



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**CAMPECHE**  
GOBIERNO DE TODOS



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ESCÁRCEGA**

**“Formulación y desarrollo de un alimento balanceado a base de granos de maíz (*Zea mays*) destinados a pollos de granja para la empresa AGROGALBEC de S.P.R. de R.L. de C.V.”**

**TESIS**

Para acreditar la Licenciatura

**Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Que Presenta

Sugey Sherlin Barragan Perez

Matricula: 200207004

Escárcega, Campeche Mayo de 2025.

El presente informe titulado: **Formulación y desarrollo de un alimento balanceado a base de granos de maíz (*Zea mays*) destinados a pollos de granja para la empresa AGROGALBEC de S.P.R. de R.L. de C.V.** realizada por la alumna: **Sugey Sherlin Barragan Perez**, ha sido revisada y aprobada por:

Asesor Interno: \_\_\_\_\_



Nombre y Firma

Escárcega, Campeche, México; Mayo de 2025

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera comenzar agradeciendo a mi asesor de residencia el Dr. Jimmy R. Mier Guerra por su constante apoyo académico a través de los años, especialmente por su tiempo y confianza en mí y en este proyecto. Agradezco a el señor Cesar Galván Becerril del rancho AGROGALBEC S.P.R. de R.L. de C.V. y a su esposa la Lic. Luisa A. C. de la Concepción García Pêche por su tiempo, paciencia y colaboración en este proyecto. Le agradezco al Dr. José Efraín Ramírez Benítez de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la UAC y al Ing. Álvaro Cruz de SEVIDA por brindarnos apoyo en capacidades técnicas. Agradezco a los profesores de la academia de Industrias Alimentarias por brindarme su ayuda y conocimientos académicos, quiero hacer una mención especial al Q.B.B. Martin G. Chan Palomo quien estableció la vinculación con la empresa.

También agradezco a mis compañeros de clases Martin Darío Baeza y Mixtli A. Ordoñez López por su incondicional apoyo, paciencia y la confianza que han depositado en mi como amiga y como compañeros de clase, especialmente a Leydi M. Velázquez Vidal por ser mi compañera de proyectos y un apoyo constante en ellos, agradezco a mi querido amigo Rubén Daniel Perez López por confiar en mi académica y personalmente. Por último, pero no menos importante quisiera agradecer a mi familia por apoyarme y confiar en mi a lo largo de estos años.

## DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mi madre María del C. Perez Díaz que nunca ha dudado de mis capacidades, quien siempre me ha procurado y motivado en los momentos más difíciles.

## CONTENIDO

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO .....</b>                                                                   | <b>8</b>  |
| <b>1.1. INTRODUCCIÓN .....</b>                                                                                       | <b>8</b>  |
| <b>1.2. PROBLEMÁTICA .....</b>                                                                                       | <b>9</b>  |
| <b>1.3. OBJETIVOS.....</b>                                                                                           | <b>10</b> |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....                                                                                        | 10        |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                                   | 10        |
| <b>1.4. JUSTIFICACIÓN .....</b>                                                                                      | <b>11</b> |
| <b>2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>                                                                            | <b>12</b> |
| 2.1. DEFINICIÓN DE UN ALIMENTO BALANCEADO.....                                                                       | 12        |
| 2.2. IMPORTANCIA DE UN ALIMENTO BALANCEADO EN LA INDUSTRIA AVÍCOLA.....                                              | 12        |
| 2.3. REQUISITOS NUTRICIONALES.....                                                                                   | 14        |
| 2.3.1. ENERGÍA .....                                                                                                 | 14        |
| 2.3.1.1. EL MAÍZ.....                                                                                                | 15        |
| 2.3.2. PROTEÍNAS.....                                                                                                | 16        |
| 2.3.2.1. PASTA DE SOYA.....                                                                                          | 17        |
| 2.3.3. GRASAS.....                                                                                                   | 18        |
| 2.3.4. VITAMINAS Y MINERALES.....                                                                                    | 18        |
| 2.3.4.1. BIOTINA (VITAMINA B7) .....                                                                                 | 19        |
| 2.3.4.2. VITAMINA D3.....                                                                                            | 19        |
| 2.3.4.3. FÓSFORO .....                                                                                               | 20        |
| 2.4. ANTINUTRIENTES.....                                                                                             | 20        |
| 2.5. ALIMENTACIÓN POR FASES.....                                                                                     | 22        |
| 2.5.1. FASE DE INICIACIÓN.....                                                                                       | 22        |
| 2.5.2. FASE DE CRECIMIENTO .....                                                                                     | 23        |
| 2.5.3. FASE DE ENGORDA .....                                                                                         | 23        |
| 2.5.4. FASE DE FINALIZACIÓN Y RETIRADA.....                                                                          | 23        |
| 2.6. MÉTODOS DE FORMULACIÓN DE ALIMENTOS.....                                                                        | 24        |
| 2.7. ANTECEDENTES.....                                                                                               | 25        |
| <b>3. CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>                                                                             | <b>27</b> |
| 3.1. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LOS INSUMOS DISPONIBLES PARA UN ALIMENTO BALANCEADO..... | 27        |
| 3.2. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS, CARBOHIDRATOS Y GRASAS EN MAÍZ Y SOYA.....                                          | 27        |
| 3.3. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE MAÍZ Y PASTA DE SOYA.....                                                              | 28        |
| 3.4. DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS.....                                                                             | 28        |
| 3.5. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS.....                                                                                 | 29        |
| 3.6. DETERMINACIÓN DE LÍPIDOS.....                                                                                   | 30        |

|           |                                                                                           |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.7.      | FORMULACIÓN DEL ALIMENTO BALANCEADO. ....                                                 | 30        |
| <b>4.</b> | <b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                                           | <b>32</b> |
| 4.1.      | DISPONIBILIDAD MACRONUTRIENTES EN MAÍZ Y PASTA DE SOYA.....                               | 32        |
| 4.2.      | FORMULACIÓN DEL ALIMENTO BALANCEADO PARA POLLOS EN ETAPA DE ENGORDA.....                  | 38        |
| 4.3.      | DIAGRAMA PARA LA ELABORACIÓN DEL ALIMENTO BALANCEADO PARA POLLOS EN ETAPA DE ENGORDA..... | 41        |
| <b>5.</b> | <b>CAPÍTULO V CONCLUSIÓN .....</b>                                                        | <b>42</b> |
| <b>6.</b> | <b>CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES .....</b>                                                  | <b>43</b> |
| <b>7.</b> | <b>CAPÍTULO VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                       | <b>44</b> |
| <b>8.</b> | <b>CAPÍTULO VIII ANEXOS .....</b>                                                         | <b>50</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1. CONCENTRACIONES DE MACRONUTRIENTES EN LAS MATERIAS PRIMAS Y SU APOORTE ENERGÉTICO .....             | 36 |
| TABLA 2. VITAMINAS DISPONIBLES EN CADA 100G DE VITAFORT .....                                                | 37 |
| TABLA 3. MINERALES DISPONIBLES POR CADA 100G DE VITATER PELECHA .....                                        | 37 |
| TABLA 4. REQUISITOS DE NUTRIENTES PARA UN POLLO EN ETAPA DE ENGORDA.....                                     | 39 |
| TABLA 5. INSUMOS DISPONIBLES Y SU APORTACIÓN DE NUTRIENTES PARA LA FORMULACIÓN DEL ALIMENTO BALANCEADO ..... | 39 |
| TABLA 6. FORMULACIÓN FINAL DEL ALIMENTO. CONCENTRACIONES FINALES PARA ELABORAR 1KG DE ALIMENTO .....         | 40 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| GRÁFICAS 1. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA CARBOHIDRATOS TOTALES ..... | 33 |
| GRÁFICAS 2. CURVA DE CALIBRACIÓN DE BIURET .....                  | 34 |
| GRÁFICAS 3. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA BIURET USANDO X-GEAR .....  | 35 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1. MÉTODOS DE FORMULACIÓN PARA ALIMENTOS BALANCEADOS (CHACHAPOYA-RIVAS, 2014). .....         | 24 |
| FIGURA 2. DIAGRAMA PARA LA ELABORACIÓN DEL ALIMENTO BALANCEADO PARA POLLOS EN ETAPA DE ENGORDA..... | 41 |

## RESUMEN

La avicultura tradicional es una actividad que forma parte de la economía local, sin embargo, las dietas tradicionales no aportan los nutrientes suficientes por lo que puede afectar el desarrollo y crecimiento de las aves. El objetivo de este proyecto es desarrollar y formular un alimento balanceado para pollos en su etapa de engorda, esto se logrará aprovechando subproductos agrícolas de la localidad de Escárcega y de cereales producidos por la empresa AGROGALBEC.

Los insumos fueron evaluados para determinar sus concentraciones de macronutrientes (Carbohidratos, Proteínas, Grasas) mediante métodos de cuantificación el Kjendahl, Soxhethl, Protocolo de Biuret y el Protocolo de Dubois. Los resultados obtenidos presentan concentraciones de calidad para el maíz y la pasta de soya, en conjunto con las concentraciones de los suplementos alimenticios disponibles para aves se desarrolló una formulación mediante el programa Solver que cumple con los requisitos nutricionales. El producto final puede catalogarse como viable y rentables para su comercialización.



## CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO

### 1.1. Introducción

La producción de alimentos para la industria avícola es una de las actividades más importantes en el sector agropecuario, en la localidad de Escárcega la avicultura tradicional es una actividad muy común que tiene como objetivo el consumo propio y comercialización en el mercado, por lo cual esta actividad forma parte de la economía local. La alimentación que reciben estas aves es de manera tradicional, es decir que son alimentadas con cereales, como el maíz o el arroz que son excelentes fuentes de energía, también comen *subproductos* vegetales como las cascara de las frutas y verduras que pueden proporcionarles vitaminas y minerales, pero carecen de fuentes de proteínas. Para minimizar la falta de este nutriente se recurre al uso de alimentos balanceados para etapa de engorda, sin embargo, estos alimentos dependen en insumos importados de otros estados por lo algunos suelen ser costoso, además de que el traslado de estos alimentos suele ser muy extensos lo que se generan grandes emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (The Food Tech, 2023).

AGROGALBEC produce y comercializa cereales como el maíz y el sorgo, en los últimos años la empresa ha crecido pasando a ser semi industrial, al ofrecer a sus clientes secado y molienda de los cereales que se producen, así mismo ha establecido estrechas relaciones con agricultores de la región de Campeche en la compra de cosechas de cereales y granos, por lo que es una empresa que impulsa el comercio local. AGROGALBEC actualmente busca expandir su mercado y sector de clientes a través de la diversificación de su producto principal el cual es el maíz molido y seco, por lo que para diversificar este producto dentro de la empresa sea propuesto el desarrollo y formulación de un alimento balanceado para pollos en etapa de engorda, que beneficiara al sector

avícola dada la gran demanda que tiene no solo en la localidad de Escárcega, si no en gran parte de la región sur del país.

El maíz conforma entre un 45 a 50% de un alimento balanceado, aunque actualmente se busca complementar estos porcentajes con otros cereales como el trigo, cebada o sorgo (Muñoz-López, 2027); distintos estudios realizados para la evaluación de dietas reportan dietas con diferentes tratamientos en el maíz como los forrajes (Elizondo-Salazar, 2015), maíz fermentado (Ranjitkar, et al., 2016), *subproductos* de maíz como la harina fermentada (Marcinčák, et al., 2018), harina de gluten (Abhijeet, et al., 2021) e incluso dietas propuestas con maíz de diferentes países (Vargas, et al., 2023).

## **1.2. Problemática**

AGROGALBEC es una empresa cuyo producto principal es el maíz; se dedica al cultivo, compra y venta de éste, así como al secado y molienda del mismo; debido a su crecimiento busca diversificar su oferta para acceder al mercado de alimentos balanceados. El desarrollo de un alimento balanceado además de generar nuevas oportunidades de negocio para la empresa, permitirá que ésta aproveche su materia prima en procesos más eficientes; el proyecto además de revalorizar el maíz, también apoyará al sector avícola al proporcionar una alternativa sostenible para la alimentación de los pollos de corral.

Por otra parte, en Escárcega residen muchas familias dedicadas a la agricultura y la producción ganadera para su comercialización, sin embargo, estas actividades se ven minimizadas por la competencia con productos importados que proporcionan precios muy bajos por lo cual los productos agrícolas y pecuarios de la localidad se ven en desventaja, por lo tanto, su

aprovechamiento se ve limitado. Muchos de los recursos agrícolas y sus *subproductos* podrían ser aprovechados para la optimización y diversificación de alimentos balanceados para diversos animales en la localidad. La avicultura tradicional es una actividad muy replicada en el municipio debido a muchas familias que crían aves para su consumo propio y comercialización. Las aves tienen un papel muy activo en la localidad y en el mercado por lo que se propone la formulación y desarrollo de un alimento balanceado para la revalorización del maíz de la empresa AGROGALBEC, y el aprovechamiento de los insumos de la localidad de Escárcega, procurando la calidad de los ingredientes y los requisitos nutricionales del animal.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Formular y elaborar un alimento balanceado que satisfaga las necesidades nutricionales de pollos de en etapa de engorde.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar y analizar la disponibilidad de los insumos locales e infraestructura para la formulación y elaboración del alimento balanceado.
- Formular y elaborar un alimento balanceado conforme a los requerimientos nutricionales de los pollos de granja en etapa de engorda.
- Evaluar de manera preliminar el contenido nutricional del alimento balanceado desarrollado

## 1.4. Justificación

La avicultura tradicional de la región es una actividad muy importante debido a que muchas familias se dedican a la cría y venta de estos animales, sin embargo, muchas veces las dietas proporcionadas de manera tradicional son deficientes de muchos nutrientes lo que impide que el desarrollo y crecimiento de muchas de estas aves no alcanza el peso esperado en el mercado, por lo cual su valor se ve reducido. Para contrarrestar esta problemática se hace uso de alimentos balanceados comerciales importados de otros estados, pero estas importaciones a su vez generan grandes emisiones de carbono debido a las largas distancias que se recorren, lo que provoca un impacto negativo en el medio ambiente y contribuye al cambio climático.

Bajo dicho contexto el presente proyecto busca desarrollar un alimento balanceado para pollos en su etapa de engorde con insumos disponibles en nuestra localidad, lo que reducirá la dependencia de insumos externos y fomentará una economía local, esto podría reducir la huella de carbono e inducir la economía circular al priorizar los mercados locales y el desarrollo de la economía local creando así círculos virtuosos al proporcionar ingresos a los productores y manteniendo un precio justo con el consumidor. Actualmente a la sociedad le preocupa que los alimentos no sean saludables y que causen daño a su salud, un punto positivo de la economía circular es que les permite a los consumidores ser conscientes de los alimentos que ingieren. La economía circular busca minimizar el impacto negativo en el ambiente y a su vez contribuir a la sostenibilidad de la región.

## **2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Definición de un alimento balanceado.**

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define a un alimento balanceado como un producto alimenticio que tiene como objetivo el proporcionar nutrientes esenciales en cantidades adecuadas y equilibradas (FAO, 2013). Las necesidades o requisitos nutricionales depende de la aplicación, esta puede ser tanto humana como animal, bajo el contexto actual se hace referencia a la nutrición animal de los pollos, por lo que los requisitos nutricionales depende de este y su etapa de crecimiento, así como el área de producción al que están destinados, por ejemplo, los nutrientes esenciales entre gallinas ponedoras y de engorde difieren en cuanto a los porcentajes de proteínas y minerales esenciales, además de que los nutrientes para las gallinas ponedoras son más estables a lo largo de su crianza en comparación con los pollos de engorde donde los requisitos varían en sus diferentes etapas de vida con el fin de lograr un peso adecuado para su producción de carne (Ravidran, 2013). Estos alimentos pueden ser elaborados a partir de subproductos de origen animal y vegetal para mantener costos mínimos de producción.

### **2.2. Importancia de un alimento balanceado en la industria avícola.**

En la industria avícola la producción de alimentos balanceados es un sector de importancia, el éxito de esta industria se debe a su enfoque a la nutrición adecuada para el crecimiento, desarrollo y producción de los animales en las industrias de producción de alimentos de origen animal (Fernandez-Curi, 2013).

La crianza y alimentación avícola otorgan a la sociedad productos de consumo como la carne y el huevo; el consumo de carne de pollo del 2021 en México fue de 4.5 millones de toneladas de carne de pollo que representan el 47.8% del total de carne, y por lo tanto la de mayor producción en el país (Consejo Mexicano de la Carne, 2022). En cuanto a la producción de los alimentos balanceados el Consejo Nacional de Fabricación de Alimento Balanceados y Alimentación Animal (CONAFAB) presentó resultados según su Anuario Estadístico del 2021 en el cual, la producción de alimento balanceado era de 37.57 millones de toneladas, de las cuales el 95.6% eran dirigidas al sector pecuario, en diferencia restante que se divide entre el sector acuícola con un 1.1% y con un 3.3% en mascotas (CONAFAB, 2021), la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural informó que para mediados del 2024 el CONAFAB registro que la industria de los alimentos balanceados para animales producía de 40 a 41 millones de toneladas, de los cuales 12 millones de toneladas eran dirigidas específicamente al sector avícola, mientras los restantes se dividen en los sectores restantes, lo que registra un crecimiento en la industria (SAGARPA, 2024).

Otro punto muy considerado en la industria de los alimentos balanceados para animales es que estos sistemas de alimentación pueden afectar la calidad de la carne, es decir que si hay alguna deficiencia o abundancia de los nutrientes pueden verse reflejados en las características organolépticas y nutricionales de la carne, por ejemplo, los alimentos con niveles altos de proteínas del 22.5–25.0% pueden producir canales con más masa muscular y menos grasa lo que aumenta el rendimiento del canal (Moreno-Temprano, 2005). Los alimentos balanceados para animales están en constante innovación con el objetivo de ser más eficaces para maximizar los rendimientos de producción, pero, sin descuidar la calidad e inocuidad, lo que a su vez procura la seguridad agroalimentaria (CONAFAB, 2019). Las innovaciones han logrado disminuir los kilos de alimentos por el kilo de pollo, donde antes se suministraban cerca de 4 kilos de alimento por kilo

de pollo, ahora se usa alrededor de 1.8 kilos de alimento (CONAFAB, 2022). Todos los datos anteriores resaltan la importancia y relación de la industria avícola con la industria de los alimentos balanceados para animales en un contexto económico y social.

### **2.3. Requisitos nutricionales.**

Un alimento balanceado proporciona una dieta equilibrada de nutrientes para maximizar el rendimiento y mejora la salud del animal, tales requisitos nutricionales pueden clasificarse en carbohidratos o energía, proteínas, grasas, vitaminas, minerales y el agua (Cucca, 1962). Los macronutrientes que son los carbohidratos, las proteínas y las grasas son obtenidas del uso de subproductos de origen vegetal y animal, por su parte los micronutrientes son obtenidos de premezclas de vitaminas y minerales debido a la deficiencia que puede existir si solo se hace uso de las materias primas por lo que para complementar del animal se hace uso de este tipo de aditivos. Las premezclas no son los únicos que se les puede añadir, existen otros aditivos además de las vitaminas y los minerales como los conservadores, pigmentos, emulsionantes, enzimas, ácidos orgánicos, probióticos, prebióticos, antibióticos, proteínas antimicrobianas, y aminoácidos sintéticos (Alagawany, et al., 2020).

#### **2.3.1. Energía**

La alimentación de los pollos de engorde representa el 70% de los costos de producción, el insumo que proporciona la energía a los pollos representa un 40% total de los costos de producción lo que lo convierte en uno de los requisitos más importantes para la alimentación (Kleyn y Chrystal, 2022). La energía, aunque no es un nutriente, es una propiedad que se produce a partir

diversas fuentes, pero la más importante son los carbohidratos, ya que de ellos se obtienen el 60% de la energía. Para medir el valor del aporte de energía otorgado por el alimento formulado se han considerado dos clasificaciones: Energía Metabolizable (EM) y Energía Productiva. De manera respectiva, una hace referencia a la energía total del alimento menos la del gasto de energía de las heces y la orina; la segunda hace referencia a la energía que es transformada para el aumento de musculatura del animal (Hidalgo-Lozano, 2013). Las dietas con un nivel de energía entre las 2950 kcal/kg hasta las 3350 kcal/kg son adecuadas para el mejoramiento y calidad de la carne, sin embargo, niveles superiores de energía podrían generar la producción de más grasas y, por lo tanto, un rendimiento de carne menor (Torres-Novoa, 2018). Para mantener un alto rendimiento las aves se deben de alimentar de piensos con elevados niveles de energía que pueden proporcionarse de los cereales forrajeros como el trigo, el sorgo y el maíz, aunque la obtención de estos granos genera costos elevados, muchas veces son sustituidos por los subproductos de estos cereales (Muñoz-López, 2027).

#### **2.3.1.1. El Maíz**

El maíz amarillo (*Zea mays*) es un cultivo agrícola importante en México debido a que está destinado a el procesamiento industrial y consumo animal, contando con una producción anual de 15 millones de toneladas (SAGARPA, 2020). El almidón que se encuentra en el este cereal es de un 70% del total de maíz, esto lo vuelve una fuente de energía elevada, además de ser digestible para los pollos de corral, por lo cual, la absorción de los nutrientes es más eficaz (Muñoz-López, 2027). A nivel mundial el 65% del maíz es utilizado para alimentar animales de granja, siendo Estados Unidos el mayor consumidor y productor, seguido de América Latina, África y Asia, donde se puede consumir este cereal en su forma de grano o en diferentes productos (Dei, 2017).



Otras fuentes de energía que pueden cumplir con los mismos criterios que el maíz es el sorgo, este cereal es resistente a sequías y climas calurosos, sin embargo, este cereal contienen un valor elevado de antinutrientes como los fitatos y los taninos lo que limita su uso en las aves de corral, aunque actualmente existen diferentes métodos para reducir las concentraciones de estos antinutrientes (Tanwar, et al., 2023), sin embargo a diferencia del maíz el sorgo contiene un valor más elevado en proteínas y menos aceite por lo que esas condiciones proporciona valor energético similar al del maíz (Chessa-Fuente, 2007 ).

### 2.3.2. Proteínas

Las proteínas están constituidas por aminoácidos lo que las hace esenciales para la producción o desarrollo de tejido muscular y como fuente de energía, en la mayoría de las dietas se incluyen 20 aminoácidos de los cuales nueve de ellos **no son sintetizados** de manera rápida por lo que no pueden satisfacer las necesidades nutricionales del animal, es por ello que son considerados como **aminoácidos no esenciales** para las dietas de los pollos, por otro lado, los aminoácidos que son considerados esenciales, es decir la “proteína ideal” en la alimentación son: lisina, la metionina, la treonina, el triptófano, la isoleucina, la leucina, la histidina, la valina, la fenilalanina y la arginina (Campos, et al., 2016). La cantidad inadecuada de cualquiera de estos aminoácidos pueden interferir en el crecimiento y productividad de las aves, un alimento puede contener cantidades adecuadas de proteína bruta (PB), pero si no cuenta con los valores mínimos de los aminoácidos, entonces no es una dieta balanceada para las aves (Cucca, 1962).

Durante las primeras semanas de vida de los pollos, estos necesitan una mayor cantidad de proteínas que se encuentra entre los rangos de 19-22% debido a que en estas semanas los pollitos desarrollan tejido muscular a causa de su rápido crecimiento, después de la sexta semana los

porcentajes de proteína disminuyen hasta el 16% (Torres-Novoa, 2018). Si bien la principal fuente de proteína de origen vegetal usada en la alimentación animal es la harina o pasta de soya, esta no es la única fuente, existen fuentes de proteínas más eficientes como lo son las harinas de sangre, de huesos, de pescado y de plumas que son subproductos de origen animal, pero debido a sus altos costos de adquisición estos son menos favorables para los costos de producción en la industria de los alimentos balanceados.

### **2.3.2.1. Pasta de Soya**

El frijol de soya (*Glycine max*) originaria de Asia, aunque actualmente es producida en diferentes partes del mundo donde Estados Unidos, Brasil, Argentina y algunos países Europeos son considerados sus mayores productores (Aldivas-Allahoki, 2023), anteriormente la soya no era tan conocida como lo es hoy en día, su mayor producción era destinada a la extracción de aceite por las industrias en los años de 1920 y en años posteriores la producción de harinas de soya empezaron a ser adoptadas para la alimentación de animales, pero fue hasta el año 1938 que la harina de soya tomó su lugar como una de las principales fuentes de proteínas para la nutrición animal (Ruiz, et al., 2020).

La fuente de proteínas vegetales usualmente utilizada en la fabricación de piensos para la alimentación de las aves de corral es la harina de soya o la pasta de soya. La pasta de soya es una fuente de alto valor proteico para la alimentación de los animales con concentraciones de 35 a 45% de proteína bruta de origen vegetal, pues es considerada un *subproducto* del grano de soya después de la extracción de aceite, ya que este grano tiene un alto contenido de aceite entre un 20 a 25% (Fondevila, et al., 2018).

Según la FAO (2013), la pasta de soya en comparación a otras harinas de oleaginosas, esta mantiene un buen equilibrio entre sus aminoácidos, además de que tienen un alto aporte de energía metabolizable, además de su accesibilidad y bajo costo puede utilizarse en las dietas de las aves de corral, si se procesa adecuadamente, debido a que la soya puede contener factores anti nutricionales, aunque estos son eliminados después de un proceso térmico (Aldivas-Allahoki, 2023).

### **2.3.3. Grasas**

Las grasas en conjunto a los carbohidratos y proteínas contienen un alto nivel energético, muchas veces estos nutrientes son agregados a los piensos de aves para complementar los niveles de energía necesaria y representan en el alimento de 3 a 5% del alimento total (Vázquez-Mendoza, 2018). Las grasas no son necesarias en las dietas de pollos de engorde, pero su adición proporciona energía y mejora la palatabilidad del alimento, por el contrario, con las aves ponedoras el ácido linoleico es primordial pues influye en el tamaño de los huevos las aves (Ravidran, 2013).

### **2.3.4. Vitaminas y minerales.**

Las vitaminas forman parte de los micronutrientes que no pueden sintetizar y son importantes para la salud y crecimiento de los organismos por eso son obtenidas de los alimentos (Vázquez-Mendoza, 2018). Son clasificadas en liposolubles (vitaminas A, D, E y K) e hidrosolubles (vitaminas del grupo B y vitamina C), todas estas vitaminas deben suministrarse (excepto la vitamina C, esta es sintetizada por las aves), si bien no son fuentes de energía como los carbohidratos, proteínas y grasas, estas tienen una función más compleja ya que son mediadores o participan en diferentes procesos bioquímicos, además de que son necesarios para obtener una

salud óptima, desarrollo, crecimiento reproductividad y el rendimiento de la ave en general (Alagawany, et al., 2020).

Los minerales por su parte, al igual que las vitaminas, son de importancia en procesos metabólicos, estos se hallan en los ingredientes usados en los alimentos formulados, pero, en concentraciones mucho menores o en formas difícil de digerir para las aves (Cucca, 1962). Muchos de los minerales se requieren en cantidades pequeñas para equilibrar la dieta de las aves, por ello se hacen uso de las premezclas que son un conjunto de minerales, vitaminas e incluso enzimas o probióticos, estas tienen la función completar la dieta de las aves, pero se debe de asegurar que estas cumplan las necesidades requeridas antes de suministrarse a los alimentos balanceados.

#### **2.3.4.1. Biotina (Vitamina B7)**

La biotina o vitamina B7 además de contribuir en los procesos metabólicos o como un cofactor en las reacciones enzimáticas, es de importancia en el crecimiento y rendimiento de los pollos de engorde, la biotina aumenta la tasa de crecimiento durante los periodos de engorde y finalización. La biotina incluso mejora la salud de los pollos al reducir ligeramente los tamaños de fémur y el tibiotarso mejorando la capacidad de pararse y caminar (Quarantelli, et al., 2010).

#### **2.3.4.2. Vitamina D3.**

Los pollos de engorde son criados de manera rápida con el objetivo de alcanzar pesos adecuados para el consumo humanos, por lo que las empresas acondicionan criaderos, aunque estos espacios suelen ser reducidos y la luz solar no es recibida de manera correcta, lo que provoca deformaciones esqueléticas. La vitamina D3 es importante porque minimiza el impacto de estas

deformaciones y mejora la salud de los pollos al ayudar a la correcta absorción del calcio y de fósforo (Khan, et al., 2021)

#### **2.3.4.3. Fósforo**

El fósforo, en conjunto con el calcio, es importante para la formación y mantenimiento del esqueleto, en las gallinas ponedoras son esenciales para la calidad del cascarón del huevo, aunque estos minerales se encuentren en los ingredientes de origen vegetal no están disponibles debido a que están en forma de fósforo fitato (Ravidran, 2013). El fósforo debe de suministrarse a las aves según los requisitos de su dieta, debido a que un excedente de esta mineral puede causar contaminación al medio ambiente a través de las heces de estos animales (Proszkowiec-Weglarz y Ángel, 2013).

#### **2.4. Antinutrientes**

Los nutrientes tienen la capacidad promover el crecimiento y la salud de los seres vivos, estos nutrientes son obtenidos de los ingredientes que conforman a los alimentos o las dietas de los seres vivos, la disponibilidad de estos nutrientes ayuda al correcto funcionamiento metabólico (Olvera-Novoa, et al., 1993), por el contrario, los antinutrientes o factores antinutricionales (FAN) son compuestos naturales que interfieren en la utilización de los nutrientes. Estos compuestos antinutricionales varían en su origen y concentración, en el campo de los alimentos balanceados, los antinutrientes se encuentran en diferentes piensos usados para la elaboración de alimentos de aves y porcinos, por lo cual pueden afectar de diversas formas a los animales como (Mateos, et al., 2019):

- Reducción de la digestibilidad

- Daños en la mucosa digestiva
- Reducción de consumo y crecimiento del animal
- Efectos en la salud y rendimiento del animal

Los piensos usados para la elaboración de alimentos para aves en su mayoría son el maíz, sorgo y la soya, estos constituyen generalmente entre un 40 a 50% en los alimentos balanceados individualmente. El maíz contiene compuestos bajos de polisacáridos no almidones (NSP) bajos en comparación con otros cereales como el trigo y la cebada; los NSP pueden afectar en el proceso de digestión de los nutrientes cuanto más solubles, aumentado a su vez la viscosidad en el tracto digestivo que tienden a encapsular nutrientes, lo que evita la correcta absorción de los nutrientes afectando de manera negativa en el crecimiento y desarrollo de los pollos de engorde (Knudsen, 2014).

Las legumbres son principalmente asociadas a los antinutrientes, la soya es una legumbre que cuenta con algunos antinutrientes como inhibidores de tripsina que causan el agrandamiento del páncreas e incluso afectan la correcta absorción de los nutrientes (Aldivas-Allahoki, 2023). Otros antinutrientes frecuentes en la soya son las lectinas, saponinas, glicina y  $\beta$ -conglucina, que pueden causar problemas digestivos debido a que llegan a unirse a receptores de hidratos de carbono a las membranas digestivas, lo que los hace resistentes a la degradación en el intestino delgado, (Mateos, et al., 2019). Muchos de estos antinutrientes pueden eliminarse en su parcialidad después de **tratamientos térmicos** como el tostado en seco, escaldar u horneado (Garzón-Albarracín, 2006), aunque existen otros métodos como el uso de **enzimas** como las xilanasas y  $\beta$ -glucanasas se añaden a las dietas para descomponer los NSP solubles, reduciendo la viscosidad en el tracto digestivo y mejorando la digestión de nutrientes o la **fermentación** de los ingredientes principales ayuda a

descompones parcialmente los NSP (Knudsen, 2014). Otras técnicas experimentales son el **remojo** en bicarbonato de sodio al 0.5% para mejorar la calidad nutricional de semillas de legumbre como la soya, lo que redujo los efectos antinutricionales como el ácido fítico, el tanino, el inhibidor de la tripsina y la actividad de la hemaglutinina (El-Adawy, et al., 2000).

## **2.5. Alimentación por fases.**

La FAO (2013) señala que actualmente las necesidades nutricionales en las aves de corral son determinadas por diferentes periodos de crecimiento, para los pollos de engorde se han considerado cerca de tres etapas que se establecen desde tres semanas de edad y acaba hasta las ocho semanas, sin embargo, en la práctica los periodos pueden ir desde las cuatro semanas de edad hasta la semana diez, acoplándose según los estándares del mercado. Estas exigencias hacen que la industria avícola recurra a los alimentos balanceados por fases para maximizar el rendimiento y aumentar las ganancias, los sistemas de alimentación actual incluyen de cuatro a cinco tipos de alimentos como la pre-iniciación, iniciación, crecimiento y finalización, aunque puede añadirse una más que es la retirada (SENASICA , 2019). Los alimentos de retirada se suministran durante la última semana con el objetivo de eliminar aditivos farmacéuticos.

### **2.5.1. Fase de iniciación.**

La fase de pre-inicio ocurre durante los primeros días de vida (0 a 7 días de vida), en esta etapa el sistema digestivo aun es inmaduro, por lo cual se debe de suministrar alimentos que sean altamente digestibles para una correcta absorción de los nutrientes. Durante esta etapa los pollos de engorda tienen un desarrollo más acelerado por ellos su alimento debe ser rico en proteínas y

en su mayoría alta todos sus nutrientes para ayudar en su desarrollo óseo y de sus órganos (Vázquez-Mendoza, 2018).

### **2.5.2. Fase de crecimiento**

Siguiendo con su etapa de crecimiento que es después de los días de pre-iniciación hasta el día 8 administrando el alimento de iniciación hasta el día 15, este periodo de tiempo tiene como objetivo establecer un crecimiento temprano y mayor apetito, además de alcanzar un peso de 180 g en los primeros 7 días, esta dieta representa el 7% del alimento total para las aves de engorda (Vázquez-Mendoza, 2018).

### **2.5.3. Fase de engorda**

La administración del alimento en esta etapa abarca desde los 22 a 42 días después de la fase de crecimiento o desarrollo, el alimento proporcionado debe de ser rico en proteínas y energía, pues en esta etapa los pollos siguen en crecimiento, pero enfocado en el desarrollo muscular, lo que maximiza los rendimientos del canal. El contenido de proteína cruda en los alimentos está en un rango de 19-21% (Mijena y Getiso, 2024) y la energía metabolizable en esta fase es de 2950 hasta las 33500 kcal (Torres-Novoa, 2018), esta etapa es crucial en la industria avícola debido a que en esta se maximiza el rendimiento y aumentan los márgenes de beneficio.

### **2.5.4. Fase de finalización y retirada.**

Durante este periodo los cambios en el pollo de engorde pueden ser muy repentinos y rápido por lo que se debe de evitar la acumulación excesiva de grasa y la pérdida del rendimiento en el canal, el alimento suministrado dependerá del peso deseado para el sacrificio (Vázquez-Mendoza, 2018). Si los alimentos suministrados han contenidos aditivos fármacos estos deberán



de retirarse, es decir dejar de suministrar por lo menos durante siete días, por lo cual los alimentos que se proporcionen deberán ajustarse a la edad del animal, a esta fase se le denomina retirada (Ravidran, 2013).

## 2.6. Métodos de formulación de alimentos.

Existen diversos métodos para la formulación de alimentos para los animales, algunos de estos métodos son los de programación lineal al mínimo costo por medio de software como Microsoft Excel, hasta métodos más sencillos como métodos del tanteo, cuadrado de Pearson, el método algebraico (Agrobanco, 2013). Los métodos de tanteo y de Pearson son métodos muy recurrentes debido a su fácil utilización, aunque tienen muy limitado la cantidad de ingredientes que pueden considerar, esto en comparación a las ecuaciones simultáneas y la programación lineal hacen uso de variables y condiciones para la asignación de las raciones del alimento (Chachapoya-Rivas, 2014).

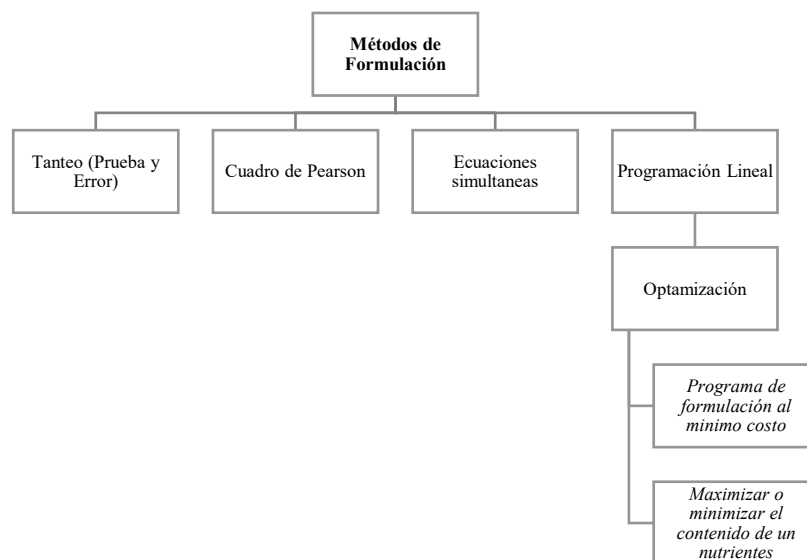


Figura 1. Métodos de Formulación para Alimentos Balanceados (Chachapoya-Rivas, 2014).

## 2.7. Antecedentes.

En el área de los alimentos destinados a consumo animal, el maíz ha tenido un gran impacto dado que en la mayoría de dietas administradas a pollos de engorde dentro de sus ingredientes se encuentra este cereal suministrado en cantidades y maneras diferentes como por ejemplo en 2015 en Manzanares, Caldas, Colombia se realizó una investigación usando forraje verde hidropónico (FVH) de maíz (*Z. mays*) como una alternativa a la nutrición de pollos de engorde, proporcionando dos tratamientos con porcentajes diferentes de sustitución donde el tratamiento con sustitución del 10% en forraje verde hidropónico de maíz y 90 % de alimento balanceado obtuvieron resultados más satisfactorios ya que esta dieta demostró eficiencia y productividad sin afectar las características finales en los pollo de engorde (Elizondo-Salazar, 2015). Un estudio reportó aumento de ácidos orgánicos por lo que el pH disminuyó de 5.5 a 4.2 lo que redujo significativamente bacterias, levaduras y mohos negativos de 6 a 3 log UFC/g, pero por el contrario aumentaron las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) de un 7.5 a 8.5 log UFC/g, usando concentrados a base de maíz suplementados con 15% de ensilado de maíz en grano rizado, esto no provocó ningún efecto negativo para el crecimiento de los pollos de engorde (Ranjitkar, et al., 2016). Siguiendo el método de la fermentación del maíz Marcincák y colaboradores en 2018 prepararon un bioproducto alimenticio con 10% harina de maíz fermentada con un hongo *Umbelopsis isabellina* CCF 2412 lo que mejoró los ácidos grasos y las propiedades sensoriales aumentaron la calidad de la carne de pollos de engorde. Si bien el maíz es una fuente de carbohidratos este también aporta concentraciones de proteína, un subproducto del maíz es la harina de gluten que contiene un alto porcentaje de proteína bruta (Abhijeet, et al., 2021), así mismo también se evaluaron el efecto de la alimentación con harina de gluten de maíz en la dieta de pollos de engorde

con tratamientos de 5 y 10% de harina de gluten de maíz, los resultados obtenidos estimaron que el tratamiento con una dieta de 10% tuvo una ganancia de peso mayor en menor ingesta. Otro estudio de subproducto evaluado son los granos de destilería del maíz (DDGS), donde los resultados presentaron que puede añadirse hasta 160g/kg en la dieta de los pollos de engorde sin afectar su rendimiento, canal y rendimiento de cortes, la adición de los DDGS no altero el pH de la carne, ni la capacidad de retención de agua (Damasceno, et al., 2020).

Un estudio evaluó los efectos que tenía el maíz de tres países diferentes los cuales fueron Brasil, Argentina y EE.UU., en dicho estudio suministraron una dieta con cantidades iguales de maíz a los pollos de engorde por 35 días. El experimento evaluó el rendimiento de los pollos de engorde, el rendimiento de procesamiento y la digestibilidad de los pollos alimentándose de maíces de diferentes países. Los resultados obtenidos revelaron que los pollos alimentados con maíz de Brasil y EE. UU., tuvieron un menor índice de conversión alimenticia en comparación a los pollos alimentados con maíz de Argentina. Los pollos alimentados con maíz de origen brasileño obtuvieron mayor peso en la pechuga en comparación a los pollos con tienen de maíz argentino, pero los resultados no son muy diferentes en los de EE.UU. El maíz no influyó en la digestibilidad de los nutrientes de proteínas bruta y grasa, pero los pollos con dietas de EE.UU. y de Brasil tuvieron mayor fosforo, calcio y potasio en comparación al de las dietas de Argentina (Vargas, et al., 2023).

### **3. CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

#### **3.1. Procedimiento para la recopilación de información sobre los insumos disponibles para un alimento balanceado.**

Se realizó un recorrido por las tiendas pecuarias y agropecuarias del municipio de Escárcega, Campeche con el objetivo de recopilar información sobre los insumos que se encuentran disponibles en la región para llegar a una formulación y posteriormente a la elaboración de un alimento balanceado destinado para pollos en una etapa de engorde. Para poder obtener una mejor recopilación de estos datos, previamente se investigó sobre los requisitos nutricionales y de los insumos que forman parte de un alimento balanceado para los pollos en este tipo de etapa, utilizando diversas fuentes bibliográficas.

#### **3.2. Determinación de proteínas, carbohidratos y grasas en maíz y soya.**

Para lograr formular un alimento es necesario conocer las concentraciones de los nutrientes de cada ingrediente con la finalidad de ajustar estas concentraciones siguiendo los requisitos nutricionales de la especie. Según los requisitos de los pollos de engorde los macronutrientes de mayor concentración en el alimento son las proteínas, carbohidratos y lípidos, por lo que para conocer las concentraciones de esos macronutrientes se realizaran pruebas bromatológicas del maíz y soya.

### **3.3. Obtención de muestras de maíz y pasta de soya.**

Previo a las pruebas se recolectaron muestras de maíz amarillo del rancho AGROGALBEC S.P.R. de R.L. de C.V., y la pasta de soya fue obtenida de la Asociación Ganadera de Escárcega que promueve la relación entre los miembros de ganadería y agricultura del municipio a través de diversos productos y *subproductos* como el maíz o pasta de soya.

Para complementar la dieta de las aves se deben de suministrar vitaminas y minerales, sin embargo, en la localidad de Escárcega estos productos además de sus elevados costos son pocos comunes en la región, por lo que como alternativa se optó por buscar estos nutrientes de productos con objetivos similares, como los suplementos vitamínicos (Vitafort) y de minerales (Vitater Pelecha) los cuales podrán ajustarse de acuerdo a las necesidades registradas.

### **3.4. Determinación de carbohidratos.**

Para la determinación de carbohidratos se aplicó el método de Fenol-Sulfúrico para carbohidratos totales de (Dubois, et al., 1951), en el cual especifican la utilización de 2ml de una solución de azúcares en un rango de concentraciones de 10 a 70 g/L, a esto se le añade 0.05ml de fenol al 80% y 5ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) directamente al líquido evitando el derramar el ácido por las paredes del contenedor o tubo. Se espera por 10 minutos a que ocurra la reacción a temperatura ambiente, seguidamente se agito por 10 minutos en un baño María de 25° a 30°C. Para el blanco se debe prepararse de acuerdo a las muestras, solo sustituyendo las concentraciones de azúcares por agua destilada. Las lecturas deben tomarse en una longitud de onda de 490 nm.

Los volúmenes descritos inicialmente pueden ajustarse de 2 a 1ml en las soluciones de azúcares, 1ml de fenol al 5% y 5ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Para la implantación de esta técnica se reajustaron los

volúmenes de manera proporcional a 200µl de la solución, 200 µl de fenol al 5% y 1ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, siguiendo las indicaciones del procedimiento de Dubois.

### **3.5. Determinación de proteínas.**

El procedimiento para determinar proteínas en el maíz fue por el método descrito en NMX-Y-359-SCFI-2019: Determinación de proteína cruda (método Kjeldahl) en alimentos balanceados e ingredientes mayores en usando un tamaño de muestra no mayor a 2.5 g para las tres muestras tomadas. Sin embargo, debido a problemas técnicos con el equipo Kjeldahl no se realizaron las pruebas para la pasta de soya, por lo que para poder obtener el concentrado de proteínas de este ingrediente se buscaron nuevos métodos teniendo en consideración los reactivos y equipos disponibles, encontrando que el método más viable el método de ensayo de Biuret (Janairo, et al., 2011), los reactivos disponibles en el laboratorio permitieron preparar de forma casera el activo Biuret según las indicaciones descritas y se evaluó previamente su viabilidad, la cual se estimó que es adecuado para usarse en pruebas analíticas. Seguidamente se elaboró una nueva curva patrón para la determinación de proteínas, se utilizó un producto con alto nivel de proteínas, por lo que se optó por un suplemento alimenticio, el producto seleccionado es X-GEAR adquirido en Farmacias Similares por las razones siguientes:

- Contenido elevado de proteínas de soya (sin aminoácidos adicionales)
- Libre de azúcares añadidos que puedan perjudicar en la reacción
- Una coloración clara que ayudara a no ocultar la reacción

Se realizaron una solución de 1:50 de la cual se obtuvieron cuatro concentraciones (1:100, 1:200, 1:500, 1:1000). Para la preparación de la solución 1:50 se trituró y filtró la pasta de soya, para

obtener partículas más pequeñas que pudieran disolver con el agua, seguidamente para evitar precipitaciones y lograr una mejor integración de la muestra se centrifugaron a 4000rpm por 5 minutos. El sobrenadante obtenido se usó para para las cuatro concentraciones anteriormente descritas y que serán evaluadas por el método de Biuret.

### **3.6. Determinación de Lípidos.**

El método para la determinación de lípidos fue el método descrito en NMX-F-615-NORMEX-2018: Determinación de extracto etéreo (método Soxhlet) en alimentos. Para el procedimiento se usaron 210ml de éter de petróleo como se indica, las muestras fueron menores a 2 g en ambas muestras de pasta de soya y maíz. Todos los procedimientos descritos fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Alimentos y el Laboratorio de Microbiología de Industrias Alimentarias.

### **3.7. Formulación del alimento balanceado.**

Una vez obtenidas las concentraciones de macronutrientes y en conjunto a los micronutrientes disponibles, se decidió usar para la formulación el método de programación lineal que proporciona la herramienta Solver de Excel Microsoft debido a su accesibilidad.

Para esta programación primero se define un objetivo que generalmente es el costo total que se obtiene del costo de cada ingrediente, esto es debido a que Solver resuelve mediante el mínimo costo. Después de definir el objetivo se establecen restricciones que generalmente son los requisitos nutricionales del animal para el cual se va a elaborar el alimento (Villaverde, 2021).

Usualmente se elaboran dos tablas en la primera se encuentra los ingredientes y nutrientes en diversos niveles de requerimientos disponibles, así como los costos de cada ingrediente que puede

ser usado en la formulación, esto en conjunto proporciona al programa Solver los datos para encontrar una solución factible la cual es presentada en la segunda tabla que es donde se establecen las restricciones.

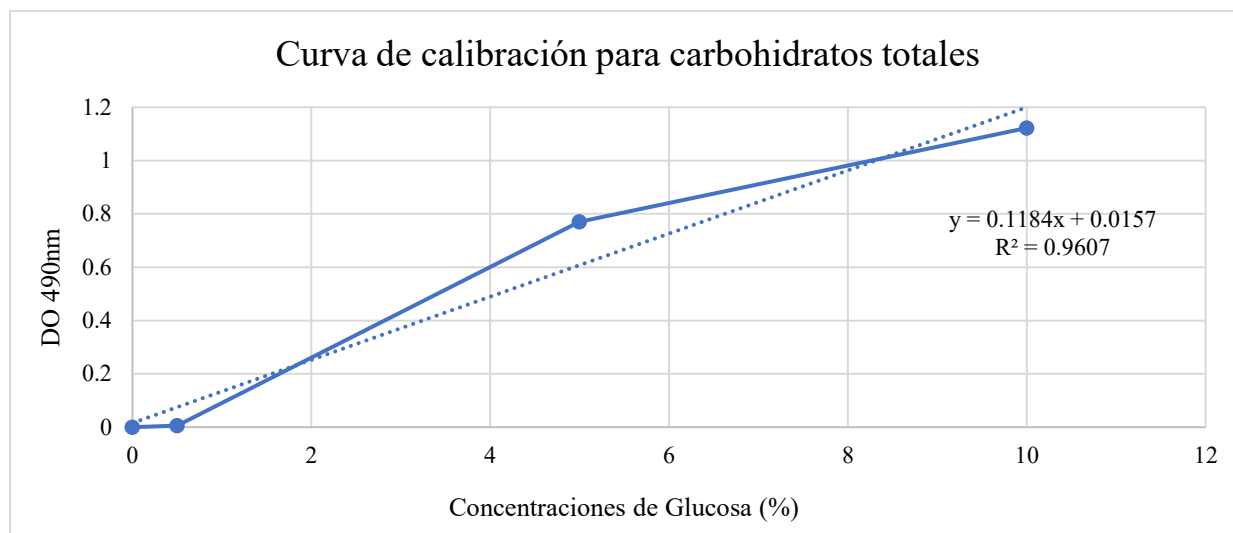


## **4. CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Disponibilidad macronutrientes en maíz y pasta de soya**

Las lecturas obtenidas para carbohidratos totales son consistentes con su curva de calibración representada en la gráfica 1. Según el modelo matemático empleado, las concentraciones finales mostraron valores similares entre sí. Para obtener el valor promedio, se calcularon las medias de las concentraciones obtenidas, dando como resultado final un 77.33% de carbohidratos totales para el maíz amarillo y un 23.1% para la pasta de soya.

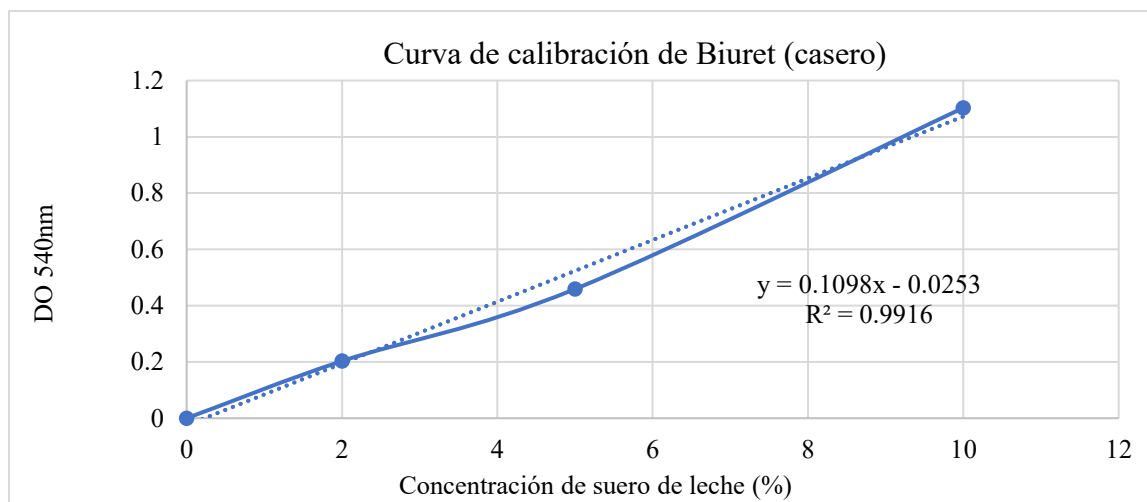
Estos resultados son muy aproximados a los valores esperados y reportados por Dei (2017), quien indicó un 77% de almidón y carbohidratos totales en granos de maíz. Por su parte, los resultados para la pasta de soya coinciden con los rangos obtenidos por el análisis de las cualidades nutricionales de harinas de soya como subproductos de la extracción de aceite, el cual reportó que las harinas de soya obtenidas mediante el método de prensa-solvente presentan valores de carbohidratos en un rango de 21.5% a 39.5%, en comparación al valor de 23.1% obtenido en este estudio se encuentra entre dicho rango de concentración (Gallardo, 2008).



**Gráficas 1. Curva de calibración para carbohidratos totales por método de Dubois**

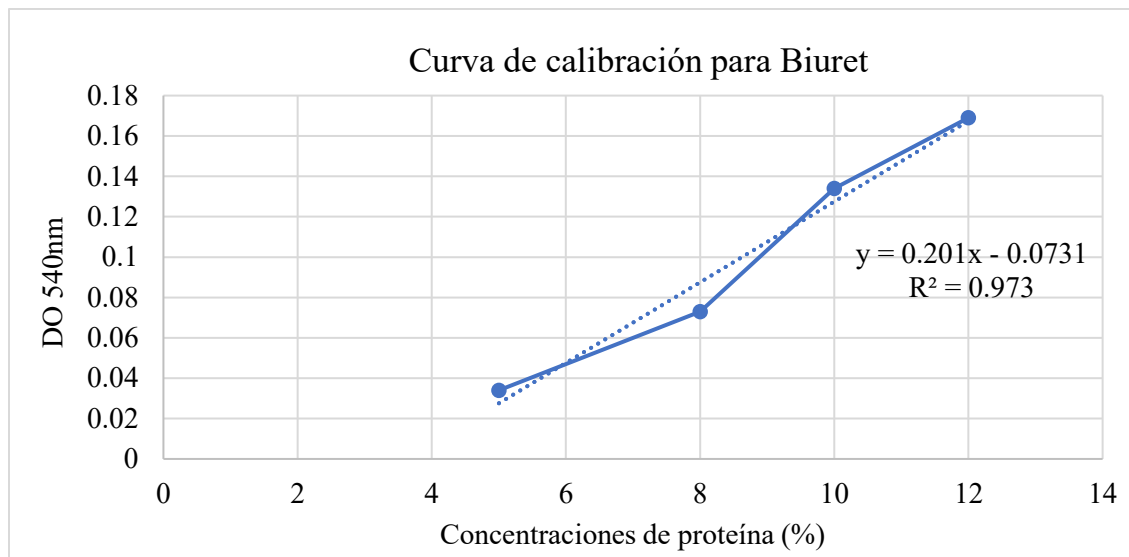
Para la determinación de proteínas, como se mencionó previamente, se utilizaron dos métodos debido a problemas técnicos. El primer método empleado fue el de Kjeldahl, utilizado para determinar las proteínas en el maíz amarillo, el segundo método consistió en el ensayo de Biuret para la determinación de proteínas en la pasta de soya. A partir de los resultados obtenidos, se calculó un promedio que arrojó una concentración de 3.21% de proteína bruta en el maíz amarillo.

Para evaluar la viabilidad del reactivo de Biuret “casero”, se realizaron pruebas con suero de leche utilizando un rango de concentración desde 0% hasta 10% para construir la curva de calibración. Esta prueba fue considerada un éxito, ya que el modelo de regresión lineal mostró un valor de  $R^2 = 0.9916$  como se observa en la gráfica 2. Sin embargo, las fuentes bibliográficas estiman concentraciones de proteína en valores menores al 1% (Kila, 1984), por lo que el método adecuado para medir proteínas estaría en un rango de 0% a 0.1%.



**Gráficas 2. Curva de calibración de Biuret (casero)**

A continuación, se elaboró una nueva curva de calibración para determinar el contenido de proteínas totales. Para esta prueba, se utilizó el producto X-GEAR, un suplemento alimenticio comercializado por Farmacias Similares. Este producto reporta un contenido de 7.9 g de proteína de soya por cada 100ml, lo que equivale a una concentración del 7.9%, es decir, 79 mg/ml. Dado que, en la prueba anterior, la concentración más alta para la curva de calibración fue de 1.2 mg/ml, se ajustaron las soluciones para que las concentraciones estuvieran dentro de ese rango y fueran adecuadas para la curva (gráfica 3).



**Gráficas 3. Curva de calibración para Biuret usando X-GEAR**

Esta curva estableció el siguiente modelo matemático para determinar la concentración de proteínas:

$$\text{Proteína de soya en } \frac{mg}{ml} = \frac{DO\ 540\ nm + 0.0731}{0.201}$$

Tomando en cuenta el modelo matemático previamente obtenido, se realizó la última prueba para determinar proteínas totales en la pasta de soya. Las primeras lecturas de las muestras arrojaron valores bajos, lo cual se atribuye al método utilizado en la preparación de las muestras, ya que lo que se cuantificó fueron principalmente proteínas hidrosolubles.

Las pruebas se repitieron sin centrifugar las muestras, y la nueva solución arrojó lecturas esperadas. Al comprobar los resultados con el modelo matemático establecido, se obtuvo un promedio aproximado de 53.6% en proteínas totales. Este resultado es favorable y se encuentra dentro de los rangos reportados, dónde se señala que las harinas obtenidas mediante el método de prensa-

solvente para la extracción de grasas presentan valores de proteínas entre 44% y 53.8% (Gallardo, 2008).

Las concentraciones varían, y aquellas con valores superiores al 47% de proteína bruta son consideradas harinas de alto valor proteico. Las harinas procedentes de diferentes países, como Brasil y Estados Unidos, presentan niveles de proteína bruta más elevados, en un rango de 48% a 53.2%, lo que las convierte en piensos de alta calidad para la alimentación animal (Fondevila, et al., 2018).

Por último, para la determinación de lípidos usando el método Soxhlet arrojaron valores de 3.395% y 0.635% para el maíz y la pasta de soya respectivamente. Los valores en el maíz son suelen variar en un rango de 5 a 3% (Gutierrez-Coronado, et al., 2009) y para las harinas de soya dirigidas a la alimentación animal los valores suelen variar de 0.4 – 2.5 % valores obtenidos después de la extracción de aceite (Gallardo, 2008).

**Tabla 1. Concentraciones de macronutrientes en las materias primas y su aporte energético**

| <i>M. Prima</i>      | <i>% Grasas</i> | <i>% Carbohidratos</i> | <i>% Proteínas</i> | <i>Kcal</i> |
|----------------------|-----------------|------------------------|--------------------|-------------|
| <i>Maíz</i>          | 3.395           | 77.335                 | 3.21               | 352.735     |
| <i>Pasta de Soya</i> | 0.635           | 23.1                   | 53.65              | 312.715     |

La tabla 1 presenta el resumen de las concentraciones de carbohidratos, proteínas y grasa en porcentaje (%) obtenidas de las materias primas que son maíz y pasta de soya, además del contenido energético que aportan de manera conjunta. Estos resultados serán usados en la formulación final del alimento.

Sin embargo, otros elementos importantes en la composición de un alimento balanceado son los micronutrientes, en este caso son otorgados por medio de suplementos alimenticios representados en las tablas 2 y 3 de vitaminas y minerales respectivamente:

**Tabla 2. Vitaminas disponibles en cada 100g de Vitafort**

| <i>Vitamina</i>                          | <i>Cada 100g</i> | <i>Unidad</i> |
|------------------------------------------|------------------|---------------|
| <i>Vitamina A</i>                        | 125,000          | U.I.          |
| <i>Vitamina D3</i>                       | 41,500           | U.I.          |
| <i>Vitamina B12</i><br>(Cianocobalamina) | 500              | mcg           |
| <i>Vitamina E</i>                        | 40               | U.I.          |
| <i>Riboflavina</i>                       | 90               | mg            |
| <i>Vitamina B1</i>                       | 100              | mg            |
| <i>Vitamina B6</i>                       | 50               | mg            |
| <i>Vitamina C</i>                        | 100              | mg            |
| <i>Vitamina K</i>                        | 100              | mg            |
| <i>Ácido pantoténico</i>                 | 100              | mg            |
| <i>Nicotinamida</i>                      | 400              | mg            |
| <i>Ácido fólico</i>                      | 3                | mg            |
| <i>Excipiente c.b.p.</i>                 | 100              | mg            |

**Tabla 3. Minerales disponibles por cada 100g de Vitater Pelecha**

| <i>Mineral</i>             | <i>Cada 100g</i> | <i>Unidad</i> |
|----------------------------|------------------|---------------|
| <i>Glicina</i>             | 15               | mg            |
| <i>Carbonato de calcio</i> | 1000             | mg            |
| <i>Selenito de sodio</i>   | 15               | mg            |
| <i>Sulfato de zinc</i>     | 10               | mg            |
| <i>Betaina HCl</i>         | 50               | mg            |
| <i>L-lisina HCl</i>        | 300              | mg            |
| <i>L-metionina</i>         | 250              | mg            |
| <i>L-triptofano</i>        | 250              | mg            |

|                              |     |    |
|------------------------------|-----|----|
| <i>Biotina</i>               | 1   | mg |
| <i>Tiamina HCl (vit. B1)</i> | 250 | mg |
| <i>Excipiente c.b.p.</i>     | 1   | g  |

Posteriormente para la selección de los micronutrientes se consideró su importancia dentro del desarrollo y de la función metabólica del animal, como por ejemplo la selección de la biotina se debe a un estudio realizado en 2010 por Quarantelli y colaboradores, quienes suministraron a pollos de engorde una dieta basada en granos de maíz y pasta soya con diferentes concentraciones de biotina que fueron desde 100, 200, 300, 400, 500  $\mu\text{g/kg}$  donde los resultados mostraron que la biotina en las concentraciones de 200, 300 y 400  $\mu\text{g/kg}$  aumentaron la tasa de crecimiento durante los periodos de engorde y finalización.

#### **4.2. Formulación del Alimento balanceado para pollos en etapa de engorda**

Usando el programa Solver de Microsoft Excel este modelo de programación lineal requiere de condiciones o límites para proporcionar una “solución” por lo cual para este trabajo se usaron los siguientes datos que corresponden a los requisitos nutricionales del pollo de engorde como límites mínimos y máximos. Dichos requisitos fueron seleccionados según su importancia nutricional y la deficiencia nutricional que puede tener el alimento de un suministrar las cantidades adecuadas. Las concentraciones de biotina, vitamina D3 y fósforo fueron establecidas según los resultados reportados en la literatura; para la biotina la National Research Council (1994), recomienda un mínimo de 0.15 mg/kg de alimento, para la vitamina D3 se recomienda cantidades

mínimas de 1400 UI (Swiatkiewicz, 2016) y para el fosforo es recomendado usar 1.8 g de fosforo monosódico por cada kg de alimento de pollos (Sung, et al., 2024).

**Tabla 4. Requisitos de nutrientes para un pollo en etapa de engorda**

| <i>Requerimientos de un pollo<br/>en la etapa de engorde</i> | <i>Proteína<br/>%</i> | <i>Lípidos<br/>%</i> | <i>Energía<br/>(Kcal/Kg)</i> | <i>Biotina<br/>(mg)</i> | <i>Vitamina D3<br/>(U.I.)</i> | <i>Fosforo<br/>%</i> |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------|
| <i>Mínimo</i>                                                | 19                    | 3                    | 2950                         | 0.15                    | 1400                          | 0.35                 |
| <i>Máximo</i>                                                | 21                    | 4.5                  | 3350                         | 0.2                     | 1800                          | 0.7                  |

Siguiendo con modelo de formulación Solver necesita de los insumos disponibles y las concentraciones en las que se encuentran para la formulación, se definen también los factores de mayor importancia:

**Tabla 5. Insumos disponibles y su aportación de nutrientes para la formulación del alimento balanceado. Presentación de costos por kilo de cada insumo.**

| <i>Materias<br/>Primas</i>    | <i>Proteína<br/>%</i> | <i>Lípidos<br/>%</i> | <i>Energía<br/>(Kcal/kg)</i> | <i>Biotina<br/>(mg)</i> | <i>Vitamina D3<br/>(U.I.)</i> | <i>Fósforo<br/>%</i> | <i>Ligante<br/>(L)</i> | <i>Costo por<br/>kilo o litro<br/>(\$)</i> |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------------------------|
| <i>Maíz Amarillo</i>          | 3.21                  | 3.395                | 3527.35                      | 0.06                    | 0                             | 0                    | 0                      | 6                                          |
| <i>Pasta de Soya</i>          | 53.65                 | 0.635                | 3127.15                      | 0.26                    | 0                             | 0                    | 0                      | 10.5                                       |
| <i>Aceite de Coco</i>         | 0                     | 91.6                 | 8030                         | 0                       | 0                             | 0                    | 0                      | 94.11                                      |
| <i>Vitater<br/>Pelecha</i>    | 0                     | 0                    | 0                            | 0.1                     | 0                             | 0                    | 0                      | 430                                        |
| <i>Vitafort A</i>             | 0                     | 0                    | 0                            | 0                       | 415000                        | 0                    | 0                      | 196                                        |
| <i>Fosfato<br/>Monosódico</i> | 0                     | 0                    | 0                            | 0                       | 0                             | 258.2                | 0                      | 87.5                                       |
| <i>Agua</i>                   | 0                     | 0                    | 0                            | 0                       | 0                             | 0                    | 0.9                    | 0.35                                       |

Por último, se establece una relación lineal entre los insumos disponibles y las condiciones que deben de cumplir para que Solver pueda dar solución o en este caso presentar la formulación para



un alimento, Solver además presenta un apartado de costos de producción. A continuación, se presenta la formulación más apropiada para un alimento balanceado para pollos en su etapa de engorda según los resultados de Solver:

**Tabla 6. Formulación final del alimento. Concentraciones finales para elaborar 1Kg de alimento**

| <i><b>Materias Primas</b></i> | <i><b>Inclusión (Kilo)</b></i> | <i><b>Proteína %</b></i> | <i><b>Lípidos %</b></i> | <i><b>Energía (Kcal)</b></i> | <i><b>Biotina (mg)</b></i> | <i><b>Vitamina D3 (U.I.)</b></i> | <i><b>Fósforo %</b></i> | <i><b>Agua L</b></i> | <i><b>Costo Total (\$)</b></i> |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|
| <i>Maíz Amarillo</i>          | 0.51                           | 1.6371                   | 1.73145                 | 1798.9485                    | 0.0306                     | 0                                | 0                       | 0                    | 3.06                           |
| <i>Pasta de Soya</i>          | 0.46                           | 24.679                   | 0.2921                  | 1438.489                     | 0.1196                     | 0                                | 0                       | 0                    | 4.83                           |
| <i>Aceite de coco</i>         | 0.02                           | 0                        | 1.832                   | 160.6                        | 0                          | 0                                | 0                       | 0                    | 1.88                           |
| <i>Vitater Pelech</i>         | 0.0042                         | 0                        | 0                       | 0                            | 0.00042                    | 0                                | 0                       | 0                    | 1.806                          |
| <i>Vitafort</i>               | 0.0038                         | 0                        | 0                       | 0                            | 0                          | 1577                             | 0                       | 0                    | 0.7448                         |
| <i>Fosfato Monosódico</i>     | 0.0018                         | 0                        | 0                       | 0                            | 0                          | 0                                | 0.46476                 | 0                    | 0.1575                         |
| <i>Ligante</i>                | 0.8                            | 0                        | 0                       | 0                            | 0                          | 0                                | 0                       | 0.72                 | 0.28                           |
| <b>TOTAL</b>                  | 1.7998                         | 26.3161                  | 3.85555                 | 3398.0375                    | 0.15062                    | 1577                             | 0.46476                 | 0.72                 | 12.76065294                    |

La tabla proporciona un aproximado de los nutrientes totales del alimento, en los que podemos observar que la mayoría de ellos alcanzaron la concentración de nutrición recomendable según la literatura. También se observa que el total del alimento sobrepasa el kilogramo, esto se debe a la adición del agua, la cual actúa como una sustancia “ligante” en la formación de los pellets, el paso posterior es el horneado es qui donde hay una pérdida de peso pues el agua suele evaporarse por lo que a falta de esta el peso final reduce. Si bien al agua no proporciona un valor nutricional al alimento final, es elemental su función en el proceso debido a que forma una parte del costo de producción y que sin la adición de esta el alimento final no logra tener la consistencia deseada.

### 4.3. Diagrama para la elaboración del alimento balanceado para pollos en etapa de engorda.

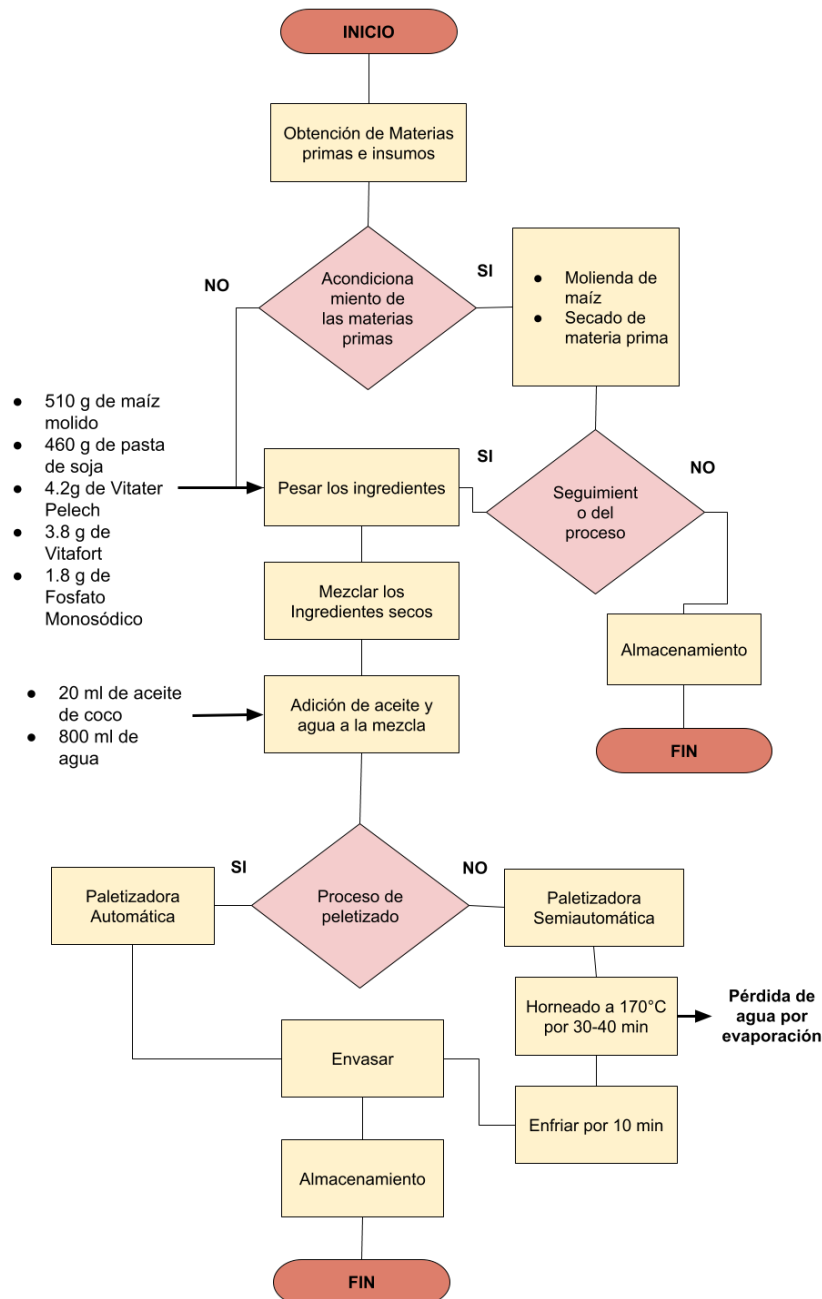


Figura 2. Diagrama para la elaboración del alimento balanceado para pollos en etapa de engorda

## 5. CAPÍTULO V CONCLUSIÓN

La localidad de Escárcega cuenta con subproductos agrícolas como la pasta de soya siendo distribuida por los mismos agricultores. Este subproducto agrícola fue analizado junto con el maíz amarillo, los resultados obtenidos de los análisis de carbohidratos, proteínas y grasas son favorables lo que afirma que son piensos de calidad para la nutrición animal. Las premezclas actuales suelen ser costosas y de difícil acceso debido a la tecnología con la que suelen estar elaboradas, pero en su forma básica pueden ser “replicadas” con suplementos alimenticios menos costosos y de fácil acceso, por ello para complementar la fórmula y cumplir con las necesidades nutricionales se hicieron uso de suplementos minerales y vitamínicos. La formulación final del alimento balanceado cumple con los requisitos propuestos en la tabla 1 y como producto final su costo de producción es favorable lo que lo hace competente en el mercado de alimentos balanceados, en conclusión, la elaboración de este alimento balanceado es viable de manera teórica en condiciones nutricionales y económicas, sin embargo aún hay aspectos por explorar y mejorar como la disponibilidad del animal para la reducción de nutrientes excretados (nitrógeno y fósforo) que podrían minimizar la contaminación en los suelos y agua. Otro aspecto a considerar es la influencia de la dieta en la calidad del producto final en términos nutricionales o sensoriales, aunque se recomienda evaluar el producto mediante la práctica de alimentación con pollos de granja en etapa de engorde para evaluar su efectividad.

## 6. CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES

Es recomendable evaluar la velocidad de producción y almacenamiento del producto final esto con el objetivo de identificar su adaptabilidad en un ambiente de producción sin comprometer su calidad actual, para asegurar que el alimento balanceado cumpla con los estándares nutricionales reportados. Se recomienda evaluar el producto en un ambiente de producción sin comprometer la calidad del producto actual, por lo que para asegurar que el alimento balanceado cumple con los estándares de calidad y seguridad alimentaria, se promueve buscar la obtención de certificaciones que avaluaran el cumplimiento de las regulaciones establecidas por las instituciones pertinentes. Conocer los factores claves como la capacidad técnica, tecnológica, recursos humanos y financieros, así como la infraestructura y arquitectura de la empresa que ayudara a analizar la velocidad de procesamiento, almacenamiento y producción a grandes escalas con el objetivo de identificar la adaptabilidad del producto. Sin embargo, la recomendación más importante es la evaluación del alimento y su efectividad en los pollos, esto a través de tratamientos o dietas de alimentación.

## 7. CAPÍTULO VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhijeet, K., Prasanna, S., Mahesh, P., Ranjith, R., Karan, P., Bhandekar, S., . . . Masood, K. (2021). Effect of Feeding Corn Gluten Meal in Feed Ration on Growth Performance of Commercial Broiler Chicken. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, Vol. 40, 337-340.
- Agrobanco. (2013). Formualción de alimentos balanceados. In Agrobanco, *Formulación de alimentos balanceados y mejoramiento genético en ganado lechero* (pp. 11-17). Perú.
- Alagawany, M., Elners, S. S., Farag, M. R., Tiwari, R., Yatoo, M. I., & Karthik, K. (2020, December 13). Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – a comprehensive review. *Veterinary Quarterly* vol. 41, 1-29.
- Aldivas-Allahoki, A. (2023). The Role of SoyBean in Sustainable Poultry Nutrition: Review. *International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations*, 34-40.
- Campos, A., Salguero, S., Albino, L., & Rostagno, H. (2016, Marzo 21). *Aminoácidos en la Nutrición de Pollos de Engorda: Proteína Ideal*. Retrieved from ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/268339668\\_Aminoacidos\\_en\\_la\\_Nutricion\\_de\\_Pollos\\_de\\_Engorde\\_Proteina\\_Ideal](https://www.researchgate.net/publication/268339668_Aminoacidos_en_la_Nutricion_de_Pollos_de_Engorde_Proteina_Ideal)
- Chachapoya-Rivas, D. L. (2014). *Producción de Alimentos Balanceados en una Palnta Procesadora en el cantón Cevallos*. Quito : Escuela Politécnica Nacional .
- Chessa-Fuente, A. (2007 ). *La calidad del sorgo como alimento animal* . Retrieved from Producción Animal Argentina : [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion/82-sorgo\\_taninos.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/82-sorgo_taninos.pdf)
- CONAFAB. (2019, Agosto 8). *Beneficios del alimento balanceado para la industria avícola*. Retrieved from Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y Nutrición Animal (CONAFAB): <https://conafab.org/old/prensa-m/beneficios-del-alimento-balanceado-para-la-industria-avicola>
- CONAFAB. (2021). *La industria alimentaria animal de México 2021*. Retrieved from CONAFAB : <https://www.bmeditores.mx/wp-content/uploads/2020/06/Anuario-CONAFAB-2021-BME.pdf>
- CONAFAB. (2022, Septiembre 14). *Alimento balanceado, clave en el desarrollo de la industria avícola*. Retrieved from Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y Nutrición Animal (CONAFAB): [https://www.conafab.org/images/comunicados/BP\\_Alimento\\_balanceado\\_clave\\_en\\_el\\_desarrollo\\_de\\_la\\_industria\\_avicola\\_nacional\\_rev\\_mgm.pdf](https://www.conafab.org/images/comunicados/BP_Alimento_balanceado_clave_en_el_desarrollo_de_la_industria_avicola_nacional_rev_mgm.pdf)

- Consejo Mexicano de la Carne. (2022). *Compendio Estadístico 2022*. Retrieved from Comecarne: [https://comecarne.org/wp-content/uploads/2022/05/compendio\\_estadistico\\_2022.pdf](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2022/05/compendio_estadistico_2022.pdf)
- Creative Proteomics. (2024). *Protocol for Biuret Protein Assay*. Retrieved from Creative Proteomics: <https://www.creative-proteomics.com/resource/protocol-for-biuret-protein-assay.htm>
- Cucca, M. (1962). La alimentación de las aves de corral. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 50-56.
- Damasceno, J. L., Rocha, C. S., Eyng, C., Jomara Broch, V. D., Wachholz, L., Teser, G. L., . . . Nunes, R. V. (2020). Corn distillers' dried grains with solubles to feed broiler chickens from 22 to 42 D of age. *Journal of Applied Poultry Research*, 573-583.
- Dei, H. K. (2017, Febrero). Assessment of Maize (*Zea mays*) as Feed Resource for Poultry. In M. Manafi, *Poultry Science* (pp. 1-32). Croacia: IntechOpen. Retrieved from IntechOpen: <https://www.intechopen.com/chapters/52383>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1980, Agosto 04). *NOM-F-68-S-1980 "ALIMENTOS- DETERMINACION DE PROTEINAS"*. Retrieved from Diario Oficial de la Federación (DOF): [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4858024&fecha=04/08/1980#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4858024&fecha=04/08/1980#gsc.tab=0)
- Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1951). A Colorimetric Method for the Determination of Sugars. *Nature*, 167-168.
- El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., el-Bedawy, A. A., & Sobihah, T. Y. (2000). Effect of soaking process on nutritional quality and protein solubility of some legume seeds. *Die Nahrung*, 339-343.
- Elizondo-Salazar, J. A. (2015, Mayo). *Efecto de la suplementación alimenticia con forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays L.) en la sostenibilidad de la producción de pollos de engorde en predios rurales del municipio de Manzanares - Caldas*. Retrieved from ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/284163254\\_Calidad\\_nutricional\\_y\\_consumo\\_de\\_forraje\\_de\\_Maiz\\_Zea\\_mays\\_y\\_forraje\\_de\\_Estrella\\_Africana\\_Cynodon\\_nlemfuensis\\_con\\_o\\_sin\\_alimento\\_balanceado\\_en\\_cabras](https://www.researchgate.net/publication/284163254_Calidad_nutricional_y_consumo_de_forraje_de_Maiz_Zea_mays_y_forraje_de_Estrella_Africana_Cynodon_nlemfuensis_con_o_sin_alimento_balanceado_en_cabras)
- FAO. (2013). *Revisión del desarrollo avícola*. Retrieved from Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura : <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3531s>
- Fernandez-Curi, E. (2013). *Formulación de alimentos balanceados y mejoramiento genético en ganado lechero*. Retrieved from Agrobanco: [https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/018-h-ganado\\_A.BALANCEADO\\_GANADO.pdf](https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/018-h-ganado_A.BALANCEADO_GANADO.pdf)

- Fondevila, G., Cámara, L., Archs, J., & Mateos, G. (2018, Septiembre). *Utilización de productos de soja en alimentación animal*. Retrieved from nitriNews:  
[https://nutrinews.com/download/FONDEVILA-GLEZ\\_MATEOS-Utilizacion-de-productos-de-soja-en-alimentacion-animal-parte-1-valor-nutricional.pdf](https://nutrinews.com/download/FONDEVILA-GLEZ_MATEOS-Utilizacion-de-productos-de-soja-en-alimentacion-animal-parte-1-valor-nutricional.pdf)
- Food Science Australia . (1998). Crude Fat Determination - Soxhlet Method . *Food Science Australia* , 1-3.
- Gallardo, M. (2008). *SOJA: Harinas de extracción para la alimentación del ganado. Un análisis de las cualidades nutricionales de los diferentes tipos, de acuerdo al método de extracción utilizado*. Retrieved from Sitio Argentino de Producción Animal :  
<https://www.produccion-animal.com.ar/>
- Garzón-Albarracín, V. (2004). La soya principal fuente de proteínas en la alimentación de especies menores . In V. Garzón Albarracín, & R. A. Valencia Ramirez, *Potencialidades de la Soya y Usos en la Alimentación Humana y Animal* (pp. 18-29). Villaviciencio, Meta, Colombia : Corporación colombiana de investigación agropecuaria AGROSAVIA.
- Garzón-Albarracín, V. (2006). La soya como fuente de proteína en la alimentación animal. In C. C. Agropecuaria, *Soya (Glycine max (L.) Merrill) alternativa para los sistemas de producción de la Orinoquía colombiana: plan estratégico de investigación y desarrollo tecnológico de Soya* (pp. 45-56). Villaviciencio, Meta, Colombia: Corporación colombiana de investigación agropecuaria AGROSAVIA.
- Gutierrez-Coronado, M., Coronado-Amayaa, E., Vazquez-Ortiza, F., Lopez-Francoa, Y., & Ortega-Corona, A. (2009). Caracterización física y química de maíz de calidad proteínica mejorada. *CyTA– Journal of Food* Vol. 7, 111-118.
- Hidalgo-Lozano, V. (2013). *Formulación de alimentos balanceados para el engorde del ganado vacuno* . Retrieved from Agrobanco :  
<https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/018-i-ganado.pdf>
- Janairo, G., Linley-Sy, M., Yap, L., Llanos-Lazaro, N., & Robles, J. (2011). Determination of the Sensitivity Range of Biuret Test for Undergraduate Biochemistry Experiments. *e -Journal of Science & Technology (e-JST)*, 77-83.
- Khan, R. U., Nazb, S., Ullahc, H., AhmadbKhand, N., Laudadioe, V., Ragni, M., . . . Tufarellie, V. (2021). Dietary vitamin D: growth, physiological and health consequences in broiler production. *Animal Biotechnology* Vol. 34, 1635-1641.
- Kila, A. (1984). Standardization of Methodology for Evaluating Whey Proteins. *Journal of Dairy Science* Vol. 67 , 2734-2744.
- Kleyn, R., & Chrystal, P. (2022). *Broiler Nutrition: Masterclass*. ContextBookShop.com.
- Knudsen, K. E. (2014). Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poultry science* , 2380-2393.



- Marcinčák, S., Klemková, T., Bartkovský, M., Marcinčáková, D., Zdolec, N., Popelka, P., . . . Čertík, M. (2018). Effect of Fungal Solid-State Fermented Product in Broiler Chicken Nutrition on Quality and Safety of Produced Breast Meat. *Investigación BioMed Internacion*, 8 paginas.
- Mateos, G. G., Cámara, L., De Juan, Á. F., & Aguirre, L. (2019). Factores Antinutricionales de los Ingredientes y su Impacto en Alimentación de Aves y Porcinos. *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA)*, 113-132.
- Mijena, D., & Getiso, A. (2024). Phase Feeding Strategies to Optimize Poultry Production Efficiency: Review. *Open Access Journal of Animal & Plant Husbandry Vol. 4*.
- Moreno-Temprano, R. (2005). Calidad de la Carne de Pollo. *Selecciones Avícolas* , 347-355.
- Muñoz-López, D. L. (2027). *Estudio de la cadena de valor de alimentos balanceados en el Ecuador*. Retrieved from Universidad Andina Simón Bolívar:  
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/5999/1/T2492-MAE-Mu%c3%bl oz-Estudio.pdf>
- National Geographic. (2023, Marzo 29). *Economía circular: ¿qué es y por qué beneficia al medio ambiente?* Retrieved from National Geographic:  
<https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/05/economia-circular-que-es-y-por-que-beneficia-al-medio-ambiente>
- National Research Council (NRC). (1994). National Research Council Nutrient Requirements of Poultry - Ninth Revised Edition (1994). *The Journal of Applied Poultry Research* 3, 101.
- Olvera-Novoa, M. A., Martínez-Palacios, C. A., & Real de León, E. (1993). *Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustacios*. Italia: Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y alimentación.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2021, Marzo 26). *La economía circular: un modelo económico que lleva al crecimiento y al empleo sin comprometer el medio ambiente*. Retrieved from New ONU : <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082>
- Palomo-Martinez, G. G., & Arriaga-Becerra, R. (1993). *Atlas de Ubicación de Productos Agropecuarios Utilizables en la Planificación y Desarrollo de la Acuicultura en México* . Pachuca, Hidalgo.: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Proszkowiec-Weglarz, M., & Ángel, R. (2013). Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. *Journal of Applied Poultry Research Vol. 22*, 609-627.
- Quarantelli, A., Cacchioli, A., Romanelli, S., Righi, F., Alpigliani, I., & Gabbi, C. (2010). Effects of different levels of dietary biotin on the performance and bone structure of broilers. *Italian Journal of Animal Science*, 5-17.



- Ranjitkar, S., Karlsson, A. H., Petersen, M. A., Bredie, W. L., & Petersen, J. S. (2016). The influence of feeding crimped kernel maize silage on broiler production, nutrient digestibility and meat quality. *British Poultry Science Vol. 57*, 93-205.
- Ravidran, V. (2013). Disponibilidad de piensos y aves de corral en países en desarrollo. In F. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *Revisión del desarrollo avícola* (pp. 63-81). Palmerston North, Nueva Zelanda.
- Ruiz, N., Parsons, C., Stein, H. H., Coon, C., van-Eys, J. E., & Miles, R. D. (2020). *A review: 100 years of soybean meal. A historical look at the soybean and its use for animal feed*. Illinois, United States: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- SAGARPA. (2020, Junio 30). *Maíz blanco o amarillo es cultivo de tradición y desarrollo*. Retrieved from Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-blanco-o-amarillo-es-el-cultivo-de-tradicion-y-desarrollo>
- SAGARPA. (2024, Mayo 26). *Tiene México una industria de alimentos balanceados que garantiza la salud y bienestar de los animales de consumo y de compañía: Agricultura*. Retrieved from Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural : <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/tiene-mexico-una-industria-de-alimentos-balanceados-que-garantiza-la-salud-y-bienestar-de-los-animales-de-consumo-y-de-compania-agricultura?idiom=es>
- Santillán, M. L. (2020, Octubre 16). *Economía Circular, el tránsito hacia un mundo más sustentable*. Retrieved from Ciencia UNAM : <https://ciencia.unam.mx/leer/1055/economia-circular-el-transito-hacia-un-mundo-mas-sustentable>
- SENASICA . (2019). *Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de pollos de engorda* . Retrieved from Gobierno de México : [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859966/Manual\\_de\\_BPP\\_de\\_Produccion\\_de\\_Pollo\\_de\\_Engorda2019-comprimido4.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859966/Manual_de_BPP_de_Produccion_de_Pollo_de_Engorda2019-comprimido4.pdf)
- Sugiharto, S., & Ranjitkar, S. (2019). Recent advances in fermented feeds towards improved broiler chicken performance, gastrointestinal tract microecology and immune responses: A review. *Animal Nutrition Vol. 5*, 1-10.
- Sung, J. Y., Emmert, B. J., Karcher, D. M., Caminar, C. L., & Adeola, O. (2024). Phosphorus equivalency of exogenous phytase relative to phosphorus in monosodium phosphate in broiler chickens. *Poultry Science Vol. 103*.
- Swiatkiewicz, S. A.-W.-L. (2016). Efficacy of dietary vitamin D and its metabolites in poultry - review and implications of the recent studies. *World's Poultry Science Journal*, 57-68.

- Tanwar, R., Panghal, A., Chaudhary, G., Kumari, A., & Chhikara, N. (2023, December ).  
*Nutritional, phytochemical and functional potential of sorghum: A review*. Retrieved from  
ScienceDirect : <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100501>
- The Food Tech . (2023, Agosto 13). *Desarrollo sostenible: Retos y soluciones para el transporte  
y distribución de Alimentos*. Retrieved from The Food Tech:  
[https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/desarrollo-sostenible-retos-y-soluciones-  
para-el-transporte-y-distribucion-de-alimentos/](https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/desarrollo-sostenible-retos-y-soluciones-para-el-transporte-y-distribucion-de-alimentos/)
- Torres-Novoa, D. M. (2018). Exigencias Nutricionales de Proteína Bruta y energía Metabolizable  
para Pollos de Engorde. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA)*, 105-113.
- Vargas, J. I., Guliza, J. P., Bonilla, S. M., Sasia, S., & Pachecho, W. J. (2023). Effect of Corn  
Origin on Broiler Performance, Processing Yield, and Nutrient Digestibility from 1 to 35  
Days of Age. *Animals*.
- Vázquez-Mendoza, E. (2018). *Fases de Alimentación en Pollos de Engorda*. Coahuila, México:  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Villaverde, H. E. (2021). *Manual básico de Solver Excel*. Retrieved from Universidad de Lima :  
<https://hdl.handle.net/20.500.12724/14396>



## 8. CAPÍTULO VIII ANEXOS

