece que los modelos de demanda perturbada penalizan a los minoristas por falta de existencias al alterar la demanda futura, en oposición al método clásico de penalizar los desabastecimientos imponiendo un costo proporcional al número de desabastecimientos. El autor desarrolla un modelo de inventario de revisión periódica con demanda estocástica y establece que la voluntad actual de los consumidores de comprar el producto después de que se produce el agotamiento es capturada por una variable de estado denominada deflación de la demanda. También indica que cada variación del problema de demanda perturbada se puede formular y resolver como un proceso de decisiones de Márkov para determinar la política óptima y la ganancia esperada.

Kalpana y otros (2011) [8] investigan la división de un sistema de ordenar de un solo periodo a un sistema de dos órdenes en una cadena de suministro de dos escalones. El comerciante detallista revisa la segunda cantidad ordenada después de observar la demanda en la instancia de la primera orden. Los autores también proponen un mecanismo de reparto de ingresos en que el comerciante minorista comparte los ingresos con el fabricante con el fin de compartir el riesgo del fabricante por el mantenimiento del inventario en la primera instancia de pedido y para las unidades, que no fueran ordenadas por el minorista en la segunda instancia de pedido.

Los resultados del modelo propuesto muestran un mejor desempeño que en el modelo de un solo período.

Banerjee y otros (2010) [1] investigan la política de pedido óptima para un modelo de inventario estocástico de un solo período. Los autores exploran el impacto de la presencia de un tiempo de entrega aleatorio y la disminución del precio de venta en la rentabilidad del minorista, demostrando la existencia de soluciones óptimas únicas para funciones de ganancia neta. Los resultados de la investigación demuestran que la política de inventario óptima en ausencia de disminución de precio y tiempo de entrega difiere considerablemente de aquella cuando se consideran simultáneamente el tiempo de entrega y la disminución de precio.

Tan (2010) [14] indica que el supuesto implícito en los modelos de inventario convencionales es que los productos almacenados mantienen la misma utilidad para siempre, es decir, se pueden almacenar por un período infinito de tiempo sin perder su valor o características. Sin embargo, el autor establece que, en términos generales, casi todos los productos experimentan algún tipo de deterioro con el tiempo, por lo que la su investigación, presenta varios modelos de inventario discretos en el tiempo e identifica políticas de pedido óptimas para un solo producto deteriorado minimizando el costo esperado a lo largo del horizonte de planificación.

Zhang y otros (2009) [16] presentan algunos modelos de programación estocástica convexa para problemas de control de inventario de periodos únicos y múltiples, donde la demanda del mercado es aleatoria y las cantidades de los pedidos deben decidirse antes de que se realice la demanda. Ambos modelos minimizan las pérdidas esperadas sujetas a las restricciones de aversión al riesgo expresadas a través de Valor en riesgo (VaR) y Valor condicional en riesgo (CVaR) como medidas de riesgo. Los autores proponen un método de aproximación promedio de muestra para resolver los modelos y presentan un análisis de convergencia de soluciones óptimas del problema de aproximación promedio de muestra.

Farahvash y otros (2008) [3] indican que adquisiciones es una de las principales actividades en la planificación de recursos de fabricación, que está estrechamente relacionada con la gestión de inventarios. Establecen que cualquier mejora en esta área tendrá un impacto directo en el rendimiento de la cadena de suministro completa. Los autores indican que el mecanismo de subasta puede ser un método de adquisición exitoso cuando hay varios proveedores potenciales disponibles por lo que consideran un modelo de inventario de un solo periodo cuando la selección del proveedor se realiza a través de una subasta inversa con ofertas que constan de varios atributos, a saber, precio, cantidad, escasez y tiempo de entrega. Indican además que la multidimensionalidad de la oferta aumenta la complejidad del problema subyacente, lo que crea la necesidad

de un enfoque para determinar un nivel objetivo óptimo aproximado. En consecuencia, utilizaron en el proceso, el método de simulación Monte-Carlo para investigar el rendimiento de la aproximación. Los resultados de la simulación muestran que el método analítico proporciona una aproximación aceptable para el nivel de inventario objetivo óptimo.

Pal y otros (2004) [12] tratan un problema de toma de decisiones de mercadeo con un modelo estocástico de inventarios de un solo periodo, donde el nivel de esfuerzo de mercadeo decide sobre la demanda externa. Los autores suponen específicamente que la demanda esperada es una función cóncava del nivel de esfuerzo de mercadeo, por lo que el problema bajo consideración consiste en la determinación óptima de la cantidad a ordenar y del nivel de esfuerzo de mercadeo. Los resultados se presentan para describir el procedimiento de solución con reglas de decisión para algunas distribuciones de probabilidad de la demanda.

Wang y otros (1996) [15] investigaron un problema de planificación de la producción en un entorno de revisión periódica con capacidad de producción variable, rendimientos aleatorios y demanda incierta. Los autores indican que la mayoría de los ambientes de producción están caracterizados por múltiples tipos de incertidumbre debido a los complicados procesos de producción, facilidades complejas y altos requerimientos de calidad. Además, indican que estas incertidumbres claramente afectan y complican el planeamiento y control de la producción.

Zhang (1995) [17] explora diversas estrategias de almacenamiento para sistemas de inventario revisados periódicamente con flexibilidad de suministro, donde la flexibilidad de suministro implica que los compradores tienen más de una opción en términos de precio, tiempos de entrega, etc. El autor indica que la complejidad del problema aumenta con el número y la discrepancia entre las diversas estrategias de almacenamiento disponibles. En este trabajo se exploran tres modelos en diferentes ambientes. En todos los casos, se supone un horizonte de planeación infinito, una demanda probabilística en cada periodo y un costo de compra proporcional a cada modo de suministro.

No se encontró literatura relacionada con el uso de modelado matemático para la determinación del tamaño del lote de las cabezas de ganado que las cadenas de supermercados deben adquirir en un periodo específico de tiempo para su comercialización.

#### *A. Optimización del Número de Cabezas de Ganado Requeridas Para Satisfacer Demanda de Carne*

El objetivo de este trabajo es presentar una metodología mixta que combina un modelado matemático de inventario de

un solo periodo con la metodología de simulación para determinar el tamaño del lote de cabezas de ganado que una cadena de supermercados debería adquirir mensualmente para para maximizar el retorno de la inversión sobre este producto.

El proceso de optimización comienza a partir de los datos de demanda de una variedad de cortes de carne que se obtienen a partir de otros cortes denominados cortes madre de carne. Estos cortes madre luego hay que someterlos a un proceso de implosión, teniendo en cuenta los rendimientos de la carne por cada corte madre. El resultado del proceso de implosión tiene como objetivo convertir la demanda de los cortes madre de carne en un número de cabezas de ganado requeridas para satisfacer esa demanda.

Los parámetros de entrada del modelo incluyen la demanda pronosticada en kilogramos de cada uno de los cortes madre de carne comercializados en los puntos de venta de la cadena, así como los diversos costos requeridos por el modelo de inventario. El modelo de optimización considera diecinueve puntos de venta de la cadena, y el estudio contempla once cortes madre de carne. La restricción implícita en el modelo es que la cantidad de cabezas de ganado en pie que se deben adquirir mensualmente tiene que cumplir el cien por ciento de la demanda mensual de los cortes de carne. Las demandas diferentes entre los cortes de carne, la variabilidad de la demanda dentro de cada corte, además de los pesos y los rendimientos variables entre los cortes dificultan el cálculo del número de cabezas de ganado en pie necesarias para cubrir la demanda total de carne. Los sobrantes de carne no vendida se utilizan para cubrir la demanda de otros productos derivados de la carne que también son comercializados por la cadena de supermercados.

#### *B. Metodología para la Determinación del Tamaño Apropiado del Lote de Cabezas de Ganado en Pie a Comprar Mensualmente*

La política de compras de la cadena es comprar mensualmente la cantidad de cabezas de ganado necesarias para suplir la demanda variable de carne de los clientes. Dada la variabilidad de la demanda entre los diferentes cortes de carne comercializados por la cadena, esta se podría enfrentar a costos muy significativos de operación si ordena demasiadas o muy pocas cabezas de ganado en pie por mes. En consecuencia, la administración de la cadena debe intentar calcular el tamaño apropiado del pedido mensual de cabezas de ganado en pie para maximizar el retorno de inversión o minimizar la posibilidad de tener pérdidas, dado que la demanda es una variable aleatoria.

Johnson y otros (1979) [7] establecen que el modelo estocástico de periodo único considera la situación donde los ítems son producidos o comprados para un periodo simple de demanda a un costo de  $C$  unidades monetarias por ítem. Los autores indican que cada unidad genera un precio de venta  $V$

cuando se vende y que las unidades no vendidas al final del periodo generan un costo de sobrante H. Los autores indican que la demanda D se considera una variable aleatoria continua con función de probabilidad f(D) y el objetivo es determinar el nivel óptimo de inventario R. En consecuencia, los autores establecen que:

1) La cantidad vendida durante el periodo es:

$$R - D$$

2) La cantidad de inventario en exceso al final del periodo es:

$$\xi(R, D) = \begin{cases} R - D & \text{si } D < R \\ 0 & \text{si } D \geq R \end{cases}$$

3) La condición de inventario faltante es:

$$\psi(R, D) = \begin{cases} 0 & \text{si } D < R \\ D - R & \text{si } D \geq R \end{cases}$$

Adicionalmente, los autores establecen que, si se dispone de un inventario R al inicio del periodo, el costo esperado de la política de inventarios se estima como:

$$E[\text{Costo}(R)] = C * R + H \int_0^R (R - D)f(D)dD + V \int_R^\infty (D - R)f(d)dD$$

El número de puntos de venta de la cadena de supermercados, la variedad de cortes madre de carne que se comercializan en cada punto de venta, la demanda variable entre cada uno de los cortes madre de carne, así como la variabilidad en los precios de las cabezas de ganado afectan la rentabilidad del negocio y hacen que el problema de la determinación del tamaño del lote de cabezas de ganado a adquirir para satisfacer esas demandas en todos los puntos de venta sea un problema complejo de resolver. En consecuencia, una metodología que combina el modelo matemático propuesto por Johnson y otros en 1979, modificado parcialmente para determinar la utilidad esperada en sustitución del costo esperado, con un modelo de simulación para la determinación de las demandas de cada tipo de corte de carne en cada punto de venta y para todos los puntos de venta se convierten en una herramienta poderosa de optimización para la solución del problema.

El problema por resolver consiste en determinar la cantidad R de cabezas de ganado en pie que la cadena debe adquirir mensualmente para:

$$\text{Maximizar Utilidad Esperada} = \text{Ingresos Esperados Por Ventas} - \text{Costo Esperado de la Compra} - \text{Costo Esperado Por Sobrantes} - \text{Costo Esperado Por Faltantes} + \text{Valor Esperado de Salvamento}$$

Sujeto a:

*Cumplimiento 100% de la Demanda de Cortes Madre de Carne Considerados Premium*

La Fig.1 muestra la metodología de para la determinación del tamaño apropiado del lote.

De acuerdo con la Fig. 1 el primer paso de la metodología consiste en simular los valores de demanda para cada tipo de corte madre de carne comercializado por punto de venta de la cadena, y para todos los puntos de venta de la cadena.

El segundo paso acumula los valores simulados de la demanda, en kilogramos, por corte madre de carne para todos los puntos de venta de la cadena. El modelo de simulación convierte luego estos valores de demanda total simulados por corte en un número total de cabezas de ganado equivalentes completas requeridas mediante un proceso de implusión. El primer y segundo paso de la metodología se repiten por un número especificado de réplicas.

El tercer paso de la metodología determina, para cada una de las réplicas establecidas en el segundo paso, el número mínimo de cabezas de ganado requeridas con base en el corte de carne con la demanda total en kilogramos más pequeña. También se determina el número promedio de cabezas de ganado requeridas y el número máximo con base en el corte de carne con la demanda total en kilogramos de carne más grande. Con estos datos se establecen los límites de la demanda sobre los cuales se realizará la optimización para determinar el tamaño apropiado del lote de cabezas de ganado a comprar mensualmente.

El cuarto paso de la metodología estima el tamaño apropiado del número de cabezas de ganado a comprar mensualmente. Para ello se evalúa un número R de cabezas de ganado a comprar dentro de un rango establecido y para cada R en el rango se procede a simular la demanda en términos del número de cabezas de ganado requeridas para suplir la demanda de carne. La demanda simulada se enmarca en los límites de la vecindad de optimización establecida en el tercer paso. Se incorporan además en el modelo de simulación el ingreso estimado por cabeza de ganado una vez comercializado, el costo de compra de la cabeza de ganado en pie, así como el valor de salvamento por una cabeza de ganado comprada de más de acuerdo con la demanda. Se determina como valor apropiado de R aquel número de cabezas de ganado R que maximiza la utilidad esperada total.

El quinto paso de la metodología determina los porcentajes de cumplimiento del número de cabezas de ganado que maximizan la utilidad esperada. El objetivo es que se cumpla el 100% de la demanda de cortes de carne considerados premium.

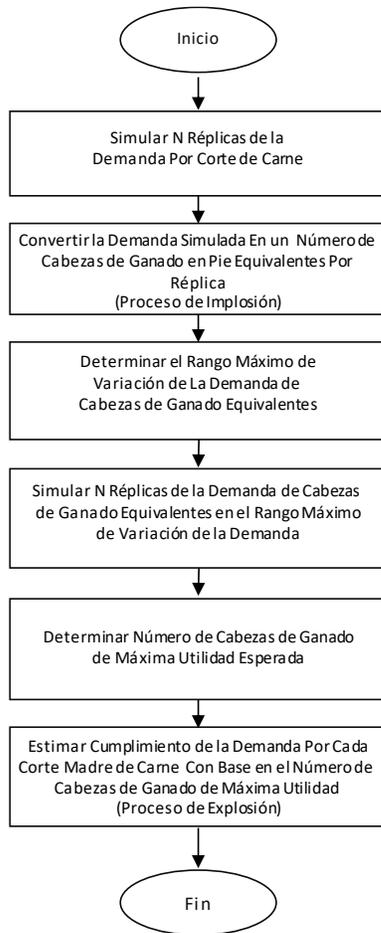


Fig. 1 Metodología para el cálculo del tamaño apropiado del Lote.

## II. DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

La empresa seleccionada como caso de estudio es una cadena de supermercados cuyo centro de distribución debe surtir de carne a un total de 19 supermercados localizados en varias provincias a través del país. El centro de distribución de carnes de la cadena compra mensualmente un lote de cabezas de ganado en pie, para luego distribuir la carne procesada en cortes madre a cada uno de los supermercados de acuerdo con las ventas históricas de los tipos de carne que se comercializan en los supermercados.

El Núcleo Industria Alimentaria del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) (2015) [5] presenta una descripción detallada e ilustrada de los cortes de carne de res. La tabla I muestra un resumen de los cortes considerados premium para efectos de este trabajo.

TABLA I  
CORTES DE CARNE DE RES PREMIUM

Código	Descripción del Corte de Carne de Res
BLT	Bolita
LA	Lomo Ancho
LDE	Lomo de entraña
LDP	Lomo de paleta
LMT	Lomito
MP	Mano de Piera
PDC	Posta de Cuarto
PDS	Punta de solomo
PLT	Paleta
SLM	Solomo
VDL	Vuelta de Lomo

Un resumen de las demandas históricas mínimas, promedio y máximas por tipo de corte de carne y por supermercado se muestran en la tabla II.

TABLA II  
DEMANDA HISTORICA DE CARNE RES POR SUPERMERCADO

Corte	PV <sup>a</sup> 1			...	PV 19		
	Min <sup>b</sup>	Prom <sup>c</sup>	Max <sup>d</sup>		Min	Prom	Max
BLT	54	70	90	...	125	172	265
LA	30	58	100	...	134	271	485
LDE	5	7	10	...	24	46	83
LDP	72	77	89	...	108	144	188
LMT	41	64	90	...	281	525	979
MP	37	47	59	...	30	56	94
PDC	104	159	212	...	209	296	404
PDS	11	22	32	...	52	105	188
PLT	88	143	198	...	214	371	646
SLM	46	70	116	...	60	90	145
VDL	52	72	100	...	81	122	175

Notación:

<sup>a</sup> Punto de venta

<sup>b</sup> Demanda Mínima

<sup>c</sup> Demanda Promedio

<sup>d</sup> Demanda Máxima

La tabla III muestra el ingreso estimado por cabeza de ganado en pie comercializada en cortes de carne, el costo de compra estimado por cabeza, así como el valor de salvamento si la cabeza de ganado se adquiere de más en función de la demanda. Corfoga (2019) [2] muestra una estabilidad de los precios del ganado en subasta en los periodos del 2016 al 2018.

TABLA III  
VALORES MONETARIOS POR CABEZA DE GANADO

Concepto	Unidades Monetarias (U.M) Por Cabeza de Ganado
Ingreso Por Venta	1650
Costo de la Unidad	1117
Valor de Salvamento	500

### III. METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL LOTE DE CABEZAS DE GANADO

El desarrollo de la simulación se realizó con base en la metodología mostrada en la Fig. 1. Como se indica en la figura, el proceso de optimización para la determinación del número apropiado de cabezas de ganado que el centro de distribución de la cadena debe adquirir para surtir la demanda de carne de los supermercados consta de dos pasos. El primer paso consiste en simular los valores de demanda de todos los cortes de carne en todos los supermercados de la cadena para determinar el rango de variación máxima de la demanda de carne, expresada en número de cabezas de ganado equivalentes para satisfacer esa demanda. Se denominará a este rango de variación máxima de la demanda como la vecindad de optimización. La fig. 3 muestra la metodología de simulación utilizada para alcanzar este objetivo.

Los datos históricos de la demanda de carne de res premium de los últimos seis meses muestran un patrón de demanda con variaciones irregulares sin una tendencia significativa a crecer o decrecer para todos los tipos de cortes de carne comercializados por la cadena. La Fig. 2 muestra las demandas de los cortes de carne indicados para uno de los puntos de venta de la cadena.

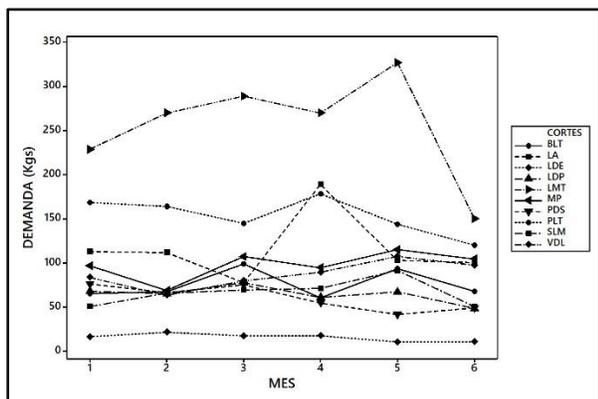


Fig. 2 Variación de la demanda de cortes de carne en un punto de venta de la cadena .

Moya (2018) [11] indica que la distribución de probabilidad triangular se puede utilizar cuando se dispone de pocos datos de la variable aleatoria que se está estudiando, tomando como base un valor mínimo, un valor más probable y un valor máximo de las ventas de la empresa. El sitio web de la compañía Palisade [13] indica que las variables que se pueden describir con una distribución triangular son el historial de ventas pasadas por unidad de tiempo y los niveles de inventario. Basados en esta premisa, las demandas de los 11 tipos de cortes de carne en cada uno de 19 puntos de venta de la cadena se simulan utilizando un generador de número aleatorios distribuidos según una distribución triangular con los parámetros de entrada mostrados en la tabla II.

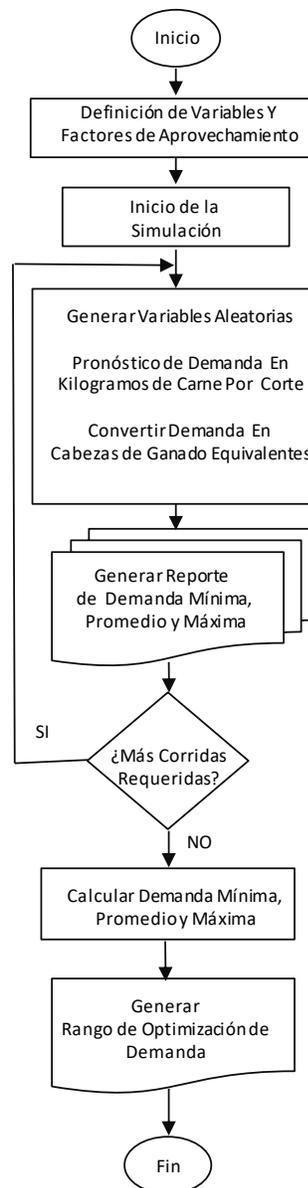


Fig. 3 Metodología de simulación para la determinación del rango de variación máxima de la demanda de cortes de carne .

El segundo paso de la metodología presentada en la Fig. 1 establece que una vez determinado el rango de variación máximo de la demanda o la vecindad de optimización, se procede a determinar el número de cabezas de ganado que satisfacen la demanda de carne de los supermercados con el objetivo de maximizar la utilidad esperada.

La figura 4 muestra el proceso de simulación para llevar a cabo la optimización.

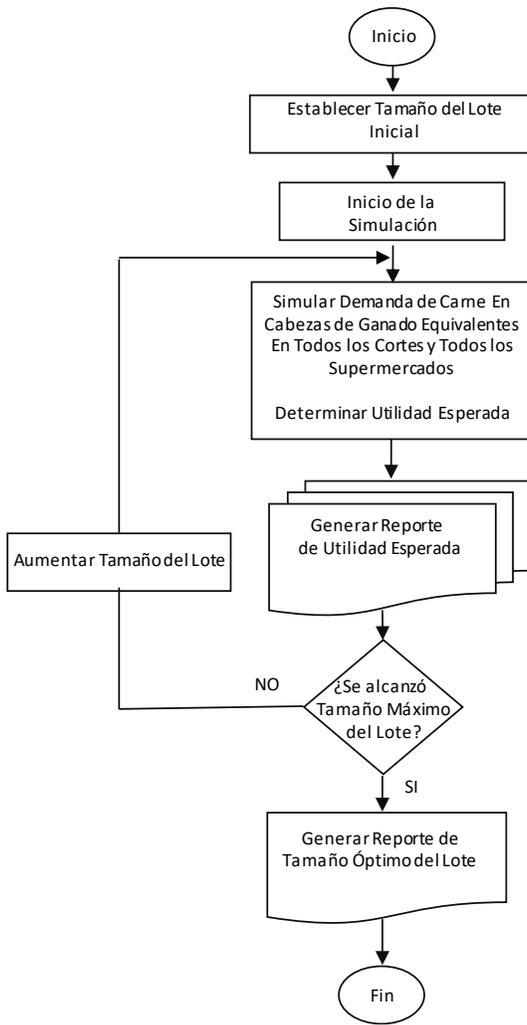


Fig. 4 Metodología de simulación para la determinación del Tamaño Óptimo del Lote.

#### IV. MODELO DE SIMULACION

##### A. Construcción del Modelo En Hoja Electrónica Excel

Para determinar el rango máximo de variación de la demanda total de carne en kilogramos para todos los cortes en todos los supermercados se simuló el proceso mostrado en la figura 3. La simulación se desarrolló utilizando el Microsoft Office Excel de la plataforma de Office 365. Para llevar a cabo el proceso de simulación se desarrolló el código de macros VBA nombrado “BUSCARVECINDAD”. La figura 5 muestra un extracto de la hoja electrónica correspondiente a la réplica 2500.

	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
10		DEMANDA EN KILOGRAMOS				Cabezas de
11	Corte	PV 1	PV 2		PV 19	Ganado
12	BLT	68	73	...	82	144
13	LA	56	75	...	63	170
14	LDE	6	7	...	7	255
15	LDP	78	79	...	80	380
16	LMT	65	57	...	84	352
17	MP	43	54	...	51	181
18	PDC	159	158	...	148	169
19	PDS	22	26	...	20	117
20	PLT	135	144	...	157	470
21	SLM	73	50	...	76	168
22	VDL	72	60	...	65	200
23						

Fig. 5 Hoja electrónica para la estimación de la demanda de cortes de carne en todos los puntos de venta de la cadena para la réplica 2500.

Para determinar el tamaño del lote que maximiza la utilidad esperada se desarrolló un segundo código de simulación denominado “OPTIMIZARLOTE”. Este código de macros se desarrolló siguiendo la metodología mostrada en la figura 4.

La figura 6 muestra el diseño de la hoja electrónica utilizada para llevar a cabo la simulación.

	J	K
7	Parámetros de Entrada	
8		
9	Precio de Venta	1650
10	Costo Unitario	1117
11	Valor de Salvamento	500
12		
13	Variable de Decisión	
14	Cantidad Ordenada	517
15		
16	Simulación	
17		
18	Demanda	292
19		
20	Ingreso x Ventas	=+SI(L19<=L15;L10*L19;L10*L15)
21	Costo de la Compra	=+L11*L15
22	Valor de Salvamento	=+SI(L19<L15;(L15-L19)*L12;0)
23	Costo de la Venta Perdida	=+SI(L19>L15;(L19-L15)*(L10-L11);0)
24		
25	Utilidad	=+L21-L22+L23-L24
26		
27	Utilidad Promedio	25260.28
28		
29		

Fig. 6 Hoja electrónica para la simulación de la utilidad esperada.

**B. Número de Réplicas Para Determinar el Rango de Variación Máximo de la Demanda**

Para calcular el rango de variación máxima de la demanda de carne, denominada en este trabajo también como vecindad de optimización, se utilizó como referencia la variable aleatoria cantidad máxima de cabezas de ganado necesarias para cumplir con la demanda de todos los cortes de carne. Esta variable aleatoria se tomó pensando en determinar el peor caso de ocurrencia de la demanda. Los datos se obtuvieron a partir de 50 réplicas del simulador.

La figura 7 indica que, al 95% de nivel de confianza, hay evidencia suficiente para creer que los datos de demanda máxima se comportan de manera normal.

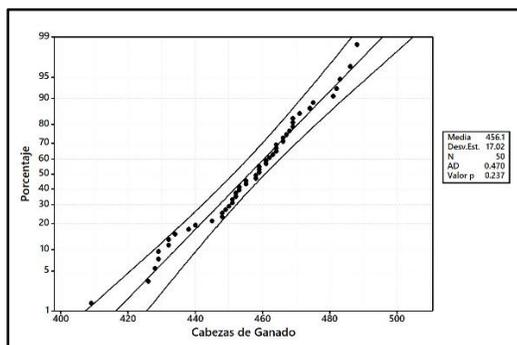


Fig. 7 Gráfica de normalidad a partir de 50 réplicas de demanda máxima de cabezas de ganado

A partir de la muestra preliminar de cincuenta corridas del simulador, se determinó que para un nivel de confianza de 95% y un error máximo de estimación de una cabeza de ganado en la estimación de la demanda máxima promedio de cabezas de ganado se deben realizar un total de 1014 corridas del simulador.

**C. Número de Réplicas Para Determinar el Número de cabezas de Ganado de Máxima Utilidad Esperada**

Para determinar el número de réplicas necesario para determinar el número de cabezas de ganado de máxima utilidad esperada se utilizó un tamaño del lote de quinientas tres cabezas de ganado. Este tamaño del lote especificado equivale al límite superior del rango máximo de variación de la vecindad de optimización establecida en el tercer paso de la metodología para el cálculo del tamaño apropiado del lote. Ver figura 1. El dato se obtuvo con base en una muestra preliminar de 50 réplicas del simulador.

A partir de la muestra preliminar obtenida se determinó que para alcanzar un nivel de confianza de 95% y un error máximo de estimación de dos mil unidades monetarias en la estimación de la utilidad total esperada se deben realizar un total de 8667 corridas del simulador.

**V. RESULTADOS OBTENIDOS**

La tabla IV muestra la vecindad de optimización o rango de variación máxima de la demanda, obtenida a partir de 2500 corridas del simulador. La tabla indica que el valor máximo de la variable aleatoria “número de cabezas de ganado” necesarias para satisfacer la demanda del corte de carne que requiere la cantidad mínima de cabezas de ganado es de 137 cabezas de ganado. De manera similar, el valor máximo de la variable para satisfacer la demanda del corte de carne que requiere la máxima cantidad de cabezas de ganado es de 517.

TABLA IV  
RANGO MÁXIMO DE VARIACION DE LA DEMANDA DE CABEZAS DE GANADO

Demanda Mínima	Demanda Máxima
137	517

En consecuencia, el tamaño apropiado del lote será un valor que esté comprendido en la vecindad de optimización de 137 a 517 cabezas de ganado.

La tabla V muestra las utilidades esperadas a partir de los tamaños de lote comprendidos en la vecindad de optimización. Los datos fueron obtenidos a partir de 15000 réplicas del simulador.

TABLA V  
UTILIDAD ESPERADA SEGÚN TAMAÑO DEL LOTE

Tamaño del Lote	Utilidad Esperada
137	-12819.22
156	6454.56
175	26271.41
194	44850.02
213	61574.84
232	76079.77
251	87626.07
270	95899.43
289	102103.51
308	105036.89
327	105636.10
346	103720.84
365	100288.99
384	94363.69
403	87795.01
422	78278.84
441	69125.18
460	58908.50
479	48241.99
498	38018.29
517	25260.28

La figura 8 muestra la curva de utilidad obtenida a partir de los datos mostrados en la tabla V. De acuerdo con la tabla V y la figura 8, el tamaño del lote que maximiza la utilidad esperada es de 327 cabezas de ganado. En consecuencia, el tamaño apropiado del lote a comprar es de 327 cabezas de ganado.

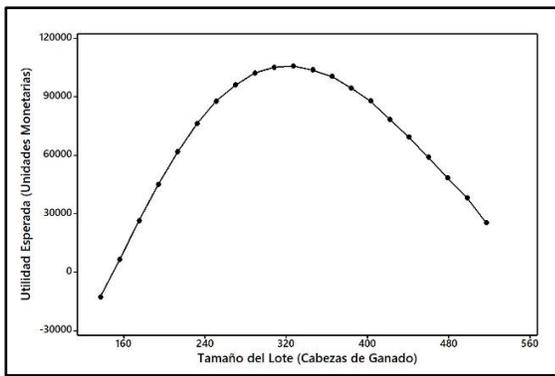


Fig. 8 Gráfica de utilidad esperada según tamaño del lote

La figura 9 muestra la distribución de probabilidad de la utilidad esperada obtenida con un tamaño apropiado del lote de 327 cabezas de ganado. La distribución se obtuvo a partir de 5000 datos de utilidades promedio con tres repeticiones por muestra.

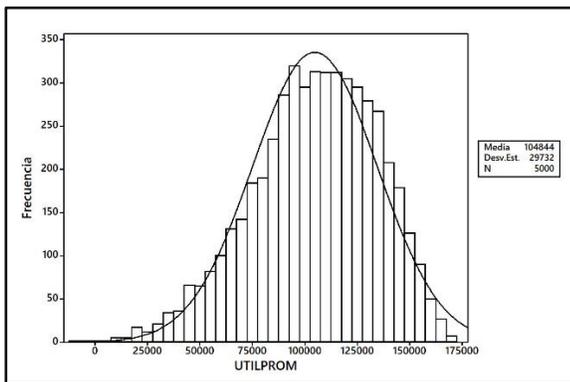


Fig. 9 Distribución de probabilidad de la utilidad esperada para un tamaño de lote de 327 cabezas de ganado.

Los datos de las muestras indican que al 95% de confianza hay evidencia suficiente para creer que 105636.10 unidades monetarias es un valor creíble de la utilidad promedio obtenida con un tamaño del lote de 327 cabezas de ganado.

Un intervalo de confianza de 95% indica que la utilidad promedio para un lote de 327 cabezas de ganado es un valor que está entre 104811 y 106460 unidades monetarias.

Finalmente, la tabla VI muestra los porcentajes de cumplimiento con un tamaño del lote de 327 cabezas de ganado.

La tabla VI evidencia que 8 de los 11 cortes madre de carne tienen cumplimiento del 100%. Para los tres cortes restantes, la cadena de supermercados debería comprar los cortes faltantes a los proveedores de carne. Adquirir las cabezas de ganado faltantes le producirían un impacto significativo en la utilidad esperada debido a que se aumentaría considerablemente el sobrante de carne.

TABLA VI  
CUMPLIMIENTO DE LA DEMANDA PARA UN TAMAÑO DEL LOTE DE 327 CABEZAS DE GANADO

Tamaño del Lote	Cumplimiento (%)
BLT	100
LA	100
LDE	100
LDP	87
LMT	87
MP	100
PDC	100
PDS	100
PLT	72
SLM	100
VDL	100

## VI. CONCLUSIONES

1. Seleccionar el modelo apropiado de optimización de inventarios en el negocio de la comercialización de carne en cadenas de supermercados no es una tarea fácil.
2. El modelo estocástico de periodo único es un modelo apropiado para determinar el tamaño óptimo del lote cuando los productos son producidos o comprados para un periodo simple de demanda.
3. Los modelos matemáticos de optimización combinados con la herramienta de simulación se convierten en una herramienta poderosa de optimización para la solución de problemas complejos.
4. El tamaño óptimo del lote de cabezas de ganado recomendado por el modelo de optimización propuesto es alrededor de 100 cabezas de ganado por debajo del tamaño del lote de compra realizado por la cadena de supermercados.

## REFERENCES

- [1] Banerjee, S; Meitei, N S. *Effect of declining selling price: profit analysis for a single period inventory model with stochastic demand and lead time.* The Journal of the Operational Research Society; Abingdon Tomo 61, N.º 4, (Apr 2010): 696-704. DOI:10.1057/jors.2009.28. <https://search.proquest.com/docview/231313637/2B7D27CCC42A4F27PQ/13?accountid=32236>
- [2] Corporación Ganadera CORFOGA. *Precio Canal Bovino Enero 2019. Precios en Subastas* <http://www.corfoga.org/estadisticas/precios/>
- [3] Farahvash, Pooya; Altiok, Tayfur. *Application of multi-dimensional procurement auction in single-period inventory models.* Annals of Operations Research; New York Tomo 164, N.º 1, (Nov 2008): 229-

251. DOI:10.1007/s10479-008-0445-8.  
<https://search.proquest.com/docview/214503391/AC705372D18147B5PQ/5?accountid=32236>
- [4] Guo, Zhaozhuang; Liu, Yankui. *Modelling single-period inventory problem by distributionally robust fuzzy optimization method*. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems; Amsterdam Tomo 35, N.º 1, (2018): 1007-1019. DOI:10.3233/JIFS-172128.  
<https://search.proquest.com/docview/2080020176/AC705372D18147B5PQ/9?accountid=32236>
- [5] Instituto Nacional de Aprendizaje. *Guía Descriptiva de los Cortes de Carne de Res y Cerdo*. Núcleo Industria Alimentaria. Costa Rica. 2015.  
<http://www.ina.ac.cr/Guia%20cortes%20carne.pdf>
- [6] Jinsoo, P; Jung, W; Yun, B. *Simulation Study on The Lost Sales Inventory Systems With Attached Service Queue*. International Journal of Industrial Engineering. 2017, Vol. 24 Issue 2, p171-181. 11p.  
<https://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=9&sid=0e825ed3-c484-4381-9b4c-df65b8e203dc%40pdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbm9ZXMmc210ZT1laG9zdC1saXZl#AN=124103600&db=asn>
- [7] Johnson, L; Montgomery, D. *Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control*. John Wiley & Sons, 1979.
- [8] Kalpana, P; Kaur, Arshinder. *Optimal Ordering Decisions and Revenue Sharing in a Single Period Split Order Supply Chain*. Technology Operation Management; New Delhi Tomo 2, N.º 2, (Dec 2011): 61-79. DOI:10.1007/s13727-012-0007-9.  
<https://search.proquest.com/docview/1266229442/1635661F4A894E33PQ/13?accountid=32236>
- [9] Kattoa, Razan (2015). *Inventory Cost Reduction With Improved Demand Estimation Using the tBISA distribution*. Southern Methodist University, ProQuest Dissertations Publishing, 2015. 3702200.  
<https://search.proquest.com/docview/1682479802/5DC29376D82F4471PQ/9?accountid=32236>  
<https://search.proquest.com/docview/214503391/AC705372D18147B5PQ/5?accountid=32236>
- [10] Lavin, James. *Periodic Review Perturbed Demand Inventory Models with Stochastic Demand*. A. North Carolina State University, ProQuest Dissertations Publishing, 2012. 3538404.  
<https://search.proquest.com/docview/1343851236/5DC29376D82F4471PQ/7?accountid=32236>
- [11] Moya: *Estimación del Costo de Un Producto Incluyendo Su Distribución al Cliente en Condiciones de Incertidumbre*. Proceedings of the 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. 2018  
<http://www.laccei.org/LACCEI2018-Lima/meta/FP223.html>
- [12] Pal, Surajit; Manna, D K. *A Marketing Decision Problem in Single-Period Stochastic Inventory Model*. Opsearch; New Delhi Tomo 40, N.º 3, (Sep 2003): 230-240. DOI: 10.1007/BF03398697.  
<https://search.proquest.com/docview/1977117088/EB5DB0D74FD94727PQ/15?accountid=32236>
- [13] Palisade Corporation. *Simulación Montecarlo*. 2019  
[http://www.palisade-Ita.com/risk/simulacion\\_monte\\_carlo.asp](http://www.palisade-Ita.com/risk/simulacion_monte_carlo.asp)
- [14] Tan; Y. *Optimal discrete-in-time inventory control of a single deteriorating product with partial backlogging*. University of South Florida, ProQuest Dissertations Publishing, 2010. 3432094.  
<https://search.proquest.com/docview/822232080/C070F7CD0424EE8PQ/1?accountid=32236>
- [15] Wang, Y.; Gerchak, Y; *Periodic Review Production Models with Variable Capacity, Random Yield, and Uncertain Demand*, Management Science; Linthicum Tomo 42, N.º 1, (Jan 1996): 130.  
<https://search.proquest.com/docview/213234376/6FF7197415264AD8PQ/1?accountid=32236>
- [16] Zhang, D; Xu, H; Wu, Y. *Single and multi-period optimal inventory control models with risk-averse constraints*. European Journal of Operational Research. Dec 2009, Vol. 199 Issue 2, p420-434. 15p.  
<https://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=7&sid=a15ccf19-0b7c-42cc-9be5-40fb4a7b43c6%40sdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbm9ZXMmc210ZT1laG9zdC1saXZl#AN=39739782205&db=iih>
- [17] Zhang, Victoria Lihui. *Ordering Policies for an Inventory System with Supply Flexibility*, Stanford University, ProQuest Dissertations Publishing, 1995. 9535697  
<https://search.proquest.com/docview/304237805/69B11568DA8E4D7EPQ/1?accountid=32236>