

Modelo de optimización para minimizar costos de piensos porcinos en pie (levante, ceba y finalizador)

Optimization model to minimize feed costs portions standing (lifting, fattening and finishing)

Jorge Quevedo Buitrago, Natalia Gámez Manchola, Miguel Ojeda Enríquez

Ingeniería de sistemas, Universidad de Cundinamarca, Bogotá, Colombia.

maojeda@ucundinamarca.edu.co, jequevedo@ucundinamarca.edu.co,

nataliagamez@hotmail.com.

Resumen— La alimentación eficiente de los porcinos en crecimiento es una de las prácticas más importantes de una granja porcícola, porque de ella dependen tanto los rendimientos productivos como la rentabilidad de la granja. La alimentación representa entre un 80 a un 85% de los costos totales de producción. Por esta razón se formuló y diseñó un modelo de optimización lineal a mínimo costo para la gestión de información de la producción porcina en pie (levante, ceba y finalizador) para la finca “La Esperanza” en la vereda Tierra Negra Fusagasugá (Cundinamarca). Se manejaron los porcentajes de los niveles prácticos y máximos de inclusión de los alimentos en las raciones en porcinos en crecimiento dados por la Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal FEDNA en 2016, para llegar a las restricciones de alimentación y costos por kilogramo en cada etapa. Estos datos sirvieron para el modelo matemático en cual fue ajustado al Método Simplex de dos fases. Para el cual se desarrolló un prototipo de software orientado a la web con un diseño simple, sencillo y amigable aplicando buenas prácticas ágiles para solucionarlo. Para el desarrollo del mismo se emplearon lenguajes de programación como *PHP* con el paradigma de Programación Orientada a Objetos, base de datos *MySQL* y tecnologías como *HTML5*, *CSS* y *JavaScript*. Los cuales contribuyeron a garantizar la seguridad y la integridad de los datos, permitiendo construir un código de calidad, seguro y de fácil mantenimiento. Se determinó que la aplicación ingresa con facilidad las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones de cada modelo lineal de optimización dando un reporte final de los resultados obtenidos. El modelo matemático permitió dar una nueva fórmula de alimentación de acuerdo al porcentaje que se le aplica al bulto de cada materia prima en la tonelada, permitiendo una reducción significativa en los costos de alimentación en los cerdos por tonelada producida.

Palabras clave — Método Simplex, piensos, optimización.

Abstract— The efficient feeding of growing pigs is one of the most important practices of a pig farm, because both the production yield and the profitability of the farm depend on it. Feeding accounts for 80 to 85% of total production costs. For this reason, a linear optimization model was formulated and designed at minimum cost for the management of information of pig production on its feet (lifting, fattening and finishing) for the farm "La Esperanza" in Tierra Negra Fusagasugá (Cundinamarca). The percentages of the practical and maximum levels of inclusion of food in pork rations in growth given by the Spanish Foundation for the development of animal nutrition FEDNA in 2016 were

managed to reach the restrictions of feeding and costs per kilogram in each stage. These data were used for the mathematical model in which it was adjusted to the two-phase Simplex Method. For which a prototype of web-oriented software was developed with a simple, simple and friendly design, applying good practices to solve it. For the development of this project, programming languages such as *PHP* with the Object oriented Programming paradigm, *MySQL* database and technologies such as *HTML5*, *CSS* and *JavaScript* were used. They helped to guarantee the security and integrity of the data, allowing us to build a quality code, safe and easy to maintain. It was determined that the application easily enters decision variables, the objective function and constraints of each linear optimization model, giving a final report of the results obtained. The mathematical model allowed to give a new feeding formula according to the percentage applied to the bulk of each raw material in the ton, allowing a significant reduction in feed costs in pigs per ton produced.

Key Word — Simplex two-stage method, stage of pig production, optimization.

I. INTRODUCCIÓN

Fusagasugá es un municipio con vocación agropecuaria en el cual la producción porcina es manejada por pequeños y medianos productores. La información generada en el proceso productivo porcino en pie suele ser realizada de forma manual con formatos realizados con hoja de cálculos y manipulado por diferentes personas involucradas. En la región no existe una aplicación orientada a la web que simule un modelo de optimización para la gestión de información de producción porcina en pie (levante, ceba y finalizador).

Una de las principales problemáticas en la zona del Sumapaz ubicada al interior de Colombia es la gestión de información del sector productivo en fincas porcinas. Por ello se toma como piloto la finca porcícola “La Esperanza” en la vereda Tierra Negra en Fusagasugá (Cundinamarca). En esta finca, no hay ningún control de la información y sus agentes que intervienen en el proceso productivo porcino en pie (levante, ceba y finalizador). Hay poco nivel tecnológico de apoyo, debido principalmente a la baja transferencia de información y de tecnología por parte de las instituciones gubernamentales,

académicas regionales y de la investigación nacional se ha incrementado las barreras comerciales del sector que se presentan entre productor y consumidor.

Con la propuesta del modelo de optimización y el diseño de un prototipo de software web como herramienta informática innovadora y versátil para simular el modelo, se pretende que el productor quien tiene labores tanto operativas como comerciales, al encontrarse fuera de dicha unidad productiva, conozca, de manera oportuna el valor del mínimo costo de la alimentación por etapas. Estos factores inciden directamente en la toma oportuna de decisiones para la mejora continua de la finca con sostenibilidad en el mercado y competitividad a nivel local, regional y a futuro a nivel nacional e internacional.

También se propone la eliminación de las brechas detectadas, centradas en problemas de articulación de la academia y la investigación con el sector productivo, aportando así al desarrollo de la ciencia y tecnología, siguiendo las tendencias mundiales en investigación y desarrollo tecnológico.

II. METODOLOGÍA

A. Contexto

Se realizó una investigación experimental en la finca “La Esperanza” que se encuentra ubicada geográficamente en el kilómetro 5,5 vía Fusagasugá-Sibate en la vereda Tierra Negra, departamento de (Cundinamarca), Colombia, Continente suramericano, a una altitud norte de $4^{\circ}22'21.1''$ y longitud oeste de $74^{\circ}20'44.3''$ con un clima frío y una temperatura de 12°C a 18°C .



Fig. 1. Ubicación geográfica finca “La Esperanza”.
Fuente: La investigación.

Internamente la finca está constituida por una casa que es donde se encuentran residiendo los propietarios de la misma, Además de esto se encuentran las áreas del sistema de producción porcino como lo es el área del molino en donde se compran variedad de materias primas como maíz amarillo americano (MA), soya torta americana (SA), arroz harina (AH), ponqué ramo (PR), mogolla (MO), soya integral extruida (SI), calcio carbonato polvo (CC), fosfato bicálcico (FB), núcleo (UN), sal de mar (SM), lisina hcl (LI), metionina dl 99% (ME), treonina l (TR) y ractopamina (RA). Con el fin de procesar 1 tonelada de pienso formulado mensualmente para empaclarla en bultos de 50 Kg y almacenarla, para utilizarla cada vez que se alimentan los porcinos en cada una de las etapas. En cuanto a

la capacidad operativa de este proceso de producción solamente se encuentra un operario trabajando 8 horas lunes a domingo. Por otra parte, se encuentran los corrales, en este sector se encuentran 35 cocheras para porcinos en etapas de levante, ceba y finalizador, y es allí donde se desarrollan los cerdos y se alimentan 1 o 2 veces al día. Con respecto a las cocheras pequeñas máximo debe haber 20 cerdos, hay una cochera que es más grande que las demás y debe haber máximo 50 cerdos. Se utiliza un sistema denominado cama profunda que es una alternativa viable en la producción porcina a pequeña escala, que sin duda contribuye al incremento de producción de carne de cerdo en países en desarrollo con un mínimo impacto ambiental, y se define bajo el concepto de proveer al animal la habilidad de seleccionar y modificar su propio micro ambiente a través del material de la cama ver [1]. Este sistema consiste en la producción de cerdos en instalaciones donde el piso de concreto se sustituye por una cama de 50- 60 Cm de profundidad que está constituida por cascarilla de arroz. Es un sistema muy económico pues permite reciclar instalaciones en desuso o construir instalaciones nuevas empleando materiales localmente disponibles, genera un ahorro considerable de agua, y es además un sistema amigable con el medio ambiente por la baja emisión de residuos, la reducción considerable de malos olores y baja presencia de moscas. Con la utilización de esta tecnología las deyecciones animales sufren compostaje, reduciendo los riesgos de contaminación y se obtiene un fertilizante orgánico de excelente calidad para su uso en agricultura (Cruz, Almaguel, Mederos, Araujo, 2009). En cuanto a la capacidad operativa se encuentran 2 trabajadores trabajando 8 horas de lunes a domingo.

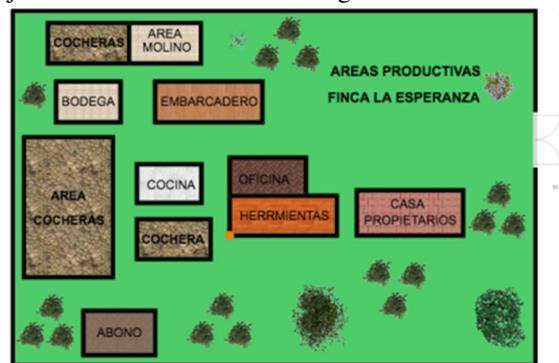


Fig. 2. Áreas de producción porcina de “La Esperanza”.
Fuente: La investigación.

Por último, está el área administrativa en donde se tienen en cuenta aspectos como costos y gastos en cuanto a materias primas, medicamentos, servicios públicos, mano de obra, parafiscales, y transporte. Así mismo se evidencian cuando los operarios trabajan horas extras o días festivos, inventarios de los cerdos que entran y salen en cada etapa, inventario se cerdos vivos y muertos, costo del cerdo con respecto al peso, y salida de bultos procesados en el molino.

B. Técnicas e instrumentos de recolección de información

Esta investigación se enfatizó en la recolección, interpretación y análisis de datos, desde una intervención inicial de variables del contexto como el peso vivo por etapa y el peso de la alimentación.

Los instrumentos de recolección de datos utilizados fueron conformados según la investigación escogida para el proyecto (investigación experimental): el cual integra técnicas cuantitativas de investigación. Desde esta perspectiva los instrumentos propuestos en la presente investigación fueron:

- Observación directa
- Entrevistas
- Formatos de toma de registros

Frente a la observación directa y las entrevistas iniciales con el propietario de la finca y los trabajadores se dio la identificación del contexto, y de si se cree que el proyecto es viable, así como su disposición y apoyo para la ejecución en curso, esta entrevista nos orientó hacia la determinación de las variables cuantitativas más influyentes para la formulación de los modelos matemáticos de optimización.

Frente a los formatos de toma de registros, se eligieron porque permitió la identificación de la evolución y cambios significativos en los porcinos respecto a variables como el peso vivo y peso de la alimentación.

Para la formulación de los modelos matemáticos de optimización a mínimo costo de las recetas de alimentación por tonelada en las etapas de levante, ceba y finalizador en la finca “La Esperanza” se debe obtener datos que nos permita la representación de un sistema y así mismo de los modelos, la información adquirida para el desarrollo de los modelos se presenta a continuación:

- Materias primas alimenticias
- Precio por Kilogramo de cada materia prima
- Kilogramo por tonelada de cada materia prima
- Costo por tonelada de cada materia prima
- Costo total de la tonelada
- Niveles prácticos y máximos de inclusión de los alimentos en las raciones de cerdos en crecimiento [2].

C. Productos alimenticios de los modelos

La cantidad de materias primas que se utilizarán en estos modelos, se establecieron a partir de unas fórmulas de alimentación balanceadas por el propietario de la finca “La Esperanza”. En las recetas para cada una de las etapas se evidencia cada uno de los insumos empleados, el precio por kilogramo, los kilogramos por tonelada, costo por tonelada y el costo total de la tonelada como se muestra en las Tablas 1, 2 y 3.

D. Productos alimenticios en la etapa de levante

Formula de alimentación para la etapa de levante			
Materia Prima	Precio/Kg	Kg/Ton	Costo/Ton
Maíz amarillo americano	882	Min 480, Max 600	535.818
Soya torta americana	1819	300	551.381
Arroz harina	870	80	76.230
Ponqué ramo	557	100	63.100
Mogolla	690	29	27.481
Calcio carbonato polvo	200	8.6	9.211
Fosfato bicálcico	1650	6.7	18.555
Núcleo	7728	11	92.508
Sal de mar	325	3.5	8.637
Lisina HCL	5916	1.1	14.007
Metionina DL 99%	20184	0.8	23647
Treonina L	8468	0.94	15.459
Total tonelada			1.436.034

Tabla 1. Formula de alimentación para la etapa de levante.
Fuente: La investigación.

E. Productos alimenticios en la etapa de Ceba

Formula de alimentación para la etapa de ceba			
Materia Prima	Precio/Kg	Kg/Ton	Costo/Ton
Maíz amarillo americano	882	Min 480, Max 600	535.818
Soya torta americana	1819	300	551.381
Arroz harina	870	63	62.100
Ponqué ramo	557	100	63.100
Mogolla	690	29	27.481
Calcio carbonato polvo	200	8.6	9.211
Fosfato bicálcico	1650	4	14.100
Núcleo	7728	11	92.508
Sal de mar	325	3	8.475
Lisina HCL	5916	1	13.416
Metionina DL 99%	20184	0.4	15.573
Treonina L	8468	0.6	12.580
Total tonelada			1.405.743

Tabla 2. Formula de alimentación para la etapa de ceba.
Fuente: La investigación.

F. Productos alimenticios en la etapa Finalizador

Formula de alimentación para la etapa de finalización			
Materia Prima	Precio/Kg	Kg/Ton	Costo/Ton
Maíz amarillo americano	8.82	Min 480, Max 600	478.298
Soya torta americana	1.819	300	466.635
Arroz Harina	8.70	60	58.628
Ponqué ramo	5.57	60	39.848
Mogolla	6.90	119	88.538
Soya integral extruida	1.490	70	110.728
Calcio carbonato polvo	2.00	8	8.028
Fosfato bicálcico	1.650	4	13.028
Núcleo	7.728	11	91.436
Sal de mar	3.25	3.5	7.565
Lisina HCL	5.916	1.25	13.823
Metionina DL 99%	20.184	1.24	31.456
Treonina L	8.468	1.17	16.335
Ractopamina	66.150	0.5	39.503
Total tonelada			1.463.849

Tabla 3. Formula de alimentación para la etapa de finalizador.
Fuente: La investigación.

G. Niveles prácticos y máximos de inclusión de los alimentos en las raciones de cerdos en crecimiento

Para conocer el costo mínimo de la producción de las formulas alimenticias por tonelada en las etapas de levante, ceba y finalizador, se le cuestionó al profesor Diego Andrés Abril especialista en nutrición y alimentación animal de la facultad de Ciencias Agropecuarias de la UCundinamarca. ¿Es necesario y viable conocer los niveles prácticos y máximos de inclusión de los alimentos en las raciones de cerdos en crecimiento? Por lo anterior se identifica cuánto serían los límites mínimos y máximos de incorporación que se deben consumir por alimento ajustados a los niveles máximos de la finca. Para así establecer un intervalo que no sea perjudicial para la salud de los porcinos por consecuencia de excesos.

Para los modelos, los límites prácticos y máximos serían las restricciones primordiales y que nos permiten obtener el costo mínimo de una tonelada por etapa.

Los límites de incorporación propuestos son los aceptados normalmente en fabricación de piensos a nivel nacional. Niveles superiores pueden ser utilizados, y de hecho lo son, cuando hay un buen conocimiento del producto y un control adecuado tanto de la materia prima como de las especificaciones en formula. En todos los casos, el costo relativo de los ingredientes se puede modificar con estos niveles máximos y mínimos de inclusión dados por la (Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal, 2016) [2].

H. Formulación de los modelos matemáticos

A partir de varias investigaciones acerca de los modelos de optimización para los sistemas de producción porcina existentes. Se establecen los modelos que se van a utilizar para minimizar los costos teniendo en cuenta el precio por kilogramo de cada materia prima con lo que esta compuesta la tonelada, y los niveles practicos y maximos de inclusión de los alimentos en las raciones de porcinos en crecimiento que establece la fundación española para el desarrollo de la nutricion animal (FEDNA) [2] ajustados a los requerimientos maximos de la finca. Para su desarrollo el siguiente modelo de programación lineal tendrá unas variables de decisión, unas restricciones y una función objetivo. Así, el modelo se establece de la siguiente manera:

I. Formulación del modelo matemático de optimización en la etapa de levante.

• Variables de decisión

X_1 =Maiz amarillo americano	X_7 =Fosfato bicálcico
X_2 =Soya Torta americana	X_8 =Nucleo
X_3 =Arroz harina	X_9 =Sal de mar
X_4 =Ponque ramo	X_{10} =Lisina HCL
X_5 =Mogolla	X_{11} =Metionina DL 99%
X_6 =Calcio carbonato polvo	X_{12} =Treonina L

• Función objetivo

$$Min Z = \sum 882x_1 + 1819x_2 + 870x_3 + 557x_4 + 690x_5 + 200x_6 + 1650x_7 + 7728x_8 + 325x_9 + 5916x_{10} + 20184x_{11} + 8468x_{12} \tag{1}$$

Fuente: La investigación

• Restricciones

1. $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} = 1000$
2. $X_1 \geq 480, X_1 \leq 600$
3. $X_2 \geq 200, X_2 \leq 300$
4. $X_3 \geq 20, X_3 \leq 80$
5. $X_4 = 100$
6. $X_5 \geq 100$
7. $X_6 \geq 6.7, X_6 \leq 8$
8. $X_7 \geq 2.8$
9. $X_8 = 11$
10. $X_9 \geq 1.8, X_9 \leq 2$
11. $X_{11} \geq 7.7, X_{11} \leq 8.9$
12. $X_{12} \geq 2.4, X_{12} \leq 2.8$
13. $X_{13} \geq 5, X_{13} \leq 5.8$
14. $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12} \geq 0$

(2)

Formulación del modelo matemático de optimización en la etapa de ceba.

Fuente: La investigación.

• Variables de decisión

X_1 =Maiz amarillo americano	X_7 =Fosfato bicálcico
X_2 =Soya Torta americana	X_8 =Nucleo
X_3 =Arroz harina	X_9 =Sal de mar
X_4 =Ponque ramo	X_{10} =Lisina HCL
X_5 =Mogolla	X_{11} =Metionina DL 99%
X_6 =Calcio carbonato polvo	X_{12} =Treonina L

• Función objetivo

$$Min Z = \sum 882x_1 + 1819x_2 + 870x_3 + 557x_4 + 690x_5 + 200x_6 + 1650x_7 + 7728x_8 + 325x_9 + 5916x_{10} + 20184x_{11} + 8468x_{12} \tag{3}$$

Fuente: La investigación.

• Restricciones

1. $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} = 1000$
2. $X_1 \geq 480, X_1 \leq 600$
3. $X_2 \geq 200, X_2 \leq 300$
4. $X_3 \geq 20, X_3 \leq 63$
5. $X_4 = 100$
6. $X_5 \geq 100$
7. $X_6 \geq 6.5, X_6 \leq 8$
8. $X_7 \geq 2.5$
9. $X_8 = 11$
10. $X_9 \geq 1.7, X_9 \leq 2$
11. $X_{11} \geq 7.7, X_{11} \leq 8.9$
12. $X_{12} \geq 2.4, X_{12} \leq 2.8$
13. $X_{13} \geq 5, X_{13} \leq 5.8$
14. $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12} \geq 0$

(4)

Fuente la investigación: Formulación del modelo matemático de optimización en la etapa de finalizador.

• Variables de decisión

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| x_1 =Maiz amarillo americano | x_8 =Fosfato bicalcico |
| x_2 =Soya Torta americana | x_9 =Nucleo |
| x_3 =Arroz harina | x_{10} =Sal de mar |
| x_4 =Ponque ramo | x_{11} =Lisina HCL |
| x_5 =Mogolla | x_{12} =Metionina DL 99% |
| x_6 =Soya integral extruida | x_{13} =Treonina L |
| x_7 =Calcio carbonato polvo | x_{14} =Ractopamina |

• Función objetivo

$$Min Z = \sum 882x_1 + 1819x_2 + 870x_3 + 557x_4 + 690x_5 + 1490x_6 + 200x_7 + 1650x_8 + 7728x_9 + 325x_{10} + 5916x_{11} + 20184x_{12} + 8468x_{13} + 6615014 \quad (5)$$

Fuente: La investigación

• Restricciones

1. $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} = 1000$
2. $x_1 \geq 480, x_1 \leq 535$
3. $x_2 \geq 200, x_2 \leq 253$
4. $x_3 \geq 60, x_3 \leq 70$
5. $x_4 = 60$
6. $x_5 \geq 118, x_5 \leq 122$
7. $x_6 \geq 20, x_6 \leq 70$
8. $x_7 \geq 5.9, x_7 \leq 8$
9. $x_8 \geq 2.3, x_8 \leq 2.8$
10. $x_9 = 11$
11. $x_{10} \geq 1.6, x_{10} \leq 2$
12. $x_{11} \geq 6.3, x_{11} \leq 7.7$
13. $x_{12} \geq 2, x_{12} \leq 2.4$
14. $x_{13} \geq 4.2, x_{13} \leq 5$
15. $x_{14} = 0.5$
16. $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14} \geq 0$

Fuente: La investigación

Desarrollo del prototipo de software para aplicar el modelo

Los procesos productivos porcinos y su correspondiente gestión de información, además de la definición de un modelo requieren de un componente de software que permita aplicar y validar el modelo propuesto. Este programa en ambiente web se gestionó, diseñó y se desarrolló aplicando las buenas practicas agiles. El marco de trabajo SCRUM [3] el cual permite definir roles como Scrum Master, Product Owner y el Team articulados con artefactos agiles como el Product Backlog, historias de usuario y Daily Scrum. Con el sistema de administración de bases de datos MySQL se construyó el repositorio de datos, el editor de código Sublime Text2 se utilizó para escribir el código fuente. El Framework frontend Bootstrap, soporta tecnologías como HTML5, CSS, javaScript y jQuery. Se usó para el diseño de las interfaces y para el backend se utilizó el Framework Laravel el cual facilitó la creación de funcionalidades como el CRUD y permite manejar el patrón de diseño arquitectónico Modelo Vista Controlador. Con este prototipo de software denominado “PIGMODEL” el cual está alojado en: <http://mdm.ucundinamarca.edu.co/ucpigmodel/index.php/logi>

Se aplicará el modelo para la gestión de información de la producción porcina en pie en etapas de Levante, Ceba y Finalizador de la finca La Esperanza, y se validara la articulación entre los actores, agentes y procesos que generan datos proporcionados por las entidades de productos, cocheras y servicios los cuales interactúan con el modelo. En la figura no. 3 se muestra la interfaz inicial del software “PIGMODEL” donde se observa el nombre de la finca la esperanza, la bienvenida al usuario, una foto de la finca y un espacio para el registro de ingreso al sistema.

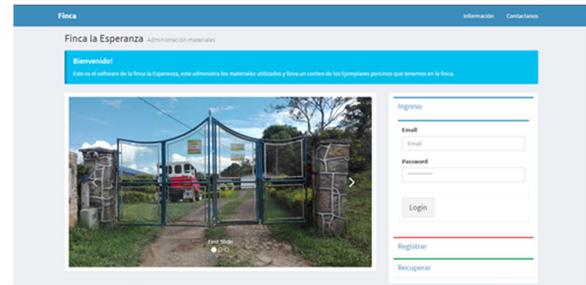


Fig. 3 Interfaz inicial de PIGMODEL

Al ingresar como rol de administrador el usuario puede observar una interfaz donde puede ver una imagen junto a su nombre tanto en la parte superior izquierda como derecha, y un menú desplegable de color negro donde se encuentra el icono principal y CRUD de usuarios como se muestra en la siguiente figura no. 4.

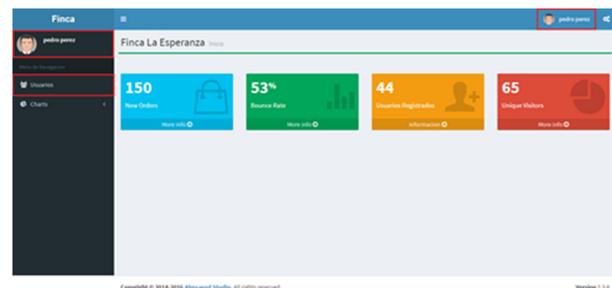


Fig. 4 Interfaz principal de PIGMODEL, administrador

En la parte superior de este módulo hay un espacio denominado “problema lineal” se debe elegir el objetivo si es maximización o minimización, por ende se debe ingresar en los recuadros el número de variables y restricciones y hacer Clic en el botón gris con un icono de tuerca para iniciar la matriz e introducir los coeficientes del problema, creándose automáticamente la forma estándar del modelo matemático de optimización, contando con la restricción de no negatividad, así mismo se encuentra la opción de elegir las iteraciones calculadas. Ver figura no. 5. Haciendo Clic en el botón gris “Resolver” se obtiene la solución propuesta por el modelo. Ver figura no. 6

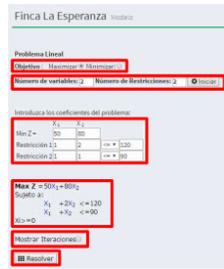


Fig. 5 Interfaz para el registro de variables al modelo

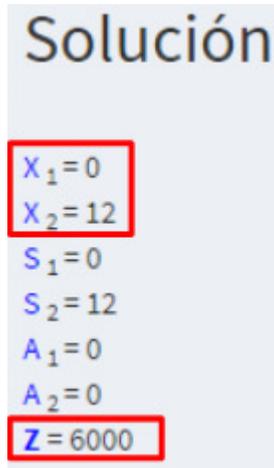


Fig. 6 Resultado de ejecución del modelo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se utilizó el software PIGMODEL para validar el modelo que sirve para resolver cualquier problema del método Simplex ver [4] y [5], de igual forma los resultados obtenidos en PIGMODEL se verificaron con el software WinQSB porque es uno de los sistemas más utilizados como apoyo a la toma de decisiones. Contiene herramientas muy útiles para resolver distintos tipos de problemas en el campo de la investigación de operaciones. La diferencia entre las dos aplicaciones en el módulo de programación lineal utilizando el algoritmo Simplex de dos fases está en cómo se presenta la información, permite guardar cambios de la función objetivo y cada una de las restricciones propuestas en el modelo, además PIGMODEL proporciona un informe completo sobre la solución del problema donde se pueden observar el nombre de las variables, el valor de las variables en la solución óptima y el coeficiente de la variable en la función objetivo.

Por lo anteriormente expuesto se analizaron los modelos matemáticos de optimización para las tres etapas seleccionadas en el software PIGMODEL, dando estos los valores aproximados de los kilogramos por ingrediente de la fórmula de alimentación propuesta para el propietario de la finca “La Esperanza”, consiguiendo así minimizar los costos teniendo en cuenta el precio por Kg de cada materia prima con lo que está compuesta la tonelada y los niveles prácticos y máximos de inclusión de los alimentos en las raciones de cerdos en

crecimiento que establece la fundación española para el desarrollo de la nutrición animal (FEDNA).

- Resultados modelo matemático en la etapa de Levante

Las conclusiones finales de la etapa del levante son satisfactorias porque se minimizaron los costos por tonelada del alimento de los cerdos en 236.402 pesos. Manejando las mismas materias primas y respetando los niveles máximos y mínimos de inclusión de las mismas. Ver figura 7.



Fig. 7 Resultado de ejecución del modelo Levante

En las materias primas el Maíz Amarillo, Calcio, Ponqué Ramo y Núcleo no presentaron alteraciones en el peso que tienen en la tonelada de alimento, mientras que las diferencias más relevantes fueron la disminución de la soya ya que pasó de 300 a 200kg y de arroz la cual el cambio fue de 80 a 20 kg. Resaltando que la materia prima que presentó un aumento significativo fue la mogolla que de tener un aporte por tonelada de 29kg a 161kg. Ver figura 8.

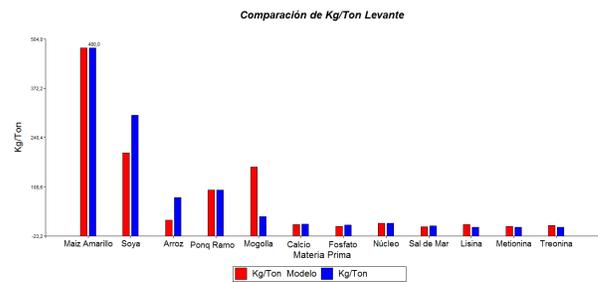


Fig. 8 Resultados modelo matemático en la etapa de Levante

- Resultados modelo matemático en la etapa de Ceba

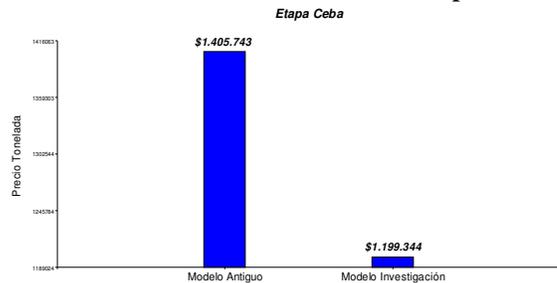


Figura 9. Resultados modelo matemático en la etapa de ceba

El modelo para la alimentación para la etapa de ceba se puede evidenciar que se minimizaron los costos por tonelada del alimento de los cerdos con una diferencia en dinero de 206.399 pesos (Ver figura 9).

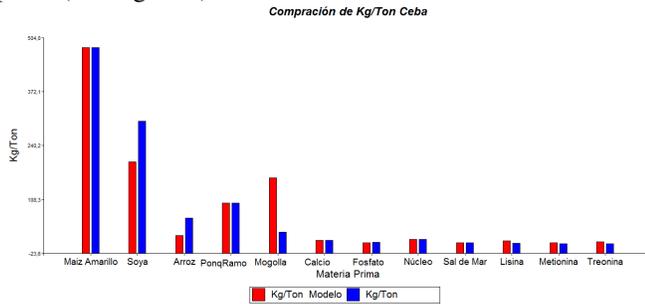


Figura 10. Comparación de pienso kg/Tonelada Ceba
Es importante mencionar que la materia prima que mas aumento en la dieta de los cerdos fue la Mogolla y se reduho sustancialmente la soya (ver figura 10).

- Resultados modelo matemático en la etapa de Finalización



Figura 11. Resultado de ejecución del modelo Finalizador

Finalmente en la etapa del levante los resultados son satisfactorios porque se minimizaron los costos por tonelada del alimento de los cerdos en de 221.313 pesos (Ver figura 11).

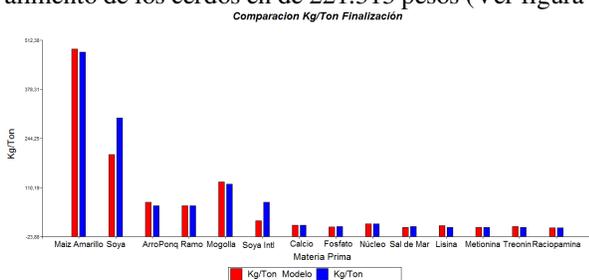


Figura 12. Comparación de pienso kg/Tonelada Finalizador

CONCLUSIONES

- Se propuso un modelo de optimización a mínimo costo para la gestión de información de la producción porcina en pie (levante, ceba y finalizador) para la finca “La Esperanza” en la vereda Tierra Negra Fusagasugá (Cundinamarca), cumpliendo con los

niveles prácticos y máximos de inclusión de los alimentos en las raciones de cerdos en crecimiento que establece la fundación española para el desarrollo de la nutrición animal (FEDNA), ajustados a los requerimientos máximos de la finca.

- Se desarrolló un prototipo de software(PIGMODEL) orientado a la web para la finca “La Esperanza”, codificando el Método Simplex de 2 fases para simular los modelos matemáticos de optimización formulados para cada una de las etapas del proceso productivo porcino en pie(levante, ceba y finalizador), bajo las premisas de simplicidad y flexibilidad destinado a apoyar en forma específica el manejo y control de los costos de la alimentación en las etapas de crecimiento, operando con datos cuantificados por técnicos y/o productores, con o sin conocimientos de informática que permita la minimización de costos de piensos porcinos en pie en cada una de las etapas.
- Para cada una de las etapas teniendo en cuenta la materia prima requerida, se minimizó el costo total por tonelada en el alimento de los porcinos en aproximadamente 200.000 pesos

RECOMENDACIONES

- Complementar el software PIDMODEL para que realice la estadística descriptiva de los datos de entrada y salida, además realizar módulos contables con sus respectivos reportes que permita visualizar los cambios obtenidos por la granja con el paso del tiempo y finalmente la funcionalidad de guardar la información obtenida y con esto recuperar y generar informes del inventario.
- Ajustar el modelo matemático de optimización de la producción porcina en pie (levante, ceba, y finalizador) y aplicar en futuras investigaciones los requerimientos nutricionales en cuanto a fuentes de energía, proteína bruta, fibra, lípidos, vitaminas, oligoelementos y agua, que permitan maximizar la ganancia de peso, el porcentaje de magro, la ganancia de peso con piensos formulados al mínimo costo, además minimizar el costo de los piensos y la alimentación.

REFERENCIAS

[1] Cruz, E, Almagel R, Mederos C,,” Sistema de cama profunda en la producción porcina a pequeña escala,” Rev. Cient. (Maracaibo) v.19 n.5 Maracaibo. 2009. [online]. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_artext&t&pid=S0798-22592009000500009

- [2] Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, FEDNA. Tablas FEDNA 2010-2016-noviembre. [Online]. Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo>.
- [3] Kniberg, H. Scrum and XP from the Trenches, 2nd ed, InfoQ, 2015.
- [4] Wayne W. "Investigación de operaciones. Aplicaciones y Algoritmos", 4 ed., México: Thomson, 2005, pp. 127-191.
- [5] Bronson R. (1993). "Investigación de operaciones". Colección Schaum- Editorial Mc Graw Hill.
- [6] Cañas R.C. "Alimentación y Nutrición Animal", 2 ed., Chile: Ediciones Facultad de Agronomía. Universidad Católica de Chile. 2000.
- [7] Vietes, C, L Basso, R Cañas Cruchaga, "Producción Porcina. Estrategias para una empresa porcina sustentable". Hemisferio Sur. Buenos Aires. (AR). 1997, Capítulo 12.
- [8] Alagón, H.G.; Moscoso, M.J. y Quispe, Q.E.J. (2001). Formulación computarizada de raciones para aves, cerdos y truchas. CISPAAZ-FAZ-UNSAAC. Cusco, Perú. [Online]. Disponible en: <http://elmerq.pe.tripod.com/lp.htm>
- [9] Jiménez, G. *Optimización*. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. 1 ed., 2009.
- [10] Campabadal, C. y Navarro, G. (1995). "El papel de los ingredientes en la formulación de alimentos balanceados por computadora". Editorial C.I.N.A. – UCR – A.A.S.
- [11] Charaja, M. (2000). "Métodos de optimización I". Editorial EPG-MGE-UNA. Puno - Perú.
- [12] Church, D. y Pond, W. (1992). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Editorial Limusa. México.
- [13] Córdova, A. (1993). "Alimentación animal". Editec Concytec. Lima, Perú.
- [14] Eppen, Gould y Schlmtdt "Investigación de Operaciones en las Ciencias Administrativas". Editorial Prentice Hall. México.
- [15] Fourier, R. (1999). "Linear Programming Frequently Asked Questions. Optimization Technology Center of Northwestern University and Argonne National Laboratory". <http://www-unix.mcs.anl.gov/otc/Guide/faq/linearprogramming-faq.html>
- [16] Hillier y Lieberman. (1986). "Introducción a la Investigación de Operaciones". Editorial Mc. Graw Hill. México. Mathur k. y Solow D. (2000). "Investigación de operaciones. El arte de la Toma de Decisiones. Editorial Prentice Hall Hisp.
- [17] Momparler J. (2004). "Aplicación práctica de los modelos matemáticos a la gestión de las Pymes". Castellon – España.
- [18] Moskowitz H. y Wright G. (1992). Editorial Prentice Hall. Mexico.
- [19] Namakforoosh. (2002). "Investigación de operaciones. Introducción a modelos y casos". Editorial Limusa.
- [20] National Research Council (1988). Nutrient Requirements of Swine. NAP. Washington D.C.
- [21] National Research Council (1994). "Nutrient Requirements of Poultry". NAP. Washington D.C.
- [22] Pesti, G.; Miller, B. y and Hargrave, J. (1992). User-Friendly Feed Formulation, Done Again (UFFDA). University of Georgia. [24]. Van Nostrand Reinhold. <http://www.uga.edu/~poultry/progs/software.htm>
- [23] Prawda, J. (1986). "Métodos y modelos de Investigación de Operaciones: Representaciones y servicios de ingeniería". Editorial Limusa. Mexico.
- [24] Quispe, Q. (2001). "Zootec: Formulación de raciones balanceadas en aves y cerdos". Editorial FAZ-UNSAAC. Cusco, Perú.
- [25] Shamblin y Stevens. (2000). "Investigación de operaciones. Un enfoque fundamental. Editorial Mac Graw Hill.
- [26] Thierauf y Grosse. (2000). "Toma de decisiones por medio de la investigación de operaciones. Editorial Limusa.
- [27] Trujillo, F. (1987). Métodos matemáticos en la nutrición animal. Editorial McGraw-Hill. México
- [28] Montoro, S. Cómo seleccionar una plataforma de desarrollo para un proyecto web. La Pastilla Roja. (2013, octubre). [Online]. Disponible en: <https://lapastillaroja.net/2013/10/como-seleccionar-plataforma-tecnologica/>