

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

## Manual para formular dietas para aves

### en Solver - Excel



**Leodan Tadeo Rodríguez-Ortega, Filogonio Jesús Hernández-Guzmán, Alejandro Rodríguez-Ortega, Elba Ronquillo-de Jesús, Erick Zúñiga-Estrada, Vicki Katherine Hernández-Martínez, Jorge Vargas-Monter, Diana Sifuentes-Saucedo, Juan Noguez-Estrada**

## 2024



# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

## Universidad Politécnica de Francisco I. Madero

Carretera Tepatepec - San Juan Tepa, kilómetro 2, Hidalgo, México,

Francisco I. Madero, Hidalgo. México. CP 42660

## Libro: Manual para formular dietas para aves en Solver - Excel

**ISBN: 978-607-9260-28-6**

**Primera edición: Julio del 2024**

### Comité Científico Editorial:

Leodan Tadeo Rodríguez-Ortega

Filogonio Jesús Hernández-Guzmán

Alejandro Rodríguez-Ortega

Elba Ronquillo-de Jesús

Erick Zúñiga-Estrada

Vicki Katerine Hernández-Martínez

**Derechos Reservados:** esta publicación se distribuye en formato PDF de forma gratuita en la página de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero (<https://upfim.edu.mx/>) en la sección de publicaciones (<https://upfim.edu.mx/publicaciones/>). Está prohibida su modificación o edición en cualquier otro formato. En este manual se presentan los pasos necesarios para formular raciones para aves.



# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

## Directorio

### **Dr. Leoncio Marañón Priego**

Rector de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Tepatepec,  
Hidalgo, México

### **Dr. Edgar León Olivares**

Secretario Académico de la UPFIM

### **L. C. Homero Gómez Ramírez**

Secretario Administrativo de la UPFIM



# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

## Índice de contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>ESPECIFICACIONES NUTRICIONALES DEL POLLO DE ENGORDA Y GALLINA DE POSTURA .....</b>	<b>11</b>
2.1	Requerimientos nutricionales del pollo de engorda .....	11
2.2	Requerimientos nutricionales de una gallina.....	14
2.3	Composición nutricional de los ingredientes .....	15
<b>3</b>	<b>FORMULACIÓN DE DIETAS A MÍNIMO COSTO EN SOLVER.</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>31</b>



# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Necesidades de energía metabolizable y proteína para pollos de engorda de la línea Ross 308, mixtos con un objetivo de peso vivo de 2.0 a 3.5 kg (Fuente: Especificaciones nutricionales, Ross, 2022).....	11
<b>Cuadro 2.</b> Necesidades de macrominerales y minerales traza para pollos de engorda de la línea Ross 308, mixtos con un objetivo de peso vivo de 2.0 a 3.5 kg (Fuente: Especificaciones nutricionales, Ross, 2022).....	12
<b>Cuadro 3.</b> Necesidades de vitaminas para pollos de engorda de la línea Ross 308, mixtos con un objetivo de peso vivo de 2.0 a 3.5 kg (Fuente: Especificaciones nutricionales, Ross, 2022). .....	13
<b>Cuadro 4.</b> Requerimientos nutricionales para gallinas W36- Hy-Line International, Aminoácidos digestibles ileales estandarizados (verdaderos)...	14
<b>Cuadro 5.</b> Composición de cereales, subproductos y fuentes de proteína de origen vegetal. ....	15
<b>Cuadro 6.</b> Composición de las fuentes de origen animal. ....	16
<b>Cuadro 7.</b> Energía metabolizable de ingredientes utilizados en la formulación de alimento para aves. ....	17
<b>Cuadro 8.</b> Contenido de materia seca, proteína cruda, grasa, fibra, cenizas, calcio y fósforo de los ingredientes más utilizados en la formulación de alimento para aves. ....	19



# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Opciones de Excel, al final se encuentra Complementos.....	7
<b>Figura 2.</b> Opciones de Excel, click en Administrar: Complementos de Excel.	8
<b>Figura 3.</b> Solver, dar Click en Aceptar y Solver aparece ya cargado en Datos. .....	8
<b>Figura 4.</b> En Datos en el extremo derecho se encuentra Solver. ....	9
<b>Figura 5.</b> Método de resolución Simplex LP. ....	10
<b>Figura 6.</b> La unidad de actividad (UA=1 Kg). ....	21
<b>Figura 7.</b> Fila de ingredientes y costos.....	21
<b>Figura 8.</b> Sección de aporte nutricional de los ingredientes .....	22
<b>Figura 9.</b> Identificar el aporte de nutrimentos de cada ingrediente. ....	23
<b>Figura 10.</b> Signos en la columna Tipo. ....	23
<b>Figura 11.</b> Requerimientos nutricionales de la especie.....	24
<b>Figura 12.</b> Iniciando con el programa Solver.....	25
<b>Figura 13.</b> Restricciones nutricionales .....	26
<b>Figura 14.</b> Restricciones ya en el programa Solver. ....	27
<b>Figura 15.</b> Solver encontró una solución. ....	28
<b>Figura 16.</b> Diseño de restricciones de ingredientes en la platilla de Excel....	28
<b>Figura 17.</b> Restricción del uso de maíz.....	29
<b>Figura 18.</b> Restricción del uso del sorgo.....	29
<b>Figura 19.</b> Restricción del uso de la pasta de soya. ....	30
<b>Figura 20.</b> Solver ha encontrado una solución.....	30

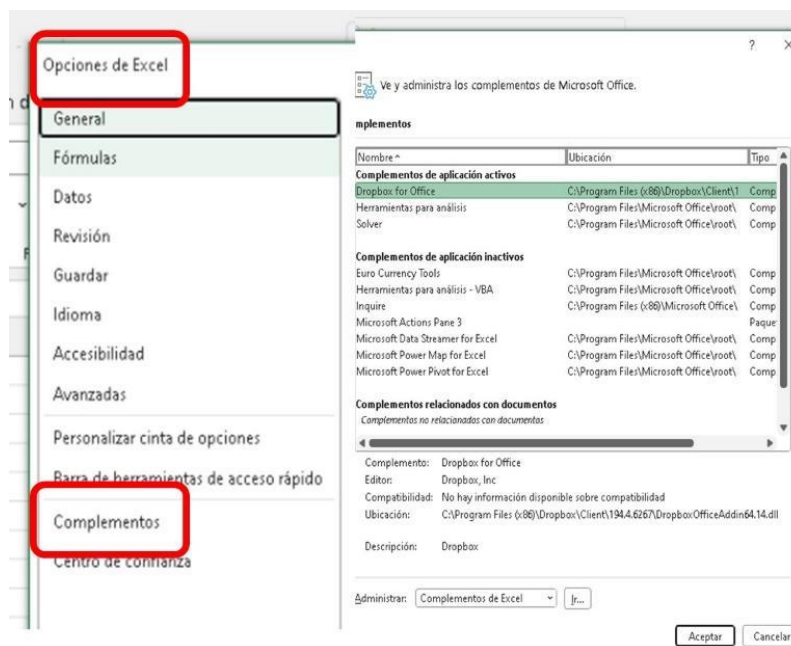
# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

## 1 INTRODUCCIÓN

El Solver de Excel está disponible en todas las hojas de Excel, sin embargo, es necesario cargarlo antes de usarlo, normalmente el Solver no está activo cuando se carga Excel por que ocupa memoria (Gutiérrez-Villaverde, 2021).

Solver es una herramienta para resolver problemas de programación lineal y optimizar ecuaciones mediante el uso de métodos numéricos, con este programa se puede buscar el valor óptimo para una celda **denominada celda objetivo**. En caso de no tener el programa cargado o activo en Datos, deberás **activarlo**:

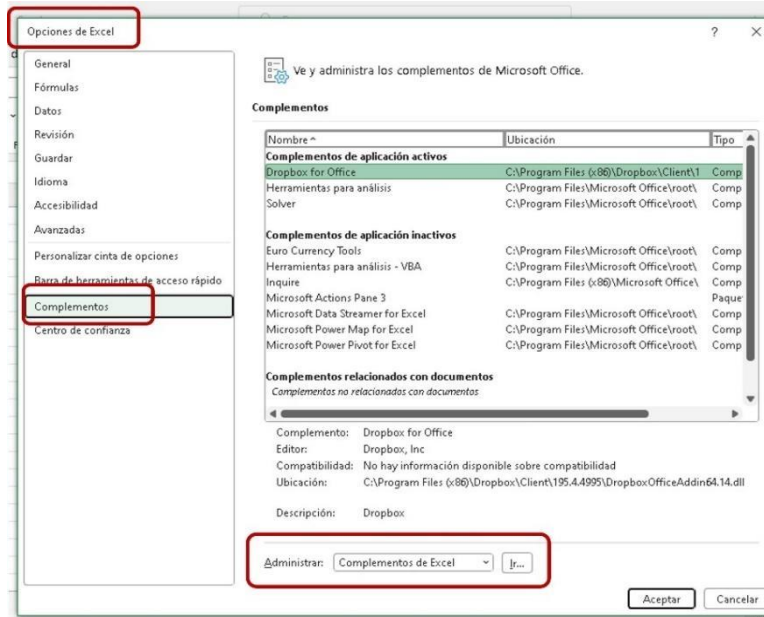
Es necesario abrir una celda en Excel, entrar en **Inicio** al final se encuentran **Opciones**; dar click aquí y entrar en **Opciones de Excel**, estando en esta ventana al final se encuentra **Complementos**; dar click aquí (**Figura 1**).



**Figura 1.** Opciones de Excel, al final se encuentra Complementos.

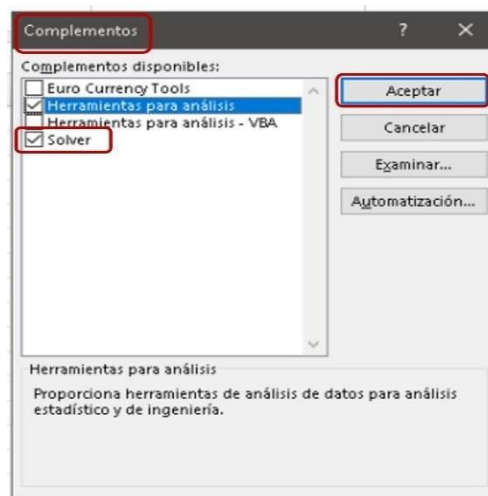
## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

Estando en **Complementos** en la parte final se encuentra una pestaña llamada **Administrar:**  
**Complementos de Excel**, dar click aquí (**Figura 2**).



**Figura 2.** Opciones de Excel, click en Administrar: Complementos de Excel.

Al dar click en **Complementos** de Excel aparece **Complementos disponibles**, una ventana con diferentes complementos, **seleccionar Solver** y dar click en el botón **Aceptar** (**Figura 3**).

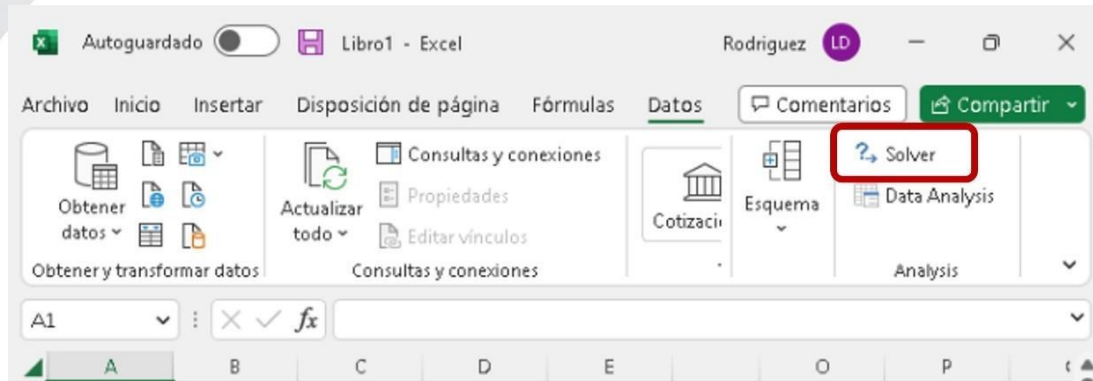


**Figura 3.** Solver, dar Click en Aceptar y Solver aparece ya cardado en Datos.



## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

**Solver** aparece en **Datos de Excel**, cuando este ya fue cargado (Figura 4)



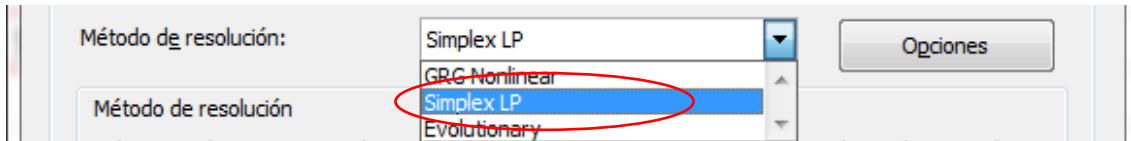
**Figura 4.** En Datos en el extremo derecho se encuentra Solver.

La herramienta **Solver de Excel** es un procedimiento de fácil manejo, cuya ventaja principal es que está disponible en la gran mayoría de computadoras. En la formulación de raciones, 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** (Rosero *et al.*, 2011).

Para la construcción de modelos de **programación lineal** es necesario cumplir con los siguientes requisitos: 1) **Definir la función objetivo** que la optimización desea alcanzar. En el balance de raciones la función objetivo es formular a mínimo costo; 2) **Definir las restricciones y criterios de decisión**. Estos límites y criterios de decisión se refieren a las restricciones en cuanto a la utilización de materias primas y características bromatológicas de la ración a formular (Rosero *et al.*, 2011).

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

La elaboración de una dieta es un problema de **Programación Lineal**, por tal motivo se utilizará el **Método Simplex**. El Método Simplex se encuentra en la pestaña de **Método de resolución en Solver** (Figura 5).



**Figura 5.** Método de resolución Simplex LP.

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

## 2 ESPECIFICACIONES NUTRICIONALES DEL POLLO DE ENGORDA Y GALLINA DE POSTURA

### 2.1 Requerimientos nutricionales del pollo de engorda

La velocidad de crecimiento del pollo de engorda actual es resultado de una intensa selección y cruzamiento genético, por ello, la alimentación es importante para lograr la máxima expresión productiva. La alimentación del pollo se ha dividido en etapas o fases de alimentación, con el objetivo de cubrir los requerimientos nutrimentales, y así reducir los costos de alimentación. La línea Ross en el año 2022 publicó las especificaciones nutricionales, un documento en el cual establecieron las necesidades nutricionales del pollo de engorda de la línea Ross (**Cuadro 1, Cuadro 2 y Cuadro 3**).

**Cuadro 1.** Necesidades de energía metabolizable (EM) y proteína (PC) para pollos de engorda de la línea Ross 308, mixtos (hembras y machos) con un objetivo de peso vivo de 2.0 a 3.5 kg (Fuente: Especificaciones nutricionales, Ross, 2022).

		Cría	Crecimiento	Finalización 1	Finalización 2
<b>Edad</b>	días	0-10	11-24	25-39	40-mercado
<b>Energía (EM) por kg</b>	<b>kcal</b>	<b>2975</b>	<b>3050</b>	<b>3100</b>	<b>3125</b>
	MJ	12.4	12.8	13.0	13.1
<b>Aminoácidos digestibles<sup>1</sup></b>					
<b>Lisina</b>	%	<b>1.32</b>	<b>1.18</b>	<b>1.08</b>	<b>1.02</b>
Metionina + Cistina	%	1.00	0.92	0.86	0.82
Metionina	%	0.55	0.51	0.48	0.45
Treonina	%	0.88	0.79	0.72	0.68
Valina	%	1.00	0.91	0.84	0.80
Isoleucina	%	0.88	0.80	0.75	0.70
Arginina	%	1.40	1.27	1.17	1.12
Triptófano	%	0.21	0.19	0.17	0.16
Leucina	%	1.45	1.30	1.19	1.12
<b>Proteína Bruta<sup>2</sup></b>	%	<b>23.0</b>	<b>21.5</b>	<b>19.5</b>	<b>18.0</b>

Liga consultada: [https://aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/Ross-BroilerNutritionSpecifications2022-ESEU.pdf](https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerNutritionSpecifications2022-ESEU.pdf)

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

Los minerales son indispensables en el funcionamiento y desarrollo de los órganos, tejidos y células, por tal motivo, es necesario cubrir los requerimientos en cada etapa fisiológica (**Cuadro 2**). El calcio es un macromineral abundante en el cuerpo de las aves, se encuentra en cantidades elevadas en los huesos y cumple importantes funciones celulares en órganos como: corazón, intestino y músculos.

**Cuadro 2.** Necesidades de macrominerales y minerales traza para pollos de engorda de la línea Ross 308, mixtos con un objetivo de peso vivo de 2.0 a 3.5 kg (Fuente: Especificaciones nutricionales, Ross, 2022).

		<b>Cría</b>	<b>Crecimiento</b>	<b>Finalización 1</b>	<b>Finalización 2</b>
<b>Edad</b>	días	0-10	11-24	25-39	40-mercado
<b>Energía (EM) por kg</b>	kcal	2975	3050	3100	3125
<b>Minerales</b>					
Calcio	%	0.95	0.75	0.65	0,60
Fósforo disponible	%	0.50	0.42	0.36	0,34
Magnesio	%	0.05-0.30	0.05-0.30	0.05-0,30	0,05-0,30
Sodio	%	0.18-0.23	0.18-0.23	0.18-0.23	0,18-0,23
Cloro	%	0.18-0.23	0.18-0.23	0.18-0.23	0,18-0,23
Potasio	%	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
<b>Minerales traza añadidos por kg</b>					
Cobre	mg	16	16	16	16
Yodo	mg	1.25	1.25	1.25	1.25
Hierro	mg	20	20	20	20
Manganeso	mg	120	120	120	120
Selenio	mg	0.30	0.30	0.30	0.30
Zinc	mg	120	120	120	120

Liga consultada: [https://aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/Ross-BroilerNutritionSpecifications2022-ESEU.pdf](https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerNutritionSpecifications2022-ESEU.pdf)

El fósforo es un macromineral que se encuentra asociado con el calcio, ambos se encuentran formando las estructuras óseas, de forma individual el fósforo está involucrado en la formación de ATP, las vitaminas son sustancias necesarias para el desarrollo del pollo de engorda (**Cuadro 3**).

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

**Cuadro 3.** Necesidades de vitaminas para pollos de engorda de la línea Ross 308, mixtos con un objetivo de peso vivo de 2.0 a 3.5 kg (Fuente: Especificaciones nutricionales, Ross, 2022).

		Cría	Crecimiento	Finalización 1	Finalización 2
<b>Edad</b>	días	0-10	11-24	25-39	40-mercado
<b>Energía (EM) por kg</b>	kcal	<b>2975</b>	<b>3050</b>	<b>3100</b>	<b>3125</b>
<b>Vitaminas añadidas por Kg</b>	UI	13000	11000	10000	10000
Vitamina A	UI	5000	4500	4000	400
Vitamina D <sub>3</sub>	UI	80	65	55	55
Vitamina K (Menadiona)	mg	4.0	3.6	3.2	3.2
Tiamina (B <sub>1</sub> )	mg	5	4	3	3
Riboflavina (B <sub>2</sub> )	mg	9	8	7	7
Niacina	mg	70	65	50	50
Ácido pantoténico	mg	25	20	15	15
Piridoxina (B <sub>6</sub> )	mg	5	4	3	3
Biotina	mg	0.35	0.28	0.22	0.22
Ácido fólico	mg	2.5	2.0	1.8	1.8
Vitamina B <sub>12</sub>	mg	0.02	0.018	0.016	0.016
<b>Especificación mínima</b>	mg				
Colina por kg	mg	1700	1600	1500	1450
Ácido linoleico	%	1.25	1.20	1.00	1.00

<sup>1</sup>Para alcanzar los niveles de aminoácidos indicados, puede ser necesario el uso de aminoácidos para alimentación o dietas más complejas.

<sup>2</sup>La formulación debe centrarse en lograr un perfil de aminoácidos adecuado. Estos niveles de proteína bruta no son un requisito en sí mismo, sino que son niveles que probablemente pueden alcanzarse en dietas basadas en maíz/trigo y harina de soja y garantizar una reserva funcional de aminoácidos no esenciales.

Liga consultada (11 de julio del 2024):

[https://aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/Ross-BroilerNutritionSpecifications2022-ESEU.pdf](https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerNutritionSpecifications2022-ESEU.pdf)

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

### 2.2 Requerimientos nutricionales de una gallina

El huevo es uno de los productos de la canasta básica en México, es una fuente importante de proteína. Las gallinas ligeras o también llamadas aves de postura o ponedoras son de bajo peso vivo por lo que necesitan cubrir sus necesidades nutricionales con la dieta, el **Cuadro 4**, señala los requerimientos de nutricionales de una gallina Hy-Line W36.

**Cuadro 4.** Requerimientos nutricionales para gallinas W36- Hy-Line International, Aminoácidos digestibles ileales estandarizados (verdaderos).

Item <sup>1</sup>	Iniciación	Iniciación 2	Crecimiento	Desarrollo	Pre-postura
Alimento a un peso corporal Edad aproximada	170g 0-3 semanas	410g 4-6 semanas	1160g 7-12 semanas	1160g 13-15 semanas	1240g 16-17 semanas
Concentración recomendada					
<b>Energía metabolizable, kcal/Kg</b>	<b>2977-3087</b>	<b>2977-3087</b>	<b>2977-3087</b>	<b>2777-3131</b>	<b>2911-2955</b>
Concentración mínima recomendada Aminoácidos digestibles ideales estandarizados (verdaderos)					
Lisina, %	1.05	0.98	0.88	0.76	0.78
Metionina, %	0.47	0.44	0.40	0.36	0.38
Metionina+cistina, %	0.74	0.74	0.67	0.59	0.66
Treonina, %	0.69	0.66	0.60	0.52	0.55
Triptófano, %	0.18	0.18	0.17	0.15	0.16
Arginina, %	1.12	1.05	0.94	0.81	0.83
Isoleucina%	0.74	0.71	0.65	0.57	0.62
Valina, %	0.76	0.73	0.69	0.61	0.66

Liga consultada (11 de julio del 2024): <https://lebascom.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/09/guia-comercial-hy-line-2013.pdf>

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

### 2.3 Composición nutricional de los ingredientes

Las dietas para aves se formulan a partir de una mezcla de ingredientes (**Cuadro 5**) como: maíz, sorgo, pasta de soya, harina de pescado, aceite, minerales, vitaminas y aditivos, estos ingredientes deben estar balanceados para cubrir las necesidades nutricionales de las aves.

**Cuadro 5.** Composición de cereales, subproductos y fuentes de proteína de origen vegetal.

Ingredientes	Proteína	Arg	Hist	Iso	Leu	Lis	Met	Cist	Fenil	Treo	Trip	Val
<b>Cereales</b>												
Cebada	9.0	0.50	0.23	0.42	0.80	0.40	0.20	0.20	0.60	0.36	0.20	0.60
<b>Maíz</b>	<b>8.8</b>	<b>0.37</b>	<b>0.20</b>	<b>0.5</b>	<b>1.10</b>	<b>0.22</b>	<b>0.18</b>	<b>0.18</b>	<b>0.47</b>	<b>0.40</b>	<b>0.09</b>	<b>0.42</b>
Sorgo amargo (alto en taninos)	8.8	0.34	0.20	0.42	1.18	0.21	0.16	0.17	0.42	0.29	0.10	0.50
<b>Sorgo dulce (bajo en taninos)</b>	<b>11.0</b>	<b>0.35</b>	<b>0.25</b>	<b>0.43</b>	<b>1.37</b>	<b>0.22</b>	<b>0.15</b>	<b>0.17</b>	<b>0.52</b>	<b>0.30</b>	<b>0.09</b>	<b>0.53</b>
Trigo (grano blando en harina)	10.2	0.45	0.20	0.69	0.60	0.30	0.15	0.20	0.50	0.28	0.14	0.48
Triticale	12.5	0.50	0.39	0.70	0.80	0.41	0.22	0.30	0.50	0.37	0.14	0.51
<b>Subproductos</b>												
Acemite de trigo	15.3	0.96	0.40	0.55	1.06	0.65	0.12	0.19	0.50	0.50	0.19	0.72
Pulido de arroz	12.9	0.95	0.25	0.43	0.80	0.36	0.25	0.27	0.90	0.45	0.11	0.70
<b>Salvado de trigo</b>	<b>15.0</b>	<b>1.07</b>	<b>0.30</b>	<b>0.58</b>	<b>0.93</b>	<b>0.61</b>	<b>0.21</b>	<b>0.32</b>	<b>0.60</b>	<b>0.49</b>	<b>0.30</b>	<b>0.71</b>
<b>Fuentes de proteína de origen vegetal</b>												
Canola	32.0	1.89	0.95	1.25	2.18	1.29	0.75	0.80	1.26	1.76	0.44	1.63
<b>Granos secos de destilería con Solubles (DDGS) dorado</b>	<b>27.0</b>	<b>1.15</b>	<b>0.83</b>	<b>1.08</b>	<b>3.54</b>	<b>0.72</b>	<b>0.49</b>	<b>0.56</b>	<b>1.48</b>	<b>0.98</b>	<b>0.22</b>	<b>1.52</b>
<b>Granos secos de destilería + Solubles (DDGS) rojizo</b>	<b>27.0</b>	<b>1.00</b>	<b>0.69</b>	<b>0.96</b>	<b>3.07</b>	<b>0.65</b>	<b>0.47</b>	<b>0.45</b>	<b>1.28</b>	<b>0.91</b>	<b>0.18</b>	<b>1.31</b>
<b>Gluten de maíz</b>	<b>60.0</b>	<b>1.93</b>	<b>1.22</b>	<b>2.30</b>	<b>9.2</b>	<b>1.00</b>	<b>1.4</b>	<b>1.10</b>	<b>3.8</b>	<b>1.97</b>	<b>0.30</b>	<b>2.70</b>
Harina de alfalfa	17.5	0.75	0.35	0.84	1.26	0.73	0.28	0.20	0.80	0.70	0.40	0.90
Pasta de ajonjolí	43.8	5.0	1.10	2.12	3.20	1.30	1.50	0.59	2.22	1.65	0.80	2.41
Pasta de algodón	41.4	4.6	1.10	1.30	2.40	1.67	0.50	0.62	2.22	1.32	0.47	1.89
Pasta de cártamo	23.4	1.95	0.50	0.28	1.20	0.72	0.33	0.35	1.00	0.50	0.27	1.00
Pasta de girasol	34	2.80	1.50	1.39	2.40	1.42	0.64	0.55	1.61	1.48	0.35	1.64
<b>Pasta de soya</b>	<b>44</b>	<b>3.28</b>	<b>1.10</b>	<b>2.40</b>	<b>3.40</b>	<b>2.90</b>	<b>0.64</b>	<b>0.63</b>	<b>2.20</b>	<b>1.70</b>	<b>0.60</b>	<b>2.40</b>

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

**Cuadro 6.** Composición de las fuentes de origen animal.

Ingredientes	Proteína	Arg	Hist	Iso	Leu	Lis	Met	Cist	Fenil	Treo	Trip	Val
<b>Fuentes de proteína de origen animal</b>												
Harina de carne	45	2.70	0.83	1.12	2.63	2.20	0.53	0.40	1.55	1.36	0.22	1.86
Harina de carne	50	3.35	0.90	1.43	3.30	2.73	0.56	0.45	1.79	1.66	0.28	2.21
Harina de carne	55	3.77	1.10	1.66	3.34	2.88	0.75	0.56	1.91	1.85	0.35	2.43
<b>Harina de pescado (Achoveta p.)</b>	<b>64</b>	<b>3.38</b>	<b>1.50</b>	<b>3.01</b>	<b>5.00</b>	<b>4.90</b>	<b>1.80</b>	<b>0.60</b>	<b>2.40</b>	<b>2.70</b>	<b>0.75</b>	<b>3.4</b>
Harina de pluma	75	5.60	0.50	2.66	6.50	1.05	0.67	3.38	3.88	6.40	0.57	5.20
Harina de sangre	81	2.35	3.05	0.78	10.53	6.90	1.00	1.11	5.10	3.70	1.00	5.20

Datos tomados de Cuca et al. 1996. Ajinomoto, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Tablas brasileñas para aves y cerdos 2005. Feedstuffs ingredient analysis table 2006.

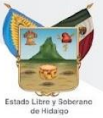
Cuca-García M., Ávila González E., Pro-Martínez A. 2009. Alimentación de las aves, Universidad Autónoma Chapingo. 25 p.



## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

**Cuadro 7.** Energía metabolizable de ingredientes utilizados en la formulación de alimento para aves.

Ingredientes	Kcal de energía metabolizable / kg de alimento
<b>Fuentes concentraciones de energía</b>	
Aceite de soya acidulado	8100
Aceites vegetales	8790-8950
Almidón	3650
Azúcar	3720
Grasa de cerdo	8080-8600
Sebo grado alimenticio	6900
<b>Cereales</b>	
Cebada	2646
<b>Maíz</b>	<b>3350-3380</b>
Sorgo amargo (alto en taninos)	2950-3100
Sorgo dulce (bajo en taninos)	3190-3412
Sorgo mezcla	3206-3250
Trigo	3071
Triticale	2990-3030
<b>Subproductos</b>	
Aceite de trigo	1764
Pulido de arroz	2500-2860
Salvado de maíz	1670
Salvado de trigo	1300-1820
<b>Fuentes de proteína de origen vegetal</b>	
Canola	1890-2110
* <b>DDGS</b> color maíz amarillo	3200
* <b>DDGS</b> color naranja cobrizo	2900
Garbanzo cocido	3146
Garbanzo crudo	2946
Gluten de maíz (60% de proteína)	3720
Harina de alfalfa	1360-1650
Pasta de ajonjolí (presión)	2210-2513
Pasta de algodón	2150
Pasta de cártamo	1166-1921
Pasta de girasol	1710-2100
<b>Pasta de soya</b>	<b>2230-2550</b>
Soya integral	3300-3400
<b>Fuentes de proteína de origen animal</b>	
Harina de carne	1906-2638



Harina de pescado (anchoveta)	2882
Harina de pluma	2354-2734
Harina de sangre	2830
Harina de sangre 45%	1937-2375
Harinas de carne y hueso 50%	2530-2638
Harina de carne 55%	2685
Harina de pescado 54	2627

**\*Granos Secos de Destilería con Solubles (DDGS)**

NOTA: Recopilación de datos de varios autores. Valores de la derecha se refieren a ingredientes de un contenido menor de fibra en el caso de las pastas de oleaginosas también a un mayor contenido de aceite. La energía de los sorgos varía de acuerdo con su contenido de taninos.

Cuca-García M., Ávila González E., Pro-Martínez A. 2009. Alimentación de las aves, Universidad Autónoma Chapingo. 137 p.

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

**Cuadro 8.** Contenido de materia seca, proteína cruda, grasa, fibra, cenizas, calcio y fósforo de los ingredientes más utilizados en la formulación de alimento para aves.

Ingredientes	Características de calidad	MS %	PC %	Grasa %	Fibra %	Cenizas %	Calcio %	Fósforo disponible %
Cereales								
Cebada		88	11.2 4	1.65	5.6	2.8	0.08	0.15
<b>Maíz</b>		<b>87</b>	<b>8.07</b>	<b>3.00</b>	<b>1.8</b>	<b>1.20</b>	<b>0.03</b>	<b>0.08</b>
Maíz alto en grasa		87	8.30	6.0	2.4	1.20	0.01	0.08
Maíz alto en lisina		88	8.30	3.7	1.5	1.10	0.04	0.07
Sorgo	Taninos	>0.05	86	8.90	2.4	2.8	1.9	0.03
<b>Sorgo bajo en taninos</b>	<b>Taninos</b>	<b>0.05</b>	<b>87</b>	<b>9.20</b>	<b>3.0</b>	<b>2.3</b>	<b>1.4</b>	<b>0.03</b>
Trigo blando blanco	PC	10	89	10	2.2	3	1.8	0.05
Trigo duro rojo	PC	13	88	13	2.5	3	1.8	0.05
Triticale	PC	12.5	89	12.5	1.5	2.6	1.6	0.04
Subproductos								
Aceite de trigo		89	15	3.6	8	5.5	0.15	0.28
Pulido de arroz		90	12.6	16.2	7.5	8	0.11	0.24
Salvado de trigo		88	15.3	3.5	9.7	5.3	0.14	0.33
<b>Fuentes de proteína de origen vegetal</b>								
Canola			92	30	3.5	12--18	7.2	0.68
Canola	Solubilidad KOH (0.05 %)	50%	91	38	1.23	10.7	6.7	0.56
Gluten de maíz	PC		90	61	2	2.5	2	0.03
Granos secos destilería + solubles (DDGS) dorado	Lisina, color	0.72	88	27	14.2	9	4	0.03
Granos secos destilería + solubles (DDGS) rojizo	Lisina, color	0.65	90	27	14.2	9.5	4	0.03
Harina de alfalfa		17	93	17	3	24	9	1.30
Pasta de ajonjolí		43	95	43	7.01	6.47	10.54	2.5
Pasta de algodón	Solventes		91	41	2	12	5.6	0.16
Pasta de cártamo	PC	23	92	23	1.3	30	4.6	0.34

Pasta de girasol	PC	30	90	31	1.1	24	6.6	0.21	0.14
Pasta de girasol	PC	38	90	36	1.6	20	7	0.28	0.15
Pasta de girasol 42%		42	93	42	2.6	12.2	7	0.37	0.20
Pasta de soya 45% de solvente	Solubilidad KOH	70-79%	89	44	0.5	6.2	6.2	0.25	0.18
Pasta de soya 48	Solubilidad KOH	<60%	88	48	1.6	3	6.3	0.20	0.21
Pasta de soya 48	Solubilidad KOH (0.2%)	>90%	88	47	1.2	3.9	5	0.27	0.25
Soya integral cocida			90	37	18	5.6	4.6	0.24	0.18
<b>Fuentes de proteína de origen animal</b>									
Harina de carne y hueso	PC y cenizas	45%	92	45	13.3	2.5	37-26	10.25	5.45
Harina de carne y hueso	PC y cenizas	50%	93	51	14.4	2.8	33-25	9.2	4.7
Harina de carne y hueso	PC y cenizas	55%	93	55	7.5	2.5	24	8.05	4
Harina de pescado	PC y cenizas	54%	92	54	7.5	1	22.9	5.9	2.87
Harina de pescado anchoveta Per		64%	91	64	10	1	15	4	2.85
Harina de pescado	PC y cenizas	61%	92	61	5.9		19.4	4.7	2.41
Harina de pluma	PC	75%	90	75	5.2		2.2	0.36	0.67
Harina de pluma	PC	84%	91	84	3.2	1.5	3.2	0.2	0.72
Harina de sangre	PC	80%	90	80	1	1	3.8	0.23	0.22
Harina de subproductos de pollo	PC y cenizas	53%	94	53	14	2.5	19	5	2.7

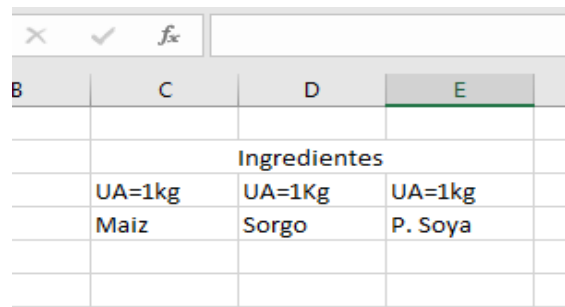
*Cuca et al. 1996, Feedstuffs ingredient analysis table 2006. Tablas Brasileñas para aves y cerdos 2005. Se agradece a Malta Clayton los datos proporcionados.*

Cuca-García M., Ávila González E., Pro-Martínez A. 2009. Alimentación de las aves. Universidad Autónoma Chapingo. 176p.

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

### 3 FORMULACIÓN DE DIETAS A MÍNIMO COSTO EN SOLVER

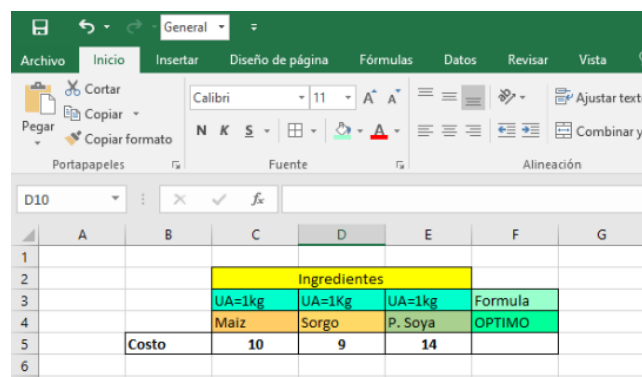
El **primer paso** en la elaboración de una plantilla es definir la **Unidad de Activación (UA)**, es lo que significa la variable cuando esta toma el valor de uno (1; **Figura 6**).



B	C	D	E
	Ingredientes		
	UA=1kg	UA=1Kg	UA=1kg
	Maiz	Sorgo	P. Soya

**Figura 6.** La unidad de actividad (UA=1 Kg).

El programa va a calcular las cantidades necesarias de cada ingrediente y la suma de esas cantidades será uno. El **segundo paso** es definir los ingredientes que se utilizarán (**Figura 7**), estos deben estar disponibles y ser de fácil acceso, que se encuentren fácil mente en los almacenes o con proveedores. El maíz, sorgo y pasta de soya son los ingredientes que se encuentran fácilmente y que se utilizan con mayor frecuencia. El **tercer paso** es seleccionar una fila con el costo por kg de cada ingrediente (**Figura 7**).

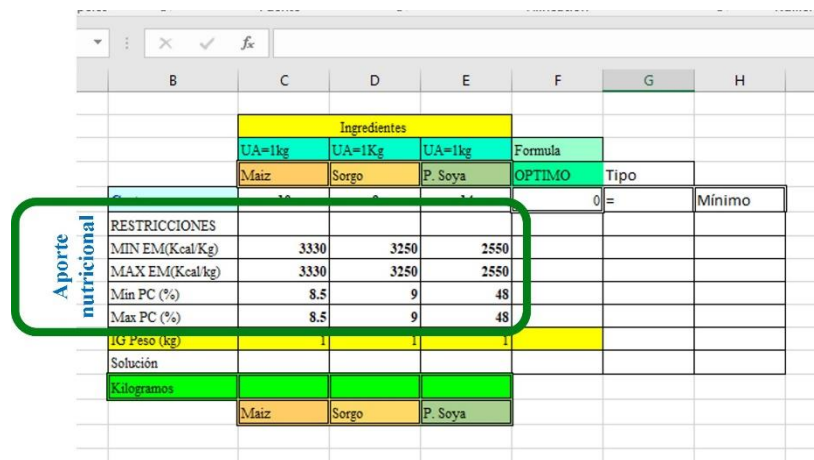


A	B	C	D	E	F	G
1						
2		Ingredientes				
3		UA=1kg	UA=1Kg	UA=1kg	Formula	
4		Maiz	Sorgo	P. Soya	OPTIMO	
5	Costo	10	9	14		
6						

**Figura 7.** Fila de ingredientes y costos.

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

En el **paso cuatro** se especifica el aporte nutricional (**Figura 8**) de cada ingrediente: energía metabolizable, proteína cruda, aminoácidos, minerales y vitaminas. Los aportes nutricionales del: maíz, sorgo y pasta de soya, se pueden **obtener** en los cuadros (5, 6, 7 y 8), en ellos se encuentra información de la composición nutricional de algunos ingredientes. **Paso cinco**, es necesario establecer la **Igualdad de peso (IG)**, esta es igual a uno debido a que se está formulando para un **kg de alimento**, la suma de las cantidades de ingredientes que el programa calcule sumará un kilogramo (Figuras 5 y 6).



		Ingredientes					
		UA=1kg	UA=1Kg	UA=1kg	Formula		
		Maiz	Sorgo	P. Soya	OPTIMO	Tipo	
Aporte nutricional	RESTRICCIONES					0=	Minimo
	MIN EM(Kcal/Kg)	3330	3250	2550			
	MAX EM(Kcal/kg)	3330	3250	2550			
	Min PC (%)	8.5	9	48			
	Max PC (%)	8.5	9	48			
IG Peso (kg)	1	1	1				
Solución							
Kilogramos							
		Maiz	Sorgo	P. Soya			

**Figura 8.** Sección de aporte nutricional de los ingredientes

En el **paso seis** se debe diseñar las **celdas solución y kilogramos**, en la **celda kilogramos** deberá aparecer la **cantidad de ingrediente que el programa calcula**, mientras que en el **paso siete**, se diseña y se establece la **celda ÓPTIMO**, en esta celda se agregará una **fórmula** la cual indicará el **precio de la dieta**. La fórmula será la suma de las multiplicaciones de los precios de cada ingrediente por los kg de este que hayan sido calculados por el programa (**Figura 9**). Para facilitar la fórmula se deben fijar las filas en los aportes nutricionales y fijar la fila y la columna en los kg de ingrediente, de esta manera se podrá copiar la fórmula en

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO







cada una de las celdas de aportes nutricionales en la columna óptimo. En la **celda ÓPTIMO** se calculará el precio de la dieta (**mínimo costo**).

Ingredientes						
	UA=1	UA=2	UA=3	Fórmula		
	Maiz	Sorgo	P. Soya	OPTIMO	Tipo	
Costo	10	9	14	=F9*\$F\$17+\$G9*\$G\$17+\$H9*\$H\$17		
<b>RESTRICCIONES</b>						
MIN EM(Kcal/Kg)	3330	3250	2550	0	>=	3100
MAX EM(Kcal/Kg)	3330	3250	2550	0	<=	3150
Mín PC (%)	8.5	9	48	0	>=	19
Max PC (%)	8.5	9	48	0	<=	19.5
IG Peso (kg)		1	1	0	=	1
Solución						
Kilogramos	0	0	0			
	Maiz	Sorgo	P. Soya			

**Figura 9.** Identificar el aporte de nutrimentos de cada ingrediente.

En el **paso ocho** se diseña la **columna Tipo**, en cada celda se define el signo (**Figura 10**) que indicará la comparación de lo que calcula como aportes nutricionales con los requerimientos nutricionales de acuerdo con la etapa fisiológica en la que se encuentren las aves. El primer signo es igual, **indica que el costo será igual al mínimo** (la dieta estará formulada a mínimo costo).

	Fórmula		
	ÓPTIMO	Tipo	
Costo	0	=	Mínimo
<b>RESTRICCIONES</b>			
MIN EM(Kcal/Kg)	0	>=	3100
MAX EM(Kcal/Kg)	0	<=	3150
Mín PC (%)	0	>=	19
Max PC (%)	0	<=	19.5
IG Peso (kg)	0	=	1
Solución			
Kilogramos			

 Que el costo sea igual al mínimo  
 Que el valor mínimo de energía sea mayor o igual a 3100 kcal/Kg  
 Que el valor máximo de energía sea menor o igual a 3150 kcal/Kg  
 Que el valor mínimo de proteína sea mayor o igual a 19%  
 Que el valor máximo de proteína sea menor o igual a 19.5%  
 Que el valor máximo de la igualdad de peso sea igual a uno

**Figura 10.** Signos en la columna Tipo.

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

El **paso nueve** se debe establecer los **requerimientos nutricionales** de la especie (**Figura 11**), en los Cuadros: 1, 2, 3 y 4, se copiaron los requerimientos nutricionales del pollo de engorda de la línea Ross 308 y gallina de postura Hy Line W36.

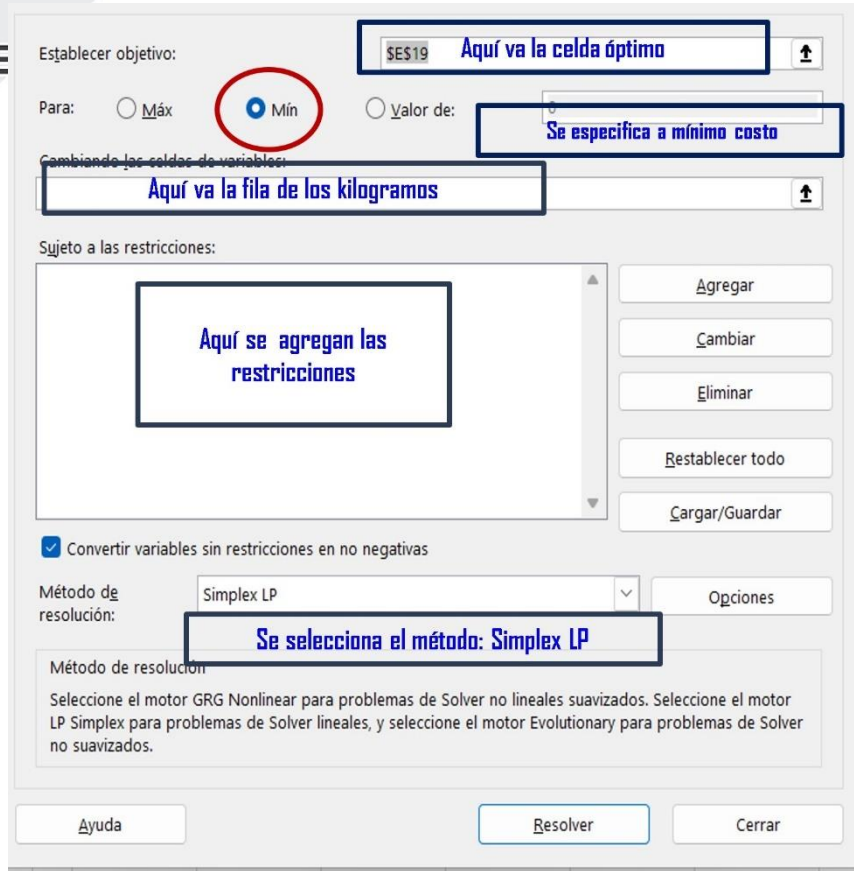
	Ingredientes			Fórmula	Tipo	Mínimo
	UA=1	UA=2	UA=3			
	Maiz	Sorgo	P. Soya	ÓPTIMO		
Costo	10	9	14	0	=	
<b>RESTRICCIONES</b>						
MIN EM(Kcal/Kg)	3330	3250	2550	0	>=	3100
MAX EM(Kcal/kg)	3330	3250	2550	0	<=	3150
Min PC (%)	8.5	9	48	0	>=	19
Max PC (%)	8.5	9	48	0	<=	19.5
IG Peso (kg)	1	1		0	=	1
Solución						
Kilogramos	0	0	0	0		
	Maiz	Sorgo	P. Soya			

**Figura 11.** Requerimientos nutricionales de la especie.

En este momento se ha diseñado una platilla en Excel, sin embargo, no se han cargado las restricciones en SOLVER, por lo que aún no es posible encontrar la dieta a mínimo costo, sin embargo, **ya es posible calcular los ingredientes por tanteo.**

**Paso diez**, iniciar a adicionar las **restricciones** en Solver, abrir Solver en Datos de Excel, la primera celda que debes adicionar es: **Establecer objetivo**, en esta casilla se coloca la **primera celda después de Óptimo**, esta será en la que aparezca el precio de la dieta, la siguiente acción es **seleccionar Min**, lo que le indica al programa que calcule la dieta a mínimo costo. En la **sección sujeto a restricciones**, se adicionarán las restricciones de requerimientos nutricionales necesarios y las restricciones de ingredientes, en la casilla **Método de resolución** se debe seleccionar **Simplex LP**, el cual es el método que usar el programa para calcular la dieta (**Figura 12**).





**Figura 12.** Ingresando los datos el programa Solver.

En el **paso doce** se agregan las restricciones de requerimientos nutricionales (**Figura 12**) que el ave necesita, las restricciones se adicionan como se señala la Figura 13. **La primera restricción:** la energía metabolizable que calcula el programa debe ser mayor o igual al mínimo requerido, **segunda:** la energía metabolizable que calcula debe ser menor o igual al máximo requerido. Finalizadas las restricciones de energía ( $\text{kcal kg}^{-1}$ ), continúan las restricciones de proteína (PC, %): **tercera restricción:** la proteína cruda que calcula el programa debe ser mayor o igual al mínimo requerido, **cuarta:** la proteína cruda que calcula

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

debe ser menor o igual al máximo requerido. **Quinta restricción:** es una **igualdad de peso (IG)** lo que calcula el programa de cada ingrediente debe sumar un kilogramo y los requerimientos nutricionales deben estar contenidos en un kilogramo de alimento (**Figura 13**).

**Primera restricción de EM (kcal/kg): Aporte calculado  $\geq$  [mayor o igual que] Requerimiento**

**Tercera restricción de PC (%): Aporte calculado  $\geq$  [mayor o igual que] Requerimiento**

**Segunda restricción de EM (kcal/kg): Aporte calculado  $\leq$  [menor o igual que] Requerimiento**

**Cuarta restricción de PC (%): Aporte calculado  $\leq$  [menor o igual que] Requerimiento**

**Restricción de Igualdad (IG): El aporte calculado sea  $=$  (igual) al requerimiento**



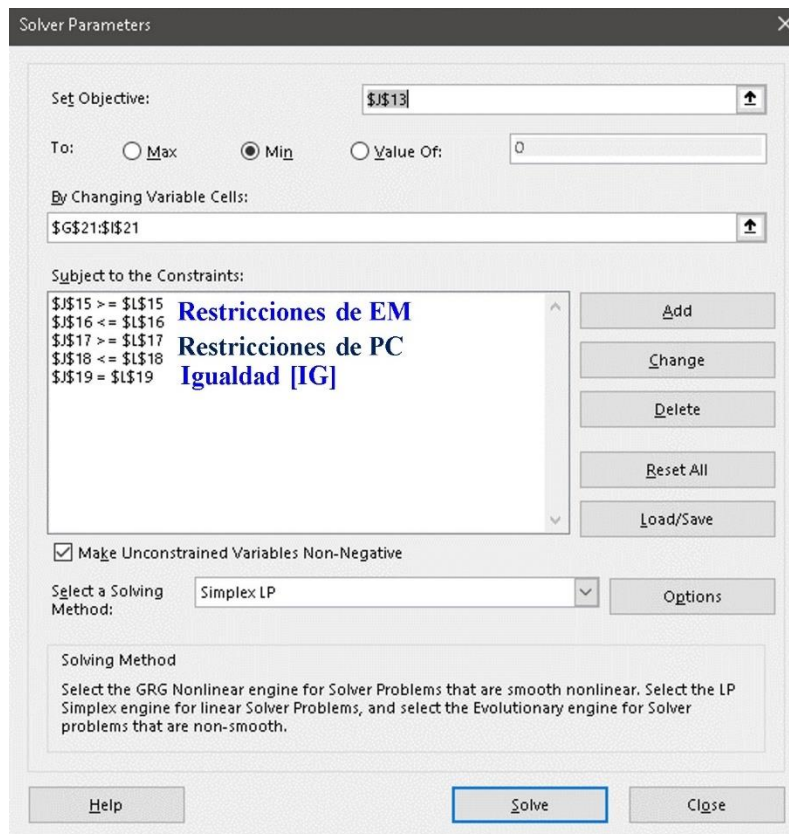




**Figura 13.** Restricciones nutricionales.

Al finalizar la adición de las restricciones de requerimientos nutricionales se observan en la primera ventana del programa Solver, se visualizan de manera que se pueden revisar nuevamente para evitar errores (**Figura 14**).

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO



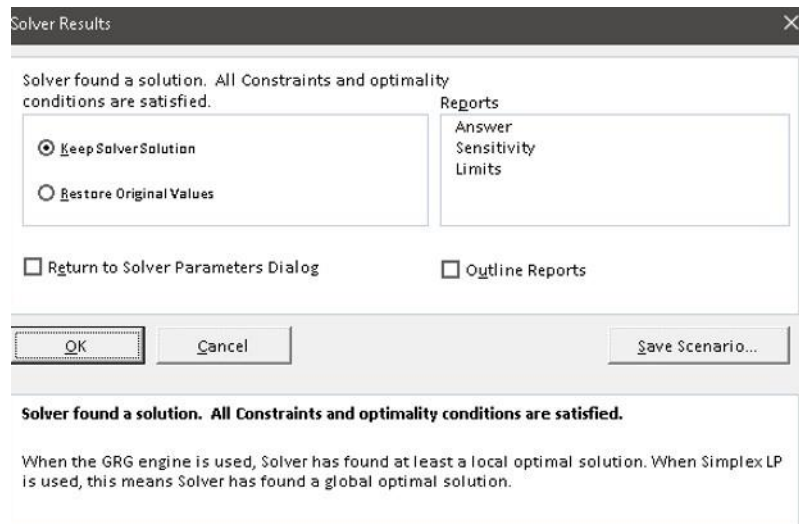
**Figura 14.** Restricciones ya en el programa Solver.

En la Figura 14, la primera restricción  $\$J\$15 \geq \$L\$15$  es: el valor que calcule será mayor o igual al mínimo de EM que se requiere, la segunda restricción  $\$J\$16 \leq \$L\$16$  es: el valor que calcule será menor o igual al máximo de EM que se requiere. Las siguientes restricciones son de proteína cruda:  $\$J\$17 \geq \$L\$17$ ; el valor de PC que calcula será mayor o igual al mínimo de PC que se requiere,  $\$J\$18 \leq \$L\$18$ ; el valor de PC que calcula será menor o igual al mínimo de PC que se requiere. La igualdad IG:  $\$J\$19 = \$L\$19$ ; lo que el programa calcule estará en un kg de alimento y los requerimientos necesarios para las aves en la etapa fisiológica establecida estarán en un kg de alimento (Figura 14).

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

Al finalizar la adición de las restricciones se le puede solicitar al programa que encuentre una solución (**Figura 15**) y cuando este encuentra una solución aparecerá una imagen como la

**Figura 15.**



**Figura 15.** Solver encontró una solución.

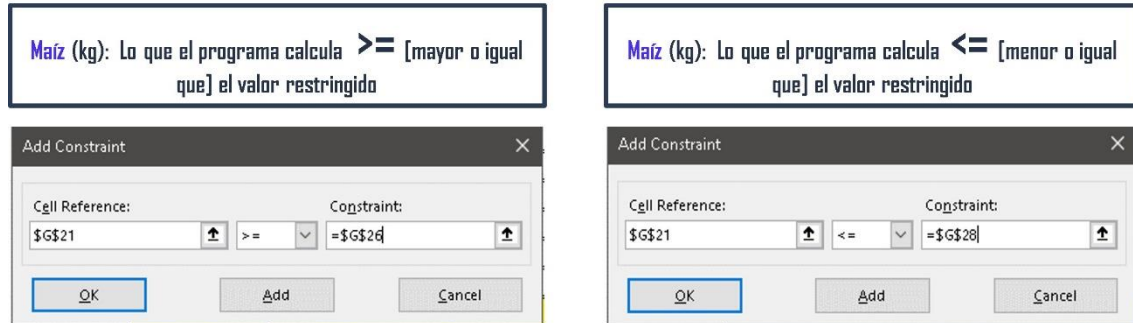
En el paso trece es necesario diseñar y agregar las **restricciones de alimento** en el programa, en estas restricciones está involucrada la fila de los kilogramos de cada ingrediente con las filas de los signos mayor o igual que [ $\geq$ ] y menor o igual que [ $\leq$ ] (**Figura 16**), en estas restricciones el usuario puede restringir el uso de ingredientes.

Kilogramos	0.41516245	0.32310469	0.26173285	1.000
	Maiz	Sorgo	P. Soya	
Restricciones de ingredientes				
	$\geq$	$\geq$	$\geq$	
Mínimo	0	0	0	
	$\leq$	$\leq$	$\leq$	
Máximo	1	1	1	

**Figura 16.** Diseño de restricciones de ingredientes en la platilla de Excel.

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

La **primera** restricción será entre el valor calculado del maíz y el valor mínimo que se indica que el programa utilice, **la segunda** restricción será entre el valor calculado del maíz y el valor máximo que puede incluir el programa (**Figura 17**).



Maíz (kg): Lo que el programa calcula  $\geq$  [mayor o igual que] el valor restringido

Maíz (kg): Lo que el programa calcula  $\leq$  [menor o igual que] el valor restringido

Add Constraint

Cell Reference:   $\geq$  Constraint:

Add Constraint

Cell Reference:   $\leq$  Constraint:

**Figura 17.** Restricción del uso de maíz.

Las siguientes dos restricciones son para el **sorgo**: el valor calculado del sorgo y el valor mínimo que se le indica al programa, **la cuarta** restricción: será entre el valor calculado del sorgo y el valor máximo que puede incluir el programa (**Figura 18**).



Sorgo (kg): Lo que el programa calcula  $\geq$  [mayor o igual que] el valor restringido

Sorgo (kg): Lo que el programa calcula  $\leq$  [menor o igual que] el valor restringido

Add Constraint

Cell Reference:   $\geq$  Constraint:

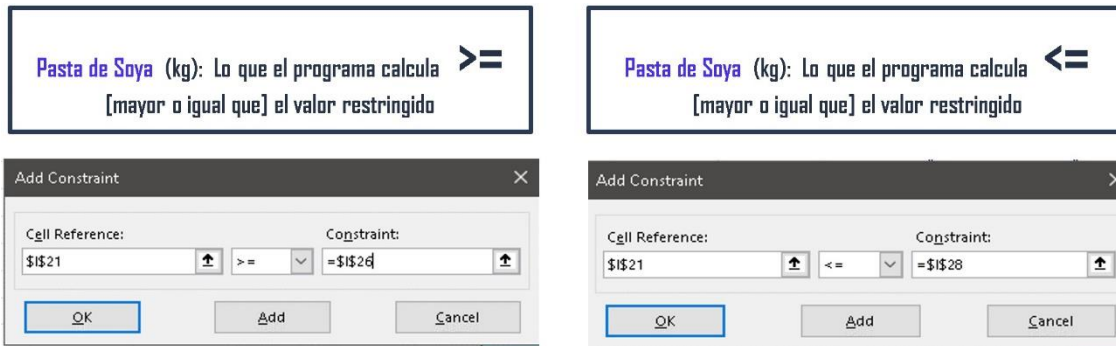
Add Constraint

Cell Reference:   $\leq$  Constraint:

**Figura 18.** Restricción del uso del sorgo.

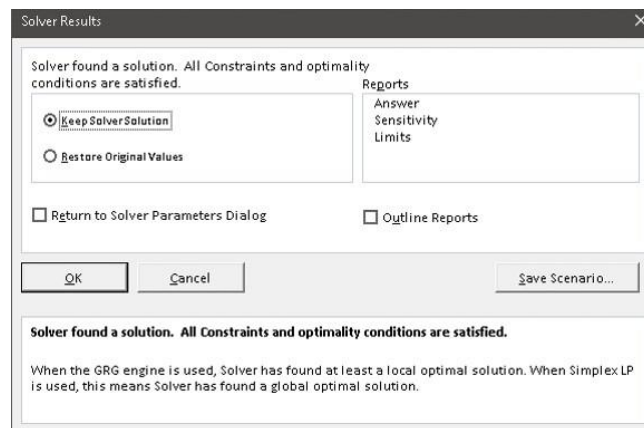
## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

La última restricción de esta plantilla es para la pasta de soya, los kilogramos que el programa calcula y el valor mínimo que se le indica al programa que utilice, el máximo valor que puede incluir el programa restringirá el valor calculado de la pasta de soya.



**Figura 19.** Restricción del uso de la pasta de soya.

Al finalizar de adicionar las restricciones se solicita al programa que encuentre una solución, click en el botón solver (**Figura 20**)



**Figura 20.** Solver ha encontrado una solución



# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

## 4 LITERATURA CITADA

Cuca-García M., Ávila González E., Pro-Martínez A. 2009. Alimentación de las aves. Universidad Autónoma Chapingo. 276 pp.

Especificaciones nutricionales, pollo de engorda Ross, An Aviagen Brad. Pagina consultada 10 de junio del 2024:

[https://aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/Ross-BroilerNutritionSpecifications2022-ESEU.pdf](https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerNutritionSpecifications2022-ESEU.pdf)

Especificaciones nutricionales, ponedoras comerciales W-36, Hy Line: Pagina consultada 10 de junio del 2024: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/W-36/36%20COM%20SPN.pdf>

Gutiérrez-Villaverde H. E. 2021. Manual básico de Solver Excel. Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, Universidad de Lima. 27p.

Rosero N. R., Posada S. L., Ortiz D. M. 2011. Programación lineal aplicada a la formulación de raciones para rumiantes. Revista de medicina veterinaria y zootecnia 6 (2): 53-60.

Leeson S. and Summers J. 2005. Commercial Poultry Nutrition. 3rd edition Nottingham University Press, Guelph Ontario, 398 p.