

## Instrumento virtual en LabVIEW para balanceo de raciones de ganado porcino empleando el método simplex

Ing. Jesús Rosales Nevárez <sup>a</sup>, Dra. Merit Cisneros González <sup>b</sup>  
Dr. Manuel Ismael Mata Escobedo <sup>c</sup>, Dr. Marco Antonio Arjona López <sup>d</sup>, M.C. Darío Cisneros Arreola <sup>e</sup>.

<sup>a</sup> Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, [m14041182@vguadiana.tecnm.mx](mailto:m14041182@vguadiana.tecnm.mx), Victoria de Durango, Durango, México. Autor A.

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, [merit.cg@vguadiana.tecnm.mx](mailto:merit.cg@vguadiana.tecnm.mx), Victoria de Durango, Durango, México. Autor B.

<sup>c</sup> Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, [manuel.me@vguadiana.tecnm.mx](mailto:manuel.me@vguadiana.tecnm.mx), Victoria de Durango, Durango, México. Autor C.

<sup>d</sup> Instituto Tecnológico de la Laguna, [marjona@ieec.org](mailto:marjona@ieec.org), Torreón, Coahuila, México Autor D.

<sup>e</sup> Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, [dario.ca@vguadiana.tecnm.mx](mailto:dario.ca@vguadiana.tecnm.mx), Victoria de Durango, Durango, México. Autor E.

### Resumen

En México, durante el año 2022 se produjeron 1 millón 730 mil toneladas de carne de ganado porcino, siendo de gran importancia para el país. Para producir es necesario alimentar al animal desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. Sin embargo, el alimento constituye 2/3 del costo de producción, llegando a superar el 70%. Para optimizarlo, es necesario cumplir con el requerimiento nutricional del cerdo para hacer uso eficiente de la dieta. Para lograrlo, modelos de programación lineal son empleados para calcular raciones de alimento a un mínimo precio. Existen múltiples herramientas computacionales comerciales para balancear raciones, sin embargo, su empleo es difícil y tiene precios elevados, por lo que las vuelven poco accesibles. En este trabajo, se hace uso del software LabVIEW® para desarrollar una herramienta amigable y útil para el balanceo de raciones. Se programó un instrumento virtual (VI) con la capacidad de resolver modelos de programación lineal por método simplex. Para ello se seleccionó un modelo de programación lineal compuesto por 13 ingredientes para alimentar a un cerdo de 20 a 30 kg. El instrumento lee datos desde un archivo separado por comas, procesa arreglos de matrices y vectores, resuelve por método simplex y expone los resultados del balance completo. Los datos calculados por el instrumento cumplen con los requerimientos nutricionales del animal. Lo anterior da la oportunidad de desarrollar un instrumento virtual con mayores capacidades para determinar el balanceo óptimo de raciones.

**Palabras clave:** Instrumento Virtual, LabVIEW, Nutrición de cerdos, Programación lineal, Simplex.

### Abstract

In Mexico, during the year 2022, 1 million 730 thousand tons of pork meat were produced, which has great importance for

the country. To produce it, it is necessary to feed the animal from birth to the age of slaughter. However, feed constitutes from 40 to 70% of the production cost. To optimize this, it is necessary to meet the nutritional requirements of the pig to make efficient use of the diet. Linear programming models are employed to calculate food rations at a minimum cost. There are multiple commercial computational tools for balancing rations, however, they tend to be difficult to use and have high prices making them less accessible. In this work, the software LabVIEW® is used to develop a friendly and useful tool for ration balancing. A virtual instrument (VI) was programmed with the ability to solve linear programming methods using the simplex method. To achieve this, a linear programming model composed of 13 ingredients to feed a pig weighing 20 to 30 kg was selected. The instrument reads data from a comma-separated file, processes arrays of matrices and vectors, solves using the simplex method, and presents the results of the complete balance. The data calculated by the instrument meet the nutritional requirements of the animal. The above provides the opportunity to develop a virtual instrument with greater capabilities to determine an optimal ration balancing.

**Keywords—** LabVIEW, Linear programming, Simplex, Swine nutrition, Virtual instrument.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción ganadera es una actividad económica de suma importancia para un país como México por su amplio territorio, donde gran parte del sector está dedicado a la crianza y venta de ganado. Entre ellos se encuentra el ganado porcino, del cual durante el año 2022 se produjo 1 millón 730 mil toneladas de carne aumentando en un 2.2% con respecto al año anterior y una derrama económica de 87 mil 207 millones de pesos [1].

Toda industria de ganado incluyendo la porcina busca tener un máximo beneficio económico siendo importante la alimentación del animal pues de ésta se deriva el mayor costo de producción que corresponde a 2/3, llegando a superar el 70% valor total por la variabilidad de los precios [2]. Una nutrición ineficiente afecta al animal, la calidad y la rentabilidad [3].

Para lograr el uso eficiente de los alimentos, es necesario balancear correctamente la dieta propuesta. Esto, con el propósito que el animal consuma los nutrientes necesarios para su desarrollo según su etapa de crecimiento o producción. Se ha recurrido a técnicas matemáticas como sistemas de ecuaciones o el cuadrado de Pearson. Sin embargo, dados los avances en el conocimiento de los requerimientos nutricionales, se han vuelto más compleja el proceso del balanceo y ha surgido la necesidad de emplear algoritmos más avanzados [4]. Con estos algoritmos se busca obtener simultáneamente los requerimientos nutricionales, reducir los costos de la ración y establecer condiciones específicas en el balanceo. Por ello se ha optado por emplear

la programación lineal y sus diversas técnicas para optimizar balanceo de raciones de alimento [5].

Por ello existen en el mercado diversas herramientas para lograr dicho propósito, como softwares especializados u hojas de cálculo, sin embargo, son complicados de usar y los precios llegan a ser elevados, dejado en desventaja a pequeños productores al ser poco accesibles. El objetivo es descubrir posibilidad de emplear el entorno de programación grafica de LabVIEW® como herramienta para balanceo de raciones de cerdos por método simplex.

## 2. CONTENIDO

### 2.1 Formulación de dietas para cerdo.

#### 2.1.1 Nutrición de cerdos.

La nutrición es un proceso biológico dentro de todos los seres vivos [6]. Se define como nutrición a los fenómenos interrelacionados por los cuales un ser vivo asimila alimento y lo utiliza para crecer, reparar o mantener tejidos. Al entrar el alimento al organismo, éste es dividido en sus componentes más pequeños conocidos como nutrientes. Estos son asimilados en el organismo a gracias al metabolismo.

Las especies de cerdo resultan ser muy parecidas al ser humano al tener un tracto digestivo similar conformado por una boca, esófago, estomago, baso e intestinos grueso y delgado y cada etapa del sistema digestivo se encarga de ir disolviendo los alimentos, extrayendo los nutrientes necesarios para metabolizar [7].

Un alimento en su totalidad está compuesto de dos partes: agua y materia seca. Ésta última es la que contiene todos los nutrientes aprovechables, la cual se componen por lípidos que se conforman de grasas, carbohidratos, compuestos nitrogenados que comprende las proteínas y ceniza que contiene los minerales. Todos los alimentos pueden contener en mayor o menor medida estos nutrientes. Sin embargo, la absorción de estos nutrientes varía dependiendo de la etapa de crecimiento o producción en la que se encuentre el animal [8].

La energía es la capacidad de realizar un trabajo y en cuestión de los alimentos hace referencia al calor generado por la oxidación del componente. En los alimentos proviene principalmente de los lípidos y carbohidratos. Es expresada en calorías (cal) y en el caso de los cerdos se emplean los términos de energías total, digerible, metabolizable y neta según su empleo.

La proteína cruda proviene del nitrógeno, donde equivale a un 16% del total del nitrógeno total contenido en el alimento. La proteína se compone por cadenas de nitrógeno conocidas como aminoácidos que según su tipo puede realizar una determinada función en el cuerpo. De estas sobresalen la lisina, metionina, trionina, triptófano y valina pues son esenciales y por ello su disponibilidad es escasa.

Los minerales son la parte no orgánica de la materia seca que se dividen en microminerales y macrominerales. Los cuales son necesarios para funciones específicas del organismo y su óptimo desarrollo, la ausencia o exceso de minerales puede afectar negativamente en el crecimiento y funciones [8].

#### 2.1.1 Programación lineal.

La programación lineal es comúnmente utilizada para la formulación de raciones debido a las amplias capacidades de cálculo que éstos manejan [9]. La metodología en la programación lienal consiste en proponer una serie variables de decisión que, mediante un algoritmo, resuelven un problema bajo condiciones dadas, para optimizar una función objetivo. Para el modelo matemático se necesitan tres componentes:

- Función objetivo a maximizar o minimizar
- Variables de decisión
- Restricciones

Por lo tanto, problema de optimización se representa con la siguiente función objetivo:

$$Z = C'x \quad Z: \text{maximo o mínimo} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$Ax = b \quad (2)$$

$$x \geq 0 \quad (3)$$

Donde  $A$  es una matriz  $m$  variables de decisión por  $n$  ecuaciones de desigualdad y  $b$  un vector de  $n$  restricciones. Aplicada a la nutrición de ganado porcino,  $Z$  representa el precio total de la ración,  $C$  es el precio de cada ingrediente,  $x$  representa el peso,  $A$  es el valor nutricional y  $b$  es el requerimiento nutricional del cerdo.

Para resolver un problema de programación lineal necesitade algoritmos de solución. Los más conocidos son el de punto intermedio y método simplex. Este último es más efectivo para ejecutar en computadora debido que obtiene el resultado con menos iteraciones lo que se traduce en mejor uso de hardware computacional. [10]

El método simplex propuesto por [11] es un algoritmo de resolución modelos de programación lineal que busca un resultado más óptimo incluso descartando variables de decisión en el resultado final. Este consiste en convertir las desigualdades en igualdades al añadir variables de holgura o de exceso, para generar una matriz. El algoritmo busca valores para  $x$  (Ec. 2) que se adecuen a las restricciones. En cada iteración el algoritmo prioriza las variables que más convienen para la función objetivo (Ec. 1) hasta cumplir con las restricciones acotadas.

Para el balanceo de raciones, la función objetivo frecuentemente es para minimización, pues si se maximiza el rendimiento se incrementa el costo de la dieta. Esta representa la suma del precio de los ingredientes pues se busca que el precio de la ración tenga el menor costo posible.

### 1.1.3 Interfaz de LabVIEW®

LabVIEW es un entorno de programación gráfico para el desarrollo de instrumentos virtuales, que son programas que emulan un instrumento físico [12]. En estos se pueden desarrollar interfaces gráficas con las funciones que se deseen programar, con potencial para integrar múltiples herramientas de desarrollo que amplían considerablemente las capacidades del instrumento. Entre ellas están las matemáticas para optimización y solución de modelos de programación lineal.

La función de programación lineal por método simplex precisa de vector de la función objetivo (Ec. 1), la matriz de variables de decisión (Ec. 2) y otro vector de restricciones (Ec. 3). Esta función da como resultado a la salida, el valor de  $x$  (Ec. 1), para cada elemento de la función objetivo que sumadas resultan el valor mínimo de la función objetivo. También, dicha función requiere reformular la (Ec. 2) del modelo en la forma  $Ax \geq b$  en la desigualdad que aplique; para ello  $Ax \leq b$  se reformula en  $-Ax \geq -b$ , y  $Ax = b$  se reformula en  $Ax \geq b$  y  $-Ax \geq -b$ .

## 2.2 Materiales y métodos.

### 2.2.1 Programación de la dieta.

La dieta que se formuló para balancear en el VI se obtuvo de [6] mostrada en la Tabla 1, consistió en una combinación de ingredientes secos y suplementos de minerales y proteínas, sus valores de energía, precio y porcentaje de nutrientes por unidad de peso en kilogramos.

En la Tabla 2 se muestran los requerimientos nutricionales del para un cerdo en crecimiento entre 20 a 30 kg para una ración de 100kg.

Tabla 2. Requerimiento nutricional de cerdo de 20-30kg

Requerimientos		
Nutriente	Restricción	Cantidad
PC%	$\geq$	16
ED kcal /Kg	$\geq$	338000
Ca%	$\geq$	0.6
P%	$\geq$	0.5
Lys%	$\geq$	0.7
Met%	$\geq$	0.45

Fuente: NRC 1998.

Para la programación se eligió el precio de los ingredientes como función objetivo para minimizar el costo por tonelada. Las variables de decisión consistieron en los 13 ingredientes. Mientras que las restricciones son los requerimientos nutricionales del cerdo que incluyó el peso de la ración, energía digerible (ED) y porcentajes de Calcio (Ca), Fosforo (P), Proteína cruda (Pc), Lisina (Lys) y Metionina (Met). También cantidades preseleccionadas para la premezcla de vitaminas y minerales de 0.5kg, alfalfa deshidratada de 5kg, harina de pescado de 1.5 kg y trigo de 10kg. El peso total de la ración a balancear fue de 100kg.

Se generó un modelo de programación lineal como se muestra a continuación:

$$\text{Min } Z = \sum_m c_m X_m \quad (4)$$

Sujeto a:

$$\sum_m A_{mn} X_m =, \geq, \leq b_n \quad (5)$$

$$x \geq 0, X = 100 \quad (6)$$

Tabla 1. Ingredientes para dieta y sus valores nutricionales.

Nutriente	Ingrediente												
	Premezcla	Alfalfa deshidratada	Trigo	Harina de pescado	Maiz	Acemite de trigo	Harina de soya	Sebo	fosfato dicalcico	Piedra caliza	L-lisina	Análogo de hidroximetionina	Sal
PC%	0	0.175	0.141	0.723	0.088	0.16	0.44	0	0	0	0.769	0.744	0
ED kcal /Kg	0	2270	3220	2500	3325	2940	3090	7900	0	0	0	0	0
Ca%	0	0.0144	0.0005	0.0229	0.002	0.0012	0.0029	0	0.237	0.357	0	0	0
P%	0	0.0022	0.0037	0.017	0.0028	0.0009	0.0065	0	0.1884	0.002	0	0	0
Lys%	0	0.0073	0.0031	0.057	0.0024	0.0069	0.0293	0	0	0	0.769	0	0
Met%	0	0.002	0.002	0.021	0.002	0.002	0.007	0	0	0	0	0.744	0
Precio \$	0.9	0.137	0.12	0.31	0.077	0.083	0.209	0.22	0.292	0.072	4.08	3.42	0.066

Fuente: Church D.C. 2002.

Donde  $Z$  es el precio total de la mezcla,  $X_m$  cantidad del  $m$ -ésimo ingrediente,  $c_m$  costo por kilogramo del ingrediente  $X_m$ ,  $A_{mn}$  aporte del  $n$ -ésimo nutriente que contiene el  $m$ -ésimo ingrediente y  $b_n$  requerimiento nutricional del  $n$ -ésimo ingrediente. Estos datos fueron almacenados en un archivo CSV que fueron introducidos al VI.

### 2.1 Programación en LabVIEW

La interfaz del instrumento virtual que se diseñó consiste en dos ventanas, una para datos del balanceo y la otra para resultados. En la Figura 1 se exhiben los datos para balancear:

En la parte superior se encuentra el nombre de los ingredientes y el precio, al centro el nombre de los nutrientes, la matriz de variables de decisión, el tipo de restricción y el requerimiento nutricional y en la parte inferior los valores mínimos y máximos que ciertos ingredientes tienen en la mezcla y la ruta del archivo donde se guardaron los datos para el balanceo. La Figura 2 muestra datos tales como el peso de cada ingrediente en el tamaño de ración seleccionada y el aporte nutricional.

Figura 1: Ventana de datos para balancear

Ubicación del archivo  
 C:\Users\...\Simplex\Ejchurch.csv

Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Ventana de resultados

Precio por Kg(\$)  
12.93

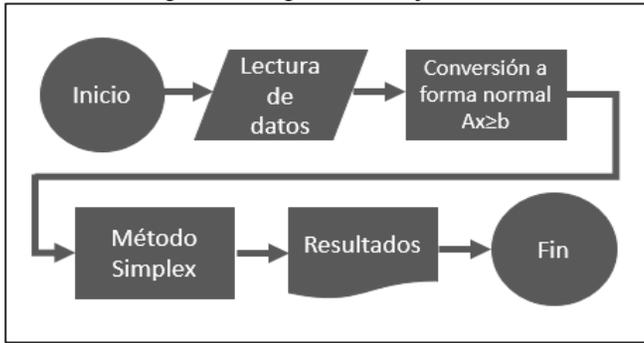
Balance completo

Ingrediente	Premezcla	Alfalfa deshi	Trigo	Harina de	Maiz	Acemite	Harina de s	Sebo	Fosfato d	Piedra caliza	L-lisina	Análogo	Sal	Total:
Total kg	0.500	5.000	10.000	1.500	60.267	0.000	16.303	5.055	0.802	0.366	0.000	0.207	0.000	100.00
PC%	0.000	0.875	1.410	1.085	5.304	0.000	7.173	0.000	0.000	0.000	0.000	0.154	0.000	16.00
ED kcal /Kg	0.000	11350.000	32200.00	3750.000	200388.15	0.000	50375.049	39936.79	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	338000.00
Ca%	0.000	0.072	0.005	0.034	0.121	0.000	0.047	0.000	0.190	0.131	0.000	0.000	0.000	0.60
P%	0.000	0.011	0.037	0.026	0.169	0.000	0.106	0.000	0.151	0.001	0.000	0.000	0.000	0.50
Lys%	0.000	0.036	0.031	0.086	0.145	0.000	0.478	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.78
Met%	0.000	0.010	0.020	0.032	0.121	0.000	0.114	0.000	0.000	0.000	0.000	0.154	0.000	0.45
Precio \$	0.450	0.685	1.200	0.465	4.641	0.000	3.407	1.112	0.234	0.026	0.000	0.707	0.000	12.93

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de flujo para el VI se muestra en la Figura 3. La primera función del instrumento fue extraer los datos del archivo CSV. Luego se generó la matriz de variables de condición y el vector de restricciones ambas convertidas en la forma  $Ax \geq b$ . Después los datos se procesaron en la función de programación lineal por método simplex y los resultados se procesaron para ser visualizados en una tabla de resultados de la figura 2.

Figura 3. Diagrama de flujo del VI



Fuente: Elaboración propia

### 3. Resultados.

Al correr el instrumento virtual, el programa arrojó los datos mostrados en la Figura 4. A la salida entregó el precio mínimo y los valores de  $x$  multiplicados por los valores de la matriz de variables de decisión, que dieron como resultado el balance de la ración y la cantidad de nutrientes que cada ingrediente aporta a la mezcla.

Se obtuvo el balance de una mezcla para cien kilogramos en total donde el algoritmo seleccionó 10 ingredientes que cumplen con las restricciones establecidas de aporte nutricional y peso. La tabla 3 muestra los ingredientes que el VI seleccionó y el peso que tendrá en la mezcla. También el aporte nutricional total que la mezcla ofrece comparado con el requerimiento del cerdo seleccionado es mínimo. Los resultados obtenidos con instrumento virtual cumplen con el requerimiento nutricional establecido.

Tabla 3: Ingrediente y composición nutricional de la dieta (Base tal como ofrecido)

<i>Ingrediente</i>	<i>Kg</i>	
Alfalfa deshidratada	5	
Análogo de hidroximetionina	0.207	
Fosfato dicálcico	0.802	
Harina de pescado	1.5	
Harina de soya	16.303	
Maíz	60.267	
Piedra caliza	0.366	
Premezcla	0.5	
Sebo	5.055	
Trigo	10	
Total	100	
<i>Composición nutricional</i>	<i>Calculada</i>	<i>Requerimiento</i>
Total, kg	100	100
PC%	16	16
ED kcal /Kg	338000	338000
Ca%	0.6	0.6
P%	0.5	0.5
Lys%	0.78	0.7
Met%	0.45	0.45

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Resultados arrojados por el instrumento virtual.

Ingrediente	Premezcla	Alfalfa de	Trigo	Harina de	Maíz	Acemite	Harina de	Sebo	Fosfato	Piedra cal	L-lisina	Análogo	Sal	Total:
Total kg	0.500	5.000	10.000	1.500	60.267	0.000	16.303	5.055	0.802	0.366	0.000	0.207	0.000	100.00
PC%	0.000	0.875	1.410	1.085	5.304	0.000	7.173	0.000	0.000	0.000	0.000	0.154	0.000	16.00
ED kcal /Kg	0.000	11350.000	32200.000	3750.000	200388.000	0.000	50375.040	39936.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	338000
Ca%	0.000	0.072	0.005	0.034	0.121	0.000	0.047	0.000	0.190	0.131	0.000	0.000	0.000	0.60
P%	0.000	0.011	0.037	0.026	0.169	0.000	0.106	0.000	0.151	0.001	0.000	0.000	0.000	0.50
Lys%	0.000	0.036	0.031	0.086	0.145	0.000	0.478	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.78
Met%	0.000	0.010	0.020	0.032	0.121	0.000	0.114	0.000	0.000	0.000	0.000	0.154	0.000	0.45
Precio \$	0.450	0.685	1.200	0.465	4.641	0.000	3.407	1.112	0.234	0.026	0.000	0.707	0.000	12.93

Fuente: Elaboración propia.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los resultados obtenidos por el instrumento virtual al usar el método simplex son satisfactorios para realizar un balance de raciones y dadas las capacidades de LabVIEW se pueden expandir las funciones del instrumento. Cabe aclarar que el instrumento virtual calcula la composición de la dieta menos costosa, sin embargo, es responsabilidad del usuario establecer las restricciones adecuadas.

Un siguiente paso será añadir una base de datos que incluya la información nutricional de los ingredientes y los requerimientos nutricionales de los cerdos en cada una de sus etapas. Ello dará lugar a integrar todo el proceso del balanceo en un solo VI.

Esto da potencial para crear una interfaz que facilite el proceso de balanceo, haciéndolo propicio como herramienta para el aprendizaje en escuelas o empresas, también la comercialización de un producto cuyas ventajas son simplicidad comparada a los existentes en el mercado el de menor precio.

### 4. REFERENCIAS.

[1] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), “Panorama Agroalimentario 2023”, (2023).

[2] 3tres3(Bernaus, J.), “Costos de producción y precio del alimento”, 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.3tres3.com/es-mx/articulos/costos-de-produccion-y-precio-del-alimento\\_14901/](https://www.3tres3.com/es-mx/articulos/costos-de-produccion-y-precio-del-alimento_14901/). [Accedido en Dic. 14, 2023].

[3] J. E. Pettigrew y M. A. Esnaola, "Swine nutrition and pork quality: A review," J. Anim. Sci., vol. 79, no. suppl\_E, pp. E316–E342, 2001. DOI: 10.2527/jas2001.79E-SupplE316x.

[4] K. D. Haydon, "Current Knowledge Gaps in Swine Nutrition," J. Anim. Sci., vol. 99, no. Supplement\_3, p. 212, 2021. DOI: 10.1093/jas/skab235.385.

[5] L. O. Tedeschi and H. M. Menendez, "Chapter 25 - Mathematical modeling in animal production," en Animal Agriculture, W. B. Fuller, G. C. Lamb, and G. Wu, Eds. Academic Press, 2020, pp. 431-453. ISBN: 9780128170526. DOI: 10.1016/B978-0-12-817052-6.00025-2. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128170526000252>

[6] Pond, W. G., Church, D. C., & Pond, K. R. “Fundamentos de nutrición y alimentación de animales.” Uteha Wiley (2003).

[7] J. Gasa y S. López Vergé, Iniciación a la producción y manejo del ganado porcino: breve manual de inmersión para estudiantes de veterinaria. Barcelona: Universitat Autònoma

de Barcelona, 2016. [En Línea] Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/vguadiana/titulos/50393>

[8] NRC. “Nutrient Requirements of swine” Washington, DC: The National Academies Press. (2012).

[9] H. A. Taha, “Investigación de operaciones” México: Pearson Educación. (2012).

[10] A. A. Roche, A. Kakes, S. Gómez, A. C. Noda, A. Sotolongo y Y. Vega, "Comparación de los métodos SIMPLEX y Punto Interior en la optimización de formulaciones de dietas para el ganado," Rev. Cub. Cienc. Agríc., no. 1, pp. 1–1, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017708002>

[11] D. Gale, "Linear programming and the simplex method," Notices of the AMS, vol. 54, no. 3, pp. 364–369, 2007.

[12] LabVIEW. “LabVIEW programing reference manual”, (2023).

[13] NRC. “Nutrient Requirements of swine.” Washington, DC: The National Academies Press. (1998).

[14] D. Fylstra, L. Lasdon, J. Watson y A. Waren, "Design and Use of the Microsoft Excel Solver," Interfaces, vol. 28, no. 5, pp. 29–55, octubre 1998. DOI: 10.1287/inte.28.5.29. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1287/inte.28.5.29>