



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**

**Trabajo de Titulación – Modalidad Proyecto  
Investigador**

**TÍTULO DE INVESTIGACIÓN:**

Evaluación de aglutinantes en la calidad de pellets para  
alimentación animal en el Centro “Finca Tigrillo”.

**AUTORAS:**

Alcívar Santana Dayana Michelle

Martínez Ramírez Jessenia Jackeline

**UNIDAD ACADÉMICA:**

Extensión Chone

**CARRERA:**

Agropecuaria

**TUTOR:**

Ing. Hugo Llampell Avellán Peñafiel

**Chone – Manabí – Ecuador**

**2025 - 2026**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Hugo Llampell Avellán Peñafiel; docente de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Extensión Chone, en calidad de Tutor.

### CERTIFICO:

Que el presente proyecto modalidad de investigación con el título: **Evaluación de aglutinantes en la calidad de pellets para alimentación animal en el Centro "Finca Tigrillo"** ha sido exhaustivamente revisado en varias sesiones de trabajo, está listo para su presentación y apto para su defensa.

Las opciones y conceptos vertidos en este documento son fruto de la perseverancia y originalidad de sus autoras: Alcívar Santana Dayana Michelle y Martínez Ramírez Jessenia Jackeline

Siendo de su exclusiva responsabilidad.



---

Ing. Hugo Llampell Avellán Peñafiel  
**DOCENTE TUTOR**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quienes suscriben la presente:

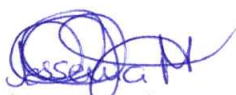
*Alcívar Santana Dayana Michelle*

*Martínez Ramírez Jessenia Jackeline*

Estudiantes de la Carrera de **Agropecuaria**, declaramos bajo juramento que el presente proyecto de investigación cuyo título: **Evaluación de aglutinantes en la calidad de pellets para alimentación animal en el Centro “Finca Tigrillo”**, previa a la obtención del Título de, es de autoría propia y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros y consultando las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



**Srta. Alcívar Santana Dayana Michelle**  
**CI: 1313895417**

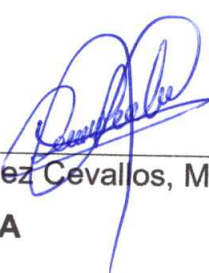


**Srta. Martínez Ramírez Jessenia Jackeline**  
**CI: 0850865973**

## APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación, titulado: **Evaluación de aglutinantes en la calidad de pellets para alimentación animal en el Centro “Finca Tigrillo”** de su(s) autor(es): **Alcívar Santana Dayana Michelle y Martínez Ramírez Jessenia Jackeline** de la Carrera “**Agropecuaria**”, y como Tutor del Trabajo el **Ing. Hugo Llampell Avellán Peñafiel, Mg.**

Chone, Enero de 2026



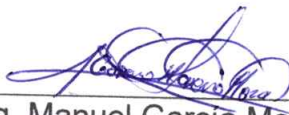
Lcda. Rocío Bermúdez Cevallos, Mg.  
**DECANA**



Ing. Llampell Avellán Peñafiel, M.Sc.  
**TUTOR**



Dr. Carlos Julio Salazar, Mg.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Manuel García Moreira, Mg.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Lcda. Indira Zambrano Cedeño, Mg.

**SECRETARIA**

## **AGRADECIMIENTO**

Con infinita gratitud a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino.

A mi familia y seres queridos, gracias por su apoyo incondicional, por escucharme, por alentarme y por estar presentes en cada momento, su amor y apoyo han sido mi refugio y mi motivación para seguir adelante.

A mis padres, les agradezco de corazón por inculcarme valores sólidos y por ser mi ejemplo de vida, su confianza y palabras de aliento han sido fundamentales para alcanzar este logro, este éxito es también suyo, ya que sin su apoyo no habría sido posible.

A mis compañeros de estudio y colegas, gracias por su compañerismo, apoyo y colaboración, juntos hemos compartido momentos de alegría, desafíos y aprendizajes que han enriquecido mi experiencia académica, su amistad ha hecho que este camino sea más llevadero y memorable.

A todos, mi más sincero agradecimiento por ser parte de este logro.

Alcívar Santana Dayana Michelle.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por acompañarme en cada paso de este camino, por darme la fortaleza en los momentos difíciles y por iluminarme cuando las cosas se complicaban.

A mis padres, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por sus consejos, su paciencia y por enseñarme que los sueños se alcanzan con trabajo y fe.

A mis compañeros, por los momentos de risas, desahogos y motivación que hicieron más llevadero este camino.

Y a todas las personas que, de alguna forma, dejaron una huella en este proceso, gracias de corazón.

Martínez Ramírez Jessenia Jackeline.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, mi mayor inspiración.

A mi madre, la mujer más guerrera que conozco, gracias por creer en mí cuando yo dudaba, su apoyo incondicional y tu ejemplo de fortaleza y determinación me han llevado hasta aquí, no hay palabras para expresar mi gratitud por todo lo que has hecho por mí.

A mi padre, gracias por ser mi roca, por apoyarme siempre y por enseñarme el valor de la perseverancia, sin sus sacrificios y dedicación, nada de esto sería posible.

Este logro es tanto de ustedes como mío, todo lo que soy, es gracias a ustedes, los amo.

Alcívar Santana Dayana Michelle.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, porque de ustedes aprendí que la perseverancia es la llave de cualquier puerta quienes me enseñaron el valor del esfuerzo para continuar con esta meta, esta tesis es el sinónimo de cada motivación que me daban a diario, cada logro que emprendí en este trayecto es de ustedes y para ustedes.

A Jachi, mi adorable ser de cuatro patas, gracias por las siestas compartidas, por obligarme a dar caminatas vitales, sobre todo gracias por demostrarme la importancia de ser paciente y constante.

Este gran paso profesional es para todas esas personas que estuvieron de una u otra manera presente.

Martínez Ramírez Jessenia Jackeline.

## **RESUMEN**

La calidad física del alimento balanceado representa un factor determinante en la eficiencia de los sistemas de producción pecuaria, ya que una deficiente estructura del pellet genera pérdidas por partículas finas y reduce el aprovechamiento nutricional del alimento. En este contexto, el objetivo general de la investigación fue evaluar el efecto de tres aglutinantes naturales (almidón de yuca, melaza y aceite de palma) sobre la calidad física del pellet para alimentación animal.

La metodología se desarrolló bajo un enfoque experimental, mediante un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, utilizando un alimento balanceado comercial para engorde de cerdos. Se evaluaron variables como pérdida de partículas finas durante el pelletizado y el almacenamiento, solubilidad y dureza del pellet. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,001$ ), destacándose el almidón de yuca al 6 % con la mayor dureza del pellet (4,22kgf) y una marcada reducción de la pérdida de partículas finas, seguido por la melaza a 100 ml/kg, que presentó las menores pérdidas de finos y solubilidad. En contraste, el aceite de palma, especialmente al 1 %, mostró el menor desempeño, con mayores pérdidas de finos, mayor solubilidad y menor dureza.

En conclusión, el uso de aglutinantes naturales mejora significativamente la calidad física del pellet, siendo el almidón de yuca el aditivo más eficiente para optimizar el proceso de pelletización y fortalecer la sostenibilidad de la alimentación animal.

## **PALABRAS CLAVES**

Pelletización, aglutinantes naturales, calidad del pellet, alimentación animal

## **ABSTRACT**

The physical quality of animal feed is a determining factor in the efficiency of livestock production systems, since a poor pellet structure leads to losses due to fine particles and reduces the feed's nutritional utilization. In this context, the general objective of this research was to evaluate the effect of three natural binders (cassava starch, molasses, and palm oil) on the physical quality of animal feed pellets.

The methodology was developed using an experimental approach, with a completely randomized design, four treatments, and five replicates, using a commercial feed for fattening pigs. Variables such as fine particle loss during pelleting and storage, pellet solubility, and pellet hardness were evaluated. The data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's multiple comparison test ( $\alpha = 0.05$ ).

The results showed statistically significant differences between treatments ( $p < 0.001$ ), with cassava starch at 6% exhibiting the highest pellet hardness (4.22 kgf) and a marked reduction in fine particle loss, followed by molasses at 100 ml/kg, which showed the lowest fines loss and solubility. In contrast, palm oil, especially at 1%, showed the worst performance, with higher fines loss, greater solubility, and lower hardness.

In conclusion, the use of natural binders significantly improves the physical quality of the pellet, with cassava starch being the most efficient additive for optimizing the pelleting process and strengthening the sustainability of animal feed.

## **KEYWORDS**

Pelleting, natural binders, pellet quality, animal feed

## ÍNDICE

|                                                                                  |      |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....                                                    | I    |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....                                                      | II   |
| APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....                                       | III  |
| AGRADECIMIENTO.....                                                              | IV   |
| AGRADECIMIENTO.....                                                              | V    |
| DEDICATORIA.....                                                                 | VI   |
| DEDICATORIA.....                                                                 | VII  |
| RESUMEN .....                                                                    | VIII |
| PALABRAS CLAVES .....                                                            | VIII |
| ABSTRACT .....                                                                   | IX   |
| KEYWORDS .....                                                                   | IX   |
| ÍNDICE.....                                                                      | X    |
| INTRODUCCIÓN .....                                                               | 1    |
| CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....                                                   | 4    |
| 1.1 DEFINICIONES.....                                                            | 4    |
| 1.2 Fundamentos de la alimentación animal balanceada .....                       | 5    |
| 1.3 Proceso de pelletizado y factores que determinan la calidad del pellet ....  | 7    |
| 1.4 Propiedades físicas de los pellets .....                                     | 8    |
| 1.5 Uso de aglutinantes en la elaboración de pellets.....                        | 9    |
| 1.6 Efecto del almidón de yuca, aceite de palma y melaza como aglutinantes ..... | 11   |
| 1.6.1 Almidón de yuca.....                                                       | 11   |
| 1.6.2 Aceite de palma.....                                                       | 12   |
| 1.6.3 Melaza.....                                                                | 12   |
| 1.7 Tipos de aglutinantes .....                                                  | 13   |
| 1.7.1 Dosis de aglutinantes .....                                                | 13   |
| 1.7.2 Porcentaje de finos en pelletizado .....                                   | 14   |
| 1.7.3 Porcentaje de finos en almacenamiento .....                                | 15   |
| 1.7.4 Solubilidad del pellet.....                                                | 16   |
| 1.7.5 Dureza del pellet .....                                                    | 16   |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....                                                    | 18   |
| 2.1. Ubicación, y descripción del área o sujeto en estudio .....                 | 18   |
| 2.2 Método empírico.....                                                         | 18   |
| 2.3. Método bibliográfico .....                                                  | 19   |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.1. Actividades en la implementación del proceso de pelletizado..... | 19 |
| 2.4. Método de investigación .....                                      | 20 |
| 2.4.1. Diseño de investigación.....                                     | 21 |
| 2.4.2. Investigación explicativa – tratamientos.....                    | 21 |
| 2.5. Variables de estudio .....                                         | 22 |
| 2.5.1. Pruebas estadísticas utilizadas .....                            | 22 |
| 2.5.2 Dosis sugeridas de aglutinantes (fundamento técnico).....         | 23 |
| 2.6. Pérdida de finos durante el pelletizado .....                      | 23 |
| 2.7. Pérdida de finos durante el almacenamiento .....                   | 24 |
| 2.8. Solubilidad del pellet.....                                        | 24 |
| 2.9. Dureza del pellet .....                                            | 24 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS Y/O PRODUCTO ALCANZADO .....                   | 25 |
| 3.1 Descripción general del experimento.....                            | 25 |
| 3.2 Pérdida de partículas finas durante el pelletizado.....             | 25 |
| 3.3 Pérdida de partículas finas en almacenamiento .....                 | 25 |
| 3.4 Solubilidad del pellet.....                                         | 26 |
| 3.5 Dureza del pellet .....                                             | 26 |
| 3.6 Análisis integral de los resultados .....                           | 27 |
| 3.7 Síntesis de resultados .....                                        | 27 |
| CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                        | 35 |
| 4.1. CONCLUSIONES .....                                                 | 35 |
| 4.2. RECOMENDACIONES .....                                              | 36 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                      | 37 |
| ANEXOS .....                                                            | 40 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Ilustración 1.-Coordenadas Geográficas de la Finca Tigrillo.....</i> | <i>18</i> |
| <i>Ilustración 2.- Perdida finos pelletizado (%) .....</i>              | <i>28</i> |
| <i>Ilustración 3.- Perdida finos almacenamiento (%).....</i>            | <i>29</i> |
| <i>Ilustración 4.- Solubilidad (%).....</i>                             | <i>30</i> |
| <i>Ilustración 5.-Dureza (Kgf) .....</i>                                | <i>31</i> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 1.- Formulación de los tratamientos.....</i>          | <i>21</i> |
| <i>Tabla 2.- Datos con 5 repeticiones por tratamiento.....</i> | <i>40</i> |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                                                                                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Anexo 1.- Maquina pelletizadora utilizada en el proceso experimental de pelletizado en la Finca Tigrillo.....</i>                                                                        | <i>41</i> |
| <i>Anexo 2.- Preparación de la máquina peletizadora para el proceso de pelletizado del alimento balanceado. ....</i>                                                                        | <i>41</i> |
| <i>Anexo 3.- Alimento balanceado sin pelletizar previo al proceso, asociado a mayores pérdidas de finos y menor dureza en comparación con los tratamientos pelletizados evaluados. ....</i> | <i>41</i> |
| <i>Anexo 4.- Agregación del alimento balanceado en la máquina antes del proceso de pelletizado. ....</i>                                                                                    | <i>41</i> |
| <i>Anexo 5.- Alimento balanceado ya pelletizado, con pellets formados y menor presencia de material suelto. ....</i>                                                                        | <i>41</i> |
| <i>Anexo 6.- Pesaje de los tratamientos para porcentaje de partículas finas.....</i>                                                                                                        | <i>41</i> |
| <i>Anexo 7.- Pesaje de los tratamientos para porcentajes de partículas finas .....</i>                                                                                                      | <i>41</i> |
| <i>Anexo 8.- Pesaje de los tratamientos para porcentajes de partículas finas .....</i>                                                                                                      | <i>41</i> |
| <i>Anexo 9.- Pesaje de los tratamientos para porcentajes de partículas finas .....</i>                                                                                                      | <i>41</i> |
| <i>Anexo 10.- Pesaje de los tratamientos para porcentajes de partículas finas .....</i>                                                                                                     | <i>41</i> |

## INTRODUCCIÓN

La calidad del alimento balanceado constituye un factor determinante en la eficiencia de los sistemas de producción pecuaria, debido a su influencia directa sobre el aprovechamiento de los nutrientes, el desempeño productivo de los animales y la sostenibilidad de las explotaciones agropecuarias. En este contexto, la tecnología de pelletización se ha consolidado como una estrategia fundamental para mejorar la manipulación, el almacenamiento y la eficacia alimenticia de los piensos, al permitir la compactación homogénea de las materias primas y reducir la segregación de ingredientes durante el manejo del alimento (Llor Mendoza, 2016).

El proceso de pelletizado no solo mejora la presentación física del alimento, sino que también influye en variables clave como la durabilidad, la dureza, el porcentaje de finos y la estabilidad del pellet durante el transporte y almacenamiento. Estas propiedades dependen en gran medida tanto de las condiciones tecnológicas del proceso (temperatura, humedad, presión y tamaño de partícula) como de la formulación del alimento y del uso adecuado de aglutinantes que favorezcan la cohesión entre las partículas (La Torre Rueda, 2018). En este sentido, diversos estudios desarrollados en el contexto ecuatoriano coinciden en que una deficiente calidad física del pellet genera mayores pérdidas por partículas finas, menor aprovechamiento del alimento y reducción de la eficiencia productiva (Cevallos y Zambrano, 2022).

Dentro de la alimentación animal balanceada, el pelletizado cumple un rol esencial al garantizar la homogeneidad de los ingredientes y mejorar la conversión alimenticia. Según la FAO (2021), los alimentos balanceados correctamente formulados y procesados permiten cubrir los requerimientos nutricionales de los animales, optimizando su crecimiento y rendimiento productivo. Investigaciones realizadas en Ecuador han demostrado que los animales alimentados con dietas pelletizadas presentan mejores indicadores productivos en comparación con aquellos alimentados con raciones en harina, debido a la mayor densidad, uniformidad y menor desperdicio del alimento (García y Zambrano, 2022).

La calidad física del pellet está estrechamente relacionada con el uso de aglutinantes durante el proceso de elaboración. Los aglutinantes naturales, como el almidón de yuca, la melaza y el aceite de palma, han demostrado tener un impacto positivo sobre la cohesión estructural del pellet, la reducción de finos y la resistencia mecánica del producto final. Mendoza Mendieta (2025) señala que la incorporación de melaza y almidones mejora significativamente la compactación del pellet y disminuye la generación de partículas finas durante el almacenamiento, debido a su capacidad de retener humedad y formar puentes adhesivos entre los ingredientes.

De manera complementaria, Alcívar Macías (2025) destaca que el uso de aglutinantes vegetales en procesos de pelletización desarrollados en pequeñas plantas agroindustriales no solo mejora la durabilidad del pellet, sino que también incrementa la eficiencia energética del proceso al reducir la fricción en la matriz de la peletizadora. Asimismo, Paredes y Quiroz (2021) indican que la combinación de aglutinantes naturales con aceites vegetales contribuye a una mayor uniformidad del pellet y a una mejor estabilidad durante el transporte y almacenamiento, evitando su desintegración prematura.

Desde el punto de vista metodológico, la evaluación de la calidad del pellet se realiza a través de variables como la pérdida de partículas finas durante el pelletizado y el almacenamiento, la solubilidad y la dureza, las cuales permiten determinar el grado de cohesión interna y la resistencia mecánica del producto. Según García y Herrera (2020), estos parámetros son indicadores confiables del comportamiento del pellet frente a las exigencias mecánicas del manejo industrial y del almacenamiento prolongado.

Bajo este enfoque, la presente investigación se desarrolló mediante un diseño experimental completamente al azar, evaluando el efecto de tres aglutinantes naturales (melaza, almidón de yuca y aceite de palma) y un tratamiento testigo sin aglutinante sobre la calidad física del pellet para alimentación animal. El estudio se llevó a cabo en el Centro de gestión, innovación y transferencia de conocimiento "Finca Tigrillo" de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión Chone, donde se analizaron variables físicas del pellet bajo condiciones controladas de pelletización.

En consecuencia, esta investigación aporta información técnica relevante sobre el uso de aglutinantes naturales en el proceso de pelletización, contribuyendo al mejoramiento de la calidad del alimento balanceado y al fortalecimiento de sistemas de producción pecuaria más eficientes y sostenibles en el contexto local y regional.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.1 DEFINICIONES**

La tecnología de pelletización de los alimentos para animales representa una estrategia clave para optimizar la manipulación, el almacenamiento y la eficacia alimenticia de los piensos. Al compactar las materias primas en pellets uniformes se reduce la segregación de ingredientes, se mejora la densidad aparente y se facilita el manejo y transporte del alimento, estudios recientes han señalado que la integridad física del pellet la cual se evalúa a través de variables como la durabilidad, la dureza y el porcentaje de finos depende en gran medida tanto de las condiciones del procesamiento (por ejemplo, la humedad en la mezcla, la temperatura de acondicionamiento, el tamaño de partícula) como de la formulación de la dieta (proporción de almidón, proteína, fibra) y del uso adecuado de aglutinantes que promueven la cohesión de las partículas. En este sentido, Loo Mendoza (2016) destaca que una buena estructura del pellet contribuye a “disminuir el porcentaje de finos, reducir la selectividad del alimento y permitir un mejor aprovechamiento del mismo”.

Diversos estudios ecuatorianos han abordado la influencia de los aglutinantes en la calidad física de los pellets, evidenciando su impacto directo sobre variables como la durabilidad, resistencia mecánica y porcentaje de finos. Por ejemplo, Mendoza Mendieta (2025) realizó una evaluación experimental de distintos aglutinantes naturales en balanceados porcinos, concluyendo que la adición de melaza y almidones mejora la cohesión estructural del pellet, favorece la compactación de las partículas y reduce de manera significativa la generación de finos durante el almacenamiento. Estos resultados se atribuyen a la capacidad de dichos aglutinantes para retener humedad y formar puentes adhesivos entre los ingredientes durante el proceso de compresión.

De forma complementaria, Alcívar Macías (2025) analizó la incorporación de aglutinantes vegetales en el proceso de pelletizado de alimentos balanceados en pequeñas plantas agroindustriales, demostrando que su aplicación mejora la durabilidad y la eficiencia energética del proceso, al disminuir la fricción en la matriz de la peletizadora. Además, el autor destaca que los aglutinantes de origen vegetal, como la melaza y el almidón de yuca, presentan ventajas económicas y ambientales, ya que son de fácil acceso en zonas agrícolas de Manabí y otras regiones del Ecuador, reduciendo la dependencia de insumos importados.

A estos resultados se suman los hallazgos de Paredes y Quiroz (2021), quienes señalaron que el uso combinado de aglutinantes naturales con aceites vegetales incrementa la uniformidad del pellet y mejora su estabilidad durante el transporte y almacenamiento, evitando la desintegración prematura. En concordancia, la Torre Rueda (2018) ya había indicado que la selección del tipo y concentración de aglutinante debe adaptarse a la composición del alimento y a las condiciones de procesamiento para alcanzar un producto de calidad superior.

## **1.2 Fundamentos de la alimentación animal balanceada**

La nutrición animal constituye uno de los pilares fundamentales de la producción pecuaria moderna, ya que garantiza el suministro adecuado de los nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento, desarrollo, mantenimiento y reproducción de los animales. Una dieta correctamente formulada permite cubrir los requerimientos energéticos, proteicos, vitamínicos y minerales de cada especie, optimizando su rendimiento productivo y su estado sanitario. De acuerdo con la FAO (2021), estas formulaciones nutricionales resultan de una combinación técnica de ingredientes de origen vegetal, animal o mineral, seleccionados en proporciones precisas para satisfacer los requerimientos establecidos por organismos internacionales como el National Research Council (NRC).

El proceso de pelletizado dentro de la alimentación balanceada tiene como propósito principal asegurar la homogeneidad de los ingredientes, reducir la segregación durante el transporte y mejorar la conversión alimenticia de los animales. La transformación de la mezcla en forma de pellet incrementa la densidad aparente del alimento y facilita su manejo y almacenamiento, lo que contribuye a una mayor eficiencia logística dentro de las explotaciones pecuarias. Así mismo, el pelletizado incrementa la digestibilidad de los nutrientes, ya que la exposición al calor durante el acondicionamiento promueve la gelatinización del almidón y la desnaturalización parcial de las proteínas, facilitando su asimilación por parte del sistema digestivo del animal. Diversos estudios ecuatorianos coinciden en que los alimentos pelletizados generan mejores resultados productivos en comparación con los alimentos ofrecidos en forma de harina o mezclas secas. Por ejemplo, García y Zambrano (2022), en una investigación realizada en la Universidad Técnica de Manabí (UTM), reportaron que los cerdos alimentados con dietas pelletizadas mostraron una ganancia de peso diaria 8 % superior y una conversión alimenticia más eficiente en relación con los alimentados con dietas molidas. Estos resultados se atribuyen a la mayor densidad, uniformidad y estabilidad del pellet, que reduce el desperdicio y mejora la palatabilidad.

De igual manera, Alcívar Macías (2025) enfatiza que la presentación en pellet contribuye a un aprovechamiento más completo de los nutrientes al minimizar las pérdidas por polvo y al permitir que los animales consuman la totalidad de la ración ofrecida. Además, el uso de pellet facilita la dosificación controlada del alimento y reduce el tiempo de alimentación, lo que se traduce en una mayor productividad y en menores costos de manejo para el productor.

Sin embargo, la calidad del pellet depende de múltiples factores, entre ellos la formulación del balanceado, el tipo de ingredientes, la adición de aglutinantes naturales o sintéticos y las condiciones tecnológicas del proceso (presión, temperatura, humedad y velocidad de compresión). Mendoza Mendieta (2025) resalta que una formulación deficiente o una inadecuada selección de aglutinantes puede afectar la durabilidad y dureza del pellet, generando un alto porcentaje de finos y, por consiguiente, un menor aprovechamiento nutricional.

Por lo tanto, la comprensión de los fundamentos de la alimentación animal balanceada y su relación con el proceso de pelletizado permite establecer estrategias más eficientes para mejorar la calidad física del alimento, incrementar la productividad animal y fortalecer la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria en Ecuador.

### **1.3 Proceso de pelletizado y factores que determinan la calidad del pellet**

El proceso de pelletizado comprende una serie de etapas encadenadas que buscan transformar una mezcla de ingredientes molidos en un producto compacto, homogéneo y estable, generalmente, este proceso inicia con la molienda, donde las materias primas son reducidas a un tamaño de partícula adecuado para favorecer la cohesión y posterior compactación. Posteriormente, se realiza el mezclado, fase en la cual se homogenizan los ingredientes secos y se incorporan premezclas vitamínicas, minerales y aditivos funcionales.

La siguiente etapa corresponde al acondicionamiento, fase crítica en la cual se añade vapor y humedad con el fin de incrementar la temperatura de la mezcla. Este incremento térmico facilita la gelatinización del almidón, mejora la plasticidad de la masa y activa los aglutinantes naturales presentes en las materias primas. Finalmente, la mezcla acondicionada es sometida a compresión a través de una matriz perforada, donde los rodillos ejercen presión para moldear los pellets. Posteriormente, estos son cortados, enfriados y, en algunos casos, tamizados para separar finos y mejorar la uniformidad del lote procesado. Cada una de estas fases influye de manera directa y acumulativa en la calidad final del pellet, afectando parámetros como su durabilidad, dureza, estabilidad y aceptabilidad por parte de los animales. Según Thomas (1996) y García & Herrera (2020), las condiciones de temperatura y humedad durante el acondicionamiento son factores determinantes para la calidad estructural del pellet, debido a su efecto sobre los procesos físicoquímicos de la mezcla.

Investigaciones recientes, como las tesis desarrolladas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH, 2022), evidencian que un adecuado control de la temperatura generalmente entre 70 y 80 °C y un nivel de humedad entre 12 y 16 % incrementan significativamente la durabilidad y la dureza del pellet, al favorecer interacciones cohesivas entre las partículas y un mejor proceso de gelatinización. Así mismo, el tamaño de partícula constituye un factor esencial para lograr una compactación eficiente: partículas más finas tienden a generar pellets más resistentes debido a su mayor área superficial de contacto, mientras que partículas excesivamente pequeñas pueden reducir la porosidad del pellet, comprometer la calidad del flujo en la maquinaria e incluso afectar la digestibilidad en el tracto gastrointestinal de los animales. Por lo tanto, el control integrado de estos factores temperatura, humedad, granulometría y condiciones mecánicas resulta indispensable para obtener pellets de alta calidad que cumplan con los estándares productivos y nutricionales requeridos.

#### **1.4 Propiedades físicas de los pellets**

La calidad física de los pellets constituye un indicador fundamental para evaluar su desempeño durante el almacenamiento, transporte y consumo por parte de los animales, entre las propiedades más relevantes se encuentran la durabilidad, la dureza, el porcentaje de finos, el tamaño y el contenido de humedad. Cada una de estas características proporciona información crítica sobre la integridad estructural del pellet y su capacidad para soportar las exigencias mecánicas del manejo industrial.

La durabilidad se refiere a la capacidad del pellet para resistir el desgaste y la fragmentación cuando es sometido a impactos, fricción o vibraciones durante su transporte y manipulación. Un pellet con alta durabilidad mantiene su forma original por más tiempo, reduciendo pérdidas y garantizando un suministro uniforme en los sistemas de alimentación automática, la dureza, por su parte, describe la fuerza necesaria para fracturar o comprimir el pellet, esta propiedad influye tanto en la resistencia del producto como en la facilidad de consumo por parte de los animales, pellets demasiado duros pueden dificultar la ingestión, mientras que pellets muy frágiles pueden fragmentarse con facilidad.

El porcentaje de finos representa la cantidad de partículas pulverulentas que se generan debido al desgaste mecánico, un nivel elevado de finos reduce la eficiencia de alimentación, puede provocar selectividad en los animales y afecta la limpieza y operación de los equipos. El tamaño del pellet, generalmente estandarizado según la especie animal, determina su aceptabilidad y eficiencia de ingestión, finalmente, el contenido de humedad influye tanto en la estabilidad microbiológica del producto como en su resistencia mecánica: niveles excesivos pueden favorecer el crecimiento de hongos, mientras que niveles demasiado bajos pueden producir pellets frágiles y quebradizos.

Según el estudio de Cevallos y Zambrano (2022), desarrollado en la Universidad Técnica de Babahoyo, un índice de durabilidad (PDI) superior al 90 % se considera indicador de pellets de buena calidad y adecuados para procesos productivos intensivos. No obstante, los autores señalan que el uso inadecuado o insuficiente de aglutinantes puede disminuir la cohesión interna del pellet, generando estructuras débiles que incrementan la proporción de finos y comprometen la eficiencia global del proceso de alimentación, esto evidencia que la selección y dosificación de aglutinantes debe realizarse cuidadosamente, considerando las características de la fórmula, la matriz de pelletizado y las condiciones de procesamiento.

### **1.5 Uso de aglutinantes en la elaboración de pellets**

Los aglutinantes desempeñan un papel esencial en la elaboración de alimentos pelletizados, ya que son los responsables de aumentar la cohesión entre las partículas del alimento durante el proceso de compresión, mejorando la resistencia mecánica y reduciendo la friabilidad del pellet. Estas sustancias actúan como un puente físico o químico entre los componentes del alimento, favoreciendo la adhesión y la formación de una estructura sólida y estable después del enfriamiento (AllAboutFeed, 2023). Su inclusión adecuada garantiza que los pellets mantengan su integridad durante el transporte, almacenamiento y manipulación, evitando la formación excesiva de partículas finas y mejorando la eficiencia alimenticia del ganado (FAO, 2021).

En la industria de alimentos balanceados, los aglutinantes se clasifican generalmente en naturales y sintéticos. Los naturales incluyen almidones (de yuca, maíz, papa), proteínas vegetales, melaza, gomas, mucílagos y aceites vegetales; mientras que los sintéticos comprenden lignosulfonatos, bentonitas y polímeros comerciales diseñados específicamente para procesos industriales, la elección de uno u otro depende de factores como el tipo de alimento, la especie animal, el costo de los insumos, la disponibilidad local y el tipo de maquinaria utilizada.

Según La Torre Rueda (2018), el uso de aglutinantes naturales tiene múltiples ventajas frente a los compuestos sintéticos, ya que son biodegradables, de bajo costo y no afectan la inocuidad del alimento. Además, estos aglutinantes naturales aportan nutrientes adicionales, como azúcares, lípidos o almidones, que mejoran la palatabilidad y el valor energético de los pellets. En este sentido, la melaza y el almidón de yuca se destacan por su alta capacidad adhesiva, disponibilidad en el mercado ecuatoriano y facilidad de incorporación durante la mezcla y el acondicionamiento.

Por su parte, los aceites vegetales, especialmente el aceite de palma, cumplen una doble función: actúan como lubricantes durante la extrusión, reduciendo la fricción y el desgaste de la matriz, y mejoran la compactación del pellet, generando un acabado más uniforme y brillante (Paredes y Quiroz 2021). Estudios realizados en la Universidad Estatal de Bolívar demuestran que la adición controlada de aceite de palma (entre 0,5 % y 1,5 %) disminuye la generación de finos y aumenta la durabilidad sin afectar la digestibilidad del alimento.

Así mismo, Pincay y Zamora (2021) destacan que la aplicación de aglutinantes de origen vegetal disponibles localmente como la melaza, los aceites naturales y el almidón de yuca promueve una producción más sostenible, alineada con los principios de la agroindustria circular. Su utilización reduce la dependencia de productos químicos importados, minimiza los impactos ambientales y aprovecha los subproductos agroindustriales generados en la región.

## **1.6 Efecto del almidón de yuca, aceite de palma y melaza como aglutinantes**

Los aglutinantes desempeñan un papel esencial en la estructura y resistencia mecánica de los pellets, ya que actúan facilitando la cohesión entre las partículas, mejorando la compactación y contribuyendo a la estabilidad física durante el manejo y almacenamiento. Entre los aditivos más utilizados en la industria de alimentos balanceados destacan el almidón de yuca, el aceite de palma y la melaza, cada uno con propiedades funcionales particulares que influyen de manera distinta en el proceso de pelletización.

### **1.6.1 Almidón de yuca**

El almidón de yuca es reconocido como un aglutinante natural de alto valor tecnológico debido a su elevada capacidad de gelatinización y su estructura molecular rica en amilopectina. Durante el acondicionamiento térmico del proceso de pelletizado, las moléculas de almidón absorben humedad y temperatura, iniciando un proceso de gelatinización que transforma su estructura cristalina en una forma amorfa y altamente adhesiva. Esta matriz gelatinizada envuelve y cohesiona las partículas de la mezcla, formando puentes internos que mejoran notablemente la integridad estructural del pellet (Gómez et al., 2020).

Investigaciones realizadas en la Universidad Técnica de Machala (UTMACH, 2023) demostraron que la adición del 3 al 5 % de almidón de yuca incrementa significativamente la durabilidad y consistencia del pellet, favoreciendo la resistencia al desgaste mecánico sin comprometer la digestibilidad del alimento. Además, se ha reportado que este aglutinante regula la humedad óptima de compactación, incrementando ligeramente la plasticidad de la mezcla y facilitando su paso a través de la matriz, esto se traduce en una menor fricción interna, un flujo más uniforme del material y una mejor formación de los pellets durante el proceso productivo.

### **1.6.2 Aceite de palma**

El aceite de palma se utiliza principalmente como lubricante y aglutinante secundario dentro del proceso de pelletización, su presencia en la mezcla reduce la fricción entre los rodillos y la matriz, disminuyendo el desgaste de los equipos y la energía requerida para la compactación. Así mismo, sus componentes lipídicos contribuyen a mejorar la densidad aparente del pellet y a otorgar una textura más uniforme y compacta.

De acuerdo con Paredes y Quiroz (2021), la adición controlada de 0,5 a 1,5 % de aceites vegetales, incluido el aceite de palma, permite obtener pellets más uniformes, reduce la generación de finos y favorece el flujo del material dentro de la cámara de compresión. Investigaciones complementarias desarrolladas en la Universidad Estatal de Bolívar (2022) señalan que la incorporación de aceite de palma también mejora la estabilidad del pellet durante el almacenamiento, al disminuir la pérdida de humedad y prevenir el endurecimiento excesivo del producto con el paso del tiempo, esto resulta beneficioso para mantener la palatabilidad y evitar fracturas durante el transporte.

### **1.6.3 Melaza**

La melaza es un subproducto de la industria azucarera ampliamente utilizado como aglutinante natural debido a su elevado contenido de azúcares reductores, minerales y compuestos viscosos que actúan como agentes adhesivos. Por su naturaleza higroscópica y su consistencia espesa, la melaza recubre las partículas finas del alimento, formando una película pegajosa que promueve la cohesión y reduce la desintegración del pellet. Según Chávez y Morán (2020), esta propiedad adhesiva contribuye de manera significativa a mejorar la durabilidad y también incrementa la palatabilidad, ya que su sabor dulce favorece la aceptación del alimento por parte de los animales.

En un estudio desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (2022), se determinó que la inclusión de melaza en proporciones del 2 al 4 % incrementó la resistencia al desgaste y redujo el porcentaje de finos en más del 10 %, demostrando su efectividad como aglutinante funcional. Asimismo, su uso favorece una humedad ligeramente más alta y estable dentro del pellet, lo que disminuye el riesgo de fracturas durante la manipulación y contribuye a una mejor compactación en la matriz.

### **1.7 Tipos de aglutinantes**

El tipo de aglutinante incorporado en la formulación es un factor decisivo, ya que define el modo en que se produce la unión entre las partículas durante el proceso de compactación. El almidón de yuca destaca por su aptitud para gelatinizar a temperaturas relativamente bajas, lo que permite que sus cadenas se hinchen y formen una red cohesiva que fortalece la estructura interna del pellet (La Torre Rueda, 2018). Por su parte, la melaza actúa como un aglutinante de naturaleza viscosa debido a su elevado contenido de azúcares, los cuales funcionan como un cemento natural que mejora la adhesión entre partículas cuando el pellet se enfría y pierde humedad (Paredes y Quiroz, 2021). El aceite de palma, aunque cumple principalmente una función lubricante al disminuir la fricción dentro de la matriz durante la compresión, también contribuye a una ligera cohesión superficial, ya que crea una capa que favorece la integridad externa del pellet (ESPE, 2022). En concordancia con lo expuesto por Cevallos y Zambrano (2022), la selección del aglutinante resulta determinante para alcanzar una alta durabilidad y reducir la producción de finos durante el manejo postpelletización.

#### **1.7.1 Dosis de aglutinantes**

La cantidad de aglutinante incorporada influye directamente en la cohesión, la resistencia mecánica y la estabilidad estructural del pellet. Cuando la dosis utilizada es insuficiente, los pellets tienden a ser débiles, quebradizos y susceptibles a fragmentarse. Sin embargo, un exceso de aglutinante también genera problemas, tales como incremento de humedad, menor dureza o lubricación excesiva que impide una compactación adecuada (UTMACH, 2023). Resultados experimentales han demostrado que la adición de almidón en niveles comprendidos entre 3 % y 5 % favorece notablemente la durabilidad; la melaza, cuando se utiliza entre 2 % y 4 %,

reduce de manera significativa la generación de finos; mientras que el aceite de palma en proporciones de 0,5 % a 1,5 % ayuda a disminuir la fricción en la matriz (ESPE, 2022; UEB, 2022). Como señala Mendoza Mendieta (2025), lograr un equilibrio adecuado en la dosis del aglutinante es esencial para obtener pellets resistentes, homogéneos y estables durante el almacenamiento.

### **1.7.2 Porcentaje de finos en pelletizado**

El porcentaje de finos generados durante la etapa de pelletización es uno de los parámetros más utilizados para evaluar la calidad física inicial del pellet, ya que permite determinar la proporción de material que no logró consolidarse adecuadamente en la matriz. Este indicador expresa las pérdidas ocasionadas por deficiente compactación o por daños mecánicos sufridos por el pellet en el momento de su formación y expulsión. Según lo expuesto por Thomas (1996), la producción de finos durante el pelletizado está directamente asociada a fenómenos como la fricción interna de los ingredientes, los impactos sufridos al salir de la matriz y la falta de cohesión suficiente entre las partículas.

Los estudios recientes realizados en contextos locales demuestran que la utilización de aglutinantes naturales desempeña un papel fundamental en la reducción de este tipo de pérdidas. La mejora en la integridad inicial del pellet está relacionada con la capacidad de estos aglutinantes para fortalecer la adhesión entre partículas y favorecer una estructura más compacta y estable desde el primer momento de la producción (Cevallos y Zambrano, 2022). A través del aumento de la cohesión interna, los pellets son menos susceptibles a romperse durante su expulsión y primer enfriamiento.

Así mismo, Mendoza Mendieta (2025) reporta que la adición de aglutinantes como el almidón y la melaza contribuye notablemente a incrementar la consistencia del pellet recién formado. El almidón, mediante su proceso de gelatinización, mejora la unión entre partículas, mientras que la melaza actúa como un agente cementante que refuerza la superficie del pellet. Este efecto conjunto reduce la desintegración temprana y promueve la formación de una estructura más uniforme y resistente, minimizando la generación de finos desde la etapa inicial de producción.

### **1.7.3 Porcentaje de finos en almacenamiento**

El porcentaje de finos generados durante el almacenamiento representa un indicador crítico para evaluar la estabilidad física del pellet una vez producido. A diferencia de los finos que se originan en la etapa de pelletizado, los finos en almacenamiento aparecen como resultado de un conjunto de factores externos que actúan de manera continua sobre el producto. Entre estos factores se incluyen la fricción repetitiva entre pellets, las vibraciones ocasionadas por el movimiento de silos, tolvas o equipos de transporte, la presión ejercida por el apilamiento en grandes volúmenes y las variaciones en temperatura y humedad del ambiente, que pueden debilitar la estructura interna del pellet.

Según García y Herrera (2020), la magnitud con la que se generan finos durante el almacenamiento depende estrechamente de tres elementos fundamentales: la dureza inicial del pellet, que determina su resistencia a impactos y abrasión; la capacidad higroscópica, que influye en la manera en que el pellet absorbe o libera humedad y, por ende, en su estabilidad dimensional; y la cohesión interna, es decir, la solidez con que las partículas se mantienen unidas dentro de la matriz comprimida. Un pellet con estructura débil o altamente susceptible a captar humedad tiende a fragmentarse con mayor facilidad bajo condiciones normales de manejo.

En esta misma línea, ESPOCH (2022) destaca que los pellets que presentan una mayor compactación inicial y que incorporan aglutinantes con capacidad de mantener la cohesión a lo largo del tiempo muestran un desempeño superior en términos de integridad durante el almacenamiento. Los aglutinantes no solo contribuyen a la adhesión inicial, sino que también favorecen la resistencia frente a fluctuaciones ambientales y esfuerzos mecánicos repetidos.

En consecuencia, el porcentaje de finos en almacenamiento se convierte en una variable esencial para evaluar la estabilidad física del pellet durante todo su ciclo de vida posterior a la producción. Este parámetro permite determinar el grado en que el pellet puede soportar procesos intensivos de carga, descarga, transporte y permanencia en silos sin deteriorar su forma, su compactación ni su valor nutritivo asociado a la pérdida de partículas finas.

#### **1.7.4 Solubilidad del pellet**

La solubilidad se refiere a la capacidad del pellet de conservar su estabilidad al entrar en contacto con humedad ambiental o superficial. Estudios indican que esta propiedad está influenciada por la gelatinización del almidón que promueve una estructura más sólida, por la tendencia de la melaza a absorber agua, y por el efecto hidrofóbico generado por las fracciones lipídicas del aceite de palma (La Torre Rueda, 2018). Un pellet con elevada solubilidad tiende a perder nutrientes rápidamente o incluso a desintegrarse, mientras que una solubilidad controlada indica mayor estabilidad físico-química (García y Herrera, 2020). De esta forma, la solubilidad funciona como un indicador complementario del comportamiento del pellet frente a condiciones húmedas.

#### **1.7.5 Dureza del pellet**

La dureza constituye la fuerza que debe aplicarse para romper un pellet y es uno de los indicadores más relevantes para evaluar su resistencia mecánica global. Este parámetro permite determinar la capacidad del pellet para soportar presiones, impactos y condiciones de manejo sin desintegrarse. Tal como señala ESPOCH (2022), cuando los pellets presentan valores elevados de dureza, la probabilidad de que se produzcan finos durante su transporte, descarga o almacenamiento es considerablemente menor, lo que representa una ventaja en términos de calidad física y eficiencia en el uso del alimento. Aulie y Girard (2018) destacan que este es uno de los parámetros críticos asociados a la resistencia mecánica y a la capacidad del pellet para evitar la formación de finos durante su manipulación.

Esta se determina por múltiples factores operativos y composicionales, entre ellos destacan el tipo de aglutinante utilizado pues cada aditivo aporta mecanismos distintos de cohesión, el nivel de humedad en el acondicionamiento previo, la temperatura alcanzada durante el proceso y el grado de fricción experimentado en la matriz al momento de la compactación (UTMACH, 2023). Una combinación adecuada de estos elementos permite que las partículas del alimento se fusionen de manera más compacta, incrementando la integridad estructural del pellet.

Tanto Cevallos y Zambrano (2022) como Mendoza Mendieta (2025) coinciden en que el uso apropiado de aglutinantes naturales, como el almidón de yuca, la melaza y el aceite de palma, tiene un impacto directo en el aumento de la dureza del pellet. El almidón contribuye mediante un proceso de gelatinización que fortalece la red interna; la melaza actúa como un adhesivo que refuerza la unión interparticular una vez que el pellet se enfría; y el aceite de palma mejora la cohesión superficial y reduce la fractura por impacto. En conjunto, estos aglutinantes permiten obtener pellets más robustos, menos propensos a la desintegración y con mayor estabilidad durante todo el proceso de manipulación, desde su producción hasta su consumo final.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.**

### **2.1. Ubicación, y descripción del área o sujeto en estudio**

Este presente proyecto se llevó a cabo en la provincia de Manabí del cantón Chone, en los predios del centro de gestión, innovación y transferencia de conocimiento “Finca Tigrillo” de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión Chone, para el 2025.

#### **Coordenadas Geográficas**

0°37'17.9" S 80°05'10.9" W

-0.621640, -80.086371

**Ilustración 1.-Coordenadas Geográficas de la Finca Tigrillo.**



**Elaborado por las autoras: Alcívar y Martínez (2025)**

### **2.2 Método empírico**

El método empírico se fundamenta en la experimentación directa realizada en el proceso de pelletizado, aplicando tres tipos de aglutinantes a un alimento balanceado comercial formulado para engorde de cerdos. En el Centro “Finca Tigrillo” de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión Chone, se ejecutaron corridas de pelletizado donde se evaluaron parámetros de calidad como durabilidad, dureza, tamaño, humedad y pérdida de partículas finas

### **2.3. Método bibliográfico**

En la presente investigación se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva orientada a identificar los criterios técnicos de calidad del pellet, así como los tipos de aglutinantes comúnmente utilizados en alimentos balanceados. Esta revisión incluyó artículos científicos, manuales de producción, estudios sobre tecnología alimentaria animal y documentos técnicos que aportaron fundamentos relevantes sobre:

- Propiedades fisicoquímicas de los aglutinantes.
- Métodos de medición de durabilidad y dureza.
- Parámetros óptimos de humedad y tamaño del pellet.
- Efectos de diferentes aglutinantes en el rendimiento del pelletizado.

La información recopilada permitió sustentar el diseño experimental, seleccionar las variables de estudio y respaldar la interpretación de los resultados obtenidos en campo.

#### **2.3.1. Actividades en la implementación del proceso de pelletizado**

A continuación, se describen los pasos realizados durante la ejecución experimental en la planta de pelletizado en la Finca Tigrillo:

- 1. Selección del sitio:** La investigación se ejecutó en el área operativa del centro de gestión, innovación y transferencia de conocimiento "Finca Tigrillo", equipada con una máquina peletizadora funcional.
- 2. Selección del alimento base:** Se escogió un alimento balanceado comercial para engorde de cerdos. Para cada corrida se utilizó un lote de 10 kg.
- 3. Velocidad y corriente eléctrica:** Se verificó el correcto funcionamiento de la peletizadora, ajustando diámetro de orificio según las especificaciones técnicas del equipo.
- 4. Diseño del experimento:** Se trabajó con tres aglutinantes y un testigo, cada uno con tres repeticiones.

## **Proceso de pelletizado**

- **Mezclado de los aglutinantes:**

Cada aglutinante se incorporó en la dosis correspondiente a cada tratamiento (T1 a T6). La melaza se diluyó previamente en agua para facilitar su incorporación, el almidón se añadió en forma de polvo seco y el aceite de palma se incorporó gradualmente para lograr una dispersión uniforme.

- **Ingreso del material a la pelletizadora:**

Cada unidad experimental (10 kg de alimento balanceado) fue alimentada de forma continua a la tolva de la pelletizadora, manteniendo constantes las condiciones operativas. En la cámara de compresión, los rodillos presionaron el material contra el dado perforado, y la acción combinada de presión mecánica y fricción permitió que la mezcla se compactara y fluyera a través de los orificios, adquiriendo forma cilíndrica.

- **Obtención de los pellets:**

El material compactado salió por los orificios del dado en forma de tiras continuas, que fueron cortadas por cuchillas ajustables para obtener pellets de tamaño uniforme. Los pellets se dejaron estabilizar a temperatura ambiente, luego se recolectaron, etiquetaron y codificaron para su posterior evaluación de pérdida de finos, solubilidad y dureza.

## **2.4. Método de investigación**

La presente investigación fue de tipo inductiva, experimental y explicativa, debido a que partió de la observación de los efectos de diferentes aglutinantes naturales sobre la calidad de los pellets para alimentación animal, permitiendo establecer relaciones causa—efecto entre las variables estudiadas.

Se aplicó además el método teórico, mediante el análisis y síntesis bibliográfica, el cual permitió sustentar conceptualmente las variables de estudio, los tratamientos experimentales y los parámetros de calidad evaluados durante el proceso de pelletizado.

El enfoque experimental permitió manipular de manera controlada los tipos de aglutinantes y evaluar su influencia en la calidad física de los pellets obtenidos en el Centro de gestión, innovación y transferencia de conocimiento "Finca Tigrillo".

#### 2.4.1. Diseño de investigación

La investigación se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), en el cual los tratamientos fueron asignados aleatoriamente a cada unidad experimental, con el objetivo de reducir la influencia de factores externos no controlados.

Los tratamientos experimentales se obtuvieron mediante la aplicación de tres tipos de aglutinantes (melaza, almidón y aceite de palma) incorporados a un alimento balanceado comercial para engorde de cerdos, además de un tratamiento testigo sin aglutinante. Cada tratamiento contó con cinco repeticiones, generando un total de veinte unidades experimentales.

Cada unidad experimental correspondió a una corrida de pelletizado de 10 kg de alimento balanceado, manteniendo constantes las condiciones operativas de la pelletizadora. Los pellets obtenidos fueron recolectados, codificados y evaluados posteriormente para determinar su calidad.

#### 2.4.2. Investigación explicativa – tratamientos

Tabla 1.- Formulación de los tratamientos.

| TRATAMIENTO | AGLUTINANTE         | DOSIS   | DESCRIPCIÓN                                |
|-------------|---------------------|---------|--------------------------------------------|
| T1          | Melaza (A)          | Dosis 1 | Alimento balanceado + melaza (50 ml/kg)    |
| T2          | Melaza (A)          | Dosis 2 | Alimento balanceado + melaza (100 ml/kg)   |
| T3          | Almidón de yuca (B) | Dosis 1 | Alimento balanceado + almidón (3%)         |
| T4          | Almidón de yuca (B) | Dosis 2 | Alimento balanceado + almidón (6%)         |
| T5          | Aceite de palma (C) | Dosis 1 | Alimento balanceado + aceite de palma (1%) |
| T6          | Aceite de palma (C) | Dosis 2 | Alimento balanceado + aceite de palma (3%) |
| TESTIGO     | Sin aglutinante     | -       | Alimento balanceado sin aglutinante        |

Elaborado por las autoras: Alcívar y Martínez (2025)

Los tratamientos fueron evaluados con el propósito de determinar cuál de los aglutinantes presentó un mejor desempeño en términos de calidad del pellet, considerando sus propiedades físicas y mecánicas.

## **2.5. Variables de estudio**

Las variables evaluadas en la presente investigación fueron las siguientes:

### **Variables independientes**

- Tipo de aglutinante (melaza, almidón y aceite de palma).
- Dosis de aglutinante, correspondiente al porcentaje de inclusión de cada aglutinante en el alimento balanceado durante el proceso de pelletizado.

### **Variables dependientes**

- Pérdida de partículas finas en el pelletizado, determinada inmediatamente después del proceso de pelletización.
- Pérdida de partículas finas durante el almacenamiento, evaluada tras un período determinado de conservación de los pellets.
- Solubilidad del pellet, relacionada con la estabilidad del pellet frente a la acción del agua.
- Dureza del pellet, medida como la resistencia mecánica del pellet a la fractura.

La medición de estas variables permitió evaluar el efecto del tipo y la dosis de los aglutinantes sobre la calidad física de los pellets producidos en el Centro "Finca Tigrillo".

### **2.5.1. Pruebas estadísticas utilizadas**

Los datos obtenidos de los parámetros de calidad del pellet fueron analizados mediante una comparación de medias, calculando los promedios de cada variable evaluada por tratamiento.

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA). Posteriormente, se utilizó la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , para la separación de medias.

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el programa INFOSTAT, lo que permitió evaluar de manera objetiva el efecto de los diferentes aglutinantes sobre la calidad de los pellets obtenidos.

### 2.5.2 Dosis sugeridas de aglutinantes (fundamento técnico)

Estas dosis están inspiradas en la literatura sobre pelletizado de alimentos y el uso de aglutinantes:

| Aglutinante                    | Dosis baja                            | Dosis alta              | Fundamento                                                                                                                                                 |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Almidón</b> (yuca)          | 3% del peso total (% en materia seca) | 6% del peso total       | Estudios muestran que la inclusión de ~5% almidón puede mejorar la durabilidad de pellets al aumentar la gelatinización del almidón durante pelletización. |
| <b>Melaza</b> (líquido)        | 50 ml/kg de balanceado                | 100 ml/kg de balanceado | Usada comúnmente como aglutinante líquido que también mejora palatabilidad y reduce polvo; dosis típicas prácticas entre 5–10% líquido sobre materia seca. |
| <b>Aceite de Palma</b> (grasa) | 1% del peso total                     | 3% del peso total       | Los aceites/fats aumentan lubricación y pueden afectar la dureza y durabilidad; niveles bajos se prueban para observar diferencias.                        |

Elaborado por las autoras: Alcívar y Martínez (2025)

### 2.6. Pérdida de finos durante el pelletizado

La pérdida de finos durante el pelletizado se refiere a la cantidad de partículas pequeñas o fragmentos que se desprenden del pellet inmediatamente después del proceso de pelletización, esta pérdida ocurre principalmente por una deficiente compactación del material, baja cohesión entre partículas o una inadecuada acción del aglutinante durante la formación del pellet. Un alto porcentaje de finos indica una menor calidad física del pellet y mayor desperdicio del alimento, afectando la eficiencia del proceso productivo.

**Fórmula:**

$$\text{Pérdida de finos en pelletizado (\%)} = \left( \frac{\text{Peso de finos obtenidos}}{\text{Peso total del pellet producido}} \right) \times 100$$

## 2.7. Pérdida de finos durante el almacenamiento

La pérdida de finos durante el almacenamiento corresponde a la cantidad de partículas que se generan como consecuencia de la fricción entre pellets, vibraciones, presión por apilamiento y variaciones ambientales durante el tiempo de conservación. Este parámetro permite evaluar la estabilidad física del pellet a lo largo del tiempo y su resistencia al manejo, transporte y almacenamiento. Un menor porcentaje de finos refleja una mayor durabilidad y cohesión estructural del pellet.

**Fórmula:**

$$\text{Pérdida de finos en almacenamiento (\%)} = \left( \frac{\text{Peso de finos después del almacenamiento}}{\text{Peso inicial de pellets almacenados}} \right) \times 100$$

## 2.8. Solubilidad del pellet

La solubilidad del pellet se define como la capacidad que tiene el pellet de desintegrarse o perder masa al entrar en contacto con el agua, este parámetro es un indicador de la estabilidad físico-química del pellet frente a condiciones de humedad. Una solubilidad elevada indica menor resistencia estructural, mientras que una solubilidad controlada refleja una mejor cohesión interna y mayor calidad del pellet.

**Fórmula:**

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left( \frac{\text{Peso inicial del pellet} - \text{Peso final después del contacto con agua}}{\text{Peso inicial del pellet}} \right) \times 100$$

## 2.9. Dureza del pellet

La dureza del pellet es la fuerza necesaria para romper o fracturar un pellet y representa su resistencia mecánica, este parámetro permite evaluar la capacidad del pellet para soportar impactos, presión y fricción durante su manipulación sin desintegrarse. Pellets con mayor dureza suelen presentar menores pérdidas de finos y mayor estabilidad durante el transporte y almacenamiento.

**Fórmula**

La dureza se expresa directamente como la fuerza aplicada hasta la ruptura del pellet, medida con un durómetro o texturómetro:

$$\text{Dureza del pellet} = \text{Fuerza de ruptura (kgf)}$$

## **CAPÍTULO III: RESULTADOS Y/O PRODUCTO ALCANZADO**

### **3.1 Descripción general del experimento**

En el presente estudio se evaluó el efecto del tipo de aglutinante y su dosis sobre la calidad física de pellets para alimentación animal elaborados en el Centro Finca Tigrillo. Se consideraron tres tipos de aglutinantes (almidón, melaza y aceite de palma) y dos dosis por cada uno, con cinco repeticiones por tratamiento, bajo un diseño completamente al azar.

Las variables dependientes evaluadas fueron: pérdida de partículas finas durante el pelletizado, pérdida de partículas finas en almacenamiento, solubilidad del pellet y dureza del pellet. Los resultados obtenidos se presentan mediante estadística descriptiva, análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

### **3.2 Pérdida de partículas finas durante el pelletizado**

Los valores promedio de pérdida de partículas finas durante el pelletizado se muestran en la Figura correspondiente (media  $\pm$  desviación estándar). Se observaron diferencias claras entre los tratamientos evaluados.

El tratamiento melaza a 100 ml/kg presentó el menor porcentaje de pérdida de partículas finas, seguido por almidón al 6%, lo que indica una mayor capacidad de aglutinación durante el proceso de compactación. En contraste, el tratamiento aceite de palma al 1% presentó los valores más elevados de pérdida de finos, evidenciando una menor cohesión estructural del pellet.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). La prueba de Tukey indicó que los tratamientos con melaza a 100 ml/kg y almidón al 6% conformaron un grupo estadísticamente superior, mientras que el aceite de palma al 1% se ubicó en el grupo con peor desempeño.

### **3.3 Pérdida de partículas finas en almacenamiento**

En relación con la pérdida de partículas finas durante el almacenamiento, los resultados evidenciaron un comportamiento similar al observado durante el pelletizado. Los tratamientos con melaza, especialmente a la dosis de 100 ml/kg, mostraron los menores valores de pérdida, lo cual sugiere una mayor estabilidad del pellet frente a la manipulación, vibración y transporte.

El almidón al 6% también presentó un desempeño favorable, mientras que el aceite de palma al 1% registró la mayor pérdida de finos en almacenamiento.

El ANOVA indicó diferencias estadísticas altamente significativas ( $p < 0,05$ ). La prueba de Tukey confirmó que la melaza a dosis alta fue significativamente diferente de los tratamientos con aceite de palma, consolidándose como el aglutinante más eficiente para preservar la integridad del pellet durante el almacenamiento.

### **3.4 Solubilidad del pellet**

La solubilidad del pellet mostró variaciones significativas en función del tipo y dosis del aglutinante utilizado. Los tratamientos con aceite de palma, especialmente al 1%, presentaron los valores más altos de solubilidad, lo que indica una mayor tendencia del pellet a desintegrarse en contacto con el agua.

Por el contrario, los tratamientos melaza 100 ml/kg y almidón 6% mostraron los menores porcentajes de solubilidad, evidenciando una estructura más compacta y resistente. Este comportamiento se asocia a la capacidad de los carbohidratos de formar enlaces más estables durante el proceso de gelatinización y enfriamiento.

El análisis estadístico reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). La prueba de Tukey indicó que el aceite de palma al 1% difiere significativamente de todos los demás tratamientos, mientras que la melaza a dosis alta y el almidón al 6% no mostraron diferencias significativas entre sí.

### **3.5 Dureza del pellet**

La dureza del pellet, expresada en kilogramos-fuerza (kgf), fue significativamente influenciada por el tipo y la dosis del aglutinante. El tratamiento almidón al 6% presentó la mayor dureza promedio, indicando una mayor resistencia mecánica del pellet frente a fuerzas externas.

La melaza a 100 ml/kg también mostró valores elevados de dureza, aunque inferiores al almidón al 6%. En contraste, el aceite de palma al 1% presentó los valores más bajos de dureza, lo que sugiere que su efecto lubricante reduce la fricción durante el pelletizado, pero limita la formación de enlaces estructurales fuertes.

El ANOVA evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ), y la prueba de Tukey permitió identificar al almidón al 6% como el tratamiento con mejor desempeño mecánico, significativamente superior a los tratamientos con aceite de palma.

### **3.6 Análisis integral de los resultados**

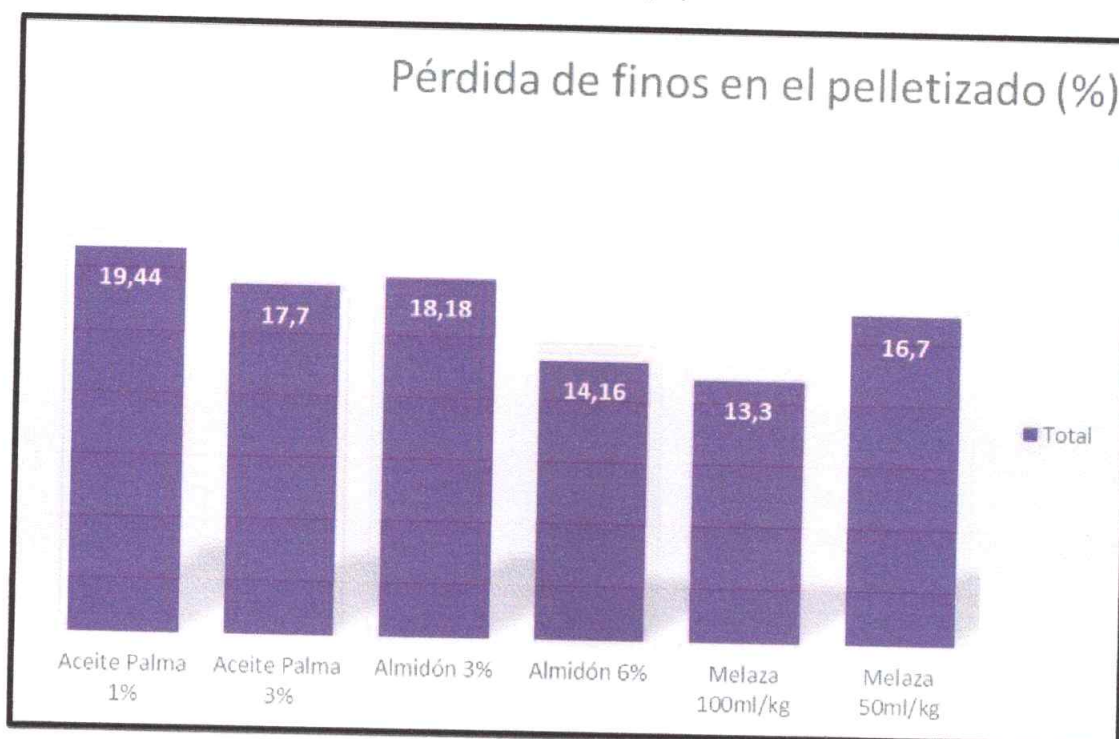
De manera general, los resultados indican que los aglutinantes de naturaleza carbohidratada (almidón y melaza) presentan un mejor desempeño en la mejora de la calidad física de los pellets, especialmente cuando se utilizan en dosis más altas. Estos aglutinantes favorecen la cohesión interna del pellet, reducen la generación de partículas finas y mejoran la dureza, contribuyendo a una mayor estabilidad durante el almacenamiento.

El aceite de palma, si bien puede mejorar el flujo del material durante el pelletizado, mostró limitaciones como aglutinante estructural, especialmente a dosis bajas, debido a su efecto lubricante que reduce la compactación efectiva del pellet.

### **3.7 Síntesis de resultados**

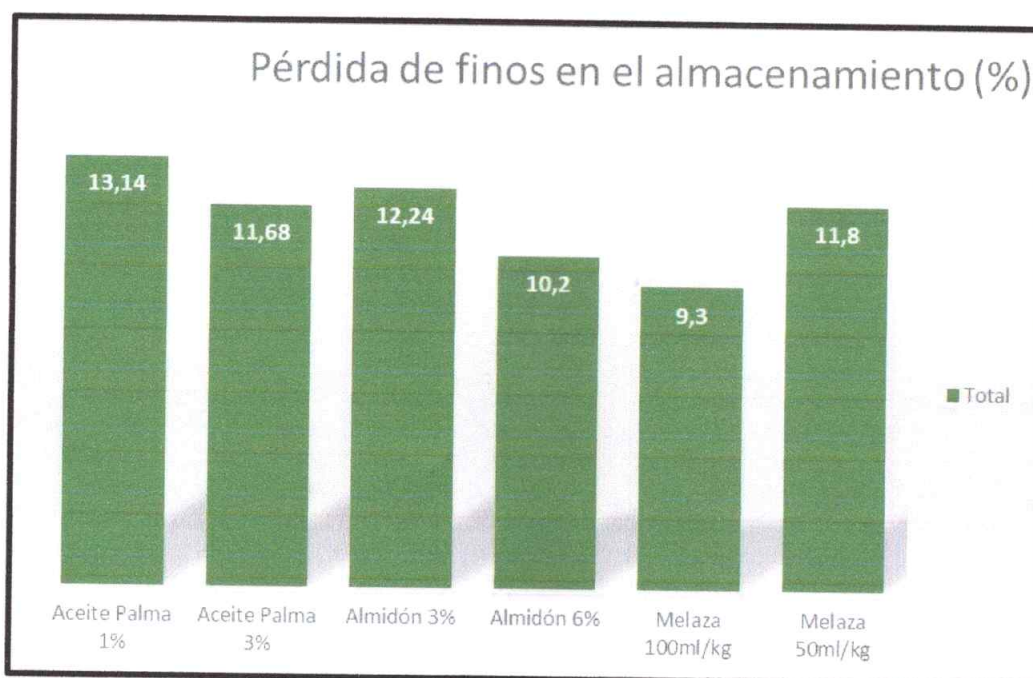
- El tipo y la dosis de aglutinante influyeron significativamente en todas las variables evaluadas.
- La melaza a 100 ml/kg y el almidón al 6% presentaron los mejores resultados integrales.
- El aceite de palma al 1% mostró el desempeño más bajo en términos de calidad física del pellet.
- El análisis estadístico (ANOVA y Tukey) confirmó diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).

**Ilustración 2.-** Pérdida finos pelletizado (%)



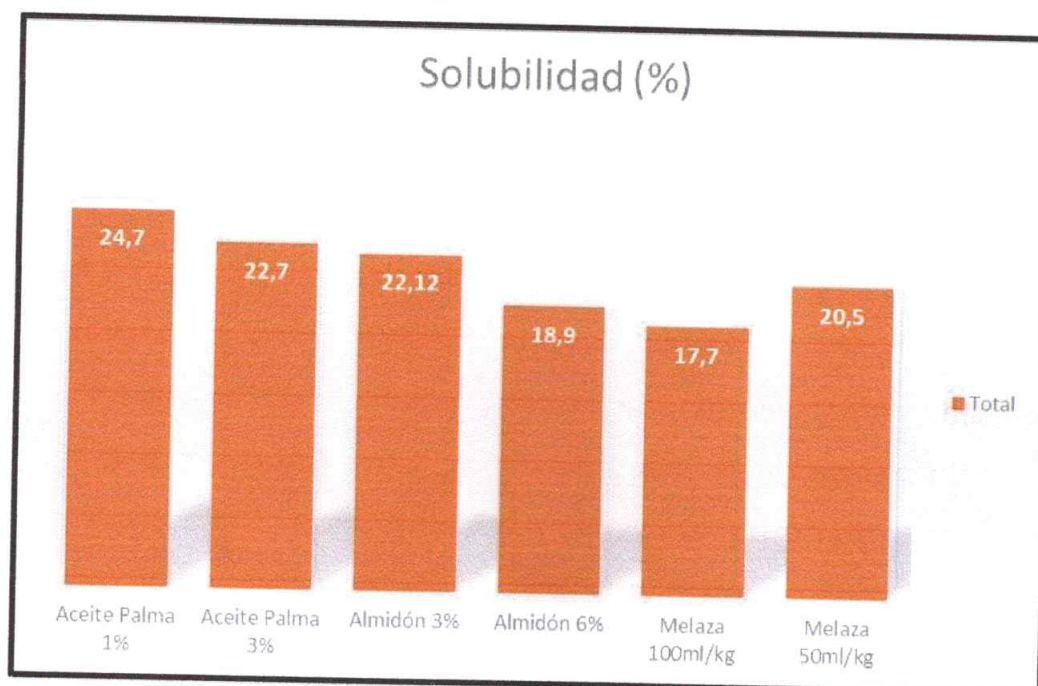
Los resultados muestran que el tipo y la dosis del aglutinante influyen de manera significativa en la calidad física de los pellets. El aceite de palma presentó las mayores pérdidas de finos, especialmente a la dosis de 1 % (19,44 %), lo que indica una menor capacidad aglutinante a concentraciones bajas; sin embargo, al incrementarse al 3 %, la pérdida se reduce a 17,7 %, evidenciando una mejora parcial en la cohesión del pellet. En el caso del almidón, se aprecia un efecto dosis-dependiente más marcado, ya que al aumentar de 3 % (18,18 %) a 6 % (14,16 %), la pérdida de finos disminuye notablemente, reflejando una mejor gelatinización y unión de las partículas. Por su parte, la melaza fue el aglutinante más eficiente, especialmente a la dosis de 100 ml/kg, donde se registró la menor pérdida de finos (13,3 %), lo que sugiere una mayor capacidad adhesiva y formación de pellets más resistentes; no obstante, al reducir la dosis a 50 ml/kg, la pérdida aumenta a 16,7 %. En general, los resultados indican que dosis más altas de aglutinantes, particularmente melaza y almidón, mejoran la integridad del pellet, reduciendo la generación de finos durante el proceso de pelletizado.

**Ilustración 3.- Pérdida finos almacenamiento (%)**



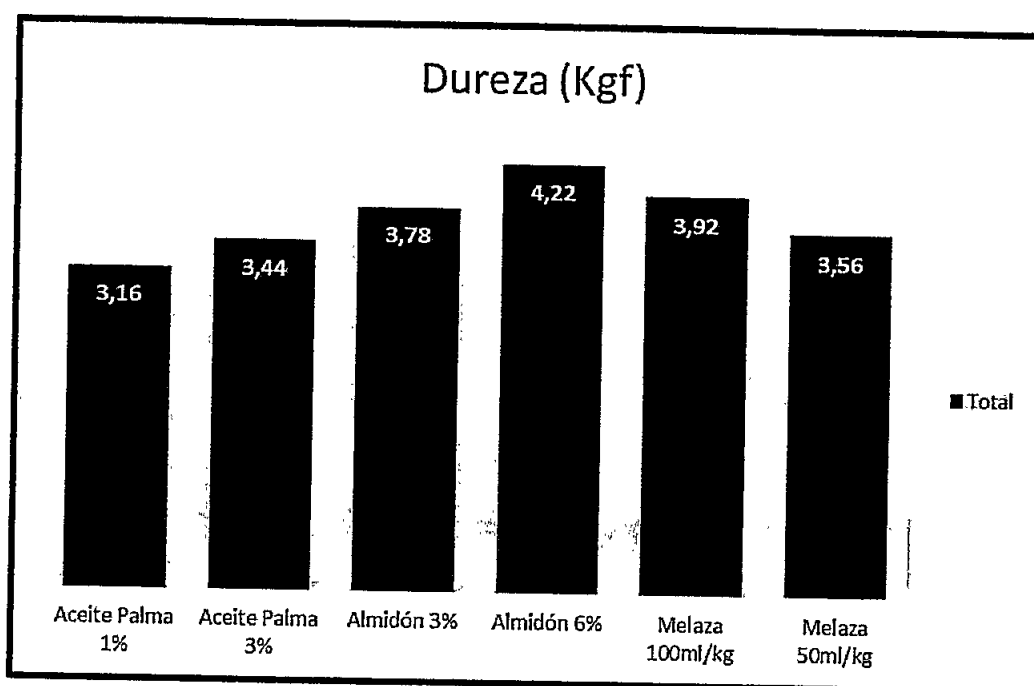
Durante el almacenamiento, se observó que el aceite de palma presentó las mayores pérdidas de finos, particularmente a la dosis de 1 % (13,14 %), lo que indica una menor capacidad para mantener la integridad del pellet durante el manejo y almacenamiento; no obstante, al incrementarse la dosis a 3 %, la pérdida se reduce a 11,68 %, mostrando una ligera mejora en la resistencia del pellet. En el caso del almidón, se observa una tendencia clara de reducción de finos con el aumento de la dosis, pasando de 12,24 % en almidón al 3 % a 10,2 % en almidón al 6 %, lo que sugiere una mejor cohesión estructural y mayor estabilidad del pellet en condiciones de almacenamiento. Por su parte, la melaza volvió a mostrar el mejor desempeño como aglutinante, registrando la menor pérdida de finos a la dosis de 100 ml/kg (9,3 %), mientras que a 50 ml/kg la pérdida aumentó a 11,8 %, evidenciando que una menor dosificación reduce su efecto aglutinante. En conjunto, estos resultados confirman que el uso de aglutinantes en dosis adecuadas, especialmente melaza y almidón, contribuye significativamente a disminuir la generación de finos durante el almacenamiento, mejorando la calidad y durabilidad de los pellets para alimentación animal.

**Ilustración 4.- Solubilidad (%)**



En el gráfico correspondiente al porcentaje de solubilidad, se observa que el tipo de aglutinante y su nivel de inclusión influyen directamente en el comportamiento del pellet frente al contacto con el agua. El aceite de palma presentó los valores más altos de solubilidad, especialmente a la dosis de 1 % (24,7 %), lo que indica una mayor desintegración del pellet y, por tanto, una menor estabilidad en medios húmedos; al incrementar la dosis a 3 %, la solubilidad disminuye a 22,7 %, evidenciando una ligera mejora en la cohesión del pellet. En el caso del almidón, se aprecia una reducción progresiva de la solubilidad al aumentar la concentración.

**Ilustración 5.-Dureza (Kgf)**



En relación con la dureza del pellet, expresada en kgf, los resultados evidencian diferencias claras entre los aglutinantes y sus dosis. El aceite de palma presentó los valores más bajos de dureza, con 3,16 kgf al 1 % y 3,44 kgf al 3 %, lo que refleja una menor resistencia mecánica del pellet. En contraste, el almidón mostró un incremento significativo en la dureza al aumentar la dosis, alcanzando el valor más alto del ensayo con 4,22 kgf al 6 %, lo que indica una mayor cohesión interna y compactación del pellet, atribuible a la gelatinización del almidón durante el proceso de pelletizado. La melaza presentó valores intermedios, destacándose la dosis de 100 ml/kg (3,92 kgf) frente a 50 ml/kg (3,56 kgf), confirmando que una mayor dosificación mejora la resistencia estructural. En conjunto, estos resultados demuestran que el incremento en la dosis de aglutinantes, especialmente almidón y melaza, favorece la formación de pellets más duros y resistentes al manejo, lo cual se asocia con una mejor calidad física del alimento balanceado.

### Interpretación de variables dependientes

- **Pérdida de partículas finas (%):** menor es mejor refleja menor rotura en pelletizado.
- **Pérdida de finos en almacenamiento (%):** menor indica mejor estabilidad tras enfriamiento y manejo.
- **Solubilidad (%):** indica cuánto se deshace el pellet en agua excesiva puede ser mala.
- **Dureza (kgf):** mide resistencia mecánica del pellet mayor indica mejor integridad física.

### Observaciones sugeridas

- **Almidón:** Aumentar la dosis (6%) tiende a disminuir las pérdidas de finos y aumentar la dureza del pellet, indicando mejor aglutinación.
- **Melaza:** Mejora la integridad física con dosis mayores; se observa reducción en finos y solubilidad menor, lo cual puede indicar mejor estabilidad en almacenamiento.
- **Aceite de Palma:** Tiende a lubricar la mezcla reduciendo la fricción en peletizadora, pero niveles altos pueden reducir dureza y aumentar finos si no se compensa con humedad o temperatura.

### Interpretación por variable

#### Pérdida de partículas finas en pelletizado

- **Menores pérdidas:** Melaza 100 ml/kg  $\approx$  Almidón 6%
- **Mayores pérdidas:** Aceite de palma 1%

Indica que aglutinantes ricos en carbohidratos favorecen la cohesión del pellet durante la compresión.

Pérdida de partículas finas en almacenamiento

- **Mejor comportamiento:** Melaza 100 ml/kg (menor pérdida)
- **Peor comportamiento:** Aceite de palma 1%

La melaza genera pellets más estables frente a vibraciones y manipulación.

Solubilidad del pellet

- **Mayorsolubilidad:** Aceite de palma 1%
- **Menor solubilidad (mejor estabilidad):** Melaza 100 ml/kg y Almidón 6%

Exceso de grasa reduce cohesión estructural del pellet.

Dureza del pellet

- **Mayor dureza:** Almidón 6%
- **Menor dureza:** Aceite de palma 1%

La gelatinización del almidón durante el pelletizado incrementa la resistencia mecánica.

#### ANOVA (Análisis de Varianza)

Se aplicó ANOVA de una vía considerando el tratamiento como factor.

| Variable                        | F<br>calculado | p-valor    | Interpretación                          |
|---------------------------------|----------------|------------|-----------------------------------------|
| Pérdida finos<br>pelletizado    | 737.08         | <<br>0.001 | Diferencias altamente<br>significativas |
| Pérdida finos<br>almacenamiento | 201.12         | <<br>0.001 | Diferencias altamente<br>significativas |
| Solubilidad                     | 1041.26        | <<br>0.001 | Diferencias altamente<br>significativas |
| Dureza                          | 140.32         | <<br>0.001 | Diferencias altamente<br>significativas |

Existen diferencias estadísticas altamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos para todas las variables evaluadas.

## Prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) – Interpretación técnica

La interpretación es la siguiente:

### Comparaciones múltiples (Tukey)

Pérdida de finos (pelletizado y almacenamiento)

- **Melaza 100 ml/kg y Almidón 6%** forman un grupo estadísticamente superior (menor pérdida).
- **Aceite de palma 1%** es significativamente diferente y peor.

Solubilidad

- **Aceite de palma 1%** difiere significativamente de todos los demás tratamientos.
- **Melaza 100 ml/kg y Almidón 6%** no difieren entre sí → mejor estabilidad.

Dureza

- **Almidón 6%** presenta una dureza significativamente mayor (grupo A).
- **Aceite de palma 1%** pertenece al grupo inferior (menor dureza).

Los resultados indican que el tipo y la dosis de aglutinante influyen significativamente en la calidad física de los pellets. La melaza a 100 ml/kg y el almidón al 6% mostraron el mejor desempeño, reduciendo la generación de partículas finas, mejorando la dureza y disminuyendo la solubilidad del pellet. Por el contrario, el aceite de palma, especialmente al 1%, presentó menor eficiencia como aglutinante estructural.

## **CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

- El tipo y la dosis de aglutinante influyeron de manera altamente significativa ( $p < 0,05$ ) sobre la calidad física de los pellets para alimentación animal, evidenciando que la selección adecuada del aglutinante es un factor determinante en el proceso de pelletizado.
- La melaza a una dosis de 100 ml/kg de balanceado presentó el mejor desempeño integral, al registrar menores pérdidas de partículas finas tanto durante el pelletizado como en el almacenamiento, además de una baja solubilidad y una adecuada dureza del pellet, lo que indica una mayor estabilidad estructural.
- El almidón al 6% mostró la mayor dureza del pellet, confirmando su elevada capacidad aglutinante, atribuida a la gelatinización del almidón durante el proceso de pelletizado, lo cual favorece la cohesión interna del pellet.
- El aceite de palma, especialmente a la dosis del 1%, presentó el menor desempeño como aglutinante estructural, mostrando mayores pérdidas de partículas finas, mayor solubilidad y menor dureza, debido a su efecto lubricante que limita la compactación efectiva del material.
- Los resultados confirman que los aglutinantes de naturaleza carbohidratada (melaza y almidón) son más eficientes que los aglutinantes lipídicos para mejorar la calidad física de pellets destinados a alimentación animal.
- La baja variabilidad observada entre repeticiones demuestra que el proceso experimental fue estable y reproducible, validando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de melaza a una dosis de 100 ml/kg de balanceado en el proceso de pelletizado en el Centro Finca Tigrillo, debido a su alta eficiencia para mejorar la calidad física del pellet y reducir pérdidas durante el manejo y almacenamiento.
- Para formulaciones donde se requiera mayor resistencia mecánica del pellet, se recomienda la incorporación de almidón al 6%, especialmente en sistemas de alimentación que impliquen transporte prolongado o manipulación frecuente.
- En caso de utilizar aceite de palma, se recomienda combinarlo con aglutinantes de tipo carbohidratado o evaluar dosis superiores y condiciones de proceso (humedad y temperatura) que permitan mejorar la cohesión del pellet.
- Se sugiere realizar estudios complementarios que evalúen el efecto de los aglutinantes sobre el valor nutricional, digestibilidad y palatabilidad del alimento, con el fin de obtener una evaluación integral del desempeño productivo.
- Para futuras investigaciones, se recomienda incluir variables adicionales como el índice de durabilidad del pellet (PDI), contenido de humedad y eficiencia energética del proceso de pelletizado.
- Se recomienda evaluar el comportamiento de los pellets bajo condiciones reales de transporte y almacenamiento, simulando escenarios de campo, para validar los resultados obtenidos a escala experimental.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcivar Macías, J. A. (2025). *Diseño y simulación del proceso de elaboración de alimentos balanceados*.
- Aulle, A., & Girard, J. (2018). Durabilidad y resistencia mecánica del pellet en la fabricación de alimentos balanceados. *Revista de Tecnología en Nutrición Animal*.
- Bolívar, U. E. (2022). *Evaluación del aceite de palma como lubricante y aglutinante en pellets de alimento animal*. Informe de investigación agroindustrial.
- Castillo, D., & Herrera, M. (2020). Efecto de los aglutinantes naturales en la calidad física del pellet en alimentos balanceados. *Revista Agroindustrial del Ecuador*.
- Cevallos, M., & Zambrano, P. (2022). *Evaluación del índice de durabilidad y calidad física de pellets en alimentos balanceados*. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Chávez, R., & Morán, J. (2020). Influencia de la melaza en la compactación y durabilidad del pellet en alimentos para animales. *Revista de Ciencias Pecuarias*.
- ESPOCH. (2022). *Efecto de la temperatura y humedad de acondicionamiento en la durabilidad del pellet*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- FAO. (2021). Manual de buenas prácticas para la industria de alimentos balanceados. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- García, A., & Torres, F. (2019). Propiedades físicas del pellet en alimentos balanceados y su relación con los aditivos tecnológicos. *Revista Tecnológica Agropecuaria*.

- García, F., & Herrera, L. (2020). *Factores que influyen en la calidad física del pellet en la industria de alimentos balanceados*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Gómez, P., Andrade, J., & Lema, V. (2020). Gelatinización del almidón de yuca y su efecto como aglutinante en pellets para animales. *Revista Agroproductiva*.
- La Torre Rueda, K. (2018). *Evaluación de aglutinantes sobre la calidad física del pellet para alimentación animal*.
- Loor Mendoza, N. (2016). *Fundamentos de los alimentos peletizados en la nutrición animal*. Obtenido de Dominio de las Ciencias: <https://doi.org/10.23857/dc.v2i4.257>
- Mendoza Mendieta, E. A. (2025). *Obtención y evaluación de pellets para alimentación animal*.
- Paredes, C., & Quiroz, M. (2021). Aceites vegetales como lubricantes y aglutinantes en el proceso de pelletización. *Revista Técnica Agropecuaria del Ecuador*.
- Paredes, C., & Quiroz, M. (2021). *Efecto del aceite de palma sobre la calidad física del pelletizado en alimentos balanceados para porcinos*.
- Pincay, G., & Zamora, L. (2021). *Uso de aglutinantes vegetales locales en la elaboración de alimentos balanceados: Un enfoque sostenible*. *Revista Agroecológica del Litoral*.
- Rodríguez, H., & López, V. (2017). *Cohesión y resistencia mecánica del pellet en función de los aditivos y condiciones de proceso*. *Revista de Ingeniería Agroindustrial*.

Thomas, M. (1996). Calidad física de los piensos peletizados: criterios para la evaluación. *Animal Feed Science and Technology*.

Universidad Técnica de Machala (UTMACH). (2023). *Efecto del almidón de yuca en la durabilidad del pellet en alimentos balanceados*. Informe técnico académico.

## ANEXOS

**Tabla 2.-** Datos con 5 repeticiones por tratamiento.

| Tratamiento     | Rep | Perdida finos<br>pelletizado<br>(%) | Perdida finos<br>almacenamiento<br>(%) | Solubilidad<br>(%) | Dureza (kgf) |
|-----------------|-----|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|--------------|
| Almidón 3%      | 1   | 18.2                                | 12.5                                   | 22.1               | 3.8          |
| Almidón 3%      | 2   | 17.9                                | 11.8                                   | 21.8               | 3.7          |
| Almidón 3%      | 3   | 18.5                                | 12.3                                   | 22.5               | 3.9          |
| Almidón 3%      | 4   | 18.0                                | 12.0                                   | 22.0               | 3.8          |
| Almidón 3%      | 5   | 18.3                                | 12.6                                   | 22.2               | 3.7          |
| Almidón 6%      | 1   | 14.1                                | 10.2                                   | 18.9               | 4.2          |
| Almidón 6%      | 2   | 14.5                                | 10.1                                   | 19.1               | 4.3          |
| Almidón 6%      | 3   | 13.9                                | 10.4                                   | 18.7               | 4.1          |
| Almidón 6%      | 4   | 14.3                                | 10.0                                   | 19.0               | 4.2          |
| Almidón 6%      | 5   | 14.0                                | 10.3                                   | 18.8               | 4.3          |
| Melaza 50ml/kg  | 1   | 16.7                                | 11.9                                   | 20.5               | 3.6          |
| Melaza 50ml/kg  | 2   | 16.5                                | 11.5                                   | 20.3               | 3.5          |
| Melaza 50ml/kg  | 3   | 16.9                                | 12.1                                   | 20.7               | 3.6          |
| Melaza 50ml/kg  | 4   | 16.6                                | 11.8                                   | 20.4               | 3.5          |
| Melaza 50ml/kg  | 5   | 16.8                                | 11.7                                   | 20.6               | 3.6          |
| Melaza 100ml/kg | 1   | 13.2                                | 9.5                                    | 17.8               | 3.9          |
| Melaza 100ml/kg | 2   | 13.5                                | 9.1                                    | 17.6               | 4.0          |
| Melaza 100ml/kg | 3   | 13.1                                | 9.3                                    | 17.7               | 3.8          |
| Melaza 100ml/kg | 4   | 13.4                                | 9.2                                    | 17.5               | 4.0          |
| Melaza 100ml/kg | 5   | 13.3                                | 9.4                                    | 17.9               | 3.9          |
| Aceite Palma 1% | 1   | 19.4                                | 13.1                                   | 24.6               | 3.2          |
| Aceite Palma 1% | 2   | 19.6                                | 13.4                                   | 24.8               | 3.1          |
| Aceite Palma 1% | 3   | 19.2                                | 13.0                                   | 24.5               | 3.2          |
| Aceite Palma 1% | 4   | 19.7                                | 13.3                                   | 24.9               | 3.1          |
| Aceite Palma 1% | 5   | 19.3                                | 12.9                                   | 24.7               | 3.2          |
| Aceite Palma 3% | 1   | 17.8                                | 11.8                                   | 22.9               | 3.4          |
| Aceite Palma 3% | 2   | 17.6                                | 11.6                                   | 22.7               | 3.5          |

|                 |   |      |      |      |     |
|-----------------|---|------|------|------|-----|
| Aceite Palma 3% | 3 | 17.9 | 11.9 | 22.8 | 3.4 |
| Aceite Palma 3% | 4 | 17.7 | 11.7 | 22.6 | 3.5 |
| Aceite Palma 3% | 5 | 17.5 | 11.4 | 22.5 | 3.4 |



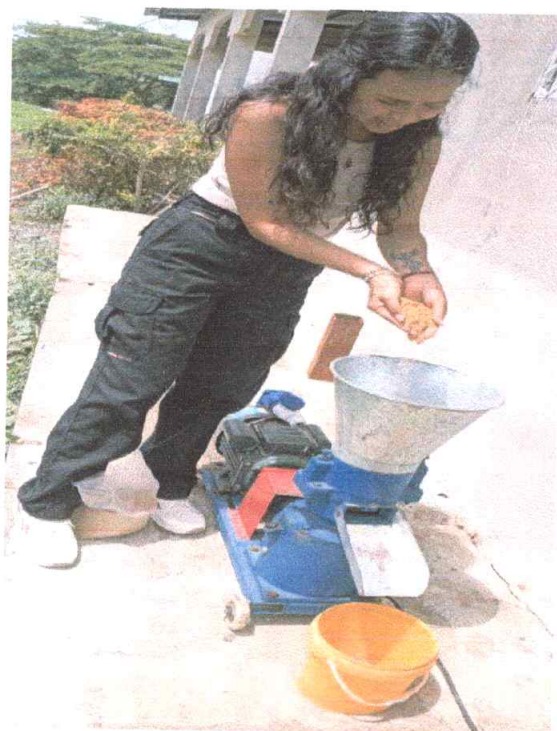
**Anexo 1.-** Máquina pelletizadora utilizada en el proceso experimental de pelletizado en la Finca Tigrillo.



**Anexo 2.-** Preparación de la máquina peletizadora para el proceso de pelletizado del alimento balanceado.



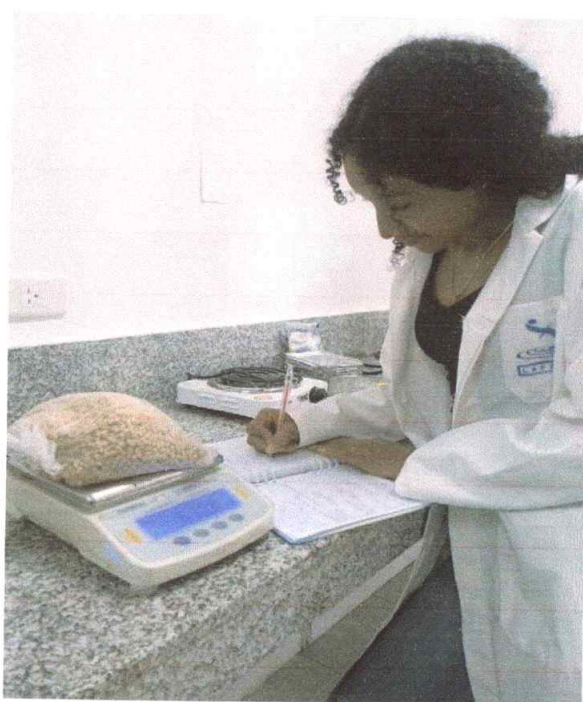
**Anexo 3.-** Alimento balanceado sin pelletizar previo al proceso, asociado a mayores pérdidas de finos y menor dureza en comparación con los tratamientos pelletizados evaluados.



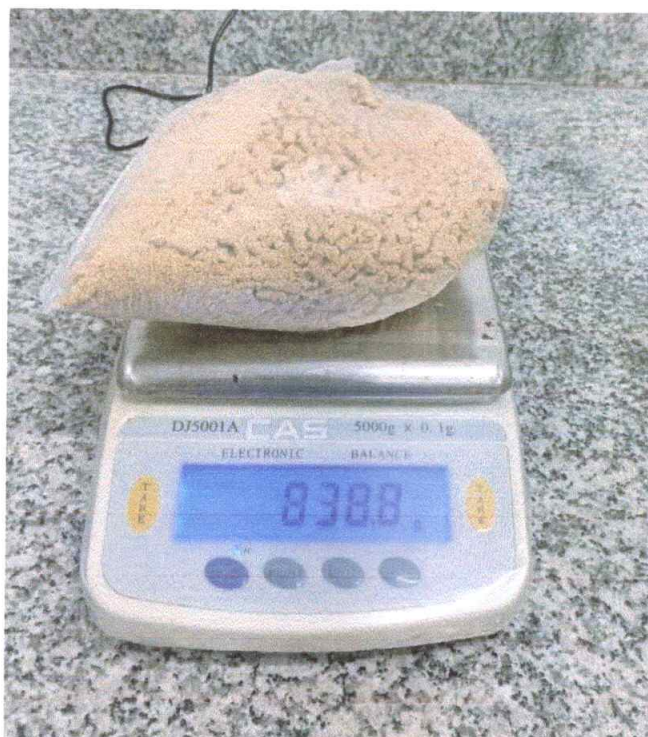
**Anexo 4.-** Agregación del alimento balanceado en la máquina antes del proceso de pelletizado.



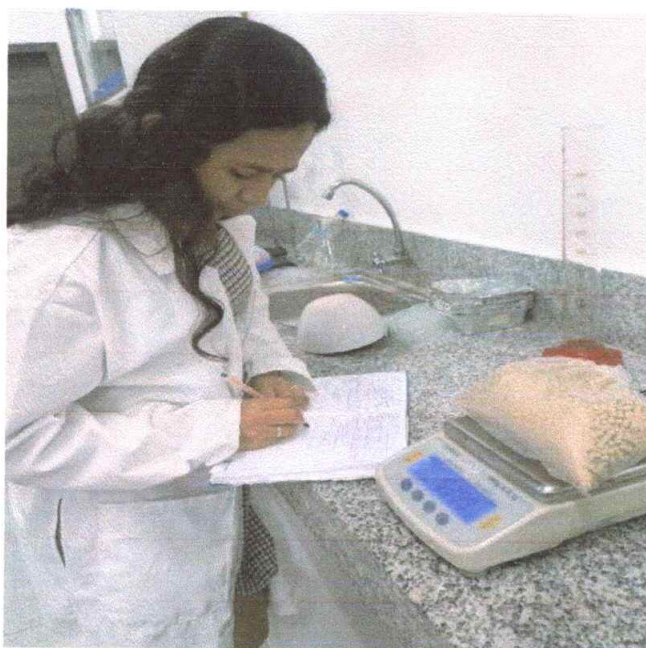
**Anexo 5.-** Alimento balanceado ya pelletizado, con pellets formados y menor presencia de material suelto.



**Anexo 6.-** Pesaje de los tratamientos para porcentaje de partículas finas.



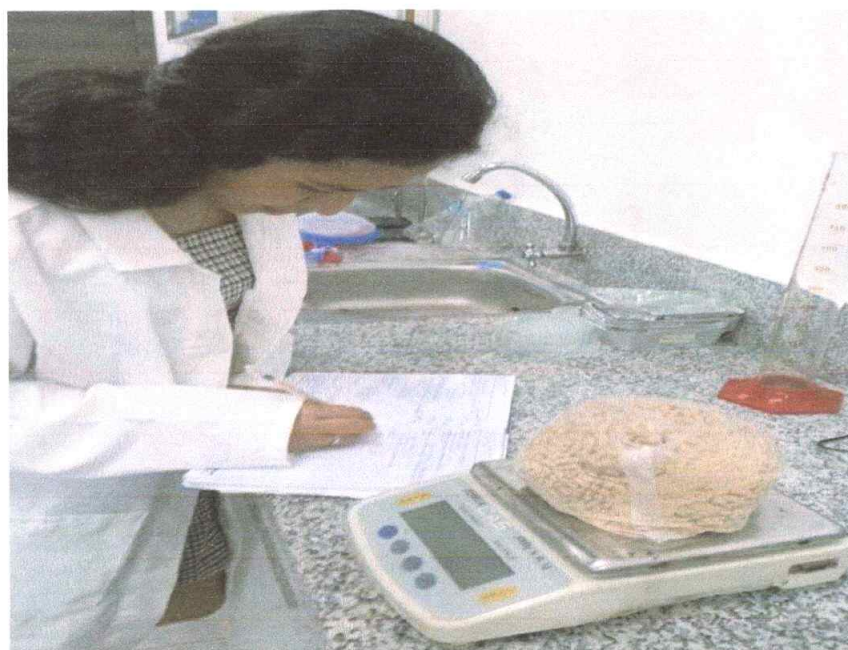
**Anexo 7.-** Pesaje de los tratamientos para porcentajes de partículas finas



**Anexo 8.-** Pesaje de los tratamientos para porcentajes de partículas finas



**Anexo 10.-** Pesaje de los tratamientos para porcentajes de partículas finas



**Anexo 9.-** Pesaje de los tratamientos para porcentajes de partículas finas