



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGROINDUSTRIA

TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGROINDUSTRIAL

DESARROLLO DE UN ALIMENTO BALANCEADO PARA
POLLOS EN ETAPA INICIAL A BASE DE CÁSCARA DE
PLÁTANO VERDE Y AFRECHO DE ARROZ

AUTOR

MORENO ARIAS ELIZABETH DALESKA

TUTOR

ING. CAMPUZANO VERA ANA MARÍA, M.Sc.

GUAYAQUIL, ECUADOR

2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGROINDUSTRIA**

APROBACIÓN DEL TUTOR

La suscrita, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: “**DESARROLLO DE UN ALIMENTO BALANCEADO PARA POLLOS EN ETAPA INICIAL A BASE DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE Y AFRECHO DE ARROZ**”, realizado por la estudiante **MORENO ARIAS ELIZABETH DALESKA**; con cédula de identidad N° **0932305568** de la carrera **AGROINDUSTRIA**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Ana María Campuzano Vera, M.Sc.

Guayaquil, 10 de junio del 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGROINDUSTRIA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “**DESARROLLO DE UN ALIMENTO BALANCEADO PARA POLLOS EN ETAPA INICIAL A BASE DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE Y AFRECHO DE ARROZ**”, realizado por la estudiante **MORENO ARIAS ELIZABETH DALESKA**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. GARCÍA YOANSY, M.Sc.
PRESIDENTE

ING. GUILCAMAIGUA DORIS, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. SANCHEZ EVELYN, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. CAMPUZANO ANA, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 10 de junio del 2026

DEDICATORIA

A Dios, quien fue la mente maestra de este trabajo, mi apoyo, mi fuerza, mi guía en todos los capítulos de mi vida.

A mi padre, César Moreno Álvarez, su resiliencia, apoyo sin condición, su amor y cuidado desde el día uno, ha sido mi ejemplo y mis fuerzas para recorrer este camino.

A mi madre, Priscilla Arias Durán, su sabiduría, su fé, su amor, su comprensión fue mi guía para poder llegar hasta donde hoy estoy.

A ustedes, quienes día tras día velaron por mi sueño como si fuera suyo e hicieron lo divino y humanamente posible para que yo lo cumpliera, solamente puedo decirles, lo logramos.

“Buscad a Jehová y su poder;

Buscad su rostro continuamente”.

1 Crónicas 16:1.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser todo lo que necesité y necesitaré en mi vida, por siempre verme con ojos de amor y compasión y abrirme las puertas que creía cerradas.

A mis padres, César y Priscilla, por su apoyo incondicional, su amor, su paciencia, su fé y su confianza hacia mí, nadie les enseñó a ser padres, sin embargo, gracias por criarme como una mujer de bien. Este título también es de ustedes.

A mis hermanos, Lcda. Ninoska Moreno, Ing. Aaron Moreno e Ing. Débora Moreno, por su apoyo y sus consejos en cada momento crucial de mi vida. Por reír y llorar conmigo en todo este camino y por alentarme a no rendirme cuando ya no quería continuar.

A María Teresa Durán Latorre, Ingrid, Annabelle, Sandra, Diana, Shirley y Andrés Arias Durán, por creer en mí, apoyarme y, sobre todo, darme el ejemplo de superación, humildad y bondad.

A Ing. Danny Montalvo Pinela, gracias por tu apoyo incondicional a lo largo de este camino, el cual lo hemos recorrido y finalizado juntos.

A Ing. Ana Campuzano Vera, por ser la guía del presente trabajo, por su apoyo transparente como docente y por creer en mí.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, MORENO ARIAS ELIZABETH DALESKA, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre “DESARROLLO DE UN ALIMENTO BALANCEADO PARA POLLOS EN ETAPA INICIAL A BASE DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE Y AFRECHO DE ARROZ” para optar el título de Ingeniera Agroindustrial, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, Junio 10 del 2026

MORENO ARIAS ELIZABETH DALESKA

C.I. 0932305568

RESUMEN

La escasez de insumos tradicionales para la alimentación avícola ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles y de bajo costo. La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un alimento balanceado para pollos broiler a base de cáscara de plátano verde (*Musa AA Simmonds*) y afrecho de arroz (*Oryza Sativa L*) en la etapa inicial (1 y 3 semanas). El estudio se desarrolló mediante un enfoque experimental, utilizando programación lineal para formular una dieta alternativa que cubra los requerimientos nutricionales básicos en la etapa inicial de los pollos. Para el desarrollo del alimento balanceado se utilizaron diferentes concentraciones de harina de cáscara de plátano ver y afrecho de arroz (T1: 20% de harina de afrecho de arroz y 10% de cáscara de plátano verde, T2: 30% de harina de afrecho de arroz y 20% de cáscara de plátano verde, T3: 10% de harina de afrecho de arroz y 30% de cáscara de plátano verde), un tratamiento testigo y un tratamiento de alimento balanceado tradicional para la comparación. Para el desarrollo se utilizó 10 pollos broiler por tratamiento. El tratamiento 1 obtuvo valores superiores en ganancia de peso, conversión alimenticia e incremento de talla. El tratamiento 1 a su vez cumple con los parámetros bromatológicos indicados por la norma NTE INEN 1829:2014 con un porcentaje de proteína de 21%, grasa 3,1%. Fibra 5,1% y una energía metabolizable de 2909 kcal/kg. Estos resultados concluyeron al tratamiento t1 como una formulación viable, sostenible y con bajos costos de desarrollo para la alimentación en la etapa inicial.

Palabras clave: *Afrecho de arroz, balanceado, cáscara de plátano verde, pollos broiler, programación lineal.*

ABSTRACT

The scarcity of traditional poultry feed ingredients has driven the search for sustainable and low-cost alternatives. This research aimed to develop a balanced feed for broiler chickens based on green banana peel (*Musa AA Simmonds*) and rice bran (*Oryza sativa L.*) for the initial growth stage (1 and 3 weeks). The study was conducted using an experimental approach, employing linear programming to formulate an alternative diet that meets the basic nutritional requirements of the chickens during this initial stage. Different concentrations of green banana peel meal and rice bran were used to develop the balanced feed (T1: 20% rice bran meal and 10% green banana peel, T2: 30% rice bran meal and 20% green banana peel, T3: 10% rice bran meal and 30% green banana peel), along with a control treatment and a traditional balanced feed for comparison. Ten broiler chickens were used per treatment for development. Treatment 1 showed superior results in weight gain, feed conversion ratio, and size increase. Treatment 1 also met the nutritional parameters specified by the NTE INEN 1829:2014 standard, with a protein content of 21%, fat 3.1%, fiber 5.1%, and metabolizable energy of 2909 kcal/kg. These results concluded that treatment 1 is a viable, sustainable, and low-cost formulation for early-stage feed.

Keywords: *Broiler chickens, feed, green banana peel, linear programming, rice bran.*

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes del problema	1
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	2
1.3 Justificación de la investigación.....	4
1.4 Delimitación de la investigación.....	5
1.5 Objetivo general	5
1.6 Objetivos específicos.....	5
1.7 Hipótesis o idea a defender	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Estado del arte	7
2.2 Bases teóricas y científicas de la temática	9
2.3 Marco legal.....	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 Enfoque de la investigación.....	27
3.2 Metodología.....	28
4. RESULTADOS.....	44
4.1 Obtención de tres formulaciones experimentales de alimento balanceado para pollos con distintas proporciones de harinas de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz mediante programación lineal.	44
4.2 Determinación de la formulación óptima de alimento balanceado a base de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz que presente la mayor aceptación en las aves de ensayo, evaluando variables productivas como incremento de talla, ganancia de peso y conversión alimenticia	53
4.3 Comparación del mejor tratamiento de balanceado a base de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz frente a un alimento balanceado tradicional considerando lo indicado en la norma NTE INEN 1829:2014 (análisis bromatológico).....	56
5. DISCUSIÓN.....	58
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6.1 Conclusiones.....	61
6.2 Recomendaciones.....	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Requerimiento de aminoácidos esenciales para pollos.....	71
Anexo 2. Norma técnica Ecuatoriana INEN 1829:1992	72
Anexo 3. Norma técnica Ecuatoriana INEN 1829:2014.....	73
Anexo 4. Técnica Ecuatoriano INEN 1829:2014 (parámetros de análisis bromatológicos.....	74
Anexo 5. NTE INEN 1829:2014 (análisis de parámetros microbiológicos)	75
Anexo 6. Elaboración de la harina de cáscara de plátano verde.....	77
Anexo 7. Elaboración de la harina de afrecho de arroz.....	77
Anexo 8. Desarrollo del alimento balanceado	78
Anexo 9. Determinación de ceniza y humedad de las harinas	79
Anexo 10. Determinación de proteínas y grasas de la harina de cáscara de plátano verde.	80
Anexo 11. Determinación de grasas y proteínas de la harina de afrecho de arroz	81
Anexo 12. Datos del analisis de incremento de talla, ganancia de peso y conversión alimenticia	82
Anexo 13. Toma de la circunferencia de pecho para determinar la talla	83
Anexo 14. Análisis ANOVA para incremento de talla.	84
Anexo 15. Pesaje de los pollos broiler para conocer su ganancia de peso.....	85
Anexo 16. Peso inicial, peso final y ganancia del tratamiento tradicional.....	85
Anexo 17. Peso inicial, peso final y ganancia de peso del tratamiento control....	86
Anexo 18. Peso inicial, peso final y ganancia de peso del tratamiento n°1	86
Anexo 19. Peso inicial, peso final y ganancia de peso del tratamiento n°2.....	87
Anexo 20. Peso inicial, peso final y ganancia de peso del tratamiento n°3.....	87
Anexo 21. Análisis ANOVA para ganancia de peso	88
Anexo 22. Análisis ANOVA para conversión alimenticia	89
Anexo 23. Análisis bromatológico al tratamiento 1 bajo los parámetros de la INEN 1829:2014	90
Anexo 24. Pollo broiler día 0 y día 21 del tratamiento 1.	91

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

En Ecuador, el sector avícola es una de las principales fuentes de producción de proteína animal, dicha industria enfrenta altos costos asociados a la alimentación de pollos, especialmente en etapas tempranas, simultáneamente, en regiones plataneras y arroceras se generan residuos como la cáscara de plátano verde y el afrecho de arroz, los cuales suelen ser descartados generando problemas ambientales. Estos residuos tienen componentes nutricionales que pueden ser aprovechados en reemplazo de la soya y el maíz para la formulación de un alimento destinado al sector avícola. Siguiendo el ejemplo de una energía circular, se han realizado diversas investigaciones de manera individual sobre el potencial de la cáscara de plátano y el afrecho de arroz como insumo en la alimentación de pollos de engorde (Chasipanta, 2023).

El aprovechamiento de la cáscara de plátano verde como sustituto parcial de carbohidratos en la dieta de pollos *Broiler* incluyó diferentes porcentajes de harina de cáscara de plátano en las formulaciones, observando el desempeño de los animales a lo largo del ciclo productivo. Los resultados fueron claros: a partir de la cuarta semana, los pollos que consumieron las dietas experimentales mostraron una mejor respuesta en ganancia de peso, crecimiento y grosor en comparación con los que recibieron únicamente balanceado convencional. Estos hallazgos evidencian que la utilización de subproductos agrícolas como la cáscara de plátano no solo reduce costos en la producción, sino que también ofrece resultados positivos en parámetros zootécnicos, convirtiéndose en una alternativa práctica para pequeños y medianos productores avícolas (Chasipanta, 2023).

Se planteó un estudio con el propósito de determinar los efectos de incorporar la cáscara de plátano en diferentes proporciones dentro de la dieta de pollos *Broiler*. Durante cuatro semanas de experimentación, se evaluaron tres tratamientos que iban desde el uso exclusivo de alimento tradicional hasta combinaciones con distintos niveles de sustitución con cáscara de plátano. Al finalizar el ensayo, se constató que los grupos que recibieron este subproducto alcanzaron un peso medio y final significativamente mayor al de los animales que consumieron solo alimento tradicional. Dichos resultados sugieren que la cáscara de plátano puede ser utilizada como un insumo alternativo con potencial para

mejorar el rendimiento productivo y contribuir a la sostenibilidad de la alimentación avícola (Peñaflor et al., 2023).

La evaluación del efecto de la inclusión de harina de plátano verde en diferentes porcentajes dentro de las dietas de pollos *Broiler*. El ensayo tuvo una duración de 49 días y consideró niveles de sustitución de 2 %, 4 % y 6 %. Durante este tiempo, se analizaron parámetros como la conversión alimenticia, el consumo y la ganancia de peso. Los resultados mostraron que el mejor comportamiento se obtuvo con el 4 % de inclusión, ya que este grupo superó incluso al tratamiento con balanceado convencional en términos de ganancia de peso. Lo anterior demuestra que la harina de plátano verde, al utilizarse en niveles adecuados, puede optimizar los resultados productivos y al mismo tiempo generar un ahorro económico al aprovechar un recurso de origen agrícola que muchas veces es considerado residuo (Velásquez, 2021).

En cuanto al uso de subproductos distintos al plátano, se desarrolló un estudio donde incorporó afrecho de arroz y trigo en dietas para pollos *Broiler*, con el objetivo de analizar su impacto en la producción y en la calidad de la carne. A lo largo de la investigación se evidenció que la combinación de ambos insumos aportó beneficios importantes, ya que mejoró la composición proteica de la carne y redujo de manera significativa el contenido graso. Estos resultados ponen de manifiesto que el afrecho, al ser un subproducto de bajo costo y amplia disponibilidad, puede ser aprovechado como parte de un balanceado alternativo, contribuyendo a una alimentación más eficiente y a una carne de mejor calidad nutricional para el consumidor (Quizhpe, 2023).

En conjunto, estos estudios respaldan el uso de la cáscara de plátano verde como un ingrediente alternativo en la alimentación avícola, especialmente si se combina con fuentes proteicas, como es el afrecho de arroz, para equilibrar su valor nutricional, promoviendo así una opción sostenible y de bajo costo para pequeños y medianos productores en Ecuador.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En Ecuador, la alimentación representa entre el 65 % y 80 % del costo total en la producción avícola, esto es debido al alto valor del maíz y la soya, lo cual afecta directamente la rentabilidad de los pequeños y medianos productores

limitando su capacidad de crecimiento competitivo, así los pequeños avicultores enfrentan una creciente presión económica debido al encarecimiento del maíz y la soya, insumos esenciales en la alimentación aviar. Estos granos están sujetos a la volatilidad del mercado internacional, lo cual impacta directamente en los costos de producción del sector avícola. La dependencia de estos insumos importados, como en el caso de Ecuador, genera márgenes de ganancia limitados y aumenta la vulnerabilidad económica de los productores frente a cambios abruptos del mercado (Jiménez et al., 2020).

El cambio climático es un factor determinante que agrava esta situación, especialmente en zonas agrícolas tradicionales. El aumento de temperaturas y la variabilidad de las lluvias da como consecuencia las inundaciones, las cuales afectan el rendimiento de cultivos clave como el maíz. Esto se traduce en una menor disponibilidad local y mayor dependencia de las importaciones, lo que repercute negativamente en los costos de producción de los avicultores. Según estimaciones científicas, los rendimientos globales del maíz podrían disminuir significativamente hacia 2030 si persisten las emisiones altas, lo que afectará la seguridad alimentaria animal y humana (Ortiz y Rodrigo, 2017).

Un estudio de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo identificó que la gestión tradicional de residuos agroindustriales genera problemas de salubridad y medioambiente, esto se debe a la falta de procesos para valorar estos subproductos que representan tanto una pérdida económica al no aprovechar materia prima de bajo costo como un riesgo ambiental, lo que demanda nuevas soluciones (ElGamal et al., 2023).

Este problema también se da en zonas plataneras y arroceras, mismas que generan grandes volúmenes de residuos agroindustriales como la cáscara de plátano verde y el afrecho de arroz que, al no ser aprovechados, provocan impactos medioambientales. Mediante diversos estudios se ha encontrado que la disposición y quema de residuos sólidos agroindustriales son fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación del suelo y agua, y deterioro de la salud humana (Haro-Velasteguí et al., 2017).

Frente a esta problemática surgió la necesidad de desarrollar un alimento balanceado a base de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz, utilizando sus propiedades nutricionales y su facilidad para aprovecharse, los cuales no solo contribuyeron a la ganancia de peso, engorde y crecimiento de los pollos, sino que

también contribuyó a la reducción de residuos y el aprovechamiento del mismo para la creación de este subproducto, el cual benefició a pequeños y medianos productores plataneros, arroceros y del sector avícola, siendo una alternativa eficaz para mejorar la gestión ambiental y la economía circular.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo influirá el alimento balanceado a base de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz en la etapa inicial de los pollos *Broiler*, considerando su composición química (proteína, fibra y grasa) y rendimiento productivo (peso, consumo y conversión alimenticia) en comparación con un alimento balanceado tradicional?

1.3 Justificación de la investigación

La alimentación representa uno de los mayores desafíos económicos en la producción avícola, ya que puede constituir entre el 65 % y el 80 % de los costos totales, esta situación se intensifica en Ecuador, donde los pequeños y medianos productores dependen principalmente del maíz y la soya, insumos importados cuyo precio se ve afectado por la volatilidad del mercado internacional (Jiménez et al., 2020). Como consecuencia, se reducen los márgenes de rentabilidad, se limita la competitividad del sector y se incrementa su vulnerabilidad económica, esta dependencia también expone al sector avícola a fenómenos globales como el cambio climático, que afecta el rendimiento de cultivos clave y puede comprometer el suministro local de granos fundamentales para la alimentación animal (Biovet, 2019).

Al mismo tiempo, regiones productoras de plátano y arroz en Ecuador generan grandes volúmenes de residuos agroindustriales como la cáscara de plátano verde y el afrecho de arroz, en la mayoría de los casos, estos subproductos no son aprovechados adecuadamente y son descartados al ambiente, provocando contaminación al suelo, agua y generando emisiones de gases de efecto invernadero. El mal manejo de estos residuos también conlleva problemas de salubridad y representa una pérdida de materia prima potencialmente útil para otros fines, frente a este escenario, es fundamental considerar estrategias de economía circular que transformen dichos residuos en recursos valiosos, como, por ejemplo, ingredientes funcionales para alimentos balanceados destinados a aves (Cuéllar, 2025).

En ese contexto, la investigación buscó desarrollar un alimento balanceado para pollos en etapa inicial utilizando cáscara de plátano verde y afrecho de arroz. Esta alternativa no solo tuvo el potencial de reducir significativamente el volumen de residuos agroindustriales generados por las industrias, sino que además promovió el aprovechamiento sostenible de subproductos agrícolas de bajo costo. El uso de estos insumos representó una opción factible para sustituir parcialmente ingredientes tradicionales aportando positivamente en el rendimiento zootécnico de los pollos, como ya lo han demostrado estudios previos en el país.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La investigación se realizó en la provincia del Guayas, Guayaquil, en la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Agraria del Ecuador, Campus Guayaquil.
- **Tiempo:** La investigación se ejecutó en un periodo de tiempo de 6 meses.
- **Población:** Personas que laboran en el sector avícola en la ciudad de Guayaquil, estimándose entre 50.000 y 70.000 individuos, considerando empleo directo e indirecto dentro del sector.

1.5 Objetivo general

Desarrollar un alimento balanceado para pollos en etapa inicial a base de cáscara de plátano verde (*Musa AAB Simmonds*) y afrecho de arroz (*Oryza sativa* L), como alternativa sostenible frente a los alimentos balanceados tradicionales.

1.6 Objetivos específicos

- Obtener tres formulaciones experimentales de alimento balanceado para pollos con distintas proporciones de harinas de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz mediante programación lineal.
- Determinar la formulación óptima de alimento balanceado a base de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz que presente la mayor aceptación en las aves de ensayo, evaluando variables productivas como incremento de talla, ganancia de peso y conversión alimenticia.
- Comparar el mejor tratamiento de balanceado a base de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz frente a un alimento balanceado

tradicional considerando lo indicado en la norma INEN 1829:2014 (análisis bromatológico).

1.7 Hipótesis o idea a defender

La utilización de cáscara de plátano verde (*Musa AAB Simmonds*) y afrecho de arroz (*Oryza sativa* L.) en la elaboración de alimento balanceado permitió desarrollar una dieta alternativa para pollos *Broiler* en etapa inicial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En los últimos años, el aprovechamiento de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos balanceados para pollos de engorde ha adquirido relevancia como estrategia para reducir los costos de producción sin afectar el valor nutricional de las dietas. Entre estos ingredientes, la cáscara de plátano y el afrecho de arroz destacan por su disponibilidad, bajo costo y aporte de compuestos estructurales y minerales, lo que ha motivado su evaluación desde el punto de vista nutricional, productivo y económico.

Dentro de este contexto, la aplicación de modelos de programación lineal en la formulación de dietas ha permitido optimizar el uso de materias primas al menor costo posible manteniendo el equilibrio nutricional. Rodríguez-Ortega et al. (2024) utilizaron la herramienta Solver para formular raciones avícolas con una función objetivo orientada a la minimización del costo total del alimento, estableciendo restricciones de energía metabolizable entre 2975 y 3125 kcal/kg y proteína cruda entre 18 y 23%. Sus resultados evidenciaron que la formulación matemática permite cumplir simultáneamente los requerimientos nutricionales y económicos. En la misma línea, se demostró que el uso de modelos de optimización en dietas para pollos de engorde reduce el costo del alimento entre 6 y 12% sin alterar la densidad energética ni el contenido proteico requerido, lo que confirma la viabilidad de esta metodología en sistemas de producción intensivos (De Souza et al., 2024).

El efecto de la inclusión de materias primas alternativas sobre el desempeño productivo ha sido evaluado en diferentes investigaciones. Melo y Gutiérrez (2025) reportaron que la incorporación del 10% de harina integral de zapallo generó la mayor ganancia de peso y la mejor conversión alimenticia, con dietas que contenían entre 17 y 19% de proteína cruda, 5 a 7% de grasa y niveles de fibra iguales o inferiores al 7%. Sin embargo, niveles superiores incrementaron el contenido de fibra y redujeron la eficiencia alimenticia. En resultados similares se observó que dietas con aproximadamente 3000 kcal/kg de energía metabolizable y 20–21% de proteína cruda permitieron conversiones alimenticias cercanas a 1,50–1,55 y mayores tasas de crecimiento, debido a una mejor relación energía–proteína y mayor digestibilidad de los nutrientes. Estos hallazgos evidencian que el rendimiento productivo depende del balance nutricional más que del origen de los ingredientes utilizados (Chrystal et al., 2021).

En cuanto a la digestibilidad y utilización de subproductos del plátano, Suariani et al. (2024) determinaron que la inclusión del 5% de harina de cáscara de plátano mejoró la digestibilidad de la proteína cruda hasta 76%, la fibra hasta 45% y la materia orgánica hasta 70%, lo que demuestra su potencial como ingrediente alternativo cuando se emplea en niveles moderados. Desde el punto de vista composicional, Molina et al. (2024) reportaron contenidos de proteína entre 5 y 8%, grasa de 1 a 3%, ceniza de 6 a 9% y fibra superior al 10%, con humedad menor al 12% cuando se aplican métodos adecuados de secado. Estos valores coinciden con lo descrito por Oyeyinka y Oyeyinka (2021), quienes señalan que los subproductos del plátano presentan bajo aporte proteico y alto contenido mineral, por lo que su función principal en las dietas es estructural y reguladora del contenido de fibra.

El afrecho de arroz ha sido igualmente estudiado como ingrediente alternativo en la alimentación avícola. Santos et al. (2022) reportaron contenidos de ceniza entre 11 y 13%, proteína moderada y un aporte energético intermedio, destacando que su principal limitante es el incremento del contenido de fibra cuando se eleva su nivel de inclusión en la dieta. Este comportamiento se relaciona con lo señalado por Kiarie y Mills (2023), quienes indican que niveles elevados de fibra reducen la digestibilidad de la energía y de los aminoácidos, afectando la eficiencia alimenticia y la ganancia de peso en pollos de engorde.

Desde el enfoque normativo, las investigaciones coinciden en que las materias primas utilizadas en la formulación deben ajustarse a los parámetros establecidos para proteína, grasa, fibra, humedad, ceniza y energía metabolizable. Chasing (2024) reportó dietas con contenidos de proteína entre 16 y 18%, grasa de 4 a 6%, fibra de 5 a 8%, humedad inferior al 12% y ceniza menor o igual al 10%, con energía metabolizable acorde a los requerimientos productivos, observando que incrementos en la inclusión de harinas alternativas elevaron la fibra y redujeron ligeramente la eficiencia alimenticia sin incumplir los límites técnicos. Estos resultados ponen en evidencia que el control del contenido de fibra es determinante para mantener el desempeño productivo y el cumplimiento de los estándares nutricionales.

En conjunto, la literatura científica reciente demuestra que la inclusión de subproductos agroindustriales en dietas para pollos de engorde es técnica y económicamente viable cuando se realiza bajo esquemas de formulación

optimizada y en niveles moderados que permitan mantener el equilibrio entre densidad energética, proteína y fibra. Asimismo, el uso de programación lineal se consolida como una herramienta fundamental para integrar el aprovechamiento de ingredientes alternativos, la reducción de costos y el cumplimiento de la normativa nutricional en sistemas de producción avícola.

2.2 Bases teóricas y científicas de la temática

2.2.1 Programación lineal

La programación lineal es una rama de la programación matemática enfocada en optimizar (maximizar o minimizar) una función lineal conocida como función objetivo, bajo el cumplimiento de un conjunto de restricciones también expresadas en forma lineal, está diseñada para asignar recursos limitados entre actividades con competencia mutua, buscando la mejor solución posible en términos de eficiencia. En su formulación clásica, se determina un vector de variables que optimiza la función objetivo, respetando restricciones lineales como ecuaciones o inecuaciones, y condiciones de no negatividad, esta técnica ha demostrado ser altamente útil en la ingeniería industrial y en la investigación operativa, gracias a su capacidad para modelar decisiones tácticas y de gestión en áreas como producción, transporte, y distribución (Guédez, 2011).

2.2.2 Tipos de programación lineal

2.2.2.1. Programación lineal clásica.

La programación lineal clásica es un método de optimización que se utiliza cuando tanto la función objetivo como las restricciones del problema son lineales, y las variables de decisión pueden tomar cualquier valor real, incluidas fracciones. Este tipo de programación se aplica ampliamente en situaciones donde los recursos se pueden dividir, como en la distribución de materiales, tiempo o dinero, su objetivo es encontrar la combinación óptima de valores que maximicen o minimicen una función objetivo bajo ciertas condiciones. Es la base teórica sobre la cual se desarrollan otras variantes más complejas, su resolución suele realizarse mediante el método simplex o métodos gráficos cuando hay pocas variables. Es útil para problemas de producción, asignación y transporte donde las variables no requieren ser enteras (Bermúdez, 2011).

2.2.2.2. Programación lineal entera (PLE).

La programación lineal entera es una extensión de la programación lineal clásica, pero con la diferencia de que las variables de decisión solo pueden tomar valores enteros, este enfoque es fundamental cuando el problema requiere decisiones discretas, como seleccionar proyectos, asignar personas o determinar cantidades que no se pueden fraccionar. Los modelos enteros son más difíciles de resolver debido a su complejidad computacional, ya que no se puede aplicar directamente el método símplex, se utilizan algoritmos específicos como el método de ramificación y acotamiento. La PLE se aplica en áreas como la planificación de la producción, programación de turnos y diseño de redes. Su principal ventaja es que proporciona soluciones más realistas en situaciones donde la divisibilidad no es posible (De la Fuente y Priore, 1996).

2.2.2.3. Programación lineal entera mixta.

La programación lineal entera mixta (MILP) es una técnica de optimización que amplía los modelos de programación lineal al permitir que algunas decisiones se tomen mediante variables que deben ser números enteros, mientras que otras pueden asumir valores reales o fraccionarios. Esta combinación ofrece una mayor flexibilidad al representar problemas donde ciertas cantidades no pueden dividirse (por ejemplo, máquinas o unidades completas), pero otras sí pueden tratarse de manera continua. La MILP se utiliza ampliamente en campos como la planificación de producción, la logística, la asignación de recursos y la programación de tareas, ya que permite construir modelos más realistas al integrar tanto variables discretas como continuas (Ortiz y Rodrigo, 2017).

2.2.2.4. Programación no lineal.

La programación no lineal es una rama de la optimización matemática que se ocupa de encontrar valores óptimos (máximos o mínimos) de una función objetivo cuando ésta, o alguna de las restricciones que conforman el problema, no es una expresión lineal. En estos casos, las relaciones entre variables pueden ser de naturaleza cuadrática, polinómica, exponencial u otro tipo de no linealidad, lo que implica que los supuestos de proporcionalidad y aditividad típicos de la programación lineal ya no se cumplen. Como resultado de esta complejidad, los modelos no lineales suelen requerir métodos numéricos iterativos (como los métodos de Newton, gradiente o técnicas heurísticas) para acercarse a soluciones

óptimas, ya que en muchos casos las soluciones exactas no son directamente accesibles. Debido a su mayor flexibilidad, la programación no lineal es fundamental en contextos donde la realidad no puede ser modelada de manera lineal, por ejemplo, en problemas que involucran economías o deseconomías de escala, funciones de rendimiento cuadráticas o restricciones que siguen formas curvas (Reyes et al., 2015).

2.2.3 Aplicación de programación lineal en la formulación de alimentos

En el ámbito de la industria alimentaria, cuando los recursos disponibles son escasos, la programación lineal se convierte en una herramienta clave para asegurar que los productos generados cumplan con los requerimientos nutricionales establecidos. Una técnica particularmente útil es el Método Simplex, que permite determinar la mezcla óptima de ingredientes o dietas balanceadas que satisfacen dichas exigencias, al mismo tiempo que se administra eficientemente la restricción de recursos, lo cual no solo facilita la planificación precisa de lo necesario para la producción, sino que también optimiza el uso de insumos, garantizando la calidad y la viabilidad económica del producto final (Galindo, 2016).

2.2.3.1. Método Simplex aplicado a la formulación de dietas o alimentos balanceados.

El método Simplex, aplicado a la formulación de alimento balanceado para pollos en etapa inicial, permite optimizar la dieta considerando simultáneamente el costo y las exigencias nutricionales específicas de esta fase crítica. A través de la programación lineal, se determinan las proporciones exactas de ingredientes como maíz, soya, harina de pescado, minerales, y otros insumos locales, de modo que se cumplan los niveles requeridos de proteínas, energía metabolizable, aminoácidos y minerales esenciales. La función objetivo busca minimizar el costo total de la mezcla, mientras que las restricciones aseguran el aporte adecuado de nutrientes según estándares internacionales como los del NRC. Usando software especializado, se procesan datos de composición y precios para encontrar combinaciones óptimas que promuevan un rápido crecimiento y una mejor conversión alimenticia. En experiencias prácticas, este método ha demostrado reducir costos de producción sin comprometer la calidad del alimento, además, fomenta el uso de insumos regionales, lo que favorece la sostenibilidad y disminuye la dependencia de materias primas importadas (García, 2015).

2.2.4 Generalidades del plátano verde

El plátano verde ha sido históricamente uno de los cultivos tropicales de mayor relevancia socioeconómica en países productores, especialmente en regiones con limitada industrialización, donde constituye un motor clave para la economía rural. En Ecuador, el plátano y el banano se posicionan como pilares de la agricultura nacional, representando cerca del 30 % del comercio mundial de esta fruta, lo que ha consolidado al país como líder en exportaciones a nivel global (Veliz et al., 2022). Esta actividad no solo genera divisas importantes para la balanza comercial, sino que también contribuye de forma directa e indirecta al sustento de miles de familias vinculadas a la cadena productiva (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021).

2.2.4.1. Origen.

El plátano es una de las plantas más antiguas que fueron domesticadas y cultivadas desde hace aproximadamente 10,000 años. Esta especie llegó a las Islas Canarias en el siglo XV, desde donde los españoles introdujeron el plátano en México y luego en Brasil, extendiéndose por toda América. El término "plátano" deriva del latín "platanus", que significa plano o ancho. Actualmente, el plátano es la tercera fruta de mayor importancia a nivel mundial, situación atribuida al aumento tanto en su producción como en su demanda (Borja, 2017).

Esta planta herbácea pertenece a la familia *Musáceae* y se clasifica dentro de las monocotiledóneas. Algunas de sus variedades han sido utilizadas como plantas ornamentales y también se aprovechan sus fibras naturales para la fabricación de materiales de construcción y remedios tradicionales. Además, se ha identificado una amplia diversidad de variedades de este cultivo, lo que ha permitido que se considere un alimento adecuado para el consumo humano debido a su sabor y alto valor nutricional (Dita et al., 2018).

2.2.4.2. Taxonomía.

El plátano verde es un tipo de plátano ampliamente cultivado y consumido en diversas regiones tropicales debido a su valor nutricional y versatilidad en la alimentación (Tabla 1).

Tabla 1.

Taxonomía del plátano

Categoría	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	<i>Musa</i> L.
Grupo Genético	<i>Musa AAB</i> Simmonds

Fuente: Perrier et al. (2011). Elaborado por: La Autora, 2026

2.2.4.3. Aspectos botánicos.

El plátano es una planta herbácea de gran porte que presenta tallos subterráneos, de los cuales emergen hojas que conforman el pseudotallo, dentro del cual se desarrolla el eje floral. Estos tallos subterráneos son conocidos como rizomas, bulbos, tubérculos o cromos, siendo este último el término más utilizado. Cada pseudotallo produce un eje floral y yemas que originan nuevos cromos. Los cuales generan otros pseudotallos que podrán florecer cuando el pseudotallo inicial haya desaparecido (Vargas et al., 2017).

2.2.4.4. Composición nutricional del plátano.

El plátano es una fruta tropical con un alto valor energético, caracterizado por su aporte predominante de carbohidratos en forma de almidón y azúcares simples. También es una fuente importante de fibra dietética, potasio, vitamina C, vitamina B₆ (Tabla 2). Su consumo regular contribuye a mantener la salud cardiovascular, regular el equilibrio de electrolitos y apoyar la función neuromuscular (Ranjha et al., 2020).

Tabla 2.

Composición nutricional promedio del plátano (por 100 g)

Nutriente	Cantidad
Energía	89 kcal
Carbohidratos	22,8 g
Fibra dietética	2,6 g

Nutriente	Cantidad
Proteína	1,1 g
Potasio	358 mg
Vitamina C	8,7 mg
Vitamina B ₆	0,37 mg

Fuente: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2023).

Elaborado por: La Autora, 2026

2.2.4.5. Zonas de cultivos.

En Ecuador, el cultivo de plátano se desarrolla principalmente en la zona costera, destacando las provincias de Los Ríos, El Oro y Guayas por su alta productividad. Estas áreas poseen condiciones agroclimáticas óptimas, como temperaturas promedio de 24 a 27 °C y niveles de humedad elevados, que facilitan la producción continua durante el año. Gracias a estas características y a la disponibilidad de tierras aptas para el cultivo, estas provincias concentran más del 80 % de la superficie nacional dedicada a este producto, con cerca de 200 000 hectáreas destinadas tanto a la exportación como al mercado interno (Veliz et al., 2022).

2.2.4.6. Variedades del plátano.

En Ecuador, las principales variedades de plátano cultivadas incluyen Barraganete, Dominico-Hartón, Curare Enano, MP1 y Plátano Hawaiano. La variedad Barraganete sobresale por su buena adaptación al clima cálido y a los suelos fértiles de la zona costera, especialmente en la provincia de Manabí, siendo la principal para exportación. Mientras tanto, el Dominico Hartón es preferido para consumo local por su sabor y textura, aunque es susceptible a diversas plagas. Las variedades Curare Enano y MP1 son valoradas por su porte compacto y la producción de racimos grandes, respectivamente. Finalmente, el Plátano Hawaiano requiere condiciones climáticas específicas y es sensible a vientos fuertes, lo que limita su cultivo a ciertas áreas (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, 2023).

Clasificación de variedades de plátano en Ecuador:

- **Barraganete:** Originario del sur de Asia, se cultiva principalmente en Manabí debido a su clima cálido y suelos fértiles, permitiendo la exportación constante.

- **Dominico Hartón:** También conocido como plátano criollo, es muy común en Ecuador y valorado en la gastronomía local por su contenido de azúcar y almidón. Esta planta alcanza más de 5 metros de altura y se cultiva en suelos bien drenados y de alta calidad (Cedeño-Zambrano et al., 2022).
- **Curare Enano:** Esta variedad alcanza una altura aproximada de 2.5 metros y presenta racimos con cerca de 30 dedos, cada uno con un peso entre 340 y 350 gramos y una longitud de 25 centímetros (Castellón et al., 2016).
- **MP1:** El plátano MP1 se caracteriza por tener racimos más grandes y una mayor cantidad de dedos que el Barraganete, además de una maduración más rápida (Holme et al., 2019).
- **Plátano Hawaiano:** Originario del sudeste asiático desde hace miles de años, esta planta presenta uno o más falsos tallos, raíces fibrosas y un rizoma subterráneo. Sus hojas están compuestas por vainas, pecíolos gruesos y láminas. Crece mejor a temperaturas inferiores a 37 °C, ya que temperaturas mayores pueden causar quemaduras en las hojas y estrechamiento de los limbos (Dita et al., 2018).

2.2.4.7. Residuos del plátano.

Los desechos generados durante la producción y procesamiento del plátano, como las hojas, tallos, cáscaras y racimos descartados, constituyen una fuente valiosa para la obtención de subproductos con valor agregado. Estos residuos pueden ser reutilizados para elaborar biofertilizantes, alimentos para animales, biogás y materiales como bioplásticos o fibras textiles. Investigaciones recientes señalan que el manejo sostenible de estos residuos contribuye a disminuir el impacto ambiental y fomentar la economía circular en las zonas de cultivo (Emmanuel et al., 2025).

2.2.5 Harina de cáscara de plátano

La cáscara de plátano verde generalmente es descartada en los procesos de comercialización y transformación del fruto, dicho residuo se perfila como un insumo con alto potencial nutritivo. El proceso de obtención de esta harina empieza con el proceso de secado de la cáscara de plátano verde, una vez deshidratada,

pasa al proceso de molienda, esta cáscara puede transformarse en una harina rica en fibra, almidones resistentes, minerales y compuestos bioactivos. La revalorización de este residuo orgánico no solo contribuye a la economía circular en sistemas agroalimentarios, sino que puede disminuir los costos de producción en la industria avícola mejorando el rendimiento zootécnico (Hernández-Rodríguez et al., 2024).

2.2.5.1. Deshidratación de cáscara de plátano.

Esta técnica reduce el contenido de humedad, lo que limita el desarrollo de microorganismos y mejora la estabilidad del producto. La deshidratación puede realizarse mediante métodos como el secado al sol, en horno o con aire caliente industrial. Es fundamental controlar la temperatura y el tiempo durante la deshidratación para preservar los compuestos bioactivos, como polifenoles y taninos, que son sensibles al calor. Una vez deshidratada, la cáscara se muele para obtener una harina fina que puede incorporarse en alimentos balanceados (ElGamal et al., 2023).

2.2.6 Generalidades del afrecho de arroz

El afrecho de arroz, también llamado salvado de arroz, es un subproducto generado durante el proceso de pulido del grano en la industria arrocera. Este material se forma al remover las capas externas del grano, como el pericarpio, la testa y el germen, y presenta un color marrón claro con una textura suelta, pudiendo contener partículas pequeñas de cáscara debido al proceso mecánico de molienda. El afrecho es valorado por su contenido nutricional y se utiliza en diversas aplicaciones para mejorar la calidad de alimentos funcionales (Mutuberría et al., 2023).

2.2.6.1. Taxonomía.

El afrecho de arroz es un subproducto obtenido durante la molienda del arroz, derivado de la planta *Oryza sativa*. Esta especie pertenece a la familia *Poaceae*, que incluye a las gramíneas de mayor importancia agrícola a nivel mundial. *Oryza sativa* es una planta monocotiledónea clasificada dentro de la clase Liliopsida y el orden Poales. Su cultivo es fundamental para la seguridad alimentaria global y su clasificación taxonómica permite comprender mejor sus características biológicas, facilitando el aprovechamiento de sus derivados, como el afrecho de arroz (Xin, 2019) (Tabla 3).

Tabla 3.***Taxonomía de de Oryza sativa***

Categoría	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Oryza</i>
Especie	<i>Oryza sativa</i>

Fuente: Xin (2019). Elaborado por: La Autora, 2026

2.2.6.2. Descripción botánica.

El arroz (*Oryza sativa* L.) es una planta anual herbácea perteneciente a la familia Poaceae, presenta un tallo cilíndrico, hueco y segmentado (caña), con hojas largas, planas y lineares, de borde áspero y disposición alterna. Su inflorescencia es una panícula laxa o compacta, que porta espiguillas unifloras, el fruto es una cariósida (grano) cubierto por glumas y glumillas (Degovanni et al., 2010).

En el grano integral, antes del pulido, las capas externas pericarpo, testa y capa de aleurona rodean al endosperma y al embrión. Durante el proceso de molienda y pulido del arroz, estas capas, junto con parte del germen y pequeñas fracciones de endospermo, se desprenden formando el afrecho de arroz, el cual tiene un material que es de textura suelta, color marrón claro a oscuro, con olor característico, y está compuesto por fibra, proteínas, aceites y minerales (Hernández-Aragón et al., 2024).

2.2.6.3. Nutrientes provenientes del afrecho de arroz.

El afrecho de arroz es la capa externa del grano, obtenida durante el proceso de pulido del arroz integral, el cual constituye entre el 8 y el 10 % del peso total del grano, pero concentra la mayor parte de sus nutrientes y compuestos funcionales (Ver Tabla 4).

Tabla 4.***Composición nutricional aproximada del afrecho de arroz***

Nutriente	Contenido aproximado
Proteína bruta (PB)	~13 %

Nutriente	Contenido aproximado
Grasa (extracto etéreo)	13–23 %
Almidón y azúcares	25–35 %
Energía metabolizable (EM)	2,5–2,9 Mcal/kg MS
Fósforo (P)	1,7–2 %
Calcio (Ca)	0,1 %
Fibra cruda	7–11 %
Fibra detergente neutra (FDN)	20–30 %
Fibra detergente ácida (FDA)	10–15 %

Fuente: Apresid (2021). Elaborado por: La Autora, 2026

2.2.6.4. Zona de cultivo.

En Ecuador, la producción de arroz se concentra principalmente en la región Costa, donde provincias como Guayas, Los Ríos, El Oro, Manabí y Esmeraldas cuentan con condiciones climáticas y edáficas favorables para el cultivo, incluyendo suelos fértiles, temperaturas adecuadas y disponibilidad de agua para riego, aunque también existen cultivos en algunas zonas de la Sierra y la Amazonía, su extensión es menor debido a limitaciones ambientales y de infraestructura. Por ello, la Costa representa la principal área productora de arroz en el país, destacándose por su importancia económica y social dentro del sector agrícola (Pérez et al., 2018).

2.2.6.5. Aprovechamiento agroindustrial del afrecho de arroz.

El afrecho de arroz es un subproducto que se obtiene durante el proceso de molienda del arroz, específicamente en la etapa de descascarillado y pulido, cuando el arroz con cáscara llega a los molinos, se somete a un proceso mecánico donde se elimina primero la cascarilla o cáscara externa dura, obteniéndose el arroz integral o con salvado, luego, este grano se pule para separar la capa de salvado y obtener el arroz blanco, que es el producto más comúnmente consumido (Apresid,2021).

En este proceso, el afrecho es la fracción que representa la capa de salvado eliminada, un material con una composición rica en fibra dietética, proteínas, grasas saludables, vitaminas del complejo B y minerales. Aunque antes se consideraba un residuo o un subproducto de bajo valor, hoy en día se reconoce como una fuente potencialmente valiosa de nutrientes y compuestos bioactivos que pueden

aprovecharse en múltiples industrias, lo que lo posiciona como un elemento clave en la valorización de residuos agroindustriales.

2.2.6.6. Uso del afrecho de arroz en la alimentación animal.

Una de las aplicaciones más tradicionales y extendidas del afrecho de arroz es su inclusión en dietas para animales de granja, gracias a su alto contenido de fibra y nutrientes. El afrecho se emplea como suplemento en la alimentación de rumiantes como vacas y ovejas, donde la fibra es esencial para el adecuado funcionamiento del sistema digestivo y la fermentación ruminal, además, también se utiliza en dietas para aves y porcinos, aportando energía y proteínas de forma económica (Mendoza, 2022).

2.2.7 Harina de afrecho de arroz

La harina de afrecho de arroz es un subproducto derivado de la molienda y pulido del arroz integral, que concentra una alta cantidad de nutrientes esenciales como proteínas, fibra dietética y lípidos saludables. Este producto destaca por su elevado contenido en fibra cruda, así como por su perfil lipídico rico en ácidos grasos insaturados, lo que le confiere propiedades funcionales beneficiosas para la salud humana y animal. La harina obtenida del afrecho requiere procesos de estabilización y deshidratación, generalmente mediante tratamientos térmicos controlados, para reducir la actividad lipolítica y prevenir la rancidez, asegurando así su calidad y vida útil para su aplicación en la industria alimentaria y la alimentación animal (Pestana et al., 2009).

2.2.7.1. Deshidratación del afrecho de arroz.

La deshidratación del afrecho de arroz es un paso crucial para asegurar su conservación y aumentar su tiempo de almacenamiento. Este procedimiento suele llevarse a cabo mediante secado con aire caliente o en hornos que permiten un control preciso de la temperatura, con el fin de disminuir la humedad y detener la actividad de las enzimas que provocan la degradación de los lípidos. Un secado adecuado conserva las características nutritivas y funcionales del afrecho, facilitando su molienda posterior para producir una harina estable y apta para aplicaciones en la industria alimentaria y en la alimentación animal (Pestana et al., 2009).

2.2.8 Generalidades del alimento balanceado

2.2.8.1. Alimento balanceado.

El sector de alimentos balanceados para animales ha experimentado un crecimiento significativo, impactando directamente en la producción avícola, tanto para carne como para la producción de huevos. La formulación de las dietas para pollos está diseñada para proporcionar nutrientes esenciales y energía suficiente que garanticen un rendimiento óptimo en la producción. Para un adecuado desarrollo del esqueleto y crecimiento muscular en aves, es fundamental el aporte de agua, vitaminas, aminoácidos y minerales en las cantidades necesarias (Fatemi et al., 2021).

2.2.8.2. Tipos de alimento balanceado.

2.2.8.2.1. Alimentos balanceados concentrados.

Son formulaciones de alta densidad nutricional elaboradas principalmente a partir de granos, harinas y suplementos proteicos que buscan aportar la energía y proteína necesarias para el rápido crecimiento o producción de los animales, suelen incluir maíz, soya, sorgo y aditivos vitamínico-minerales, siendo de uso frecuente en pollos de engorde, cerdos y vacas lecheras en alta producción. Estos alimentos son ideales cuando el objetivo es cubrir rápidamente los requerimientos energéticos, ya que se digieren con facilidad y promueven un aumento eficiente de peso o rendimiento productivo, sin embargo, por su alta concentración, deben suministrarse siguiendo recomendaciones técnicas para evitar problemas digestivos o metabólicos (Lan et al., 2023).

2.2.8.2.2. Alimentos balanceados completos.

Este tipo de alimento está diseñado para proporcionar todos los nutrientes que el animal necesita, sin requerir de otros complementos en la dieta. Se elabora a partir de una mezcla balanceada de cereales, proteínas, grasas, minerales, vitaminas y, en algunos casos, aditivos que mejoran la salud intestinal o la palatabilidad.

Su ventaja principal es que simplifica la alimentación, ya que basta con ofrecerlo como única fuente nutricional. Es ampliamente utilizado en aves, cerdos y peces, y su formulación se adapta a la etapa fisiológica del animal (inicio, crecimiento, producción, mantenimiento). Su correcta formulación garantiza no solo

un óptimo rendimiento, sino también la reducción de deficiencias o excesos que afecten la salud (Drannikov et al., 2022).

2.2.8.2.3. Alimentos balanceados suplementarios.

Son productos diseñados para complementar dietas basadas en forrajes, pastos o raciones caseras, aportando nutrientes específicos que el alimento base no cubre. Por lo general, se presentan en forma de sales mineralizadas, bloques proteicos, premezclas o suplementos energéticos y su uso es común en sistemas ganaderos extensivos, donde la calidad del pasto varía según la época del año y puede no cubrir los requerimientos productivos (Negash, 2022).

Los alimentos suplementarios ayudan a mejorar la conversión alimenticia, la reproducción, la producción de leche y la resistencia a enfermedades, además, permiten optimizar el aprovechamiento del alimento principal, evitando pérdidas en el potencial productivo de los animales (Negash, 2022).

2.2.8.2.4. Alimentos balanceados medicados.

Estos alimentos incluyen, además de los nutrientes esenciales, principios activos de uso veterinario destinados a prevenir o tratar enfermedades en animales de producción. Estos alimentos se formulan bajo estrictos controles y normativas para asegurar la dosificación correcta del medicamento, evitando riesgos de toxicidad o residuos en productos de origen animal (Maya, 2016).

Se emplean, por ejemplo, en pollos para prevenir coccidiosis o en cerdos para controlar infecciones digestivas. Su uso debe ser temporal y supervisado por un profesional, ya que el objetivo es resolver una necesidad sanitaria específica sin generar resistencia microbiana. Este tipo de alimento es clave en programas de manejo sanitario intensivo, aunque su aplicación está cada vez más regulada (Mendoza, 2021).

2.2.8.2.5. Alimentos balanceados preiniciadores.

Son fórmulas especialmente diseñadas para las primeras etapas de vida de animales jóvenes, como pollitos, lechones o terneros, cuando su sistema digestivo aún está en desarrollo. Estos se caracterizan por tener ingredientes de alta digestibilidad, proteínas de calidad superior, niveles óptimos de vitaminas y minerales, y en algunos casos, aditivos probióticos o prebióticos que fortalecen la flora intestinal (Catootjie, 2019).

El objetivo es estimular un rápido desarrollo del aparato digestivo y un crecimiento temprano vigoroso, lo que se traduce en mejores resultados en las fases posteriores. Su uso es determinante para reducir la mortalidad y lograr una mejor adaptación al alimento sólido después del destete o la eclosión (Fernández, 2024).

2.2.8.3. Alimento balanceado para aves.

Velásquez (2018) menciona que existen diversos tipos de alimentos que pueden ser utilizados para la alimentación de aves, cuya elección depende principalmente de sus necesidades fisiológicas y etapas de crecimiento. Estos alimentos deben aportar energía y contener vitaminas y minerales esenciales para mejorar el rendimiento productivo y la reproducción. Los alimentos concentrados deben tener altos niveles de fósforo, calcio, sodio y otros nutrientes claves, que favorecen tanto a las aves como a sus crías o huevos en el caso de las ponedoras, las raciones varían según la fase productiva:

2.2.8.3.1. Balanceado inicial.

Durante la etapa inicial, que comprende de 0 a 3 semanas, es esencial proporcionar a los pollos *Broiler* un alimento especialmente formulado para cubrir sus altas necesidades nutricionales y promover un crecimiento saludable desde el comienzo (Ver Tabla 5). La presentación del alimento en forma de pellet facilita la ingesta y reduce la pérdida de alimento (Pope, 2024).

Tabla 5.

Requerimientos nutricionales en la etapa inicial de pollos Broiler

Componente nutricional	Cantidad recomendada
Energía metabolizable (kcal/kg)	2 900 – 3 000
Proteína bruta (%)	21 – 23
Grasa mínima (%)	3,0 – 5,0
Fibra máxima (%)	5,0 – 6,0
Calcio (%)	0,95
Fósforo disponible (%)	0,45 – 0,50
Lisina (%)	1,10
Metionina (%)	0,37 – 0,50

Componente nutricional	Cantidad recomendada
Metionina + Cistina (%)	0,88 – 0,90
Treonina (%)	0,77
Triptófano (%)	0,18 – 0,20

Fuente: Poultry Affairs (2023).

2.2.8.3.2. Balanceado de desarrollo.

Entre las semanas 4 y 6, en la fase de crecimiento, la dieta debe ajustarse para satisfacer los requerimientos energéticos y proteicos que permitan un desarrollo adecuado de la masa muscular y el sistema óseo de las aves. El uso de pellets sigue siendo una estrategia eficiente para asegurar una buena ingesta y minimizar el desperdicio (Pope, 2024).

2.2.8.3.3. Balanceado de engorde.

En la etapa final, que se extiende desde las semanas 6-7 hasta la semana 8, el alimento balanceado se formula con mayor concentración de energía y proteínas para optimizar el engorde final del *Broiler* y mejorar la calidad de la carne. Mantener la administración del alimento en formato pellet ayuda a garantizar un consumo uniforme y reduce pérdidas (Pope, 2024).

2.2.9 Pollos Broiler

El pollo *Broiler* es un ave joven que proviene de cruces genéticos diseñados para lograr un crecimiento acelerado, lo que permite alcanzar el peso ideal para el mercado en un corto periodo, generalmente entre seis y siete semanas. Esta rápida tasa de desarrollo y eficiencia en la conversión alimenticia han posicionado al *Broiler* como la principal fuente de carne avícola en la producción masiva a nivel mundial (Trujillo et al., 2023).

2.2.9.1. Origen.

El pollo *Broiler* ha sido desarrollado mediante programas de mejoramiento genético que comenzaron en el siglo XX, con el propósito de obtener aves que crezcan rápidamente y tengan una eficiente conversión del alimento. Gracias a estos avances, los *Broilers* pueden alcanzar el peso comercial en un lapso de aproximadamente seis a siete semanas, convirtiéndose en la principal fuente para la producción comercial de carne aviar (Cheng et al., 2021).

2.2.9.2. Taxonomía.

Desde el punto de vista taxonómico, el pollo *Broiler* pertenece a la siguiente clasificación (Ver Tabla 6).

Tabla 6.

Taxonomía del pollo Broiler

Categoría	Nombre
Reino	Animalia
Filo	Chordata
Clase	Aves
Orden	Galliformes
Familia	Phasianidae
Género	<i>Gallus</i>
Especie	<i>Gallus gallus domesticus</i>

Fuente: Giergiel et al. (2019). Elaborado por: La Autora, 2026

2.2.9.3. Característica del pollo *Broiler*.

El pollo *Broiler* se caracteriza por su rápido crecimiento, alcanzando el peso adecuado para la comercialización en un periodo de seis a siete semanas. Presenta una considerable masa muscular en la zona de la pechuga y las patas, otorgándole un aspecto robusto. Además, estas aves se distinguen por tener ojos grandes y brillantes, patas con textura cerosa, articulaciones sin signos de inflamación, y deben estar libres de cualquier tipo de malformación, lo cual es fundamental para asegurar la calidad y salubridad del producto final (Loor et al., 2020).

2.2.9.4. Requerimiento nutricional.

Las aves requieren una dieta precisa en energía, aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas, estos requerimientos varían según la especie (pollos de engorde, ponedores, reproductores) y la etapa productiva.

En el anexo 1 se presentan los requerimientos de aminoácidos esenciales para pollos en diferentes fases de su desarrollo: la etapa inicial, que abarca desde el primer hasta el séptimo día de vida; la etapa de engorde, que comprende desde el octavo hasta el trigésimo quinto día; y la etapa de finalización, que va desde el trigésimo sexto hasta el cuadragésimo segundo día de vida del pollo.

2.3 Marco legal

2.3.1 Requisitos generales

Según la norma NTE INEN 1829: “La verificación de la composición declarada en el rotulado debe realizarse con los análisis bromatológicos de la tabla 1”

2.3.1.1. Tabla de análisis bromatológicos.

Tabla 7.

Requisitos para la elaboración de alimento balanceado

Requisito	Mínimo (%)	Máximo (%)	Método de ensayo
Proteína cruda	8	24	ISO 5983-1
Fibra cruda	-	10	ISO 6865
Grasa cruda	8	24	ISO 6492
Cenizas	0,8	1.0	ISO 5984
Calcio	-	-	ISO 6490-1
Fósforo	0,6	-	ISO 6491

Fuente: INEN (2014).

Este criterio fue relevante para la investigación, ya que permitió verificar la composición nutricional del alimento balanceado utilizado en la producción agrícola.

2.3.1.2. Tabla de análisis microbiológico.

La Tabla 8 detalla los requisitos microbiológicos que deben cumplir los alimentos balanceados, según se visualiza en el anexo 5 de la norma INEN 1829:2014 (INEN, 2014).

Tabla 8.

Requisitos microbiológicos de los alimentos balanceados

Microorganismo	Caso	N	C	m	M	Método de ensayo
<i>Enterobacteriaceae</i>	2	5	2	10 ²	10 ³	ISO 21528-1

Microorganismo	Caso	N	C	m	M	Método de ensayo
<i>Salmonella</i>	1	5	0	Ausencia/25 g	-	ISO 6579, NTE INEN 1529-15

Nota: N, número de unidades de muestra que se debe analizar; C, es número máximo de unidades de muestra que pueden tener resultados entre m y M para que el lote sea aceptable; m, límite microbiológico aceptable o satisfactorio; M, límite máximo permitido.

Fuente: INEN (2014).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El proyecto que se desarrolló fue de tipo experimental, tomando como punto inicial el peso y la talla de los pollos con el objetivo de determinar cuál fue el tratamiento que ofreció mejores resultados. La investigación también tuvo un enfoque explicativo, ya que se realizó análisis bromatológicos (proteína cruda, fibra cruda, grasa cruda, calcio, cenizas y humedad).

3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

- Investigación aplicada: La investigación buscó resolver una problemática práctica relacionada con la alimentación de pollos *Broiler* mediante el uso de ingredientes alternativos (cáscara de plátano verde y afrecho de arroz).
- Investigación documentada: Se fundamentó teóricamente en tesis, artículos científicos y documentos verificados de sitios web confiables.
- Investigación de campo y laboratorio: Para obtener resultados, se realizó un trabajo de campo que consistió en alimentar a los pollos *Broiler* con el producto formulado.
- Investigación experimental: Se empleó variables controladas para evaluar su efecto en el desempeño productivo y zootécnico de los pollos.

El alcance de la investigación fue de tipo explicativo, ya que se buscó identificar y demostrar las relaciones causales entre la composición del alimento formulado con ingredientes alternativos y el desempeño zootécnico de los pollos. Asimismo, se explicó el impacto que los residuos agroindustriales tuvieron sobre parámetros como el crecimiento, la eficiencia alimenticia y la aceptabilidad del producto.

3.1.2 Diseño de investigación

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), en el cual se aplicó cinco tratamientos diferentes, un tratamiento convencional, tratamiento testigo y tres tratamientos con diferentes concentraciones de las materias primas principales, con la finalidad de evaluar el incremento en peso y talla. Además, se estableció diversas concentraciones de balanceado formulado a partir de harinas

de cáscaras de plátano y afrecho de arroz para la alimentación de pollos *Broiler* en su etapa inicial. Las formulaciones fueron realizadas con programación lineal.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

Las variables del presente estudio se dividieron en independientes y dependientes, y se describen a continuación:

3.2.1.1. Variable independiente.

Las variables analizadas fueron:

- Porcentaje de harina de cáscaras de plátano
- Porcentaje de harina de cáscaras de afrecho de arroz

3.2.1.2. Variable dependiente.

Las variables dependientes analizadas fueron:

- Incremento de talla
- Ganancia de peso
- Conversión alimenticia

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 9.

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Variables independientes			
Porcentaje de harina de cáscaras de plátano		Cuantitativa	Proporción (%) de

harina de cáscaras de plátano usada en la formulación del alimento balanceado

Proporción (%) de harina de cáscaras

Cuantitativa

Porcentaje de harina de cáscaras de afrecho de arroz



de
plá
ta
no
us
ad
a
en
la
for
m
ula
ció
n
del
ali
m
en
to
bal
an
ce
ad
o

Variables dependientes

Incremento de talla

C
ua
nti
tat
iva

C
o
nt
in
ua

·
Ca
m
bio
de
talla
(c
m)
de
los
pol
los
so
m
eti
do
s a
los
dif
er
en
tes

Ganancia de peso

Cua
nti
tat
iv
a

C
o
nt
in
u
a

so
m
eti
do
s
a
los
dif
er
en
tes
tra
ta
mi
en
tos

.

tra
ta
mi
en
tos

Ca
m
bio
de
pe
so
en
los
pol
los

Re
lac
ión
en
tre
la
ca
nti
dad
de
ali
m
en
to
co
ns
u

Conversión alimenticia

Cua
nti
tat
iv
a

C
o
nt
in
u
a

mi
do
y
la
ga
na
nci
a
de
pe
so

Ev
alu
aci
ón
po
rc
en
tu
al
de
pr
ot
eí
na
cr
ud
a,
fib
ra
cr
ud
a,
gr
as
a
cr
ud
a,
ce
niz
as,
cal
cio
y
fós
for
o.

Análisis bromatológicos

C
ua
nti
tat
iv
a

C
o
nt
in
u
a

Elaborado por: La Autora, 2026

3.2.3 *Tratamientos*

Se formularon cuatro tratamientos, un tratamiento control y tres con diferentes concentraciones. Además de los tratamientos experimentales y del tratamiento control incluidos en la Tabla 10, se empleó un tratamiento convencional de referencia, correspondiente al alimento balanceado comercial Broiler Inicial de Ecuaquímica, ñ disponible en el mercado. Este tratamiento fue utilizado únicamente como parámetro comparativo para evaluar la similitud y el desempeño de las formulaciones desarrolladas en la investigación.

La formulación específica de dicho alimento no se detalla dentro de la tabla de tratamientos, debido a que corresponde a un producto comercial cuya composición exacta es de carácter reservado por el fabricante. (Ver Tabla 10). Los tratamientos control, experimentales y convencional se distribuyeron en cinco grupos, cada uno conformado por diez pollos, sumando un total de 50 pollos. La inclusión de las harinas se realizó en distintas proporciones y se comenzó a partir de la etapa inicial, durante los primeros 21 días de alimentación, aplicándose de la siguiente manera:

Tabla 10.

Formulación detallada con valores nutricionales estimados

Ingredientes	Tratamiento 0 (Control)	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Harina de cáscara de plátano	0.0	10.0	20.0	30.0
Afrecho de arroz	0.0	20.0	30.0	10.0
Harina de pescado	12.0	12.0	12.0	12.0
Harina de carne / subproducto	8.0	8.0	8.0	8.0
Aceite vegetal	5.0	5.0	5.0	5.0
Harina de haba	70.6	40.6	33.6	30.6
Harina de cebada	1.0	1.0	1.0	1.0

Ingredientes	Tratamiento 0 (Control)	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Trigo blando blanco				
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	1.5	1.5	1.5	1.5
Sal común	0.3	0.3	0.3	0.3
Vitaminas				
Probióticos / aditivos	0.05	0.05	0.05	0.05
Total (kg)	100	100	100	100

Nota: Formulación de alimento balanceado con distintas concentraciones.

Fuente: Morales de Pérez y Torrealba (2011). Elaborado por: La Autora, 2026.

3.2.4 Diseño experimental

En el diseño experimental del estudio fue un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), se aplicaron cinco tratamientos correspondientes a diferentes concentraciones del alimento balanceado. Cada tratamiento contó con 10 repeticiones, considerando a cada pollo como una unidad experimental independiente, para un total de 50 pollos. Durante el estudio se evaluaron las variables de talla, ganancia de peso y conversión alimenticia.

3.2.5 Recolección de datos

Los materiales, equipos y materia prima que se utilizaron en el estudio para la obtención y evaluación de las harinas para el alimento balanceado.

3.2.5.1. Recursos.

Los materiales que se utilizaron para el trabajo de investigación experimental se describen a continuación:

3.2.5.1.1. Materia prima.

- 50 pollos *Broiler*
- Harina de cáscara de plátano
- Harina de cáscara de afrecho de arroz
- Harina de haba
- Harina de pescado

- Harina de carne
- Trigo blando blanco
- Harina de cebada
- Sal
- Aceite de palma
- Carbonato de sodio
- Vitaminas
- Probioticos

3.2.5.1.2. *Materiales.*

- Cámara fotográfica
- Recipientes de acero y/o plásticos
- Bebederos
- Comederos
- Embudo de plástico
- Viruta de madera
- Focos (amarillos)

3.2.5.1.3. *Equipos.*

- Balanza digital EIFFEL E-2005
- Horno a gas
- Molino manual de grano
- Tamizador manual
- Licuadora Black y Decker BL 1650S

3.2.5.1.4. *Equipos de protección personal.*

- Guantes de látex
- Mandil de laboratorio
- Mascarillas

3.2.5.1.5. *Recursos humanos.*

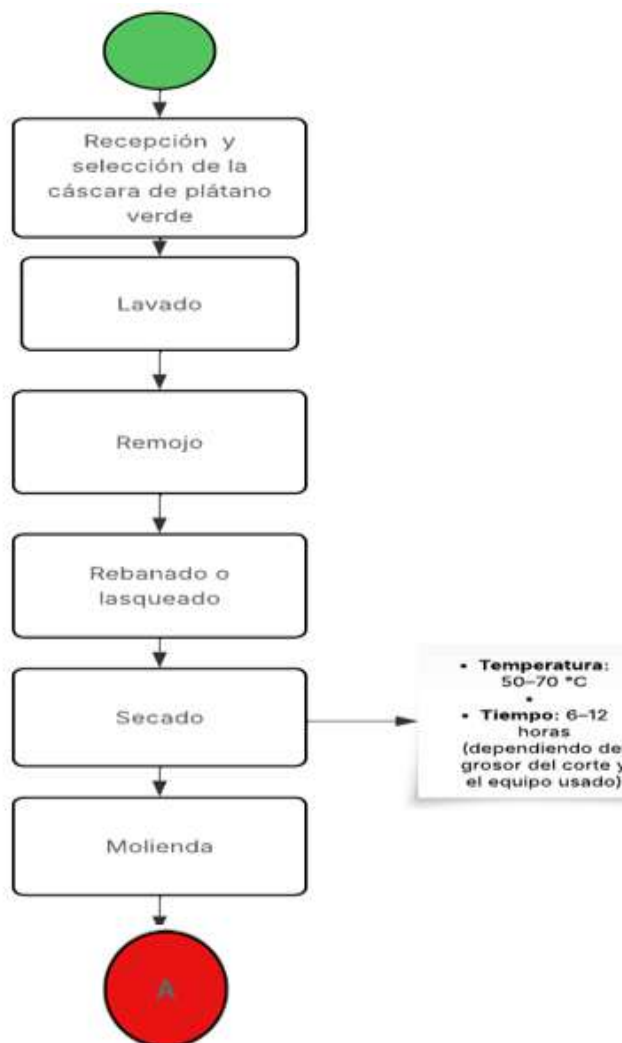
- Autora: Daleska Moreno Arias
- Tutor de Anteproyecto: Ing. Ana María Campuzano Vera, M.Sc.

3.2.5.2. Métodos y técnicas.

3.2.5.2.1. Diagrama de flujo de obtención de harina de cáscara de plátano verde.

Figura 1.

Diagrama de flujo de la obtención de harina de cáscara de plátano verde



Elaborado por: La Autora, 2026

3.2.5.2.2. Descripción del diagrama de flujo de obtención de harina de cáscara de plátano.

Recepción y selección de la cáscara de plátano verde: En esta etapa se recibieron las cáscaras de los plátanos verdes, verificando que se encontraran en óptimas condiciones, sin signos de maduración avanzada ni deterioro microbiológico.

Lavado: Las cáscaras se sometieron a un lavado exhaustivo con agua potable para remover residuos de tierra, polvo y contaminantes superficiales.

Remojo: En algunos procesos, esta etapa incluyó un remojo breve o el uso de soluciones sanitizantes.

Rebanado o lasqueado: Las cáscaras se cortaron en láminas delgadas de aproximadamente 2 mm de espesor. Este procedimiento incrementó la superficie de exposición y favoreció la transferencia de calor y dió un secado más rápido y uniforme.

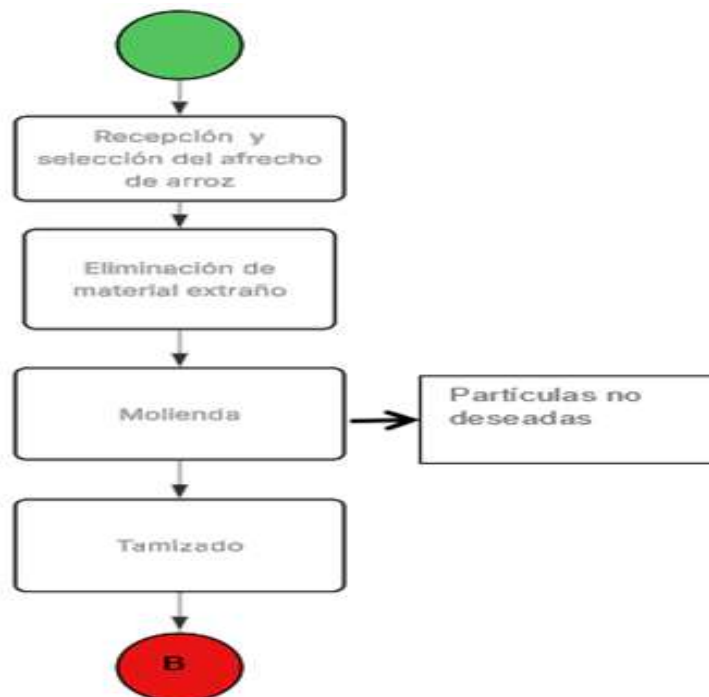
Secado: El material cortado se sometió a un proceso de deshidratación en secadores de bandejas o túneles, a una temperatura constante de 50 °C durante aproximadamente 8 horas. El objetivo fue reducir la humedad hasta un 6,5 %.

Molienda: La cáscara deshidratada pasó por un procesador, con el propósito de reducir el tamaño de partícula y obtener un polvo fino. Esta operación permitió mejorar la manejabilidad del producto. Ver Anexo 6.

3.2.5.2.3. Obtención de harina de afrecho de arroz.

Figura 2.

Diagrama de flujo de obtención de harina de afrecho de arroz



Elaborado por:

3.2.5.2.4. **afrecho de arroz.**

de harina de

Recepción y selección del afrecho de arroz: El afrecho de arroz, también conocido como salvado, se obtuvo como subproducto del proceso de pulido del arroz, en el cual se removió la capa externa del grano para producir arroz blanco,

este material contenía partículas de la capa de aleurona, el pericarpio y restos de germen, lo que le confirió un elevado contenido de fibra, proteína y grasa.

Eliminación de material extraño: Una vez recolectado, el afrecho se transportó a una limpieza inicial para retirar impurezas físicas como piedras, polvo, restos de cáscara dura y material metálico.

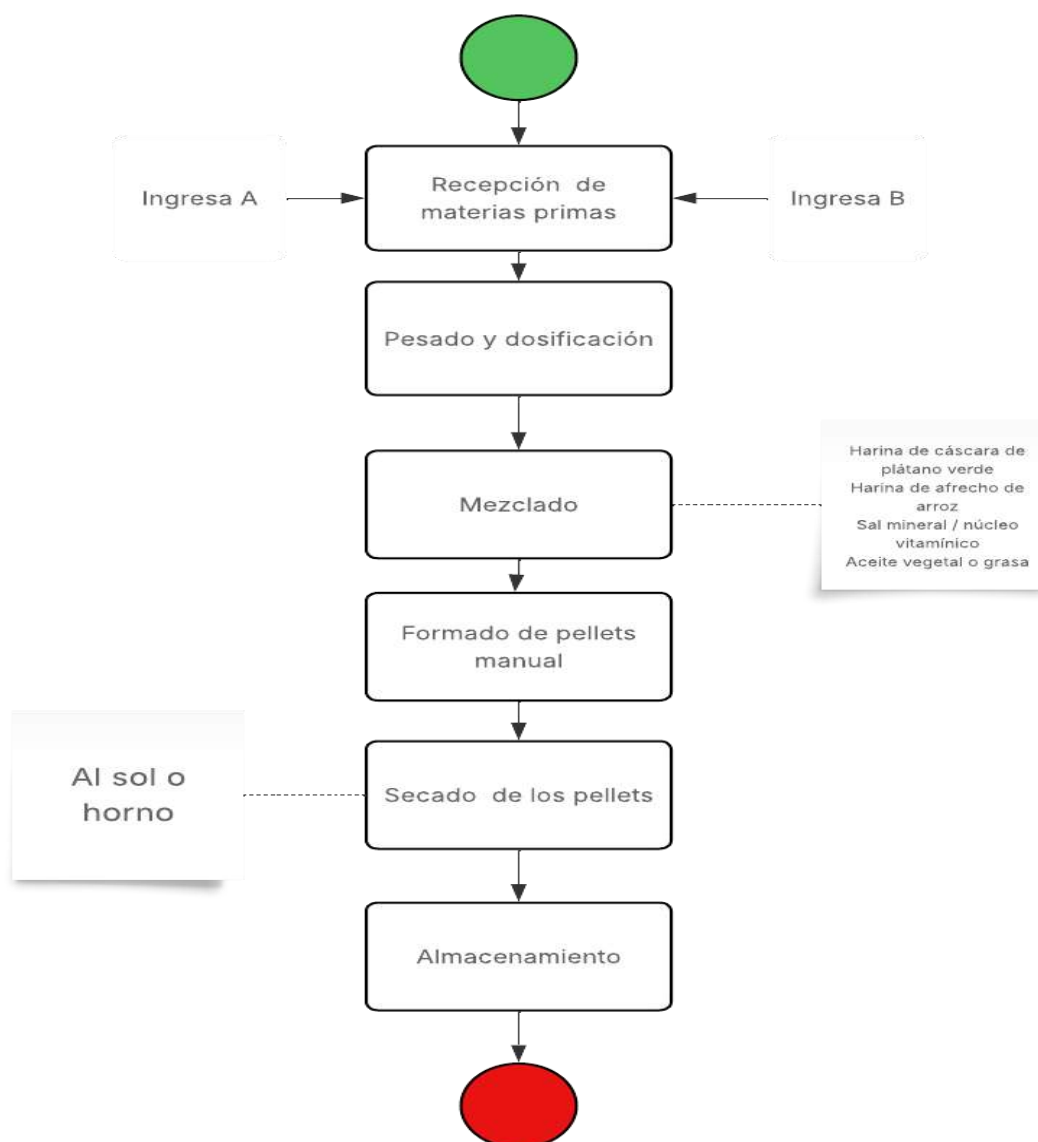
Molienda: El afrecho estabilizado y seco se sometió a un proceso de molienda en una procesadora de cuchillas, con el objetivo de obtener un polvo de granulometría fina y uniforme.

Tamizado: El producto molido pasó por un tamiz que separó las partículas finas de las más gruesas, garantizando la uniformidad en el tamaño y una mejor calidad tecnológica para su aplicación en formulaciones. Ver Anexo 7.

3.2.5.2.5. Obtención de alimento balanceado.

Figura 3.

Diagrama de obtención de alimento balanceado convencional



Elaborada por: La Autora, 2026

3.2.5.2.6. Descripción del diagrama de obtención del alimento balanceado.

Recepción de materias primas: En esta etapa se recibió las harinas base, que correspondieron a la harina de cáscara de plátano verde y la harina de afrecho de arroz.

Pesado y dosificación: Cada ingrediente fue pesado de acuerdo con la formulación establecida. La dosificación precisa garantizó el equilibrio entre energía, proteínas, minerales y vitaminas que requirieron los pollos *Broiler* para su crecimiento. Además, se incluyeron aditivos complementarios como sal mineral o núcleo vitamínico y aceite vegetal o grasa, que fueron necesarios para balancear el alimento.

Mezclado: Los ingredientes se mezclaron de manera manual hasta alcanzar una homogeneidad completa, evitando que algunos nutrientes se concentren en exceso en determinadas porciones del alimento.

Formado de pellets manual: Una vez mezclado, el alimento pudo suministrarse en harina, aunque en este proceso se optó por elaborar pellets de forma manual, lo que mejoró la facilidad de consumo y redujo el desperdicio en los comederos.

Secado de los pellets: Los pellets se sometieron a secado al sol o en horno artesanal, con el objetivo de reducir la humedad y evitar la proliferación de hongos o bacterias. Este paso fue clave para asegurar la conservación del producto.

Almacenamiento: Una vez secos, los pellets se almacenaron en sacos limpios de yute o polipropileno, en lugares frescos y ventilados, con el fin de mantener sus características nutricionales y evitar su deterioro por humedad o plagas.

Alimento balanceado para pollos *Broiler*: El proceso culminó con la obtención de un alimento balanceado artesanal que combinó harinas alternativas de bajo costo y fácil disponibilidad, esto aseguró un aporte nutricional adecuado para los pollos en etapa de engorde. Ver Anexo 8.

3.2.5.2.7. Descripción de los cálculos para determinar incremento de talla, ganancia de peso y conversión alimenticia en la etapa inicial (0-3 semanas) de pollos *Broiler*.

Durante las primeras tres semanas de vida (día 0 a 21), el ensayo se enfocó en evaluar la aceptación y el desempeño productivo de dietas starter formuladas con distintas inclusiones de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz. Se evaluaron 50 pollos broiler distribuidos en cinco tratamientos, considerando a cada ave como una unidad experimental.

Las dietas se prepararon en lotes pequeños para asegurar frescura y homogeneidad. La cáscara de plátano fue lavada, deshidratada a una temperatura de 60–65 °C hasta alcanzar peso constante y posteriormente molida finamente (≤ 1 mm) antes de incorporarla a la mezcla. Las formulaciones se obtuvieron mediante programación lineal utilizando el modelo Simplex.

Cada ave fue pesada al inicio del ensayo y en intervalos establecidos de un día de por medio. Asimismo, se registró la cantidad de alimento ofertado y

rechazado diariamente lo que permitió calcular el consumo por ave. Adicionalmente, se midió la talla al inicio y al día 21 para calcular el incremento de talla (Ver Tabla 11).

Tabla 11.

Indicadores productivos y fórmulas

Indicador	Fórmula
Consumo total por ave (FI, g/ave)	$FI = \Sigma(\text{ofertado} - \text{rechazo})$
Ganancia de peso (BWG, g/ave)	$BWG = \text{Peso}_{21} - \text{Peso}_0$
Ganancia diaria promedio (ADG, g/día)	$ADG = BWG / 21$
Conversión alimenticia (FCR)	$FCR = FI / BWG$
Incremento de talla (%)	$\% \Delta \text{Talla} = ((\text{Talla}_{21} - \text{Talla}_0) / \text{Talla}_0) \times 100$

Nota: Fórmulas para el cálculo de incremento de talla, ganancia de peso y conversión alimenticia

Fuente: Santana (2013). Elaborado por: La Autora, 2026.

Consumo total por ave (FI, g/ave): Se calculó restando la cantidad de alimento ofrecido menos el alimento rechazado, sumando todos los días del experimento. El resultado representó la cantidad real de alimento consumido por cada ave.

Ganancia de peso (BWG, g/ave): Se obtuvo restando el peso inicial (Peso 0) del ave al peso final (Peso 21). Este valor indicó la cantidad de gramos que el ave incrementó durante el periodo experimental.

Ganancia diaria promedio (ADG, g/día): Se calculó dividiendo la ganancia total de peso (BWG) entre los días de duración del ensayo (21 días). El resultado permitió conocer el crecimiento promedio diario en gramos por ave.

Conversión alimenticia (FCR): Se obtuvo dividiendo el consumo total de alimento (FI) entre la ganancia de peso (BWG). El valor bajo significó que las aves convirtieron el alimento en carne de manera más eficiente.

Incremento de talla (%): Se calculó restando la talla inicial (Talla 0) de la talla final (Talla 21), dividiendo el resultado para la talla inicial y multiplicado por 100. Este indicador sirvió para medir el crecimiento corporal en términos de longitud o altura.

3.2.5.2.8. Descripción de análisis de proteína de acuerdo con la norma NTE INEN ISO 5983-1.

Como primer paso, se colocaron 0,3 g de la muestra del alimento balanceado en un tubo de digestión Kjeldahl, junto con 0,15 g de sulfato de cobre pentahidratado, 2,5 g de sulfato de potasio y, por último, 10 mL de ácido sulfúrico, obteniendo un color azul verdoso. La mezcla se dejó reposar durante aproximadamente 4 horas. En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se añadieron 50 mL de ácido clorhídrico y 50 mL de ácido bórico al 4 %. Luego, los tubos se colocaron en una solución que contenía 10 mL de agua destilada, para posteriormente añadir 40 mL de soda cáustica al 36 %. Finalmente, se tituló el sobrante de ácido clorhídrico 0,1 N.

3.2.5.2.9. Descripción de análisis de fibra de acuerdo a la norma NTE INEN ISO 6865.

Como primer paso se procedió a colocar 3 g de muestra del alimento balanceado en un matraz de bola de 500 mL y se procedió a agregar 100 mL de una solución de ácido sulfúrico calentándola a una temperatura de ebullición de 30 minutos luego se procedió a la filtración de la muestra. Las muestras pasaron a un matraz donde se agregó 100 mL de hidróxido de sodio al 1,25 % a una temperatura ebullición de 30 minutos. Finalizando con la filtración de la muestra.

3.2.5.2.10. Descripción de análisis de grasa de acuerdo con la norma NTE INEN ISO 6492.

Primero paso fue la determinación del residuo no grasa. Luego se procedió a pesar en el crisol con 10 mg de precisión, en una cápsula limpia y seca, se pesó aproximadamente 10 g de muestra del balanceado, luego se añadió de 25 mL de éter de petróleo y se pasó dichos residuos a un crisol filtrante para luego proceder a secar el crisol filtrante, enfriarlo y por último se pesó y registró.

3.2.5.2.11. Descripción de análisis de ceniza de acuerdo con la norma NTE INEN ISO 5984.

Como primer paso se colocó 5 g de cada muestra de alimento balanceado en un crisol, luego de esto se calcinó las muestras con la ayuda de un mechero, por último, cada muestra fue colocada en la mufla a una temperatura de 500 °C por 3h hasta que se formen las cenizas. La fórmula para el análisis de la ceniza es:

$$\% \text{ Ceniza} = P - P1 / P2 * 100$$

3.2.5.2.12. Descripción de análisis de fósforo de acuerdo con la norma NTE INEN ISO 6491.

Para el análisis de fósforo se tomó con la ayuda de una pipeta un volumen de la muestra para luego colocarla en un balón de 50 mL, siguiendo esto se añadió tanto a la solución de prueba como a las soluciones estándar, aproximadamente 15 ml de agua, en una bureta se añadieron 20 mL de solución ácido ascórbico-molibdato, luego se puso una tira de papel filtro entre el balón y la tapa, se procedió a colocar una tuerca metálica en el contorno de cada balón, se introdujo en el baño térmico, donde se colocó a una temperatura de 95 °C por alrededor de 15 minutos y por último fue retirado y enfriado dentro de una cubeta plástica con agua fría.

3.2.5.2.13. Descripción de análisis de calcio de acuerdo a la norma NTE INEN ISO 6492.

Para el análisis de calcio como primer paso se procedió a colocar 1 g de muestra del balanceado en un recipiente cerrado para luego pasar a una mufla a una temperatura de 600 °C hasta que se obtener las cenizas. Después de esto se calentó a una temperatura de 70 °C y se tituló en una solución con permanganato de potasio, dicha titulación dio un color rosado. Para el cálculo de calcio se requirió la siguiente fórmula: $C = 2000 \text{ VN/m (100-P)}$.

3.2.6 Análisis estadístico

En este estudio se variaron los porcentajes de harina de cáscaras de plátano y afrecho de arroz incluidas dentro de la formulación de cada tratamiento. Se emplearon 50 pollos broiler en etapa inicial para evaluar el aumento en peso y talla final. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante un diseño completamente al azar (DCA), aplicando un análisis de varianza y la prueba de Tukey al 5 % de nivel de significancia. En caso de que los datos no cumplieron con los supuestos para ANOVA, se les aplicó el análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis (Ver Tabla 12).

Tabla 12.

ANOVA para análisis de balanceado

Fuentes de variación	Grados de libertad
Tratamientos	$(5 - 1) = 4$
Error experimental	$(50 - 5) = 45$
Total	$(5 - 1) (50 - 1) = 49$

Elaborado por: La Autora, 2026

4. RESULTADOS

4.1 Obtención de tres formulaciones experimentales de alimento balanceado para pollos con distintas proporciones de harinas de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz mediante programación lineal.

4.1.1 Harina de cáscara de plátano verde

La harina de cáscara de plátano verde, evaluada como ingrediente principal para la elaboración de un alimento balanceado, fue analizada y presentó un contenido de humedad de 6,47 %, valor que indica una adecuada deshidratación de la materia prima. Este nivel de humedad es favorable para la formulación de alimentos balanceados, ya que contribuye a una mayor estabilidad del producto y reduce el riesgo de deterioro microbiológico durante el almacenamiento. (Ver Anexos 9 – 11). En cuanto al contenido de cenizas, se obtuvieron valores de 9,64 % y 9,66 %, evidenciando un alto aporte mineral. Este resultado sugiere que la harina de cáscara de plátano puede contribuir de manera significativa al requerimiento de compuestos inorgánicos del alimento balanceado, especialmente como fuente complementaria de minerales. Respecto al contenido de proteína, el tratamiento presentó un valor de 3,26 %, lo que indica que su principal función dentro de la formulación no es el aporte proteico, sino el suministro de fibra y minerales. El contenido de grasa fue de 0,81 %, lo cual representa una ventaja tecnológica, ya que disminuye el riesgo de oxidación y favorece la estabilidad del alimento balanceado.

De la misma manera, la harina de afrecho de arroz presentó un contenido de humedad de 7,23 %, valor que se mantiene dentro de rangos aceptables para ingredientes destinados a alimentos balanceados. El contenido de cenizas fue de

12,14 %. Esto evidencia una mayor concentración de compuestos inorgánicos, lo cual es altamente favorable en la formulación de alimentos balanceados, ya que contribuye al cumplimiento de los requerimientos nutricionales minerales de los animales. En cuanto a la proteína, se obtuvo un valor de 3,50 %, lo que representa un mejor aporte proteico, aunque moderado. El contenido de grasa fue de 1,45 %, aportando mayor energía al alimento balanceado; sin embargo, este valor implica la necesidad de un adecuado control en el almacenamiento para evitar procesos de oxidación (Ver Anexo 11).

Una vez analizadas las características bromatológicas de las harinas de cáscara de plátano verde y de afrecho de arroz, utilizadas como ingredientes alternativos en las formulaciones experimentales del alimento balanceado, se consideró necesario contar con un tratamiento de referencia comercial que permitiera comparar los resultados obtenidos bajo condiciones reales de uso en producción avícola. Por esta razón, se incluyó un alimento balanceado comercial ampliamente utilizado en la etapa inicial de pollos de engorde.

4.1.2 Restricciones para la formulación de alimento balanceado para aves en esta inicial

La programación lineal es una técnica utilizada para optimizar un objetivo que está sujeto a restricciones, se buscó evaluar la eficacia de los cuatro tratamientos utilizando el método simplex. Las variables independientes fueron la proporción en diferentes concentraciones de harina de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz, siendo la función objetivo minimizar el costo por kilo de producto (*Min Z*). Las restricciones utilizadas para obtener la formulación correspondiente a tratamiento testigo, T1, T2 y T3 fueron definidas en base a la normativa NTE INEN 1829:2014, se consideraron las siguientes:

Restricción 1 - Peso total: Se definió que la suma total calculada de los ingredientes sea igual a 1kg de alimento balanceado.

Restricción 2 – Energía metabolizable: Se definió un rango de 2900 a 3000 kilocalorías/kilogramo como indica la norma.

Restricción 3 – Proteína bruta: El rango de contenido de proteína fue de mínimo 21 % y máximo 23 %.

Restricción 4 – Grasa mínima: El contenido de porcentaje de grasa que debe de tener un alimento balanceado para aves en etapa inicial es de mínimo 3 % y máximo 4%.

Restricción 5 – Fibra máxima: El contenido debe ser de mínimo 5 % y máximo 6 %.

- **Variables:**

- X1: Harina de cáscara de plátano verde

- X2: Harina de afrecho de arroz

4.1.3 Formulación del tratamiento testigo.

Los ingredientes utilizados para la formulación fueron los siguientes: harina de pescado, harina de carne, harina de haba, harina de cebada, trigo blando blanco, aceite vegetal, carbonato de calcio, sal, vitaminas y probióticos. El tratamiento testigo no se consideraron las variables de harina de cáscara de plátano verde ni de afrecho de arroz. Las cantidades de cada ingrediente fueron determinadas por el programa Solver y descritas en la Tabla 12.

Tabla 12.

Cantidades en gramos del tratamiento testigo

Ingrediente	Cantidad (g)
Harina de pescado	0.168106
Harina de carne	0.01
Aceite Vegetal	0.01
Salvado de cebada	0.208153
Trigo blando/ blanco	0.553741
Harina de Haba	0.01
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	0.01
Sal Común	0.01
Vitaminas	0.01
Probiotico/Aditivo	0.01

**Nota: Los valores están determinados en un total de 1kg por producto
Elaborado por: La Autora, 2026**

El tratamiento testigo fue formulado como referencia experimental, empleando programación lineal con el objetivo de minimizar el costo del kilogramo de alimento balanceado, cumpliendo las restricciones establecidas por la NTE INEN 1829: 2014. Siendo su función objetivo la siguiente:

Función objetivo: Min ZT = \$1,47/kg

La expresión de los resultados esta expresado de manera matemática en la tabla 13.

Tabla 13.

Resultados expresados matemáticamente

Parámetro	Resultado obtenido	Límite normativo	Cumple
Energía metabolizable	2900 kcal/kg	2900–3000	Sí
Proteína bruta	21 %	21–23 %	Sí
Grasa	5 %	3–5 %	Sí
Fibra	6 %	≤ 6 %	Sí
Total	1 kg	1 kg	Sí

Elaborado por: La Autora, 2026.

El tratamiento testigo cumple estrictamente con todos los parámetros nutricionales. Al mantenerse en el límite máximo de fibra (6 %), garantiza cumplimiento normativo, sin embargo, se recomienda que el contenido de fibra se mantenga en el porcentaje mínimo, ya que puede ser mortal para los pollos en su etapa inicial debido a que su sistema digestivo no está desarrollado completamente y puede producir diarrea en los primeros días.

4.1.4 Formulación del tratamiento 1 (T1)

El tratamiento 1 se incorporaron las variables de harina de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz, las cuales se incluyeron con el propósito de

evaluar su efecto sobre las variables dependientes. Los ingredientes y la cantidad determinada de cada uno se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14.

Cantidad en gramos de los ingredientes del tratamiento 1

Ingrediente	Cantidad (g)
Harina Afrecho A	0.2
Harina de CP	0.1
Aceite Vegetal	0.015489
Ingrediente	Cantidad (g)
Harina de pescado	0.253101
Trigo blando/ blanco	0.38878
Harina de Haba	0.01
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	0.002631
Sal Común	0.01
Vitaminas	0.01
Probiotico/Aditivo	0.01

Elaborado por: La Autora, 2026

En la tabla 14 se observó la proporción dada por el programa solver al incluir las restricciones, dando como resultado 0.20 g para harina de afrecho de arroz y 0.10 g para harina de cáscara de plátano verde en una proporción de 1kg.

Para la formulación del tratamiento 1, se incluyeron dos restricciones más correspondientes a la harina de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz. Estas restricciones fueron añadidas para que el programa pueda incluirlas en las formulaciones sin sobrepasar el total permitido (Tabla 15).

La función objetivo del tratamiento 1 fue la siguiente:

Función objetivo: Min $Z_1 = \$1,24/\text{kg}$

Tabla 15.

Resultados expresados matemáticamente del tratamiento 1

Parámetro	Resultado obtenido	Límite normativo	Cumple
------------------	---------------------------	-------------------------	---------------

Energía metabolizable	2900 kcal/kg	2900–3000	Sí
Harina AA	20 %	10 – 20 %	Sí
Harina CP	10 %	10 – 10%	Sí
Proteína bruta	21 %	21–23 %	Sí
Grasa	5 %	3–5 %	Sí
Fibra	5,26 %	≤ 6 %	Sí
Total	1 kg	1 kg	Sí

Nota: Harina AA corresponde a harina de afrecho de arroz, Harina Cp corresponde a harina de cáscara de plátano verde

Elaborado por: La Autora, 2026

En la tabla 15, el programa solver demostró que el tratamiento 1 cumple todas las restricciones y presenta el menor costo. Así mismo, presentó menor contenido de fibra (5,26 %, lo cual favorece la digestibilidad del alimento y evita deshidratación por diarrea en los primeros días de vida del pollo broiler.

4.1.3 Formulación del tratamiento 2 (T2)

El tratamiento 2 fue formulado considerando un incremento en la inclusión de harina de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz con respecto al tratamiento anterior. Las cantidades exactas de los ingredientes fueron determinadas por el programa solver fueron descritas en la Tabla 16.

Tabla 16.

Cantidad de ingredientes en gramos del tratamiento 2

Ingrediente	Cantidad (g)
Harina Afrecho A	0.3
Harina de CP	0.2
Aceite Vegetal	0.01466
Harina de pescado	0.322543
Trigo blando/ blanco	0.071187

Harina de Haba	0.01
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	0.01
Sal Común	0.0
Vitaminas	0.06161
Probiotico/Aditivo	0.01

Elaborado por: La Autora, 2026

En la tabla 16 se puede observar una proporción alta en las variables alternativas, siendo 0.30 % para harina de afrecho de arroz y 0.20 % para harina de cáscara de plátano verde.

La variación de cantidad de los ingredientes influyó en el cumplimiento de las restricciones como se puede ver en la Tabla 17. La función objetivo fue la siguiente:

Función objetivo: Min Z2 = 1,356 \$/kg

Tabla 17.

Resultados expresados matemáticamente del tratamiento 2

Parámetro	Resultado obtenido	Límite normativo	Cumple
Energía metabolizable	2 900 kcal/kg	2 900 – 3 000	Sí
Harina AA	30 %	10 – 30%	Sí
Harina CP	20 %	10 – 20 %	Sí
Proteína bruta	23 %	21–23 %	Sí
Grasa	5 %	3–5 %	Sí
Fibra	7,05 %	≤ 6 %	No
Total	1 kg	1 kg	Sí

Nota: El t2 incrementa el nivel proteico, pero supera el límite de fibra permitido
Elaborado por: La Autora, 2026

La tabla 14 nos indica que hay un exceso de fibra dentro de la formulación con 7,05 %, lo cual da como resultado el no cumplimiento de la restricción, sin embargo, el resto de las restricciones fueron cumplidas.

4.1.5 Formulación del del Tratamiento 3 (T3)

Este tratamiento se caracterizó por una mayor inclusión de harina de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz en comparación con los otros tratamientos, manteniendo el equilibrio nutricional requerido para la etapa de crecimiento. La combinación y cantidad de cada ingrediente fueron determinadas previamente mediante programación lineal, buscando optimizar el aporte de nutrientes y el costo de la ración. A continuación, en la tabla 18 se detallan los ingredientes y las cantidades correspondientes a este tratamiento.

Tabla 18.

Cantidad de ingredientes en gramos del tratamiento 3

Ingrediente	Cantidad (kg)
Harina Afrecho A	0.1
Harina de CP	0.3
Aceite Vegetal	0.016494
Harina de pescado	0.319198
Trigo blando/ blanco	0.094998
Harina de Haba	0.01
Carbonato de calcio (CaCO ₃)	0.01
Sal Comun	0.01
Vitaminas	0.12931
Probiotico/Aditivo	0.01

Elaborado por: La Autora, 2026

Esta formulación presenta la mayor proporción de materias primas alternativas dentro del modelo de optimización. En las restricciones se pueden observar los parámetros nutricionales específicos que se consideraron para este

tratamiento, seguidamente, se detallan los valores obtenidos para cada parámetro en la tabla 19. La función objetivo de este tratamiento es:

Función objetivo: $\text{Min } Z_3 = 1,458 \text{ \$/kg}$

Tabla 19.

Resultados expresados matemáticamente del tratamiento 3

Parámetro	Resultado obtenido	Límite normativo	Cumple
Energía metabolizable	2900 kcal/kg	2900–3000	Sí
Harina AA	10 %	10 – 10 %	
Harina CP	30 %	10 – 30 %	
Proteína bruta	23 %	21–23 %	Sí
Grasa	5 %	3–5 %	Sí
Fibra	6,84 %	≤ 6 %	No
Total	1 kg	1 kg	Sí

Nota: El t3 presenta el mayor costo y supera el límite de fibra permitido.
Elaborado por: La Autora, 2026

En la tabla 19, se observa el cumplimiento de las restricciones de energía metabolizable, proteína y grasa con lo máximo permitido por la norma, mientras que el contenido de fibra sobrepasó el límite permitido dando no cumplimiento con la norma.

4.2 Determinación de la formulación óptima de alimento balanceado a base de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz que presente la mayor aceptación en las aves de ensayo, evaluando variables productivas como incremento de talla, ganancia de peso y conversión alimenticia

En este apartado, se desarrolló el análisis e interpretación de los resultados obtenidos a partir de la evaluación productiva de los pollos broiler sometidos a los diferentes tratamientos experimentales establecidos en la investigación. El objetivo principal fue determinar el efecto de los tratamientos sobre los parámetros productivos y establecer diferencias estadísticas entre los grupos evaluados.

Se analizaron las variables talla, peso corporal y conversión alimenticia individual al día 21 de edad, consideradas indicadores fundamentales del desempeño productivo. Los datos obtenidos fueron organizados y procesados bajo un diseño experimental completamente al azar, aplicándose un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos. Se trabajó con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. Cuando se detectaron diferencias estadísticas, se realizaron pruebas de comparación múltiple para identificar los tratamientos que presentaron variaciones significativas (Anexo 12-22).

4.2.1 Determinación de la talla de pollos broiler al día 21 en los diferentes tratamientos

Se realizaron los análisis estadísticos para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la talla de los pollos broiler al día 21 donde se analizaron los valores de talla corporal en los tratamientos establecidos. Los resultados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20.

Talla de pollos broiler al día 21

Tratamiento	Talla día 21 (cm)
T Comercial	45,20 ± 0,26 ^c
T Testigo	42,88 ± 0,25 ^e
T1	47,42 ± 0,26 ^a
T2	44,29 ± 0,19 ^d
T3	46,27 ± 0,23 ^b
Prueba de medias	Tukey HSD

Tratamiento	Talla día 21 (cm)
p valor	< 0,001

Nota: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). Datos expresados como media \pm desviación estándar.

Elaborado por: La Autora, 2026

La Tabla 20 muestra la talla promedio de los pollos broiler al día 21 donde el tratamiento T1 alcanzó la mayor talla con 47,42 cm, seguido del tratamiento T3 y del tratamiento comercial mientras que el tratamiento testigo presentó el menor valor. El p valor obtenido (< 0,001) evidencia diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

El incremento de talla observado en el tratamiento T1 sugiere una mejor eficiencia en el crecimiento óseo y corporal asociada a la composición del balanceado mientras que la menor talla del tratamiento testigo refleja un menor aporte nutricional para el desarrollo estructural de las aves.

4.2.2 Determinación del peso de pollos broiler al día 21 en los diferentes tratamientos

Se realizaron los análisis estadísticos correspondientes para determinar el efecto de los diferentes tratamientos sobre el peso de los pollos broiler al día 21 donde se evaluaron los valores de peso corporal en los tratamientos establecidos. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21.

Peso de pollos broiler al día 21

Tratamiento	Peso día 21 (g)
T Comercial	1505 \pm 8,75 ^c
T Testigo	1431 \pm 5,75 ^e
T1	1584 \pm 9,05 ^a
T2	1481 \pm 9,89 ^d
T3	1543 \pm 6,60 ^b
Prueba de medias	Tukey HSD
p valor	< 0,001

Nota: La letra a corresponde al tratamiento con mayor ganancia de peso, seguido de la letra b como segundo mejor peso, letra c como el tercero, letra d como el cuarto y la letra e como el que menor peso adquirió. Prueba Tukey ($\alpha = 0,05$).

Elaborado por: La Autora, 2026

La Tabla 21 muestra los valores promedio de peso de los pollos broiler al día 21 donde el tratamiento T1 presentó el mayor peso con 1584 g seguido del tratamiento T3 con 1543 g y del tratamiento comercial mientras que el tratamiento testigo registró el menor valor con 1431 g el p valor obtenido ($< 0,001$) indica la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados evidenciando que la formulación del balanceado influyó directamente en el incremento de peso de los pollos.

El mayor peso observado en el tratamiento T1 se atribuye a una adecuada combinación de harina de cáscara de plátano y afrecho de arroz que favoreció el aprovechamiento nutricional del alimento mientras que el menor desempeño del tratamiento testigo se relaciona con la ausencia de estos ingredientes alternativos en su formulación.

4.2.3 Determinación de la conversión alimenticia individual en los diferentes tratamientos

Se efectuaron los análisis estadísticos para determinar la conversión alimenticia individual de los pollos broiler bajo los diferentes tratamientos. Los resultados se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22.

Conversión alimenticia individual

Tratamiento	Conversión alimenticia
T Comercial	1,651 \pm 0,018 ^c
T Testigo	1,788 \pm 0,011 ^e
T1	1,531 \pm 0,012 ^a
T2	1,683 \pm 0,017 ^d
T3	1,633 \pm 0,012 ^b
Prueba de medias	Tukey HSD
p valor	< 0,001

Nota: En la conversión alimenticia, a se asigna el valor más bajo para determinarlo como el mejor, seguido de b como el segundo mejor tratamiento, luego c como el tercer mejor tratamiento, d como el cuarto y e como el que peor conversión alimenticia tuvo. Prueba Tukey ($\alpha = 0,05$).

Elaborado por: La Autora, 2026

La Tabla 22 muestra los valores de conversión alimenticia individual donde el tratamiento T1 presentó el menor valor indicando una mejor eficiencia en el aprovechamiento del alimento seguido del tratamiento T3 y del tratamiento

comercial mientras que el tratamiento testigo registró el valor más alto. El p valor obtenido ($< 0,001$) confirma diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

La mejor conversión alimenticia observada en el tratamiento T1 se asocia a una formulación balanceada que permitió un mayor aprovechamiento de los nutrientes ingeridos reflejándose en un mejor desempeño productivo de los pollos broiler.

4.3 Comparación del mejor tratamiento de balanceado a base de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz frente a un alimento balanceado tradicional considerando lo indicado en la norma NTE INEN 1829:2014 (análisis bromatológico).

Considerando los valores obtenidos al día 21 mediante los indicadores productivos, se consideró al tratamiento 1 como la formulación más aceptada por los pollos broiler y la que mejores resultados obtuvo. Con el fin de evaluar la viabilidad productiva del mejor tratamiento y a su vez, validar los resultados obtenidos, se realizó una comparación frente a un alimento balanceado tradicional basándose en los parámetros establecidos en la norma técnica correspondiente para alimento balanceados (Ver Anexo 23).

La norma NTE INEN 1829:2014 exige parámetros bromatológicos, los cuales fueron comparados con el tratamiento tradicional y el mejor tratamiento aceptado por las aves de ensayo que se puede observar de manera más detallada en el Anexo 23 y ha sido resumido en la Tabla 23.

Tabla 23.

Comparación de estándares bromatológicos para alimentos balanceados para aves

Parámetro	Norma INEN 1829	Tratamiento experimental	Tratamiento tradicional
Proteína	21 – 23 %	21,18 %	22%
Grasa	3 – 5 %	3,6 %	4,50 %
Fibra	5 – 6 %	5,1 %	5,00 %
Humedad	12 %	12%	13 %
Ceniza	± 1 %	No determinado	7,50 %

Energía	2900 – 3000 kca/kg	2909 kcal/kg	2900 kcal/kg
Metabolizable			

Fuente: NTE INEN 1829, 2014: Ecuaquimica, s.f.

Elaborado por: La Autora, 2026

El tratamiento experimental se encuentra dentro del rango permitido por la norma, evidenciando conformidad con los estándares técnicos establecido. El contenido de cenizas no fue determinado ya que el análisis se centró en los parámetros principales relacionados con el aporte proteico y energético del alimento. Con respecto al tratamiento tradicional, este también cumple con los parámetros establecidos por la norma vigente.

Sin embargo, al evaluar el desempeño productivo, el tratamiento experimental presentó mejores resultados, los cuales se muestran de manera comparativa en la Tabla 24.

Tabla 24.

Comparación del desempeño productivo

Parámetro	Tratamiento 1	Tratamiento Tradicional
Ganancia de peso	1584 g	1505g
Conversión alimenticia	1,53 g	1,65 g
Incremento de talla	47 cm	45 cm

Fuente: Ecuaquimica s.f.

Elaborado por: La Autora, 2026

Aunque ambos están cumpliendo la normativa vigente, el tratamiento experimental presentó mayor eficiencia productiva (Ver Anexo 24).

5 DISCUSIÓN

La formulación de dietas mediante programación lineal permitió obtener una combinación nutricional que satisfizo simultáneamente los requerimientos energéticos y proteicos al menor costo, lo que confirma la eficiencia del modelo matemático como herramienta de optimización en la alimentación avícola. El Tratamiento 1 alcanzó 2909 kcal/kg de energía metabolizable y 21,18% de proteína cruda, valores que se encuentran dentro del rango recomendado para pollos de engorde en fase de crecimiento–finalización y que coinciden con lo reportado por Rodríguez-Ortega et al. (2024), quienes obtuvieron formulaciones optimizadas con niveles de 2975 a 3125 kcal/kg de energía metabolizable y 18 a 23% de proteína mediante el uso de Solver.

De manera complementaria, De Souza et al. (2024) demostraron que los modelos de programación lineal reducen entre 6 y 12% el costo del alimento sin alterar el cumplimiento de los requerimientos nutricionales cuando se establecen restricciones adecuadas para energía, proteína y fibra. En este sentido, el cumplimiento simultáneo de 5% de grasa y 5,26% de fibra en el Tratamiento 1 evidencia que el método simplex permitió controlar los nutrientes estructurales que condicionan la eficiencia digestiva, lo que explica su mejor respuesta biológica frente a los tratamientos con mayor inclusión de subproductos.

El mejor desempeño productivo del Tratamiento 1 se reflejó en una ganancia de peso de 1584 g, una conversión alimenticia de 1,53 y un incremento de talla de 47,42 cm, valores que indican una utilización más eficiente de los nutrientes consumidos. Estos resultados son superiores a los reportados por Melo y Gutiérrez (2025), quienes obtuvieron ganancias de peso cercanas a 1500 g y conversiones alimenticias entre 1,60 y 1,65 con niveles de inclusión del 10% de harinas

alternativas, lo que sugiere que el equilibrio nutricional logrado mediante programación lineal mejora la eficiencia productiva.

De forma similar, Chrystal et al. (2021) observaron que dietas con adecuada relación energía–proteína (≈ 3000 kcal/kg y 20–21% de proteína) generan conversiones alimenticias entre 1,50 y 1,55, debido a una mayor digestibilidad de los nutrientes y menor consumo por unidad de peso ganado. En contraste, los Tratamientos 2 y 3 presentaron contenidos de fibra de 7,05% y 6,84%, respectivamente, lo que coincide con lo descrito por Ravindran et al. (2021), quienes señalan que niveles de fibra superiores al 6% reducen la digestibilidad de la energía y afectan la ganancia de peso, incrementando la conversión alimenticia. Esto confirma que el aumento de ingredientes fibrosos sin un ajuste proporcional de la densidad energética limita el desempeño productivo.

Desde el punto de vista bromatológico, la harina de cáscara de plátano verde presentó 6,47% de humedad, 3,26% de proteína y aproximadamente 9,65% de cenizas, valores que coinciden con Molina et al. (2024), quienes reportaron contenidos de proteína entre 5 y 8% y altos niveles minerales en este subproducto. Esta composición confirma que su principal aporte es estructural y mineral, más que proteico, por lo que su inclusión debe realizarse en niveles moderados para evitar incrementos excesivos de fibra.

Oyeyinka y Oyeyinka (2021) describen que este tipo de harinas presenta contenidos de ceniza entre 8 y 12% y proteína inferior al 10%, lo que respalda los valores obtenidos en el presente estudio. En el caso del afrecho de arroz, los valores de 7,23% de humedad, 12,14% de ceniza, 3,50% de proteína y 1,45% de grasa evidencian su aporte energético moderado y su elevada fracción mineral. Estos resultados concuerdan con Santos et al. (2022), quienes reportaron contenidos de ceniza cercanos al 11–13% y señalaron que su principal limitante nutricional es el incremento del contenido de fibra cuando se eleva su nivel de inclusión en la dieta. En los Tratamientos 2 y 3, el aumento de estos ingredientes elevó la fibra por encima del rango recomendado, lo que explica la reducción en la eficiencia productiva observada.

Al contrastar los tratamientos con los requerimientos establecidos en la NTE INEN 1829:2014, se evidenció que únicamente el Tratamiento 1 cumplió de manera integral con los parámetros de proteína, grasa, fibra y energía metabolizable. Aunque el alimento tradicional y los demás tratamientos alcanzaron niveles

adecuados de proteína ($\geq 20\%$) y energía (≈ 2900 kcal/kg), el exceso de fibra impidió su ajuste total a la normativa. Este comportamiento coincide con lo reportado por Kiarie y Mills (2023), quienes indican que el control del contenido de fibra es determinante para mantener la eficiencia alimenticia y el cumplimiento de los estándares nutricionales en dietas avícolas. En este contexto, la programación lineal permitió identificar la combinación de ingredientes que satisface simultáneamente los requerimientos normativos y productivos, demostrando que la inclusión de subproductos agroindustriales es viable cuando se maneja bajo criterios de formulación precisa y control de nutrientes críticos.

En conjunto, los resultados evidencian que el óptimo productivo se alcanza cuando existe un equilibrio entre densidad energética, aporte proteico y contenido de fibra. La ganancia de peso de 1584 g y la conversión alimenticia de 1,53 obtenidas en el Tratamiento 1 confirman que la inclusión moderada de harina de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz, formulada mediante programación lineal, permite mejorar la eficiencia biológica sin incumplir la normativa nutricional. Esto demuestra que la optimización matemática no solo reduce costos, sino que también mejora el aprovechamiento de los nutrientes y el desempeño zootécnico, constituyéndose en una estrategia viable para sistemas de producción avícola sostenibles.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La aplicación de la herramienta de programación lineal Solver en la formulación de alimento balanceado constituye una estrategia eficiente para optimizar la combinación de ingredientes, permitiendo satisfacer los requerimientos nutricionales de las aves con un menor costo de producción. El uso de este modelo matemático facilitó la integración simultánea de múltiples restricciones y variables nutricionales, lo que proporcionó flexibilidad en la formulación y adaptabilidad según la fase productiva evaluada. Como resultado, se obtuvo una dieta con adecuado balance nutricional, mayor calidad y eficiencia económica, lo que se reflejó en mejoras en los parámetros productivos.

En la fase experimental, la evaluación de los índices productivos (ganancia de peso, conversión alimenticia e incremento de talla) evidenció que el Tratamiento 1, formulado con 20% de harina de afrecho de arroz y 10% de harina de cáscara de plátano verde, presentó la mayor aceptación por parte de las aves. Este comportamiento demuestra que dicha formulación constituye una alternativa viable en la alimentación de pollos de engorde. El mejor desempeño productivo se atribuye al adecuado balance en la mezcla de ingredientes, lo que favoreció la palatabilidad del alimento y un perfil nutricional más eficiente, confirmando la utilidad de la programación lineal como herramienta para el desarrollo de dietas balanceadas.

En comparación con el alimento comercial, el Tratamiento 1 mostró un comportamiento superior en términos de aceptación y valor nutricional, registrando

un incremento adicional de 79 g de peso vivo. Desde el punto de vista bromatológico, esta formulación presentó 21,18% de proteína cruda, 3,6% de grasa, 5,1% de fibra y 2909 kcal/kg de energía metabolizable, valores que se ajustan a los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 1829. Estos resultados permiten establecer que el Tratamiento 1 no solo cumple con los requerimientos nutricionales para la especie, sino que además constituye una alternativa técnicamente viable y más eficiente que el alimento comercial evaluado.

6.2 Recomendaciones

El uso de la programación lineal para futuras formulaciones de este alimento balanceado, siendo utilizado y adaptado a las etapas posteriores, permitirá crear alimentos balanceados de alta calidad a un costo razonable. Esto beneficiará tanto a productores avícolas, personas naturales y los animales, no solo a nivel económico sino también en cuestión de alimentación y salud de las aves que consuman estos alimentos balanceados.

El tratamiento 1 (T1) puede ser una alternativa efectiva para mejorar significativamente la productividad y la salud de los pollos, ya que ha demostrado ser superior al alimento comercial en términos de aceptación y valor nutricional. Se sugiere implementar el tratamiento 1 en las posteriores etapas de los pollos broiler, utilizando los requerimientos propios de cada etapa de crecimiento y engorde para maximizar los resultados. Además, se recomienda realizar pruebas adicionales y monitoreos constantes para confirmar los resultados y ajustar la formulación en caso de ser necesario, lo que permitirá optimizar la producción y reducir los costos.

~~El trabajo en conjunto~~ con un nutricionista animal especializado permite obtener asesoramiento personalizado para utilizar el tratamiento 1 y adaptarlo a diferentes sistemas de producción y alimentación avícola. Esto permitirá aprovechar al máximo los beneficios del T1 y minimizar los riesgos potenciales. Además, se sugiere realizar un análisis detallado de los costos y beneficios de implementar T1 en diferentes escenarios de producción avícola, lo que ayudará a tomar decisiones informadas y estratégicas. La colaboración con expertos en nutrición animal también puede facilitar la adaptación de la formulación T1 a nuevas tendencias y regulaciones en la industria avícola.

BIBLIOGRAFÍA

- Aapresid. (2021). *El afrecho de arroz, un subproducto regional de importancia para la alimentación de los vacunos*. Aapresid. <https://www.aapresid.org.ar/blog/el-afrecho-de-arroz-un-subproducto-regional-de-importancia-para-la-alimentacion-de-los-vacuno>
- Ahmad, A., Aftab, A. A., Masood, R., Kamran, A., Mian, A. M., Muhammad, N., Nisar, A., Ali, A., y Saba, S. (2017). Effect of fermented rice bran on growth performance and bioavailability of phosphorus in *broiler* chickens. *Indian Journal of Animal Research*, 53(3), 361–365. <https://doi.org/10.18805/ijar.v0iOF.8002>
- Bermúdez, Y. (2011). Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. Ingeniería Industrial. *Actualidad y Nuevas Tendencias*, 2(7), 1–15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215024822007>
- Bezerra, E., Jales, V., Crislany, S., Freitas, V., Barroso, L., Rocha, V., y Alves, A. (2023). Evaluation of the antimicrobial potential of cashew nut shell liquid extract (*Anacardium occidentale*) against *Enterococcus faecalis* strains. *European Journal of Medical and Health Sciences*, 5(6), 1–10. <https://doi.org/10.24018/ejmed.2023.5.6.1926>
- Biovet. (2019). *Cereales alternativos en alimentación animal*. Veterinaria Digital. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/cereales-alternativos-en-alimentacion-animal/>
- Borja. (2017, enero 16). *Origen e historia del plátano*. Mundo Deportivo. <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/comida/articulo/origen-e-historia-del-platano-44066.html>

- Castellón, K., Pineda, W., y Cordón, E. (2016). Comportamiento agronómico del cultivo del plátano, variedad curare enano en Sandy Bay, Costa Caribe Norte de Nicaragua. *Ciencia de Interculturalidad*, 21(2), 1–14. <https://doi.org/10.5377/rci.v21i2.5605>
- Catootjie, L. N., y Yowi, M. R. K. (2019). Nutritional value of fermented rice bran for broiler chickens: Apparent metabolizable energy and growth performance. *International Journal of Poultry Science*, 18(12), 618–625. <https://doi.org/10.3923/ijps.2019.618.625>
- Cedeño-Zambrano, J. R., García-Párraga, J. V., Solórzano-Cobeña, C. M., Jiménez-Flores, L. A. J., Ulloa-Cortázar, S. M., López-Mejía, F. X., Avellán-Vásquez, L. E., Bracho-Bravo, B. Y., y Sánchez-Urdaneta, A. B. (2022). Fertilización con magnesio en plátano ‘Barraganete’ (*Musa AAB*) Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 8–19. Chasing <https://doi.org/10.17163/lgr.n35.2022.01>
- Sandoval, A. (2024). *Evaluación bromatológica de dietas alimenticias con inclusión progresiva de harina alternativa en pollos broiler* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.ucatolica.edu.ec/74312ecc-77f4-49b1-864e-918363a3ea>
- Chasipanta, J. M. (2023). *Utilización de diferentes niveles de harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en sustitución parcial de carbohidratos para la alimentación de pollos broiler* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/03312ecc-77f4-49b1-864e-918363a3ea10/content>
- Cheng, S., Liu, X., Liu, P., Li, G., Guo, X., Hu, G., y Liu, P. (2021). Dysregulated expression of mRNA and SNP in pulmonary artery remodeling in ascites syndrome in broilers. *Poultry Science*, 100(3), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.054>
- Chrystal, P. V., Moss, A. F., Khoddami, A., & Liu, S. Y. (2021). *Effects of reduced crude protein diets on growth performance, carcass traits and nutrient utilisation in broiler chickens*. *Animal Feed Science and Technology*, 276, 114846. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114846>
- De la Fuente, D., y Priore, P. (1996). *Programación lineal entera y programación no lineal* (pp. 1–18). Universidad de Oviedo.

- https://www.todostuslibros.com/libros/programacion-lineal-entera-y-programacion-no-lineal_978-84-7468-927-3
- De Souza, L. F. A., Espinha, L. P., Eyng, C., & Nunes, R. V. (2024). Economic optimization of broiler diets using mathematical programming. *Poultry Science*, *103*(1), pead406. <https://doi.org/10.3382/ps/pead406>
- Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E., y Staver, C. P. (2018). Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1-21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>
- Drannikov, A., Iskusnykh, Y., Derkanosova, A., Torshina, A., Kurchaeva, E., y Shevtsov, A. (2022). Use of a complex of biologically active additives in complete compound feed for farm animals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1052*(1), 012020, 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012020>
- ElGamal, R., Song, C., Rayan, A. M., Liu, C., Al-Rejaie, S., y ElMasry, G. (2023). Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: A comprehensive overview. *Agronomy*, *13*(6), 1580, 1-21. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061580>
- Enríquez, W., & Ojeda, L. (2020). Evaluación bromatológica de dietas para pollos de engorde con inclusión de harina de plátano. *Revista Espamciencia*, *11*(1), 12–18. DOI: https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i1.200
- Fatemi, S. A., Alqhtani, A., Elliott, K. E., Bello, A., Zhang, H., y Peebles, E. D. (2021). Effects of the in ovo injection of vitamin D3 and 25-hydroxyvitamin D3 in Ross 708 broilers subsequently fed commercial or calcium- and phosphorus-restricted diets: I. Performance, carcass characteristics, and incidence of woody breast myopathy. *Poultry Science*, *100*(8), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101220>
- Fernández, A. (2024). *Evaluación del desempeño productivo de lechones destetados, alimentados con preiniciadores de dos programas de alimentación* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/20842>
- Flor, F. G. (2020). Actividad probiótica de *Lactobacillus* spp. y su incidencia en el desarrollo de los parámetros zootécnicos, alométricos y del microbiota gastrointestinal en pollos broilers. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*,

- 4(2).https://www.researchgate.net/publication/344942407_Articulo_Pollos_Broiler
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). *Estadísticas de producción y comercio de banano*. <https://www.fao.org/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). *Banana country profiles: Ecuador*. <https://www.fao.org/3/l8800EN/i8800en.pdf>
- Galindo, M. (2016). *Producción de alimentos apoyada con programación lineal* [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin02/URL_02_IND01.pdf
- García, J. (2015). Mejoramiento de dieta porcina por metodología simplex. *Revista Panorama Administrativo*, 1(2), 1–15. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/raites/article/view/76>
- Giergiel, M., Durkalec, M. M., Nawrocka, A., Sell, B., Stolarska, I., y Posyniak, A. (2019). Ingestion of bedding material as a cause of acute copper sulfate poisoning in turkey poults. *Poultry Science*, 98(2), 707–711. <https://doi.org/10.3382/ps/pey430>
- Guédez, C. (2011). Programación lineal e ingeniería industrial: Una aproximación al estado del arte. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 2(6), 1–15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215021914005>
- Haro-Velasteguí, A., Borja-Arévalo, A., y Triviño-Bloisse, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Revista Científica Dominio de las Ciencias*, 3(3), 245–265. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6325873>
- Hernández-Rodríguez, G., Álvarez-González, M., González, J., y Campo-Muiño, A. (2024). Obtención y caracterización de harina de plátano verde. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 34(2), 77–86. <https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/754>
- Holme, I. B., Gregersen, P. L., y Brinch, P. H. (2019). Induced genetic variation in crop plants by random or targeted mutagenesis: Convergence and differences. *Frontiers in Plant Science*, 10(14), 1-9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01468>

- INEN. (2014). *Alimentos para animales. Alimentos balanceados para aves de producción zootécnica*.
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1829-1.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1992). *Alimentos zootécnicos. Compuestos para pollo engorde. Requisitos*.
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1829.pdf>
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2023). *Informe técnico sobre variedades de plátano en Ecuador*.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6410>
- Jiménez, M., Cedeño, L., y Guamán, F. (2020). Los costos de producción y su incidencia en la rentabilidad de una industria avícola integrada en Chimborazo. *Revista Visionario*, 4(1), 43-66.
<https://doi.org/10.33262/visionariodigital.v4il.1089>
- Kaderides, K., Kyriakoudi, A., Mourtzinos, I., y Goula, A. (2021). Potential of pomegranate peel extract as a natural additive in foods. *Trends in Food Science and Technology*, 1(15), 380–390.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.050>
- Kiarie, E., & Mills, A. (2023). Role of dietary fibre in poultry nutrition and performance. *World's Poultry Science Journal*, 79(1), 1–15.
<https://doi.org/10.1017/S0043933922000878>
- Koni, H., Aritonang, S., y Hutapea, J. (2024). Anaerobic fermentation can improve banana peel nutrients and increase its inclusion in broiler chicken rations. *Tropical Animal Addiction*, 12(2), 349–354.
<https://doi.org/10.17582/journal.aasv/2024/12.2.349.354>
- Koni, I., Nainggolan, L., y Sihombing, M. (2025). Growth performance of Java Super chickens fed fermented rice bran using palmyra sap. *Indonesian Journal of Animal Science*, 44(2), 44–52.
<https://doi.org/10.17582/journal.jahp/2025/13.1.149.153>
- Lan, X., Jingya, X., Xingzhen, Q., Ting, L., Yaqian, J., M. F., y Guiqin, L. (2023). Effects of concentrate feeding sequence on growth performance, nutrient digestibility, VFA production, and fecal microbiota of weaned donkeys. *Animals*, 13(18), 1-14. <https://doi.org/10.3390/ani13182893>
- Loor, E., Cuenca, J., Intriago, G., y Talledo, V. (2020). Actividad probiótica de *Lactobacillus spp.* y su incidencia en el desarrollo de los parámetros

- zootécnicos, alométricos y del microbiota gastrointestinal en pollos *broilers*. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 4(2), 1–10.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4291311>
- Maya, S. (2016). *Procesos de producción de alimentos balanceados: Planta de concentrados Colanta Itagúí* [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria Lasallista].
<https://repository.unilasallista.edu.co/server/api/core/bitstreams/7c7db0c6-ed4d-48bd-86b0-c7f349de3296/content>
- Melo, D., & Gutiérrez, P. (2025). Inclusión de harina integral de zapallo (*Cucurbita maxima*) en dietas formuladas mediante programación lineal para pollos broiler. *Revista Latinoamericana de Producción Animal*, 15(1), 60–72.
<file:///C:/Users/HP-LAPTOP/Downloads/06v4n1.pdf>
- Mendoza, M. (2021). *Evaluación de dos tipos de medicación del alimento balanceado en pollos de engorde* [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/aa42b3bb-c7c3-4ff2-a3cd-237380b4bef6/content>
- Molina, J., Pérez, A., & Castillo, R. (2024). Valoración bromatológica de la harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) como insumo para alimentación animal. *Revista de Ciencias Agrarias*, 41(2), 78–87
<https://doi.org/10.47187/d1j6v767>
- Morales de Pérez, J., y Torrealba, M. (2011). Formulación de alimentos balanceados para pollos, bovinos de carne y porcinos, considerando diferentes etapas de crecimiento, utilizando materias primas alternativas. *Agrollanía*, 7(1), 23–34.
<https://biblat.unam.mx/es/revista/agrollania/articulo/formulacion-de-alimentos-balanceados-para-pollos-bovinos-de-carne-y-porcino-considerando-diferentes-etapas-de-crecimiento-utilizando-materias-primas-alternativas>
- Mutuberría, M., Larrosa, V. J., Giménez, B., y Graiver, N. G. (2023). Maximizando el valor nutricional: Reutilización de un subproducto de la industria arrocera en alimentos saludables. *Innotec*, 22(1), 45–58.
<http://hdl.handle.net/11336/225935>

- Negash, D. (2022). Study on compound animal feed demand and animal products, supply, price and marketing in Ethiopia. *Biomedical Journal of Scientific and Technical Research*, 41(3), 1-10. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2022.41.006619>
- Ortiz, S., y Rodrigo, C. (2017). Modelo de programación lineal entera mixta para la programación de sistemas tipo job-shop flexible en entornos make to order. *INGE CUC*, 13(2), 25–36. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.03>
- Oyeyinka, S. A., & Oyeyinka, A. T. (2021). A review on isolation, composition, physicochemical properties and modification of plantain and banana starches. *Journal of Food Composition and Analysis*, 92, 103646. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103646>
- Peñaflor, L. L., Duldulao, S. L., Villamayor, D. J. F., Dañozo, J. J. L., y Malaco, A. C. (s.f.). Development and evaluation of chicken feedstuff using banana (*Musa acuminata x balbisiana*) peel. *ASEAN Journal of Agriculture and Food Engineering*. <https://ejournal.bumipublikasinusantara.id/index.php/ajafe/article/view/156ejournal.bumipublikasinusan>
- Perrier, X., Bakry, F., Carreel, F., Jenny, C., Horry, J. P., y Lebot, V. (2011). Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa spp.*) domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(28), 11311–11318. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102001108>
- Pestana, V. R., Zambiasi, R. C., Mendoza, C. R., Bruscatto, M. H., y Ramis-Ramos, G. (2009). The influence of industrial processing on the physico-chemical characteristics and lipid and antioxidant contents of rice bran. *Grasas y Aceites*, 60(2), 184–193. <https://doi.org/10.3989/gya.075108>
- Pope, J. T. (2024). Blend feeding broilers to daily nutrient requirements. *Proceedings of the Arkansas Nutrition Conference, 2024*, Article 6, 1–9. <https://scholarworks.uark.edu/panc/vol2024/iss1>
- Quizhpe, M. (2023). *Efecto de las diferentes fuentes de fibra en composición química de la carne de pollos bajo sistemas de producción de altura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f6860ca7-9698-4710-94e8-5bbce08c6f6b/content>
- Ranjha, M., Irfan, S., Nadeem, M., y Mahmood, S. (2020). Comprehensive review on nutritional value, medicinal uses, and processing of banana. *Food*

- Reviews International*, 38(2), 199–225.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1725890>
- Reyes, J., Cáceres, D., García, M., y Sánchez, C. (2015). Modelo de programación lineal para planeación de requerimiento de materiales. *Revista Tecnológica Espol*, 28(2), 51–59.
<https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/322>
- Rodríguez-Ortega, L., Hernández-Guzmán, F., Rodríguez-Ortega, A., Ronquillo-de Jesús, E., Zúñiga-Estrada, E., Hernández-Martínez, V. K., Vargas-Monter, J., Sifuentes-Saucedo, D., & Noguez-Estrada, J. (2024). *Manual para formular dietas para aves en Solver – Excel*. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. <https://upfim.edu.mx/publicaciones/>.
- Santana, F. (2013). *Determinación del aumento de peso en pollos de engorde (Gallus gallus) mediante la incorporación de diferentes fuentes proteicas a su alimentación* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. https://redi.cedia.edu.ec/author/64ff7cd26800cbc1eaad033a/documents?p=1yf=area_investigator_str:%22Ciencia%20agraria%22
- Santos, E. L., Ludke, M. C. M. M., Torres, T. R., Lopes, L. S., & Silva, J. H. V. (2022). Rice bran in broiler diets: performance, nutrient digestibility and carcass characteristics. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 24(2), 1–9.
<https://doi.org/10.1590/1806-9061-2021-1467>
- Suariani, Surjana, Kaca, Supastiawan, y Yasa. (2023). Digestibility of native chicken rations containing fermented banana peel flour. *International Journal of Scientific Multidisciplinary Research*, 1(8), 1013–1026.
<https://doi.org/10.55927/ijsmr.v1i8.5791>
- Trujillo, L., Ortiz, N., Castañeda, P., y Sánchez, V. (2023). Identification of management practices in broiler chicken producers in the Ceibas Arriba village. *Journal of Poultry Research*, 12(3), 145–158.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9870087>
- Veliz, K., Chico-Santamarta, L., y Ramírez, Á. D. (2022). The environmental profile of Ecuadorian export banana: A life cycle assessment. *Foods*, 11(20), 1-23.
<https://doi.org/10.3390/foods11203288>

ANEXOS

Anexo 1.

Requerimiento de aminoácidos esenciales para pollos

Aminoácidos	Inicio (%)	Engorda (%)	Finalización (%)
Lisina	1,10	1,00	0,85
Metionina	0,50	0,38	0,32
Triptófano	0,20	0,18	0,16
Fenilalanina	0,72	0,65	0,56
Leucina	1,20	1,09	0,93
Treonina	0,80	0,73	0,62
Valina	0,90	0,82	0,70
Arginina	1,25	1,10	1,00
Glicina	1,25	1,14	0,97

Fuente: Ahmad et al. (2017). Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 2.


Norma técnica Ecuatoriana INEN 1829:1992

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	ALIMENTOS ZOOTECNICOS. COMPUESTOS PARA POLLOS DE ENGORDE. REQUISITOS.	NTE INEN 1 829 1992-01
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los alimentos compuestos destinados a la alimentación de pollos de engorde.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica a los alimentos compuestos que se comercializan en forma de harina, gránulos (pellets) y migas.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Alimento iniciador. El alimento para suministrarse a los pollos de engorde en la fase de iniciación comprendida como un mínimo de 21 días.</p> <p>3.2 Alimento finalizador. El alimento para suministrarse a los pollos de engorde luego del iniciador hasta el sacrificio.</p> <p>3.3 Para otras definiciones referentes a los alimentos zootécnicos consultar la Norma INEN 1 643.</p> <p style="text-align: center;">4. DISPOSICIONES GENERALES</p> <p>4.1 El alimento debe tener las características físicas, químicas y organolépticas aptas para la alimentación del pollo de engorde y debe estar libre de insectos, plaguicidas, elementos extraños y de adulterantes.</p> <p>4.2 No se permite el uso de hormonas estrogénicas en la elaboración de los alimentos para el pollo de engorde.</p> <p style="text-align: center;">5. REQUISITOS</p> <p>5.1 Cuando el alimento se presenta en forma de harina, el tamaño de partícula debe ser tal que no menos del 97% en masa del material pase a través del tamiz de 2,0 mm y no menos del 75% en masa del material pase a través del tamiz de 850 µm de acuerdo con el Anexo A de la presente norma (ver Norma INEN 154 y 517).</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: alimentos para animales, aves de corral.</p>		

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992

Anexo 3.

Norma técnica Ecuatoriana INEN 1829:2014



Instituto Ecuatoriano de Normalización

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA **NTE INEN 1829:2014**
Primera revisión

**ALIMENTOS PARA ANIMALES. ALIMENTOS BALANCEADOS
PARA AVES DE PRODUCCIÓN ZOOTÉCNICA. REQUISITOS**

Primera edición

ANIMAL FEED. BALANCED FEED POULTRY. ZOOTECNICAL PRODUCTION. REQUIREMENTS.

First edition

DESCRIPCIÓN: Alimentos para animales, alimentos balanceados, aves, producción zootécnica, requisitos.
AL 04-01-421
CDU: 635.084.638.085
CUL: 3110
ICS: 65.120

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014

Anexo 4.

Técnica Ecuatoriano INEN 1829:2014 (parámetros de análisis bromatológicos)

NTE INEN 1829 2014-01

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 El alimento balanceado debe tener las características físicas, químicas, y biológicas aptas para la alimentación de las aves de producción zootécnica.

5.2 El alimento balanceado debe estar libre de insectos (insectos vivos o partes de éstos, huevos o larvas), plaguicidas, elementos extraños y de adulterantes.

5.3 El alimento balanceado no debe contener ingredientes o aditivos que se encuentren de uso prohibido por la Autoridad Nacional Competente.

5.4 Los ingredientes para alimentos balanceados deben obtenerse de fuentes seguras, y someterse a un análisis de riesgos desde el punto de vista de la inocuidad de los alimentos.

6. REQUISITOS

6.1 Requisitos generales

6.1.1 Los alimentos balanceados deben cumplir con una homogeneidad de mezclado de los ingredientes no menor al 90% (coeficiente de variación menor o igual al 10%). El método de ensayo se realizara de conformidad con el método *AOAC 969.10

6.1.2 El alimento balanceado debe cumplir con la composición declarada en el rotulado con los rangos de tolerancia establecidos en la tabla 1.

6.1.3 La verificación de la composición declarada en el rotulado debe realizarse con los análisis bromatológicos de la tabla 1.

TABLA 1. Métodos de Ensayo para los análisis bromatológicos

Parámetro (%)	Método de ensayo	Tolerancias
Proteína cruda	ISO 5983-1	± 3 puntos porcentuales del contenido declarado para proteína cruda igual o superior al 24 %. ± 2,5 puntos porcentuales del contenido declarado para proteína cruda entre el 8% y el 24 %.
Fibra cruda	ISO 6865	± 1,7 puntos porcentuales del contenido declarado para fibra cruda inferior al 10 %;
Grasa cruda	ISO 6492	± 2,5 puntos porcentuales del contenido declarado para grasa cruda entre el 8% y el 24 %. ± 1 punto porcentual del contenido declarado para grasa cruda inferior al 8 %
Cenizas	ISO 5984	± 1 punto porcentual del contenido declarado para cenizas.
Calcio	ISO 6490-1	± 1 punto porcentual del contenido declarado para calcio.
Fósforo	ISO 6491	± 1 punto porcentual del contenido declarado para fósforo total.

-2- 2014-0262

Fuente: INEN, 2014

Anexo 5.

NTE INEN 1829:2014 (análisis de parámetros microbiológicos)

6.2 Requisitos específicos

6.2.1 Requisito físico-químico. El alimento balanceado debe cumplir con el requisito indicado en la tabla 2.

TABLA 2. Requisito físico-químico de los alimentos balanceados

Requisito	Valor		Método de Ensayo
	Mínimo	Máximo	
Humedad %	-	13,0 %	ISO 6496

6.2.2 Requisitos microbiológicos. El alimento balanceado debe cumplir con los requisitos indicados en la tabla 3.

TABLA 3. Requisitos microbiológicos de los alimentos balanceados

Microorganismo	Caso	n	c	m	M	Método de ensayo
Enterobacteriaceae ufc/g	2 ¹	5	2	10 ⁴	10 ⁵	ISO 21528-1
Salmonella*	10 ²	5	0	Ausencia /25g	-	ISO 6579 NTE INEN 1529-15

*Evaluar Salmonella cuando el resultado de Enterobacteriaceae represente un riesgo para la inocuidad.

Donde:

Caso: Rigurosidad del muestreo y las condiciones de uso.

- (1) El caso 2 es para una contaminación general, sin cambios en el riesgo
 (2) El caso 10 es un peligro serio que usualmente no amenaza la vida, las secuelas son raras, de duración moderada sin cambios en el riesgo

n: número de muestras de lote que deben analizarse

c: número de muestras defectuosas aceptables con resultados entre m y M

m: límite de aceptación

M: límite de rechazo

6.3 Contaminantes. El límite máximo de aflatoxina B1 en el alimento balanceado debe cumplir con los requisitos indicados en la tabla 4.

TABLA 4. Contaminantes

Contaminante	Requisito	Método de Ensayo
Aflatoxina B1	20 µg/kg (ppb)	ISO 17375 AOAC 990.32*

*Métodos generales recomendados.

6.4 Los alimentos balanceados se ajustarán a los límites máximos de residuos de plaguicidas establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius, CAC/LMR 01 vigente.

Anexo 6.

Elaboración de la harina de cáscara de plátano verde



Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 7.

Elaboración de la harina de afrecho de arroz



Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 8.*Desarrollo del alimento balanceado*

Elaborador por: La Autora, 2026

Anexo 9.*Determinación de ceniza y humedad de las harinas*

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 10.

Determinación de proteínas y grasas de la harina de cáscara de plátano verde.



INFORME DE RESULTADOS				
SSV-088-2025				
Fecha: 22 diciembre de 2025				
DATOS DEL CLIENTE				
Nombre	Elizabeth Moreno Arias			
Dirección	Universidad Agraria del Ecuador			
Teléfono	0987632643			
Contacto	Dra. Sandra Vizuette			
DATOS DE LA MUESTRA				
Tipo de muestra	Harina de cascara de plátano verde	Cantidad	Aprox. 200g	
No. de muestras	1	Lote	N.A.	
Presentación	Frasco tapa rosca	Fecha de recepción	16-12-2025	
Colecta de muestra	Realizado por el cliente	Fecha Colecta de muestra	N/A	
CONDICIONES DEL ANALISIS				
Temperatura (°C)	22.5	Humedad (%)	52.0	
Fecha de Inicio de Análisis	17-12-2025			
Fecha de Finalización del análisis	22-12-2025			
RESULTADOS				
CODIGO CLIENTE	PARAMETROS	METODO RRFERENCIA	RESULTADOS	Unidad
Harina de cascara de plátano verde	Proteína	Kjeldahl AOAC 984.13 (Volumetría)	3.26	%
	Grasa	Folch Modificado (Gravimetría)	0.81	%
Observaciones:				
1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) recibidas por el laboratorio. No siendo extensivo a cualquier lote.				
2. Nomenclatura: N.D. = No Detectable; N.A. = No aplica				



Q.F. Stuard Montoya V. Mgtr.
Director Tecnico / CEO

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 11.*Determinación de grasas y proteínas de la harina de afrecho de arroz*

INFORME DE RESULTADOS				
SSV-088-2025				
Fecha: 22 diciembre de 2025				
DATOS DEL CLIENTE				
Nombre	Elizabeth Moreno Arias			
Dirección	Universidad Agraria del Ecuador			
Teléfono	0987632643			
Contacto	Dra. Sandra Vizuette			
DATOS DE LA MUESTRA				
Tipo de muestra	Harina de cascara de plátano verde	Cantidad	Aprox. 200g	
No. de muestras	1	Lote	N.A.	
Presentación	Frasco tapa rosca	Fecha de recepción	16-12-2025	
Colecta de muestra	Realizado por el cliente	Fecha Colecta de muestra	N/A	
CONDICIONES DEL ANALISIS				
Temperatura (°C)	22.5	Humedad (%)	52.0	
Fecha de Inicio de Análisis	17-12-2025			
Fecha de Finalización del análisis	22-12-2025			
RESULTADOS				
CODIGO CLIENTE	PARAMETROS	METODO RRREFERENCIA	RESULTADOS	Unidad
Harina de cascara de plátano verde	Proteína	Kjeldahl AOAC 984.13 (Volumetría)	3.26	%
	Grasa	Folch Modificado (Gravimetría)	0.81	%
Observaciones:				
1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) recibidas por el laboratorio. No siendo extensivo a cualquier lote.				
2. Nomenclatura: N.D. = No Detectable; N.A. = No aplica				



Q.F. Stuard Montoya V. Mgtr.
Director Tecnico / CEO

Anexo 12.*Datos del analisis de incremento de talla, ganancia de peso y conversión alimenticia*

Tratamiento	Pollo	Peso_Dia21_g	Talla_Dia21_cm	Conversion_Alimenticia_Individual
T_Comercial_Don_Broiler	1	1498.65	44.93	1.666
T_Comercial_Don_Broiler	2	1515.45	45.53	1.628
T_Comercial_Don_Broiler	3	1504.64	45.42	1.665
T_Comercial_Don_Broiler	4	1498.07	44.96	1.673
T_Comercial_Don_Broiler	5	1512.48	45.28	1.63
T_Comercial_Don_Broiler	6	1500.53	45.15	1.663
T_Comercial_Don_Broiler	7	1497.26	44.97	1.663
T_Comercial_Don_Broiler	8	1500.53	44.99	1.645
T_Comercial_Don_Broiler	9	1504.01	45.65	1.653
T_Comercial_Don_Broiler	10	1523.35	45.1	1.627
T_Testigo	1	1430.13	42.6	1.79
T_Testigo	2	1427.22	43.37	1.788
T_Testigo	3	1439.11	42.81	1.773
T_Testigo	4	1429.66	42.66	1.806
T_Testigo	5	1435.59	42.98	1.785
T_Testigo	6	1442.34	42.79	1.785
T_Testigo	7	1431.5	42.76	1.783
T_Testigo	8	1426.37	42.85	1.782
T_Testigo	9	1427.94	42.7	1.781
T_Testigo	10	1424.94	43.23	1.808
Tratamiento_1	1	1583.9	47.82	1.533
Tratamiento_1	2	1577.92	47.55	1.525
Tratamiento_1	3	1579.45	47.64	1.526
Tratamiento_1	4	1590.78	47.21	1.535
Tratamiento_1	5	1570.92	47.15	1.553
Tratamiento_1	6	1580.64	47.13	1.523
Tratamiento_1	7	1594.59	47.23	1.536
Tratamiento_1	8	1586.6	47.73	1.52
Tratamiento_1	9	1599.75	47.51	1.514
Tratamiento_1	10	1574.86	47.26	1.547
Tratamiento_2	1	1466.08	44.14	1.713
Tratamiento_2	2	1476.5	44.36	1.683
Tratamiento_2	3	1488.12	44.6	1.671
Tratamiento_2	4	1487.13	44.35	1.655
Tratamiento_2	5	1468.32	44.12	1.703
Tratamiento_2	6	1489.69	43.97	1.684

Tratamiento_2	7	1470.73	44.49	1.698
Tratamiento_2	8	1488.73	44.36	1.669
Tratamiento_2	9	1491.08	44.32	1.678
Tratamiento_2	10	1487.95	44.19	1.677
Tratamiento_3	1	1547.22	46.53	1.641
Tratamiento_3	2	1548.88	46.14	1.642
Tratamiento_3	3	1535.87	46.39	1.628
Tratamiento_3	4	1553.22	45.94	1.608
Tratamiento_3	5	1546.97	46.44	1.632
Tratamiento_3	6	1532.81	46.26	1.629
Tratamiento_3	7	1536.38	46.14	1.649
Tratamiento_3	8	1546.56	46.63	1.635
Tratamiento_3	9	1540.99	46.23	1.645
Tratamiento_3	10	1545.34	46.00	1.622

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 13.

Toma de la circunferencia de pecho para determinar la talla



Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 14.

Análisis ANOVA para incremento de talla.

ANOVA

ANOVA - Talla_Dia21_cm

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	123.197	4	30.799	547.8	< .001
Residuals	2.530	45	0.056		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

Descriptivos

Descriptivos - Talla_Dia21_cm

Tratamiento	N	Media	DT	ET	Coefficiente de variación
T_Comercial_Don_Broiler	10	45.20	0.260	0.082	0.006
T_Testigo	10	42.88	0.249	0.079	0.006
Tratamiento_1	10	47.42	0.257	0.081	0.005
Tratamiento_2	10	44.29	0.187	0.059	0.004
Tratamiento_3	10	46.27	0.226	0.071	0.005

Contrastes Post-hoc

Estándar (DSH, HSD)

Comparaciones Post-hoc - Tratamiento

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	p _{Tukey}
T_Comercial_Don_Broiler	T_Testigo	2.323	0.106	45	21.906	< .001
	Tratamiento_1	-2.225	0.106	45	-20.982	< .001
	Tratamiento_2	0.908	0.106	45	8.562	< .001
	Tratamiento_3	-1.072	0.106	45	-10.109	< .001
T_Testigo	Tratamiento_1	-4.548	0.106	45	-42.888	< .001
	Tratamiento_2	-1.415	0.106	45	-13.343	< .001
	Tratamiento_3	-3.395	0.106	45	-32.015	< .001
Tratamiento_1	Tratamiento_2	3.133	0.106	45	29.544	< .001
	Tratamiento_3	1.153	0.106	45	10.873	< .001
Tratamiento_2	Tratamiento_3	-1.980	0.106	45	-18.671	< .001

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 5.

Letter-Based Grouping - Tratamiento

Tratamiento	Letter
T_Comercial_Don_Broiler	c
T_Testigo	a
Tratamiento_1	e
Tratamiento_2	b
Tratamiento_3	d

Nota. If two or more means share the same grouping symbol, then we cannot show them to be different, but we also did not show them to be the same.

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 15.

Pesaje de los pollos broiler para conocer su ganancia de peso



Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 16.

Peso inicial, peso final y ganancia del tratamiento tradicional

Sujetos	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Ganancia de peso (g)
Pollo 1	59	1497	1438
Pollo 2	53	1517	1464
Pollo 3	48	1513	1465
Pollo 4	30	1498	1468
Pollo 5	38	1509	1471
Pollo 6	43	1504	1461
Pollo 7	29	1499	1470
Pollo 8	31	1499	1468
Pollo 9	34	1521	1487
Pollo10	28	1503	1475

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 17.*Peso inicial, peso final y ganancia de peso del tratamiento control*

Sujetos	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	Ganancia de peso
Pollo 1	26	1420	1394
Pollo 2	50	1446	1396
Pollo 3	48	1427	1379
Pollo 4	49	1422	1373
Pollo 5	44	1433	1389
Pollo 6	26	1426	1400
Pollo 7	33	1425	1392
Pollo 8	53	1428	1375
Pollo 9	30	1423	1393
Pollo10	37	1441	1404

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 18.*Peso inicial, peso final y ganancia de peso del tratamiento n°1*

Sujetos	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	Ganancia de peso
Pollo 1	59	1594	1594
Pollo 2	30	1585	1555
Pollo 3	51	1588	1504
Pollo 4	44	1574	1530
Pollo 5	56	1572	1516
Pollo 6	44	1571	1527
Pollo 7	39	1574	1535
Pollo 8	55	1591	1536
Pollo 9	46	1584	1538
Pollo10	39	1575	1536

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 19.*Peso inicial, peso final y ganancia de peso del tratamiento n°2*

Sujetos	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	Ganancia de peso
Pollo 1	27	1471	1444
Pollo 2	35	1479	1444
Pollo 3	55	1487	1432
Pollo 4	40	1478	1438
Pollo 5	44	1471	1427
Pollo 6	41	1466	1425
Pollo 7	56	1483	1427
Pollo 8	50	1479	1429
Pollo 9	27	1477	1450
Pollo10	34	1473	1439

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 20.*Peso inicial, peso final y ganancia de peso del tratamiento n°3*

Sujetos	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	Ganancia de peso
Pollo 1	48	1551	1503
Pollo 2	31	1538	1507
Pollo 3	29	1546	1517
Pollo 4	42	1531	1489
Pollo 5	36	1548	1512
Pollo 6	54	1542	1488
Pollo 7	50	1538	1488
Pollo 8	36	1554	1518
Pollo 9	48	1541	1493
Pollo10	38	1533	1495

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 21.

Análisis ANOVA para ganancia de peso

ANOVA

ANOVA - Peso_Dia21_g

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	135826	4	33956.52	510.2	< .001
Residuals	2995	45	66.56		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

Descriptivos

Descriptivos - Peso_Dia21_g

Tratamiento	N	Media	DT	ET	Coefficiente de variación
T_Comercial_Don_Broiler	10	1505	8.748	2.766	0.006
T_Testigo	10	1431	5.752	1.819	0.004
Tratamiento_1	10	1584	9.046	2.861	0.006
Tratamiento_2	10	1481	9.892	3.128	0.007
Tratamiento_3	10	1543	6.595	2.086	0.004

Contrastes Post-hoc

Estándar (DSH, HSD)

Comparaciones Post-hoc - Tratamiento

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	p _{Tukey}
T_Comercial_Don_Broiler	T_Testigo	74.02	3.649	45	20.287	< .001
	Tratamiento_1	-78.44	3.649	45	-21.500	< .001
	Tratamiento_2	24.06	3.649	45	6.596	< .001
	Tratamiento_3	-37.93	3.649	45	-10.395	< .001
T_Testigo	Tratamiento_1	-152.46	3.649	45	-41.787	< .001
	Tratamiento_2	-49.95	3.649	45	-13.691	< .001
	Tratamiento_3	-111.94	3.649	45	-30.682	< .001
Tratamiento_1	Tratamiento_2	102.51	3.649	45	28.096	< .001
	Tratamiento_3	40.52	3.649	45	11.105	< .001
Tratamiento_2	Tratamiento_3	-61.99	3.649	45	-16.991	< .001

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 5.

Letter-Based Grouping - Tratamiento

Tratamiento	Letter
T_Comercial_Don_Broiler	c
T_Testigo	a
Tratamiento_1	e
Tratamiento_2	b
Tratamiento_3	d

Nota. If two or more means share the same grouping symbol, then we cannot show them to be different, but we also did not show them to be the same.

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 22.**Análisis ANOVA para conversión alimenticia****ANOVA***ANOVA - Conversion_Alimenticia_Individual*

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	0.343	4	0.086	418.2	< .001
Residuals	0.009	45	2.050×10 ⁻⁴		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

Descriptivos*Descriptivos - Conversion_Alimenticia_Individual*

Tratamiento	N	Media	DT	ET	Coefficiente de variación
T_Comercial_Don_Broiler	10	1.651	0.018	0.006	0.011
T_Testigo	10	1.788	0.011	0.003	0.006
Tratamiento_1	10	1.531	0.012	0.004	0.008
Tratamiento_2	10	1.683	0.017	0.005	0.010
Tratamiento_3	10	1.633	0.012	0.004	0.007

Contrastes Post-hoc**Estándar (DSH, HSD)***Comparaciones Post-hoc - Tratamiento*

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	p _{Tukey}
T_Comercial_Don_Broiler	T_Testigo	-0.137	0.006	45	-21.363	< .001
	Tratamiento_1	0.120	0.006	45	18.755	< .001
	Tratamiento_2	-0.032	0.006	45	-4.966	< .001
	Tratamiento_3	0.018	0.006	45	2.842	.050
T_Testigo	Tratamiento_1	0.257	0.006	45	40.118	< .001
	Tratamiento_2	0.105	0.006	45	16.397	< .001
	Tratamiento_3	0.155	0.006	45	24.205	< .001
Tratamiento_1	Tratamiento_2	-0.152	0.006	45	-23.721	< .001
	Tratamiento_3	-0.102	0.006	45	-15.913	< .001
Tratamiento_2	Tratamiento_3	0.050	0.006	45	7.808	< .001

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 5.

Letter-Based Grouping - Tratamiento

Tratamiento	Letter
T_Comercial_Don_Broiler	c
T_Testigo	e
Tratamiento_1	a
Tratamiento_2	d
Tratamiento_3	b

Nota. If two or more means share the same grouping symbol, then we cannot show them to be different, but we also did not show them to be the same.

Elaborado por: La Aurora, 2026

Anexo 23.

Análisis bromatológico al tratamiento 1 bajo los parámetros de la INEN 1829:2014



INFORME DE RESULTADOS SSV-034-2026				
Fecha: 20 febrero de 2026				
DATOS DEL CLIENTE				
Nombre	Elizabeth Moreno Arias			
Dirección	Universidad Agraria del Ecuador			
Teléfono	0987632643			
Contacto	Universidad Agraria			
DATOS DE LA MUESTRA				
Tipo de muestra	Pellets en migajas	Cantidad	Aprox. 200g	
No. de muestras	1	Lote	N.A.	
Presentación	Funda plástica	Fecha de recepción	13-02-2026	
Colecta de muestra	Realizado por el cliente	Fecha Colecta de muestra	N/A	
CONDICIONES DEL ANALISIS				
Temperatura (°C)	21.4	Humedad (%)	49.46	
Fecha de Inicio de Análisis	13-02-2026			
Fecha de Finalización del análisis	20-02-2026			
RESULTADOS				
CODIGO CLIENTE	PARAMETROS	METODO RRFERENCIA	RESULTADOS	Unidad
Alimento balanceado a base de cáscara de plátano verde y afrecho de arroz	Proteína	Kjeldahl AOAC 984.13 (Volumetría)	21,18	%
	Grasa	Folch Modificado (Gravimetría)	3,6	%
	Fibra	ISO 6865	5,1	%
	Energía metabolizable	NTE INEN 1643	2.909	Kcal/Kg
Observaciones:				
1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) recibidas por el laboratorio. No siendo extensivo a cualquier lote.				
2. Nomenclatura: N.D. = No Detectable; N.A. = No aplica				



Q.F. Stuard Montoya V. Mgtr.
Director Técnico / CEO



SSV CONSULTING
www.ssvconsulting.webnode.com.co
ssvconsulting@outlook.com
Contacto: 099 872 3759

Página 1 de 1

Elaborado por: La Autora, 2026

Anexo 24.

Pollo broiler día 0 y día 21 del tratamiento 1



Elaborado por: La Autora, 2026