

# Un estudio económico para la formulación de mezclas con productos cárnicos crudos

## *An economic study for the formulation of mixtures with raw meat products*

Jacqueline Ivette Santana Cruz \*

Instituto Politécnico Nacional, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, México

[jacki\\_2303@hotmail.com](mailto:jacki_2303@hotmail.com)

Recibido 15, diciembre, 2017

Aceptado 24, marzo, 2018

### Resumen

En este artículo se estudia el problema de formulación de mezclas de productos alimenticios que cumplan con los estándares de calidad establecidos en las industrias alimentarias de productos cárnicos crudos y que al mismo tiempo se obtenga la mejor mezcla al mínimo costo de producción. Para identificar los artículos que intervienen en la mejor mezcla de productos cárnicos se propuso un modelo de Programación Lineal para determinar la cantidad de cada ingrediente en la formulación de la mezcla que optimice los costos de producción y que cumpla con los requerimientos del producto cárnico crudo. Finalmente, para automatizar el proceso de la formulación de alimentos se programó una aplicación en Visual Basic que ejecuta todo el modelo. Así, para obtener la formulación de un producto cárnico crudo requerido a un costo óptimo el usuario únicamente debe seleccionar los ingredientes, costos de cada uno y restricciones sobre los mismos y la aplicación mostrará los resultados de las proporciones de cada ingrediente que debe llevar la formulación requerida.

Palabras clave: *Formulación de mezclas*, productos cárnicos, programación lineal.

**JEL Classification:** C610

### Abstract

*This article studies the problem of formulating mixtures of food products that meet the quality standards established in the food industries of raw meat products and at the same time obtaining the best blend at the lowest cost of production. In order to identify the products involved in the best meat product mix, a Linear Programming model was proposed to determine the quantity of each ingredient in the formulation of the mixture that optimizes production costs and meets the requirements of the raw meat product. Finally, to automate the food formulation process, a Visual Basic application running the entire model was programmed. Thus, in order to obtain the formulation of a required raw meat product at optimum cost the user should only select the ingredients, costs of each and restrictions on them and the application will show the results of the proportions of each ingredient for the formulation required.*

Keywords: *Formulación de mezclas*, productos cárnicos, programación lineal.

## 1. INTRODUCCIÓN

**E**n la industria cárnica uno de sus principales problemas que debe resolverse consiste en determinar las proporciones requeridas de los compuestos que deben de mezclarse para integrar un determinado alimento, a dichas cantidades que deben utilizarse en un alimento se le conoce como formulación del producto.

En el problema de la formulación de un producto se han utilizado diversos modelos matemáticos para llevar a cabo sus formulaciones. Dentro de los métodos más utilizados, tenemos a la programación lineal y el diseño de experimentos con mezclas. Por ejemplo, (Michue; Encina; Ludeña, 2015) utilizaron el diseño de mezclas para optimizar: el overrun (aireado), la dureza, la viscosidad y los costos de un helado de crema en función de tres factores de estudio: crema de leche, manteca vegetal y povidexrosa, para llevarlo a cabo se determinó la viscosidad, el aireado y la dureza por distintos métodos. Asimismo, se obtuvo el costo total por los insumos que se ve influenciado por el costo individual de cada ingrediente. Debido a que en la elaboración de helado con crema de leche se tiene un costo alto, se evaluó la mezcla de crema de leche, manteca vegetal y povidexrosa, teniendo en cuenta los niveles de los componentes. En la parte experimental de esta formulación, primero se planteó el flujo de operaciones para la elaboración de helados de crema, en la segunda etapa se realizó la determinación del polinomio canónico de Scheffé, necesario para poder realizar el modelamiento matemático de los tres componentes principales o factores en estudio. Posteriormente se establecieron los rangos mínimos y máximos de los tres ingredientes principales (crema de leche, la manteca vegetal y la dextrosa); valores que se obtuvieron como resultado de realizar pruebas preliminares, y trabajos previos revisados en papers y tesis relacionadas con el tema. Finalmente, con los modelos matemáticos obtenidos para cada una de las respuestas estudiadas, se procedió a la optimización simultánea de estas. Para ello se tuvo en cuenta la metodología de la deseabilidad global, descrita por Cornell (2002). El objetivo de la optimización fue encontrar la mezcla que cumpliera de la mejor forma con determinadas restricciones, impuestas sobre cada una de las respuestas. La formulación seleccionada como óptima debía contar con las características mostradas en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características de la formulación del helado de crema.

Propiedad	Característica
Overrun	Mayor es mejor
Dureza	Menor es mejor
Viscosidad	Menor es mejor
Costo de producción	Menor es mejor

En otro estudio (García, 2005) realizó dos formulaciones de salchichas mezclando carne de res y atún, con la finalidad de evaluar las características físico-químicas, microbiológicas, sensoriales y vida útil de estas formulaciones de salchichas con diferentes proporciones de atún y carne de res. Una serie de pruebas fueron realizadas para determinar la proporción de los ingredientes para la formulación de las salchichas. La determinación de humedad, proteína, grasa y cenizas se realizó según métodos oficiales de la Asociación of Oficial Analytical Chemists (AOAC). Humedad por el método de secado en horno (110°C) hasta un peso constante, proteínas por macro-Kjeldahl empleando un equipo Tecator (Kjeltec system, 1002 destilling unit, 2006 digestor), grasa por el método Soxtec sistema HT 1043, y cenizas por incineración en mufla. La aceptación del consumidor hacia las salchichas se evaluó basándose en las características de olor, color, sabor y textura, utilizando una escala hedónica de 4 puntos, con los descriptores mostrados en la Tabla 2. Finalmente, para determinar diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones, para los parámetros físicos y químicos, García aplicó un análisis de la varianza en un diseño completamente aleatorizado.

En el trabajo (Benítez, 2000) formuló cuatro productos cárnicos (A, B, C y D) mezclando principalmente tres ingredientes: carne de pollo deshuesada mecánicamente (CPDM), plasma y glóbulos rojos (GR) de bovinos los cuales son subproductos de origen animal. Se llevaron a cabo varios experimentos para determinar la factibilidad de utilizar las proteínas sanguíneas de bovino como ingrediente fortificante en la formulación de alimentos para consumo humano. En cuanto a las propiedades químicas la humedad fue

determinada por el método de secado en horno (110°C-16 h). El contenido de proteína se obtuvo siguiendo el método Macro-Kjeldahl empleando un equipo Tecator. El porcentaje de grasa se determinó por el método Soxhlet Sistema HT 1043. La cantidad de cenizas fue realizada por incineración en mufla marca Heraeus GMBH HANAU, (116°C por 24 h). Todos estos métodos fueron descritos en el manual de la AOAC. En la evaluación sensorial se utilizó una escala de seis puntos para determinar el nivel de aceptabilidad de los diferentes tratamientos, los resultados se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 2.** Formulación de las salchichas de carne y atún.

Escala	Valor
Me desagrada mucho	1.0
Me desagrada un poco	2.0
Me gusta mucho	3.0
Me gusta muchísimo	4.0

**Tabla 3.** Formulación de los productos cárnicos.

Escala	Valor
Me gusta muchísimo	6.0
Me gusta mucho	5.0
Me gusta un poco	4.0
Me es indiferente	3.0
Me desagrada un poco	2.0
Me desagrada mucho	1.0

Finalmente, los datos obtenidos durante este estudio fueron analizados utilizando el análisis de varianza mediante el procedimiento del Modelo Lineal General del paquete estadístico SAS. Las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey. Las diferencias fueron declaradas a un nivel del 5% de significancia.

En la investigación (Morales, 2012a) lleva a cabo formulaciones de alimento para gallinas ponedoras con el objetivo de disminuir el consumo de Soja, ingrediente costoso y presente en la mayoría de las mezclas con nivel de uso promedio superior al 18% para Gallinas Ponedoras y que el balance de nutrientes en las fórmulas no se altere. Para realizar tales formulaciones se construyeron modelos matemáticos de Programación Lineal y Programación Lineal Fuzzy del Problema de la Dieta.

En otra investigación (Rosero; Posada; Ortiz, 2011) llevan a cabo formulaciones de raciones para rumiantes, en la cual la función objetivo consiste en determinar las proporciones en las cuales las materias primas deben ser mezcladas para satisfacer los requerimientos del animal al mínimo costo posible. La programación lineal posee una amplia aplicación en las ciencias, que cuando es utilizada permite maximizar la utilización de los recursos y reducir los costos de producción.

En el estudio (Morales, 2012b) expone distintos modelos del Problema de la Dieta en producciones industriales de alimento animal con el objetivo de obtener la fórmula que produzca una combinación de ingredientes disponibles al más bajo costo. Calcula un total de 196 fórmulas. La función objetivo de cada uno de los distintos modelos aplicados están sujetas al siguiente sistema de restricciones lineales:

- Especificaciones nutricionales establecidas para los animales.
- Límites de inclusión de ingredientes en fórmula.
- Medicamentos en la ración.
- Posibles relaciones de porcentaje entre ingredientes de la ración.
- Peso final de la mezcla.

Los datos correspondientes a límites de inclusión, aportes nutricionales de ingredientes y especificaciones nutricionales de piensos se toman de unas tablas confeccionadas por especialistas en Nutrición Animal de la República de Cuba. Los rangos de pérdidas y coeficientes de pérdidas se toman en las 13 fábricas existentes en ese país. El surtido total de piensos considerados es el producido por la

Unión de Empresas del Combinado Avícola Nacional, donde se realizan no solo piensos destinados a la Avicultura. Los análisis estadísticos correspondientes se realizaron con los sistemas Excel, Microsoft 2003; STATGRAPHICS Plus versiones 2.1 (1994-1996) y 5.1, (1994-2001) Statistical Graphics Corporation y SPSS Versión 15.0 para Windows (2006).

En la investigación (Rodas; Leal; Muñoz, 1998) formularon jamones cocidos agregándoles plasma y/o paquete globular de bovino con el propósito de evaluar el rendimiento, humedad, proteína y palatabilidad. En la evaluación sensorial, todos los tratamientos fueron evaluados como aceptables, excepto el formulado con un paquete globular, para la evaluación sensorial de los jamones se tomó una escala hedónica de 9 puntos como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Formulación de los jamones con agregado de proteína plasmática y globular.

Escala	Valor
Me gusta muchísimo	9.0
Me gusta mucho	8.0
Me gusta moderadamente	7.0
Me gusta un poco	6.0
Me es indiferente	5.0
Me desagrada un poco	4.0
Me desagrada moderadamente	3.0
Me desagrada mucho	2.0
Me desagrada muchísimo	1.0

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza usando el procedimiento PROC GLM del SAS, tomando como única fuente de variación los tratamientos. Al ser detectado el efecto significativo ( $p < 0.5$ ), las medias por tratamiento fueron comparadas utilizando la prueba de Duncan.

En el trabajo (Ávila; Cortés; López; Santiago, 2011) llevaron a cabo formulaciones para la dieta de los pollos de engorda basados en alimentos sorgo-soya con distintos porcentajes de proteína pero con cantidades similares en el contenido de los aminoácidos más limitantes (lisina, metionina, treonina, triptófano y arginina) para ello se realizaron dos experimentos con pollos Ross 308 de 1-49 días de edad. En los dos se evaluaron 6 tratamientos con tres réplicas de 30 aves cada una, en un arreglo factorial  $2 \times 3$ ; un factor dietas con y sin reducción, de 2 unidades porcentuales de proteína y el otro, tres programas de alimentación; dos fases (0-21 y 22-49 días de edad), tres fases (0-21, 22-42 y 43-49 días de edad) y cuatro fases (0-7, 8-21, 22-35 y 36-49 días de edad). En el Experimento 1 se emplearon dietas sorgo-soya y en el Experimento 2, sorgo + soya + harina de carne + gluten de maíz.

En el estudio (Chatterjee; De Neve; Dutta; Das, 2015) formularon una bebida de naranja con suero de leche concentrado, zumo de naranja, una cantidad adecuada de azúcar, estabilizador, ácido cítrico y saborizante, para ello se llevaron a cabo nueve formulaciones y mediante un análisis estadístico de la evaluación sensorial de las bebidas, se encontró que la formulación óptima tiene una relación de 3:2 para el suero líquido concentrado y jugo de naranja, seguido por la adición del 8% (w/v) de azúcar y 0.1% de estabilizador (w/v). Un panel entrenado evaluó las características sensoriales tales como color, aspecto, sabor, consistencia y aceptabilidad general de las formulaciones.

En la investigación (Acuña; García; Rosas; López, 2015) elaboraron ocho formulaciones para producir microcápsulas mediante la técnica de secado por aspersión a través de Propágulos de *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin los cuales fueron obtenidos por fermentación sólida en granos de arroz.

Para elaborar las formulaciones se utilizaron los polímeros almidón de maíz, maíz nixtamalizado, gelatina bovina y aceite de maíz como matriz encapsulante, la capacidad de adherencia de las formulaciones a portaobjetos se realizó con la finalidad de seleccionar la fórmula que proporcionó mejor adherencia con la metodología de McGuire y Shasha.

En el trabajo (Cruz; Sandoval, 2010) llevaron a cabo formulaciones de mezclas de sustratos para el crecimiento de plantas con los objetivos de proporcionar mejores condiciones de crecimiento, de disminuir el impacto ambiental, de reducir el uso de fertilizantes y pesticidas y sobre todo de obtener la formulación de mezcla óptima al mínimo costo, dichas formulaciones se obtuvieron a través de un programa de optimización con SAS, para lo cual se consideraron las propiedades físicas (espacio poroso total y capacidad de aireación) y químicas (materia orgánica) de un material inorgánico (tezontle) y materiales orgánicos (3 vermicompost), además del costo de éstos. El programa de optimización con SAS proporciona opciones de mezcla de materiales de menores costos dentro de los rangos de las propiedades físicas y químicas establecidas, sin embargo la determinación de la mejor mezcla, la seleccionan por su propio criterio, ya que depende del costo, finalidad y cultivo a establecer.

Durante la última década la elaboración de productos cárnicos en México, ha adquirido una gran importancia. A tal grado que la evolución de la producción de carnes, ha sido el resultado de la compleja interacción entre las diferentes ramas de la ganadería enfocada a la obtención de ganado para abasto y las preferencias del consumidor. Estas preferencias son influenciadas por las nuevas tendencias en el consumo de alimentos y el poder adquisitivo del consumidor. Actualmente en México tres ramas de la ganadería, bovina, porcina y avicultura, concentran el 98 por ciento de la producción doméstica de cárnicos. De aquí la necesidad de investigar sobre nuevos modelos de optimización en la formulación de nuevos productos cárnicos.

Ante las crecientes necesidades de consumo de alimento, la investigación se enfoca a diferentes formulaciones para elaborar productos cárnicos al mínimo costo posible. Para llevar a cabo la formulación de productos cárnicos en esta investigación se consideró la programación lineal y la programación en Visual Basic.

En la investigación se desarrolla una aplicación programada en Visual Basic con la finalidad de que se determine la formulación requerida para un determinado producto, ingresando los nombres de los ingredientes, los costos de cada uno de ellos y los valores máximos y mínimos que deben de contener y enseguida automáticamente el programa arroje o de como resultados las proporciones que debe de llevar la formulación de cada ingrediente.

## **2. MÉTODOS**

La carne es el tejido muscular de los animales. Para elegir la carne debe tomarse en cuenta su color y su estado (que no haya descomposición); la carne debe provenir de animales sanos, y tratados higiénicamente durante su matanza. La carne de puerco es la que más se usa para estos fines, aunque se puede utilizar todo tipo de animal.

La transformación de la carne se ha realizado desde tiempos remotos con el fin primordial de conservarla por periodos largos de tiempo. Convertir la carne en embutidos, ayuda sin duda a la conservación, pero fundamentalmente puede producir en la carne un sabor exquisito. Los embutidos abarcan la preparación de una gran cantidad de productos como jamón, chorizo y longaniza, entre otros.

En esta investigación se quiere conocer la formulación de la mezcla de productos cárnicos que minimice el costo total utilizado en la elaboración del producto teniendo en cuenta condiciones que debe satisfacer cada ingrediente y determinados nutrientes especificados en las normas.

En la formulación de productos la propiedad estudiada, a saber, la respuesta (variable dependiente) depende de las proporciones de componentes (variables independientes) presentes, pero no sobre la cantidad de la mezcla. Así la cantidad relativa de un componente particular con respecto a la cantidad total de la mezcla se conoce como la proporción o fracción de ese componente en la mezcla.

En el planteamiento general del modelo que se propone para automatizar la búsqueda para la formulación de la mezcla del producto cárnico deseado, tenemos  $n$  ingredientes que deben cumplir con  $m$  restricciones sobre los nutrientes en los límites mínimos y máximos y que debe estar constituido de cada uno de los ingredientes. Así, las variables de decisión se definen:

$x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  representan las cantidades en porcentajes de cada ingrediente.

$c_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  el costo del ingrediente  $i$ .

$t$  total de kilogramos que debe contener el producto terminado.

$u_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  cota superior del porcentaje del nutriente que debe contener el producto final.

$l_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  cota inferior del porcentaje del nutriente que debe contener el producto final.

$a_{ij}$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  porcentaje del nutriente  $j$  contenido en el ingrediente  $i$ .

$p_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  cota superior del porcentaje que debe tener el ingrediente  $i$ .

$q_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  cota inferior del porcentaje que debe tener el ingrediente  $i$ .

$z^*$  Costo total empleado en la formulación de un kilogramo del producto cárnico deseado.

Entonces el costo total,  $z$ , empleado en la formulación del producto cárnico se puede expresar como  $z = tz^*$ . En donde  $z^*$  es el costo óptimo de producir un kilogramo del producto cárnico en estudio, que se obtiene al resolver el modelo:

$$\text{Minimizar } z^* = \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

Sujeta a:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \geq l_j$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq u_j$$

$$x_i \geq q_i$$

$$x_i \leq p_i$$

$$x_i \geq 0$$

para toda  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$

La primera restricción  $\sum_{i=1}^n x_i = 1$ , representa la condición de que la suma total de la proporción de cada ingrediente debe ser un 100% del producto terminado.

La segunda restricción  $\sum_{i=1}^n a_{ij}x_i \geq l_j$ , es el porcentaje mínimo que debe cumplir el nutriente  $j$  con respecto a la cantidad total del producto terminado.

La tercera restricción  $\sum_{i=1}^n a_{ij}x_i \leq u_j$ , es el porcentaje máximo que debe satisfacer el nutriente  $j$  con respecto a la cantidad total del producto terminado.

La cuarta restricción  $x_i \geq q_i$ , es el porcentaje mínimo que debe cumplir el ingrediente  $i$ .

La quinta restricción  $x_i \leq p_i$ , es el porcentaje máximo que debe cumplir el ingrediente  $i$ .

Posteriormente se programa en Visual Basic una aplicación de este modelo para que resuelva de forma automática y se obtenga la mezcla de la combinación óptima para la formulación del producto cárnico deseado.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta una formulación desarrollada con la aplicación que se programó en Visual Basic para un producto cárnico determinado.

Se requiere calcular las proporciones de los componentes que debe de llevar un kilogramo de un determinado producto cárnico y que sea al mínimo costo.

El producto está compuesto por 21 ingredientes que tienen los siguientes costos: \$2625.94, \$2240.00, \$5205.83, \$683.66, \$448.52, \$2193.92, \$5322.47, \$182.01, \$469.70, \$1583.49, \$844.54, \$1562.76, 1433.86, \$1792.37, \$1015.52, \$2385.19, \$517.08, \$2026.11, \$6572.56, \$1519.88, \$0, respectivamente. Además, debe cumplir las especificaciones sobre los nutrientes que se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Cotas inferiores y superiores sobre los nutrientes.

Nutriente	Mínimo (%/valor)	Máximo (%/valor)
Nutriente 1	13.593	16.614
Nutriente 2	0.6	0.733
Nutriente 3	2.977	3.639
Nutriente 4	2.514	3.0728
Nutriente 5	2.721	3.326
Nutriente 6	3.990	4.877
Nutriente 7	67.180	82.109
Nutriente 8	116.612	142.526
Nutriente 9	15.648	19.125
Nutriente 10	346.160	423.084
Nutriente 11	4.879	5.963
Nutriente 12	1.476	1.804
Nutriente 13	57.6	70.4
Nutriente 14	1.388	1.696
Nutriente 15	0.625	0.764

La aplicación también da a conocer el balance sobre los nutrientes que se obtienen con los resultados de la proporción de los ingredientes resultantes. Así, a partir de la Tabla 6 se obtiene la Tabla 7, que muestra el balance de los nutrientes para este caso.

**Tabla 6.** Restricciones de los nutrientes.

Nutriente	Mínimo	Máximo
Nutriente 1	$\sum_{i=1}^{21} a_{i1}x_i \geq 0.135$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i1}x_i \leq 0.166$
Nutriente 2	$\sum_{i=1}^{21} a_{i2}x_i \geq 0.006$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i2}x_i \leq 0.0073$
Nutriente 3	$\sum_{i=1}^{21} a_{i3}x_i \geq 0.029$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i3}x_i \leq 0.0363$
Nutriente 4	$\sum_{i=1}^{21} a_{i4}x_i \geq 0.025$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i4}x_i \leq 0.0307$
Nutriente 5	$\sum_{i=1}^{21} a_{i5}x_i \geq 0.0272$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i5}x_i \leq 0.0332$
Nutriente 6	$\sum_{i=1}^{21} a_{i6}x_i \geq 0.0399$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i6}x_i \leq 0.0487$
Nutriente 7	$\sum_{i=1}^{21} a_{i7}x_i \geq 0.671$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i7}x_i \leq 0.821$
Nutriente 8	$\sum_{i=1}^{21} a_{i8}x_i \geq 0.116$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i8}x_i \leq 0.142$
Nutriente 9	$\sum_{i=1}^{21} a_{i9}x_i \geq 0.156$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i9}x_i \leq 0.191$
Nutriente 10	$\sum_{i=1}^{21} a_{i10}x_i \geq 0.346$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i10}x_i \leq 0.423$
Nutriente 11	$\sum_{i=1}^{21} a_{i11}x_i \geq 0.0487$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i11}x_i \leq 0.0596$
Nutriente 12	$\sum_{i=1}^{21} a_{i12}x_i \geq 0.0147$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i12}x_i \leq 0.018$
Nutriente 13	$\sum_{i=1}^{21} a_{i13}x_i \geq 0.576$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i13}x_i \leq 0.704$
Nutriente 14	$\sum_{i=1}^{21} a_{i14}x_i \geq 0.0138$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i14}x_i \leq 0.0169$
Nutriente 15	$\sum_{i=1}^{21} a_{i15}x_i \geq 0.00625$	$\sum_{i=1}^{21} a_{i15}x_i \leq 0.0076$

$$x_i \geq 0; \text{ para toda } i = 1, 2, \dots, 21; j = 1, 2, \dots, 15$$

## MODELO

Se requiere minimizar el costo total para la elaboración de la mezcla de la formulación que proporcione el producto cárnico que cumpla las especificaciones de la Tabla 5.



$$\begin{aligned} \text{Minimizar } z = & 2625.94x_1 + 2240.00x_2 + 5205.83x_3 + 683.66x_4 + 448.52x_5 + 2193.92x_6 + 5322.47x_7 \\ & + 182.01x_8 + 469.70x_9 + 1583.49x_{10} + 844.54x_{11} + 1562.76x_{12} + 1433.86x_{13} \\ & + 1792.37x_{14} + 1015.52x_{15} + 2385.19x_{16} + 517.08x_{17} + 2026.11x_{18} + 6572.56x_{19} \\ & + 1519.88x_{20} + 0x_{21} \end{aligned}$$

Sujeta a:

- La suma de la proporción de todos los ingredientes debe ser igual a un 100% (producto terminado):

$$\sum_{i=1}^{21} x_i = 1$$

- Deben cumplir condiciones sobre los quince nutrientes, es decir, se tienen cotas inferiores y superiores representadas en la Tabla 6.

## RESULTADOS

Después de capturar los costos y límites inferior y superior de cada nutriente en la aplicación programada en Visual Basic, el programa proporciona los siguientes resultados en porcentajes sobre la proporción de cada uno de los 21 ingredientes:

$$\begin{aligned} x_1 = 10.33, x_2 = 50.31, x_3 = 1.2765, x_4 = 0, x_5 = 0.0909, x_6 = 0, x_7 = 0, \\ x_8 = 0, x_9 = 0, x_{10} = 4.572, x_{11} = 1.457, x_{12} = 0, x_{13} = 0, x_{14} = 0, \\ x_{15} = 0, x_{16} = 0.5641, x_{17} = 0.8087, x_{18} = 0, x_{19} = 0, x_{20} = 0, x_{21} = 30.584 \end{aligned}$$

## DISCUSIÓN

Existen algunos ingredientes que no deben de formar parte de la mezcla del producto debido a que en los resultados obtenidos se obtuvo un porcentaje nulo y son los ingredientes 4, 6, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 18, 19 y 20. Sin embargo, esto no afecta las condiciones que se tienen que cumplir sobre la proporción de los nutrientes, ya que, como se puede observar en la Tabla 7 se cumplen todas estas restricciones sobre los mismos. El costo mínimo que se obtiene al realizar esta formulación es \$1,627.18.

**Tabla 7.** Proporciones de los nutrientes.

Nutriente	Resultados
Nutriente 1	13.593
Nutriente 2	0.658
Nutriente 3	3.316
Nutriente 4	3.072
Nutriente 5	2.721
Nutriente 6	3.990
Nutriente 7	76.621
Nutriente 8	118.579
Nutriente 9	15.648
Nutriente 10	373.256
Nutriente 11	4.879
Nutriente 12	1.478
Nutriente 13	57.6
Nutriente 14	1.534
Nutriente 15	0.625

#### 4. CONCLUSIONES

El problema de formulación de productos alimenticios se puede resolver desde dos enfoques principalmente: experimentos con mezclas y programación lineal. En caso de que se quisiera optar por el método de experimentos con mezclas se tendría que tener información sobre la proporción de ingredientes a utilizar en diferentes mezclas, pero llevar a cabo diferentes mezclas implica realizar diferentes experimentos y esto influye en costos de adquisición de los materiales (ingredientes), de las maquinas o equipos utilizados entre otros costos. Por lo que el diseño de experimentos no sería una buena opción seleccionada si la empresa no está dispuesta en invertir en estos experimentos. Por esta razón se eligió el método de programación lineal porque por este camino no se tiene que aplicar algún costo, además es una muy buena herramienta para la formulación de alimentos dadas las condiciones que debe cumplir cada ingrediente y cada funcionalidad. Además, el desarrollo de una aplicación en la que se ingresan los nombres de los ingredientes, los costos de cada uno y restricciones sobre los mismos y que la aplicación de los resultados de las proporciones que debe llevar cada ingrediente facilita en gran medida el obtener inmediatamente cualquier formulación de algún producto en el momento en que se requiera.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la SIP-IPN por el apoyo brindado al proyecto 20180053, del que se deriva este artículo. También agradece el apoyo de la LGAC-2 de la Maestría en Ingeniería Industrial de la SEPI-UPIICSA-IPN, ya que a través del Seminario de Investigación es como surgieron las inquietudes de esta investigación. Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para la realización de los estudios de posgrado. Finalmente, la autora agradece a los árbitros anónimos por sus críticas constructivistas que hicieron un mejor trabajo de investigación.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, M., García, C., Rosas, N., López, M., & Saínz, J. (2015). Formulación de *metarhizium anisopliae* (metschnikoff) sorokin con polímeros biodegradables y su virulencia contra *Heliothis virescens* (FABRICIUS). *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 31(3), 219-226.
- Benítez, B., Márquez, E., Barboza, Y., Izquierdo, P., & Arias, B. (2000). Formulación y características de productos cárnicos elaborados con subproductos de la industria animal. *Revista Científica, FCV-Luz*, X(4), 321–327.
- Chatterjee, G., De Neve, J., Dutta, A., & Das, S. (2015). Formulation and statistical evaluation of a ready-to-drink whey based orange beverage and its storage stability. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(2), 253–264.
- Cruz, E., Sandoval, M., Volke, V., Ordaz, V., Tirado, J., & Sánchez, J. (2010). Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana*, 28, 219–229.
- García, A., Izquierdo, P., Uzcátegui, S., Faría, J., Allara, M., & García, A. (2005). Formulación de salchichas con atún y carne : vida útil y aceptabilidad. *Revista Científica, FCV-LUZ*, XV(3), 272–278.
- Michue, J., Encina, C., & Ludeña, F. (2015). Optimización del overrun ( aireado ), de la dureza , la viscosidad y los costos de un helado mediante el diseño de mezclas. *Ingeniería Industrial*, 33, 229–250.
- Morales, D. (2012a). Formulación del alimento balanceado para Gallinas Ponedoras White Leghorn L 33 con minimización del uso de Soja en la ración. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(7),

1–11.

- Morales, D. (2012b). Modelos de programación lineal fuzzy en la formulación de alimentos para animales. *Avances En Ciencias E Ingeniería*, 3(4), 11–24.
- Rodas, A., Leal, M., Muñoz, B., Huerta, N., & Enrique, M. (1998). Adición de plasma y paquete globular en la formulación de jamones cocidos. *Revista Científica, FCV-LUZ*, VIII(1), 35–39.
- Rosero, R., Posada, L., & Ortiz, D. (2011). Programación lineal aplicada a la formulación de raciones para rumiantes. *Revista CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 6(2), 53–60.
- Santiago, R., López, C., Cortés, A., & Ávila, E. (2011). Evaluación de tres programas de alimentación para pollos de engorda con base en dietas sorgo-soya con distintos porcentajes de proteína. *Vet. Méx.*, 42(4), 299–309.

**Este artículo puede citarse de la siguiente forma:**

**Citación estilo APA sexta edición**

Santana Cruz, J.I. (enero-junio de 2018). Un estudio económico para la formulación de mezclas con productos cárnicos crudos. *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, 4(1), 43-53.

**Citación estilo Chicago decimoquinta edición**

Santana-Cruz, Jacqueline Ivette (enero-junio de 2018). Un estudio económico para la formulación de mezclas con productos cárnicos crudos. *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, 4 No. 1 (enero-junio de 2018): 43-53.

**Citación estilo Harvard Anglia**

Santana Cruz, J.I., 2018. Un estudio económico para la formulación de mezclas con productos cárnicos crudos. *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, enero-junio, 4(1), pp. 43-53.

**Citación estilo IEEE**

[1] J.I. Santana-Cruz. Un estudio económico para la formulación de mezclas con productos cárnicos crudos. *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, vol. 4 No. 1, pp. 43-53, enero-junio de 2018.