

Lizbeth Burgos Puitiza, Alejandro Wilber Padilla Sevillano,  
Mayra Karina Gutiérrez Araujo, Segundo Juan Saldaña Saavedra,  
Pedro Miguel Vásquez Mendoza, Nilton Richard Mecola Guadamos,  
Jorge William Ortiz Linares

# **DE RESIDUO A RECURSOS**

Aprovechamiento del Lodo de  
Palma Aceitera



**Religación**  
Press

Lizbeth Burgos Puitiza | Alejandro Wilber Padilla Sevillano | Mayra Karina  
Gutiérrez Araujo | Segundo Juan Saldaña Saavedra | Pedro Miguel Vásquez  
Mendoza | Nilton Richard Mecola Guadamos | Jorge William Ortiz Linares

# De Residuo a Recursos

*Aprovechamiento del Lodo de Palma Aceitera*



Quito, Ecuador  
2025

Lizbeth Burgos Puitiza | Alejandro Wilber Padilla Sevillano | Mayra Karina  
Gutiérrez Araujo | Segundo Juan Saldaña Saavedra | Pedro Miguel Vásquez  
Mendoza | Nilton Richard Mecola Guadamos | Jorge William Ortiz Linares

# **From Waste to Resources**

*Utilizing Oil Palm Sludge*



Quito, Ecuador  
2025

# Religación Press

[Ideas desde el Sur Global]

## Equipo Editorial / Editorial team

Ana B. Benalcázar  
Editora Jefe / Editor in Chief  
Felipe Carrión  
Director de Comunicación / Scientific Communication Director  
Melissa Díaz  
Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator  
Sarahi Licango Rojas  
Asistente Editorial / Editorial Assistant

## Consejo Editorial / Editorial Board

Jean-Arsène Yao  
Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova  
Fabiana Parra  
Mateus Gamba Torres  
Siti Mistima Maat  
Nikoleta Zampaki  
Silvina Sosa

Religación Press, es parte del fondo editorial del  
Centro de Investigaciones CICSHAL-RELIGACIÓN |  
Religación Press, is part of the editorial collection  
of the CICSHAL-RELIGACIÓN Research Center |  
Diseño, diagramación y portada | Design, layout and  
cover: Religación Press.  
CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.  
Correo electrónico | E-mail: [press@religacion.com](mailto:press@religacion.com)  
[www.religacion.com](http://www.religacion.com)

Disponible para su descarga gratuita en  
| Available for free download at | [https://  
press.religacion.com](https://press.religacion.com)

Este título se publica bajo una licencia de  
Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)  
This title is published under an Attribution  
4.0 International (CC BY 4.0) license.



## CITAR COMO [ APA 7 ]

Burgos Puitiza, L., Padilla Sevillano, A. W., Gutiérrez Araujo, M. K., Saldaña Saavedra, S. J., Vásquez Mendoza, P. M., Mecola Guadamos, N. R., y Ortiz Linares, J. W. (2025). *De Residuo a Recursos. Aprovechamiento del Lodo de Palma Aceitera*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.321>

Derechos de autor | Copyright: Religación Press, Lizbeth Burgos Puitiza, Alejandro Wilber Padilla Sevillano, Mayra Karina Gutiérrez Araujo, Segundo Juan Saldaña Saavedra, Pedro Miguel Vásquez Mendoza, Nilton Richard Mecola Guadamos, Jorge William Ortiz Linares  
Primera Edición | First Edition: 2025  
Editorial | Publisher: Religación Press  
Materia Dewey | Dewey Subject: 628.4 - Tecnología de desechos. sanitarios públicos. limpieza de calles  
Clasificación Thema | Thema Subject Categories: TQSR - Tratamiento y eliminación de residuos | KNA - Agroindustria y sector primario | TVB - Ciencia agrícola  
BISAC: TEC010000  
Público objetivo | Target audience: Profesional / Académico | Professional / Academic  
Colección | Collection: Ingeniería  
Soporte | Format: PDF / Digital  
Publicación | Publication date: 2025-07-30  
ISBN: 978-9942-561-53-4  
Título: De Residuo a Recursos. Aprovechamiento del Lodo de Palma Aceitera  
From Waste to Resources. Utilization of Oil Palm Sludge  
De residuo a recurso. Aproveitamento do lodo da palma oleaginosa

Nota obra derivada: El libro retoma y amplía, mediante el trabajo colaborativo de un grupo de investigadores, los hallazgos y aportes presentados en la tesis original, enriqueciendo su contenido con nuevos enfoques, análisis y perspectivas que profundizan en los temas abordados “Influencia de temperatura y tiempo de secado de lodo de palma en su potencial nutricional para ganado vacuno” presentada ante la Universidad Nacional de Trujillo por Lizbeth Burgos Puitiza en 2025.

Note: The book takes up and expands, through the collaborative work of a group of researchers, the findings and contributions presented in the original dissertation, enriching its content with new approaches, analyses and perspectives that deepen the topics addressed. “Influencia de temperatura y tiempo de secado de lodo de palma en su potencial nutricional para ganado vacuno” presented to the Universidad Nacional de Trujillo by Lizbeth Burgos Puitiza in 2025.

## **Revisión por pares**

La presente obra fue sometida a un proceso de evaluación mediante el sistema de dictaminación por pares externos bajo la modalidad doble ciego. En virtud de este procedimiento, la investigación que se desarrolla en este libro ha sido avalada por expertos en la materia, quienes realizaron una valoración objetiva basada en criterios científicos, asegurando con ello la rigurosidad académica y la consistencia metodológica del estudio.

## **Peer Review**

This work was subjected to an evaluation process by means of a double-blind peer review system. By virtue of this procedure, the research developed in this book has been endorsed by experts in the field, who made an objective evaluation based on scientific criteria, thus ensuring the academic rigor and methodological consistency of the study.



## Sobre los autores/ About the authors

### **Lizbeth Burgos Puitiza**

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú  
<https://orcid.org/0009-0000-5946-262X>  
lburgosp@unitru.edu.pe  
Burgos.puitiza.lizbeth.99@gmail.com

### **Alejandro Wilber Padilla Sevillano**

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú  
<https://orcid.org/0000-0003-4764-4068>  
apadilla@unitru.edu.pe  
alexandropaddi@gmail.com

### **Mayra Karina Gutiérrez Araujo**

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-1599-2386>  
mgutierrezra@unitru.edu.pe  
mayragutierrezaraujo16@gmail.com

### **Segundo Juan Saldaña Saavedra**

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-1338-2015>  
ssaldana@unitru.edu.pe  
jhonsaldanasaavedra@gmail.com

### **Pedro Miguel Vásquez Mendoza**

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú  
<https://orcid.org/0009-0003-0485-197X>  
pvasquezm@unitru.edu.pe  
pedromigueltasquezmendoza@gmail.com

### **Nilton Richard Mecola Guadamos**

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú  
<https://orcid.org/0000-0001-5069-271X>  
mmecola@unitru.edu.pe  
niltitomecola@hotmail.com

### **Jorge William Ortiz Linares**

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-0074-4873>  
jortiz@unitru.edu.pe  
ortizlin@gmail.com



## Resumen

Este libro presenta un estudio donde se analizó cómo la temperatura y el tiempo de secado afectan el valor nutricional del lodo de palma como ingrediente para alimentos de ganado. Se evaluaron diferentes combinaciones de calor y duración del secado, observando que estos factores influyen en la humedad y los nutrientes, especialmente las proteínas. El tratamiento más eficiente fue el secado a 75°C durante cuatro horas, ya que mantuvo un buen balance entre calidad nutricional y costos. Además, mezclar el lodo con torta de palmiste mejoró su perfil nutricional. Aunque es viable para ganado lechero, su alto contenido de fibra limita su uso en ganado de engorde. La investigación destaca la importancia de controlar el secado para aprovechar este subproducto en la industria ganadera.

Palabras claves: lodo de palma, secado, nutrición, ganado, alimento balanceado.

## Abstract

This book presents a study analyzing how temperature and drying time affect the nutritional value of palm sludge as an ingredient in livestock feed. Different combinations of heat and drying duration were evaluated, observing that these factors influence moisture and nutrients, especially proteins. The most efficient treatment was drying at 75°C for four hours, as it maintained a good balance between nutritional quality and costs. In addition, mixing the sludge with palm kernel cake improved its nutritional profile. Although it is viable for dairy cattle, its high fiber content limits its use in beef cattle. The research highlights the importance of controlling drying to take advantage of this by-product in the livestock industry.

Keywords: palm sludge, drying, nutrition, livestock, balanced feed.

## Resumo

Este livro apresenta um estudo que analisou como a temperatura e o tempo de secagem afetam o valor nutricional do lodo de palma como ingrediente para rações animais. Foram avaliadas diferentes combinações de calor e duração da secagem, observando-se que esses fatores influenciam a umidade e os nutrientes, especialmente as proteínas. O tratamento mais eficiente foi a secagem a 75 °C durante quatro horas, pois manteve um bom equilíbrio entre qualidade nutricional e custos. Além disso, misturar o lodo com torta de palmiste melhorou seu perfil nutricional. Embora seja viável para gado leiteiro, seu alto teor de fibra limita seu uso em gado de corte. A pesquisa destaca a importância de controlar a secagem para aproveitar este subproduto na indústria pecuária.

Palavras-chave: lama de palma, secagem, nutrição, gado, ração balanceada.

## Contenido

Revisión por pares	6
Peer Review	6
Sobre los autores/ About the authors	8
Resumen	10
Abstract	10
Resumo	11
<b>Capítulo 1</b>	19
Introducción	19
Agroindustria	19
Lodo de palma	20
<b>Capítulo 2</b>	27
Residuos de la palma aceitera: problemática y oportunidades de valorización	27
Origen de palma aceitera	27
Cultivo de palma en el Perú	28
Fruto de palma aceitera	28
Aceite crudo de palma	29
Aceite de palmiste	30
Torta de palmiste	31
Propiedades químicas de palma aceitera	32
Procesos de extracción de aceite crudo de palma	33
Recepción de fruto	33
Esterilización de palma aceitera	33
Desfrutado	34
Digestión y prensado	35
Clarificación	36
Palmisteria	36
Palmiste	36
Almacenamiento	37
Composición química del lodo de palma	38
Uso del lodo de palma	40
Procesos de Industrialización del Lodo de Palma	41
Requisitos de Conservación	41
Nutrición en ganado vacuno	43
Del residuo al recurso: Transformando el lodo de palma en alimento para el ganado	45
Objetivos: Más allá del ensayo y error	46
Del problema a la solución: Por qué este libro transformará la industria palmera y ganadera del Perú	46
<b>Capítulo 3</b>	49
Metodología para Nutrición Ganadera Sostenible	49
Objeto de estudio	50
Materiales, reactivos, equipos e instrumentos	50
Materiales	50
Equipos e instrumentos	50
Transformando Residuos en Recursos: Metodología para Convertir el Lodo de Palma en Alimento Ganadero	50

Enfoque Metodológico	50
Materiales de Estudio	51
Innovador Diseño Experimental	51
Procedimiento experimental	53
a. Muestreo inicial	53
b. Preparación de muestras	53
c. Secado de muestras	54
d. Molienda y caracterización química	54
e. Formulación del alimento balanceado	54

<b>Capítulo 4</b>	56
El Potencial del Lodo de Palma en Alimentos Ganaderos	56
Valor nutricional de lodo de palma	57
Humedad	57
Proteína	62
Grasa	66
Fibra	70
Ceniza	75
Calcio	79
Fósforo	84
Selección de mejor tratamiento	88
Análisis de costos de rentabilidad	89
Análisis Económico de la torta de Tridecanter Lodo de palma	102
a. Valor Presente del Flujo de Caja (VP Flujo 1 - 10 años)	102
b. VAN / INV (Relación Valor Actual Neto sobre Inversión)	103
c. TIR (Tasa Interna de Retorno)	103
d. TIR - COK (Diferencia entre TIR y Costo de Capital - COK)	103
e. Recuperación de la Inversión (Payback o PRI - Período de Recuperación de la Inversión)	104
Formulación de mezcla torta de tridecanter lodo de palma y torta de palmiste	108
Análisis Económico de la mezcla de Torta de tridecanter lodo de palma + Torta de palmiste.	111
Conclusiones	115
Recomendaciones	116
<b>Referencias</b>	119

## Tablas

Tabla 1. Composición nutricional del lodo de palma.	21
Tabla 2. Contenido de palma aceitera	32
Tabla 3. Composición química del lodo de palma	39
Tabla 4. Análisis de micro y macronutrientes en Lodo de Palma	39
Tabla 5. Niveles de las variables de investigación	52
Tabla 6. Matriz de diseño de investigación	52
Tabla 7. Estándares recomendados de valor nutricional para ganado vacuno	88
Tabla 8. Análisis de costo de inclusión	99
Tabla 9. Proyección de consumo anual de torta de tridecanter	101
Tabla 10. Inversión Inicial	104
Tabla 11. Ingresos y egresos	105
Tabla 12. Indicadores de rentabilidad	106
Tabla 13. Composición nutricional de Torta de Tridecanter lodo de palma y Torta de palmiste	109
Tabla 14. Composición nutricional de composiciones de Torta de Tridecanter lodo de palma y Torta de palmiste	110
Tabla 15. Ingresos y egresos para Torta de Tridecanter lodo de palma y Torta de palmiste	112
Tabla 16. Indicadores de rentabilidad para Torta de Tridecanter lodo de palma y Torta de palmiste	113

## Figuras

Figura 2. Estructura de fruto de palma aceitera	29
Figura 3. Aceite crudo de palma	30
Figura 4. Aceite de palmiste	31
Figura 5. Torta de palmiste	32
Figura 6. Esterilización de fruto de palma	34
Figura 7. Desfrutado de fruto de palma	35
Figura 8. Diagrama de flujo CPO	38
Figura 11. Lodo de palma	40
Figura 12. Diagrama de procedimiento experimental	53
Figura 13. Humedad promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	57
Figura 14. Análisis de Varianza de humedad de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	59
Figura 16. Proteína promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	62
Figura 17. Análisis de Varianza de proteína de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	63
Figura 18. Prueba Tukey de proteína de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	64
Figura 19. Grasa promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	66
Figura 20. Análisis de Varianza de grasa de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	67
Figura 22. Fibra promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	70
Figura 23. Análisis de Varianza de fibra de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	72
Figura 24. Prueba Tukey de fibra de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	73
Figura 25. Ceniza promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	75
Figura 26. Análisis de Varianza de ceniza de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	76

Figura 27. Prueba Tukey de ceniza de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	78
Figura 28. Calcio promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	79
Figura 29. Análisis de Varianza de calcio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	81
Figura 30. Prueba Tukey de calcio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	82
Figura 31. Fosforo promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	84
Figura 32. Análisis de Varianza de fosforo de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	85
Figura 33. Prueba Tukey de fosforo de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado	87
Figura 34. Matriz de aporte Nutricional de la torta de tridecanter de palma	90
Figura 35. Dieta balanceada para cerdos en gestación con y sin inclusión de torta de tridecanter	90
Figura 36. Nutrientes de dieta para cerdos en gestación con y sin inclusión de torta de tridecanter	91
Figura 37. Dieta balanceada para cerdos en lactancia con y sin inclusión de torta de tridecanter	92
Figura 38. Nutrientes de dieta para cerdos en lactancia con y sin inclusión de torta de tridecanter	93
Figura 39. Dieta balanceada para producción de vacas lecheras con y sin inclusión de torta de tridecanter	94
Figura 40. Nutrientes de dieta balanceada para producción de vacas lecheras con y sin inclusión de torta de tridecanter	94
Figura 41. Dieta balanceada para vacas pre parto con y sin inclusión de torta de tridecanter	95
Figura 42. Nutrientes de dieta balanceada para vacas pre parto con y sin inclusión de torta de tridecanter	96
Figura 43. Dieta balanceada para gallinas de postura sin inclusión de torta de tridecanter	97
Figura 44. Dieta balanceada para gallinas de postura con inclusión de torta de tridecanter	97
Figura 45. Nutrientes y raciones de dieta balanceada para gallinas de postura sin inclusión de torta de tridecanter	98

Figura 46. Nutrientes y raciones de dieta balanceada para gallinas de postura con inclusión de torta de tridecanter	98
Figura 47. Análisis del Valor Actual Neto (VAN) a Diferentes Tasas	107
Figura 48. Análisis del Valor Actual Neto (VAN) a Diferentes Tasas para Torta de Tridecanter lodo de palma y Torta de palmiste	114



# Capítulo 1

## Introducción

---

### Agroindustria

Actualmente, en el Perú existen plantas de la agroindustria dedicadas al procesamiento de la palma aceitera para la obtención de aceite crudo de palma, cuya fabricación anual alcanza aproximadamente 300 000 toneladas, lo que representa el 0.41% de la producción mundial (Agraria.pe, 2024). Esta actividad, que se concentra principalmente en las regiones de San Martín, Ucayali y Loreto, genera importantes beneficios económicos y sociales, proporcionando más de 17000 empleos directos y 25,000 indirectos, beneficiando a más de 7,000 familias (Agraria.pe, 2023). En 2018, la palma aceitera simbolizó el 2% del PIB de la selva peruana, con contribuciones regionales del 4% en San Martín, 1.5% en Ucayali, 0.8% en Loreto y 0.2% en Huánuco (Andina, 2018), lo que resalta su relevancia dentro del sector agroindustrial del país.

Sin embargo, el procesamiento de la palma aceitera también conlleva la generación de grandes volúmenes de residuos, tales como efluentes, lodos, escobajos y fibras, los cuales pueden convertirse en agentes contaminantes si no son gestionados adecuadamente. Aunque algunos subproductos, como la almendra y la fibra, tienen aplicaciones industriales, el lodo final del proceso de extracción del aceite es frecuentemente desechado sin aprovechamiento alguno. Su acumulación y disposición inadecuada pueden causar impactos que repercuten negativamente al medio ambiente, contribuyendo a la contaminación

del suelo y fuentes hídricas por el contenido de materia orgánica alto y carga biológica (Andina, 2018).

Un caso representativo de esta problemática se observa en la empresa Industrias del Shanusi, donde el lodo residual es transportado a botaderos, generando costos adicionales de logística y una disposición final que no aprovecha el potencial de este subproducto. Este problema no solo tiene implicancias económicas, sino que también representa una oportunidad desaprovechada de darle un valor agregado a este residuo mediante su reutilización en sectores productivos, como la alimentación animal.

A nivel internacional, existen iniciativas exitosas de aprovechamiento de residuos agroindustriales. En Colombia, por ejemplo, la empresa Palmas del Cesar ha implementado estrategias de economía circular, reutilizando subproductos del procesamiento de la palma para la producción de biocompost y biogás, lo que ha permitido reducir la contaminación y optimizar los recursos generados en la agroindustria (El País, 2024). Estos antecedentes demuestran que es posible transformar los residuos en insumos útiles si se emplean tecnologías y estrategias adecuadas.

Ante esta situación, surge la necesidad de investigar alternativas para el aprovechamiento del lodo de palma aceitera, considerando su posible uso en la nutrición del ganado vacuno. Para ello, es importante evaluar cómo la temperatura y el tiempo de secado afectan su composición y propiedades nutricionales, con el objetivo de reducir su humedad y mejorar su potencial como suplemento para la ganadería. A través de esta investigación, se busca no solo mitigar el impacto negativo frente al medioambiente causado por el acopio de estos residuos, sino también proporcionar una alternativa sostenible que optimice el manejo de subproductos agroindustriales y contribuya al desarrollo de modelos más eficientes de producción en la industria palmicultora peruana.

## **Lodo de palma**

Chávez (2022), enfatiza la importancia de optimizar los recursos del sistema productivo y buscar alternativas de insumos para reducir los costos de alimentación en rumiantes, como bovinos y ovinos. Una de estas alternativas es el lodo de palma, un subproducto agroindustrial rico en macro y micronutrientes, caracterizado por su alto valor nutricional y palatabilidad, especialmente en bovinos. Varios estudios han verificado que su empleo en la dieta de estos animales puede ser una estrategia viable para la suplementación en sistemas de pastoreo, favoreciendo un aumento en la ganancia de peso diaria.

Para garantizar un adecuado aprovechamiento del lodo de palma como alimento animal, su secado es un factor crítico, ya que presenta un contenido de humedad inicial elevado (90-95%), el cual debe reducirse por debajo del 75% para mejorar su estabilidad y conservación (Chávez, 2022). Existen diversos métodos para este proceso, incluyendo evaporación en presencia de un gas, adsorción en un sólido o ebullición sin aire, los cuales influyen en las propiedades finales del material seco.

El lodo de palma se origina a través de los desechos generados al extraer aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*), un cultivo ampliamente desarrollado en regiones tropicales. Su obtención se realiza mediante decantación, lo que da lugar a una masa de color marrón amarillento, con un aroma característico y una alta aceptabilidad en la alimentación animal (Chávez, 2022).

Tabla 1. Composición nutricional del lodo de palma.

Contenido	Base húmeda	Base seca
Contenido Graso (%)	3.87	17.94
Proteína MIN (%)	4.67	21.66
Fibra (%)	7.85	36.41
Cenizas (%)	2.71	12.59
Humedad MAX (%)	78.44	0

Fuente: Chavez (2022).

En resumen, el aprovechamiento del lodo de palma como suplemento alimenticio para el ganado vacuno se basa en antecedentes teóricos relacionados con la nutrición animal, la valoración nutricional de subproductos, la gestión de residuos agrícolas, la eficiencia en el empleo de recursos y su influencia medioambiental y económica. Estos antecedentes proporcionan el marco teórico necesario para investigar, desarrollar y aplicar prácticas sostenibles en la producción ganadera.

Valencia-Ordoñez (2013), analizó el proceso de transformación de un subproducto agroindustrial con alto impacto ambiental, convirtiéndolo en un recurso viable para la industria alimentaria animal. En este estudio, se evaluó el lodo residual al extraer aceite de palma roja, transformándolo en harina destinada a la alimentación de animales de corral. Se buscó desarrollar un producto orgánico que no solo contribuyera a disminuir la contaminación ambiental generada por la industria del aceite de palma africana, sino que también ofreciera

una alternativa nutricionalmente viable y económica. En la fase experimental, se determinó la influencia de diferentes combinaciones de temperatura (65°C, 85°C y 100°C) y tiempo de secado (5 h, 6 h y 7 h) sobre las propiedades bromatológicas de la harina de lodo de palma. Los resultados indicaron que la mejor combinación fue 65°C durante 6 horas, obteniendo un producto con óptimas características nutricionales y una mayor eficiencia alimenticia. Posteriormente, en una evaluación realizada en la finca Gran Carlos, se suministró la harina de lodo de palma a vacas lecheras durante 35 días consecutivos. Se establecieron tres grupos experimentales con diferentes proporciones de harina de lodo de palma, mientras que un cuarto grupo sirvió como testigo con una dieta estándar basada en pasto *Brachiaria*. Los resultados demostraron un incremento significativo en la obtención de leche, siendo la dieta con 50% la más efectiva de harina de a partir de lodo proveniente de palma. Además, se evidenció una reducción en los costos de alimentación, lo que sugiere el potencial del lodo de palma como un insumo sostenible y económicamente viable en la industria pecuaria.

Pincay-Monserrate (2023), llevó a cabo una investigación centrada en la cotornicultura, donde se busca incrementar la producción de codornices, con el fin de aprovechar sus productos, como los huevos y la carne. En esta investigación, se buscó explorar el uso de alternativas alimenticias ricas en proteínas para mejorar el rendimiento de las codornices en una granja. En este contexto, se utilizó el lodo a partir de la palma, el cual es un subproducto industrial del aceite de palma, reconocido por sus buenas propiedades nutricionales y alta palatabilidad. La investigación se realizó mediante una serie de experimentos exhaustivos para determinar la viabilidad del lodo de palma como suplemento alimenticio para las codornices. Se tuvieron en cuenta las normas y recomendaciones internacionales sobre nutrición avícola, como las proporcionadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Asociación de Nutrición Avícola de Estados Unidos (USPOULTRY), para poder tener todo bajo los estándares de calidad y seguridad alimentaria. Los resultados indicaron que el lodo de palma es una opción prometedora para la alimentación de las codornices, debido a su contenido nutricional adecuado y su palatabilidad. Los valores numéricos mostraron un incremento significativo en la producción de huevos y el rendimiento de las codornices alimentadas con este suplemento en comparación con las dietas convencionales. En términos concretos, se observó un aumento del 20% en la producción de huevos y una mejora del 15% en la tasa de conversión alimenticia. Esta investigación subraya el potencial del lodo de palma como una alternativa viable y efectiva para optimizar la producción en la industria avícola.

Alva Cisterna-Miller et al. (2022), diseñaron una estrategia comercial orientada a la producción y venta de alimento balanceado destinado al ganado bovino en la región de Arequipa, proyecto que se presentó como ALBAVIC. La finalidad fue determinar si la propuesta era viable de forma económica, financiera y técnica, con la intención de establecer un modelo de negocio rentable y sostenible.

Para lograr este objetivo, se implementó una metodología combinando el análisis de información sectorial con herramientas de recolección de datos en campo. Se organizó una sesión de grupo focal con la participación de 15 personas. Además, se realizó una encuesta a 352 ganaderos de Arequipa, con el fin de conocer sus hábitos de consumo, necesidades específicas y factores determinantes en la elección de insumos para la alimentación de su ganado. El estudio reveló que en la región de Arequipa existe una demanda considerable de alimento balanceado para ganado, lo que indica un mercado con un alto potencial de desarrollo. Con base en los datos obtenidos, se estimó que en el primer año de comercialización se podrían vender aproximadamente 33 660 sacos de 40 kg cada uno. Además, las proyecciones sugieren un incremento sostenido en las ventas en los años posteriores, reflejando una tendencia positiva en la adopción del producto por parte de los ganaderos de la zona. La inversión inicial necesaria para iniciar las operaciones se calculó en S/ 965 308 soles. El análisis financiero reveló indicadores clave que demostraron la viabilidad del proyecto: el Valor Actual Neto fue de S/ 453 081 soles, la Tasa Interna de Retorno alcanzó el 35.97%, y el índice de costo-beneficio de 1.18. Estos resultados confirmaron que el proyecto “ALBAVIC” era rentable y viable, con un retorno de inversión estimado en aproximadamente tres años. Se concluyó que el proyecto era rentable de forma económica, financiera y técnica. Además, se sugirió realizar un análisis más detallado para evaluar la posibilidad de expandir la comercialización a otras regiones del país, lo cual podría aumentar la rentabilidad y ampliar el alcance del proyecto.

Martínez-Zambrano & Marcillo-Molina (2020), realizaron una investigación para evaluar el impacto nutricional y la capacidad de asimilación del lodo de palma en novillos de carne. Para ello, se recolectaron 3 kilogramos de lodo con el fin de someterlo a un análisis bromatológico detallado. En el experimento, se trabajó con 40 novillos de la raza Brangus X Charolais, distribuidos de manera aleatoria bajo un diseño al azar con un esquema bifactorial (4x3). En este diseño experimental se manipularon dos variables principales: la cantidad de lodo incorporada en el alimento, establecida en cuatro niveles (0, 5, 10 y 15 kg), y la duración del período de alimentación, definida en tres tiempos distintos (20, 40 y 60 días). Durante el estudio, se analizó la digestibilidad en intervalos de 0 a 48 horas, utilizando una vaca Holstein como referencia. Al término del experimento, se compararon los perfiles nutricionales con tablas de referencia, encontrando resultados similares. El estudio también evidenció que el perfil lipídico del lodo de palma presentaba un buen balance de ácidos grasos saturados, con aquellos insaturados. Para evaluar el impacto del suplemento en el crecimiento de los novillos, se llevó a cabo un análisis de varianza considerando el peso inicial de los animales. Los resultados indicaron que los novillos que recibieron 5 kilogramos de lodo durante 60 días alcanzaron el mayor peso registrado, con un promedio de 475.56 kg ( $p < 0.001$ ). Asimismo, se analizó la medición de peso diaria mediante el análisis estadístico basado en modelos lineales generales (MLG), obteniéndose

una tasa de incremento promedio de 1.57 kg por día ( $p < 0.001$ ). Además, se observó que la digestibilidad alcanzó su punto máximo a las 48 horas de ingestión.

Halim & Triwibowo (2016), estudiaron la cinética del secado de desechos de hojas de palma de aceite, utilizando un secador de horno por lotes simple. El objetivo principal fue analizar el fenómeno de secado de estos desechos a diferentes temperaturas de operación. Para el experimento, se empleó un secador de horno por lotes y se realizaron mediciones periódicas del contenido de humedad de los desechos de hojas de palma de aceite. Las temperaturas utilizadas en el estudio fueron 50, 80 y 120 °C. Los resultados obtenidos revelaron que la temperatura tuvo un impacto significativo en la velocidad de secado, observándose que a temperaturas más altas se alcanzaba un secado más rápido de los desechos. Asimismo, se demostró que la temperatura para el secado influía significativamente en el contenido de humedad de los desechos a lo largo del tiempo. A temperaturas más altas, como los 120 °C, la humedad disminuía más rápidamente en comparación con temperaturas más bajas, como 50 °C. En términos de dimensiones, se observó una disminución del 65% del tamaño inicial de los desechos de hojas de palma de aceite debido a la contracción radial. Además, se determinó que el rango de secado aumentaba con la temperatura de operación, lo que sugiere una relación directa entre temperatura de secado y velocidad de secado de los desechos de hojas de palma de aceite.

Husin et al. (2022), estudiaron las características de secado del pastel de decantador de aceite de palma, con el objetivo de producir fertilizante verde. Utilizaron un horno de convección para secar las muestras de pastel de decantador, y compararon cuatro modelos de secado de capa delgada para analizar el secado. El contenido de humedad se determinó conforme a la norma ASTM D2974-20e1. Los resultados mostraron que las muestras más gruesas tardaban más en secarse, y que era más rentable secar muestras más delgadas utilizando el secado al sol abierto. Para comparar los datos experimentales con los predichos por los modelos de secado, se realizó un análisis de regresión no lineal. Donde el modelo logarítmico fue el más preciso y confiable para describir la cinética de secado del pastel de decantador. Este modelo mostró la mayor precisión y repetibilidad en el proceso de secado, especialmente para muestras con espesores de 0.3 cm y 0.5 cm, según los parámetros de análisis estadístico-utilizados. En resumen, la investigación destacó la importancia de estudiar el secado del pastel de decantador de aceite de palma para su aprovechamiento posterior en la fabricación de fertilizante verde. Se subrayó el potencial de reutilizar los residuos de pastel de decantador para fines sostenibles. Además, se concluyó que un espesor de muestra de 1 cm no era adecuado para secar en tres horas con secadores mecánicos, y que el modelo logarítmico fue el más preciso para espesores de 0.3 cm y 0.5 cm.

Caroko et al. (2020), estudiaron el secado de desechos sólidos de palma de aceite, específicamente la cáscara y la fibra, utilizando métodos convencionales

y de microondas. Se recolectaron datos experimentales que abarcaron desde el inicio del proceso de secado hasta el período de tasa de caída. El estudio utilizó una muestra de 10 g para cada prueba de secado, con seis variaciones de temperatura (40, 45, 50, 55, 60 y 65 ). Las temperaturas comenzaron desde la temperatura ambiente hasta las predeterminadas, luego se mantuvieron durante 90 minutos, tomando mediciones de masa cada 20 segundos. Los resultados demostraron que el secado por microondas fue más rápido y efectivo, con menor intensidad energética en comparación con el secado convencional. Este hallazgo es significativo, ya que sugiere que el uso de microondas podría ser una opción más eficiente y rápida para el secado a nivel industrial. Además, se observó que la regla de secado era linealmente proporcional a la temperatura de secado, y que el aumento de la temperatura resultaba en una disminución de la intensidad energética requerida para el proceso. Este hallazgo proporciona información clave sobre cómo la temperatura puede influir en la eficiencia del proceso de secado y en el consumo de energía asociado. En cuanto a la estructura de los productos secados, se encontró que no hubo un impacto significativo en la estructura porosa de los productos secados a 65°C. Este resultado es relevante, ya que sugiere que el uso de temperaturas moderadas para el secado no afecta negativamente la estructura de los productos finales, lo cual podría ser importante para mantener la calidad de los materiales secados.



## Capítulo 2

### ***Residuos de la palma aceitera: problemática y oportunidades de valorización***

---

#### **Origen de palma aceitera**

La palma de aceite (*Elaeis guineensis*) es proveniente de la costa de Guinea, en África Occidental, mientras que su especie relacionada, *Elaeis oleifera*, es nativa de América Latina. Esta planta genera 2 tipos de aceite: palma y palmiste. En sus inicios, la obtención de aceite de palma provenía de cultivos naturales destinados al uso doméstico y, probablemente, se comercializaba antes de los registros históricos. El aceite de palma rojo, apreciado por su gran contenido nutricional, fue un recurso fundamental para los marineros en largos viajes, ya que su estabilidad y valor energético lo hacían ideal para la alimentación en travesías extensas (Kushairi, 2019). La industria de la palma de aceite experimentó una transformación significativa a principios del siglo XX, impulsada por la creciente demanda que trajo consigo la Revolución Industrial Británica, lo que revolucionó su producción y comercialización a nivel global. (Kushairi, 2019).

## Cultivo de palma en el Perú

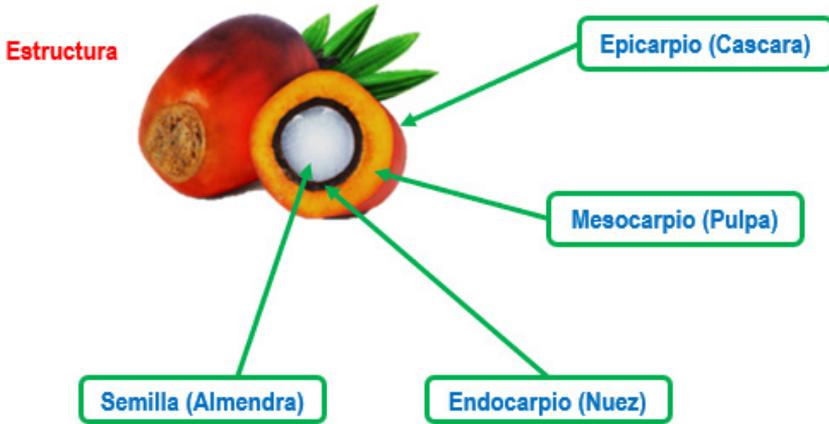
En el Perú, el cultivo de palma aceitera abarca una extensión de 95,000 hectáreas, lo que representa aproximadamente el 6% de las tierras agrícolas dentro de la Amazonía peruana y tan solo el 0.1% de la superficie total de la selva amazónica. En el año 2021, esta actividad productiva desempeñó un papel clave en la economía de Ucayali, aportando el 55% del total de sus exportaciones. Se proyecta que para el 2023, este porcentaje supere el 60%, consolidando aún más la relevancia de este sector en el comercio exterior.

Según datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri), la Amazonía peruana se extiende sobre 73.2 millones de hectáreas, donde alrededor de 1.4 millones están destinadas a la agricultura, lo que equivale al 1.9% del territorio amazónico. Dentro de esta superficie cultivada, la palma aceitera ocupa el 6.8%, manteniendo su presencia dentro del desarrollo agrícola de la región sin comprometer significativamente la extensión total de la selva.

## Fruto de palma aceitera

El fruto de la palma de aceite es una drupa sécil que puede presentar diversas formas, desde esférica hasta ovoide o alargada, con una ligera protuberancia en el ápice. Su tamaño oscila entre los 2 y 5 cm de longitud. Una de sus características más destacadas es la alta concentración de aceite en el mesocarpio, que alcanza hasta el 80% de su masa seca, convirtiéndolo en la especie con mayor rendimiento en la producción de aceite a nivel mundial. Este fruto está compuesto por varias capas estructurales. El pericarpio se divide en tres partes: el exocarpio, una epidermis lisa, dura y brillante; el mesocarpio o pulpa, de tonalidad amarillo-anaranjada, compuesto por un parénquima rico en aceite; y el endocarpio, conocido como cuesco, que es una capa dura, esclerificada y de color marrón oscuro a negro, cuya consistencia y grosor varían según la variedad. En el interior del endocarpio se encuentra el endospermo, que ocupa completamente la cavidad y protege la almendra (Romero & Cala, 2017).

Figura 2. Estructura de fruto de palma aceitera



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

### Aceite crudo de palma

Es un aceite de origen vegetal sin refinar que se consigue del mesocarpio, la parte carnosa del fruto (*Elaeis guineensis*). Su distintivo color rojizo se debe a su elevado contenido de carotenoides, especialmente betacaroteno, así como a la presencia de vitamina E en sus formas de tocoferoles y tocotrienoles. Este aceite destaca por su alto rendimiento por hectárea, lo que lo convierte en un recurso valioso. Además, se utiliza ampliamente en distintas industrias, incluyendo la alimentaria, la obtención de productos de cuidado personal y la producción de biodiésel, gracias a sus propiedades nutritivas y funcionales. Para su uso industrial, el aceite crudo suele someterse a un proceso de refinación, decoloración y desodorización para eliminar impurezas, olores y su color característico, obteniendo así el aceite de palma refinado, más común en alimentos procesados (Castellanos, 2016).

Figura 3. Aceite crudo de palma



Fuente: Castellanos (2016).

### Aceite de palmiste

Es un producto de origen vegetal que se consigue a partir del núcleo de las semillas del fruto de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*). Este aceite presenta un contenido de grasa que varía entre el 45% y el 51% en cada semilla, lo que lo convierte en una fuente de aceite altamente eficiente. Es especialmente apreciado por su mayor calidad en comparación con el aceite derivado del mesocarpo, debido a sus características únicas. Su perfil lipídico está compuesto principalmente por ácidos grasos saturados, como ácido láurico y mirístico, lo que lo hace ideal para diversas industrias. En el sector alimentario, es utilizado en productos como margarinas, galletas, chocolates y otros productos horneados debido a su capacidad de mantener la textura y mejorar la estabilidad de los productos a temperaturas elevadas. Además, su uso se extiende a la cosmética y a la industria de productos de cuidado personal, como jabones y productos de limpieza, donde sus propiedades emulsionantes y su resistencia al calor les dan una ventaja frente a otros aceites. Este aceite es altamente versátil, y su presencia en diversos sectores económicos resalta su peso en producir masivamente estos productos (Hermoso et al., 2023).

Figura 4. Aceite de palmiste



Fuente: Hermoso et al. (2023).

### **Torta de palmiste**

Es un subproducto sólido generado tras extraer el aceite de palmiste de las semillas de la palma aceitera. Este material es altamente nutritivo, ya que posee una gran cantidad de proteínas y fibras, lo cual la hace en un insumo perfecto para ser utilizado en la alimentación animal. Su mayor aplicación es en la nutrición de rumiantes, aves de corral y cerdos, funcionando como un suplemento o como parte de concentrados balanceados. Además de su uso en la industria animal, la torta de palmiste tiene una serie de aplicaciones en otros sectores. Se emplea en la producción de biocombustibles debido a su contenido energético, y también se emplea en la obtención de mercados alimenticios y nutracéuticos, donde se valoran sus propiedades nutritivas. La utilización de este subproducto no solo favorece la sostenibilidad de los cultivos de palma aceitera, sino que también optimiza el aprovechamiento de los recursos al reducir el desperdicio, promoviendo una mayor eficiencia en la cadena productiva de la palma (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, s.f.).

Figura 5. Torta de palmiste



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

### Propiedades químicas de palma aceitera

El aceite crudo de palma, obtenido del mesocarpio de los frutos de la palma aceitera, se compone principalmente de triglicéridos, que son moléculas formadas por una molécula de glicerol unida a 3 ácidos grasos. Estos ácidos grasos pertenecen a los ácidos carboxílicos, lo que otorga al aceite de palma sus características polares. Dentro de su perfil de ácidos grasos, se destacan dos componentes principales: el ácido palmítico, que representa el 43% de su composición, y el ácido oleico, que también constituye aproximadamente el 43%. Además, en menores contenidos, se encuentran otros ácidos grasos como el ácido esteárico y el ácido láurico (Rincón & Martínez, 2009).

Tabla 2. Contenido de palma aceitera

Ácido Graso	Contenido (%)
Saturados:	
Láurico	0.1
Mirístico	1
Palmístico	43.8

Ácido Graso	Contenido (%)
Esteárico	4.8
Araquídico	0.33
Monoinsaturados:	
Palmitoleico	0.1
Oleico	38.9
Poliinsaturados:	
Linoleico	10.6
Linolénico	0.3

Fuente: Rincón & Martínez (2009).

## Procesos de extracción de aceite crudo de palma

Según Barrera (2024), la extracción de aceite de palma se explyea en etapas, las cuales se muestran a continuación:

- *Recepción de fruto*

En la planta extractora, los racimos de fruta son sometidos a un proceso de pesaje y clasificación, según los estándares de calidad establecidos. Primero, se descargan en una plataforma de recepción, desde donde se cargan en vagonetas a través de un sistema de tolvas. Estas vagonetas, una vez llenas, se llevan por medio de rieles hasta la zona destinada para la esterilización, donde se inicia la extracción del aceite.

- *Esterilización de palma aceitera*

En el proceso de esterilización, se utilizan autoclaves con la capacidad adecuada para tratar los racimos de fruta. Mediante el uso de vapor de agua saturada, que se aplica a presiones bajas, la fruta es sometida a un ciclo de calor durante un tiempo que varía entre 60 y 90 minutos, dependiendo de su madurez. Durante este proceso, la presión se ajusta, lo que facilita el ablandamiento de las uniones entre los frutos, permitiendo una separación más fácil de las partes. Además, este tratamiento contribuye a la eliminación de la enzima lipasa, que podría inducir la formación de ácidos grasos libres. Los esterilizadores cuentan

con un sistema de entrada de vapor y dispositivos diseñados para eliminar los condensados generados, los cuales representan los primeros efluentes del proceso, que incluyen residuos de aceite e impurezas orgánicas.

Figura 6. Esterilización de fruto de palma



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

- *Desfrutado*

En el proceso de separación del fruto, se utiliza un tambor desfrutador que facilita la eliminación del escobajo. Después de esta etapa, los frutos se trasladan al digestor a través de transportadores sinfín y una columna elevadora de cangilones. Los raquis, por su parte, son enviados fuera de la planta a través de bandas. Una vez fuera, se cargan en remolques y son transportados de regreso al campo, donde se distribuyen entre las plantaciones de palma. En el terreno, los raquis comienzan a descomponerse, liberando sus nutrientes en el suelo, lo que favorece la fertilización y mejora las condiciones del terreno para el crecimiento de las palmas.

Figura 7. Desfrutado de fruto de palma



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

- *Digestión y prensado*

Los frutos sueltos caen al digestor donde son macerados con un agitador hasta formar una masa homogénea y blanda en un rango de temperatura de 85 a 90 °C durante un periodo de 15 a 20 min. Estos frutos sueltos digestados son posteriormente transferidos a las prensas de donde se extraen el aceite a través de prensas de tornillo sinfín, la prensa genera dos productos:

- Mezcla de aceite, agua y residuos sólidos conocida como licor de prensas.
- Torta de prensado compuesta por fibras del mesocarpio y las nueces.

La torta de prensado es transportada al proceso de palmisteria mediante transportadores de aspas que des compactan la fibra y el licor de prensa es filtrado para remover impurezas y bombeado para el proceso de recuperación de aceite.

- *Clarificación*

La clarificación es un proceso esencial para separar y purificar el aceite extraído en la prensa, el cual se encuentra mezclado con agua y lodos, tanto livianos como pesados. Esta separación se basa en la inmiscibilidad natural entre el aceite y el agua. Para lograrlo, el licor de prensa, que ha pasado por los tamices y llega a los clarificadores, fluye a través de tuberías denominadas flautas, las cuales distribuyen el flujo de manera uniforme.

En el clarificador, la mezcla se calienta suavemente mediante serpentines de vapor, manteniendo una temperatura entre 85 y 95 °C y velocidad de rotación de 5 RPM. Este calentamiento facilita la separación del aceite. El aceite se acumula en la parte superior, donde se utiliza un sistema de conos ajustables para separar la capa de aceite. Los lodos pesados se acumulan en el fondo y son retirados por una lámina especialmente diseñada.

Los lodos livianos, junto con el aceite y agua, son dirigidos al tridecanter o a centrifugadoras para una separación adicional. El aceite recuperado en el tridecanter se dirige hacia el tanque preclarificador. El tridecanter es una centrífuga de sedimentación dinámica que se llama así por su capacidad de separar tres fases: lodos secos, lodos húmedos y aceite. Finalmente, los lodos secos resultantes del proceso se trasladan a los botaderos.

- *Palmisteria*

Después de ser secadas en los silos, las nueces se dirigen a un equipo clasificador, donde se seleccionan según su tamaño y calidad. Posteriormente, las nueces clasificadas pasan a un triturador, que las fragmenta para liberar las almendras. Una vez que las nueces han sido trituradas, se lleva a cabo un proceso neumático para separar las cascarillas de las almendras. Este proceso consiste en las diferencias de densidad entre ambos materiales, permitiendo que la cascarilla se separe fácilmente. La cascarilla, al ser más liviana, se envía hacia la caldera para ser utilizada como fuente de energía, mientras que las almendras limpias son transportadas a un nuevo silo de secado para continuar con el proceso de preparación.

- *Palmiste*

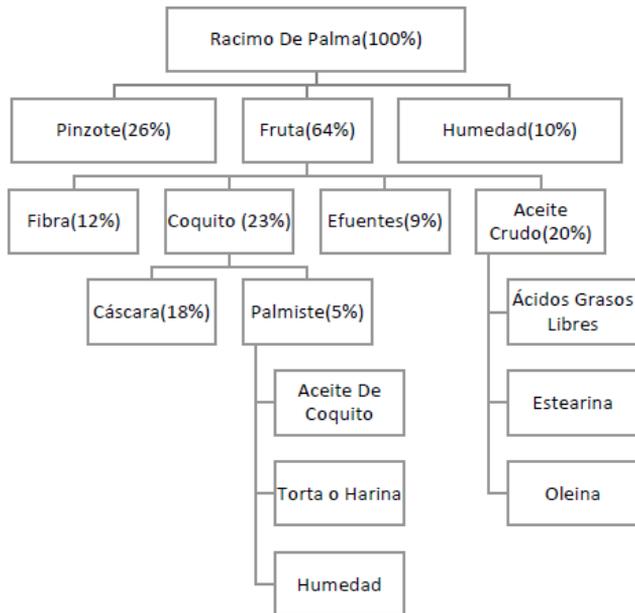
Una vez que las almendras han sido secadas, se trasladan a la planta de extracción a través de un sistema de transportadores. En esta planta, se utiliza

una prensa de tipo sinfín, también conocida como prensa de caracol, para extraer el aceite. Este procedimiento es completamente físico, ya que se basa en la presión mecánica sin la intervención de solventes químicos, lo que garantiza un proceso continuo y sin aditivos. El primer prensado reduce el contenido de aceite del 45-49% al menos del 15% en la torta de almendra de palma. Esta torta, que aún conserva aproximadamente un 15% de aceite, se somete a un segundo proceso para extraer el aceite restante, reduciendo su contenido al 6-7%. Después del prensado, el aceite de palmiste crudo se tamiza para eliminar sólidos gruesos antes de la filtración. Se emplean filtros Niagara o prensas de filtro de membrana para eliminar impurezas residuales. Una vez que el aceite ha pasado por el proceso de filtrado, se deposita en un tanque de almacenamiento para su conservación. Los sólidos que quedan después de la filtración se envían nuevamente a la prensa con el fin de extraer el aceite restante. Finalmente, la torta de palmiste obtenida se empaqueta en sacos de 50 kg, lista para su venta.

- *Almacenamiento*

En las plantas extractoras de aceite de palma a gran escala, el aceite purificado y secado se traslada a un tanque de almacenamiento antes de ser despachado. Dado que la tasa de oxidación del aceite aumenta con la temperatura, el almacenamiento, se mantiene normalmente 40 y 60°C el aceite de CPO y el de PKO entre 30° y 40°C, utilizando bobinas de calefacción con agua caliente o vapor a baja presión, para prevenir la solidificación y el fraccionamiento.

Figura 8. Diagrama de flujo CPO



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

### Composición química del lodo de palma

El lodo de palma, un subproducto generado por la industria extractora de aceite de palma, ha cobrado relevancia debido a sus propiedades nutricionales favorables y su aceptabilidad en la dieta de bovinos. Este material puede representar una alternativa viable para la alimentación animal, ya que se ha demostrado que es bien recibido por el ganado. Según los métodos establecidos por la AOCS, el lodo de palma contiene una serie de componentes que contribuyen a sus beneficios nutricionales.

Tabla 3. Composición química del lodo de palma

Parámetros Analizados	Unidades	Cantidad
Humedad	%	68.66
Proteína	%	3.78
Ceniza	%	9.82
Grasa	%	3.98
Fibra	%	20.73
Carbohidratos	%	13.76
Energía	Cal/100mg	106

Fuente: Ancupa (2017).

Tabla 4. Análisis de micro y macronutrientes en Lodo de Palma

Mineral	Porcentaje
Ca	1.3
P	0.21
Mg	0.23
K	1.27
Na	0.05
Mineral	Ppm
Cu	33
Fe	658
Mn	29
Zn	22

Fuente: Ancupa (2017).

Figura 11. Lodo de palma



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

### Uso del lodo de palma

El lodo de palma, un residuo derivado de la extracción de aceite de palma ha ganado relevancia en la nutrición animal debido a su alto contenido proteico y su buen nivel de aceptación por parte de los animales. Este subproducto ha demostrado ser beneficioso, especialmente en la alimentación de ganado vacuno lechero, así como en otras especies como porcinos y equinos. Investigaciones han mostrado que vacas alimentadas con 11 kg de lodo de palma durante 60 días produjeron hasta un 45% más de leche en comparación con aquellas que no recibieron este complemento (Zambrano Morán et al., 2016). De esta manera, el lodo de palma puede ser integrado en la dieta animal, específicamente en términos de la proporción de materia seca que se le asigne.

## Procesos de Industrialización del Lodo de Palma

El proceso de secado es crucial para el uso futuro, ya sea para aplicaciones industriales o en alimentación animal, debido a su alta humedad, que varía entre el 90% y el 95%. Es necesario reducir esta humedad a niveles inferiores al 75% para garantizar su adecuado manejo. En muchos casos, el secado se lleva a cabo al aire libre utilizando lechos de secado. Estos lechos deben ser diseñados de manera sencilla y permeable, lo que facilita la recolección de los lixiviados y permite que el lodo se seque mediante la evaporación. El tamaño y la estructura de los lechos deben ajustarse a la posibilidad de tratamiento de cada planta para optimizar el proceso (Avenidaño & Martínez, 2015).

Para lograr un secado eficiente de los lodos, es fundamental acondicionar adecuadamente el lecho donde se llevará a cabo el proceso. Esto implica impermeabilizar la base y disponer de un sistema de drenaje con tubos perforados que facilite la recolección y el manejo adecuado del lixiviado. La aplicación del lodo debe realizarse en capas delgadas, con un máximo de 30 cm de espesor, asegurando una carga aproximada de 200 kg/m<sup>2</sup> de sólidos totales.

El periodo de secado varía entre dos y tres semanas, tiempo durante el cual la humedad del lodo se reduce hasta alcanzar una consistencia que permita su manipulación con herramientas como palas. Una vez completado el proceso, se retira el material seco y se inspecciona el lecho de arena, reponiéndolo si es necesario para mantener su funcionalidad. Finalmente, los lixiviados obtenidos deben someterse a un tratamiento secundario antes de ser reincorporados al sistema de gestión de efluentes.

## Requisitos de Conservación

El lodo de palma, debido a su alto contenido de humedad, requiere ser almacenado a temperaturas bajas, preferentemente a 4°C o menos, para evitar su descomposición. Este control de temperatura es esencial, ya que el lodo es susceptible al deterioro si se mantiene a temperaturas elevadas. Por otro lado, cuando se dispone de pulpa de palma seca, no es necesario recurrir a la refrigeración, ya que puede mantenerse en condiciones óptimas durante un periodo de hasta 90 días, siempre y cuando se conserve en espacios limpios y secos (Caguano, 2017).

Los forrajes naturales, como los pastos, son una de las fuentes más económicas de nutrientes para el ganado, constituyendo la base principal de su alimentación. En algunos casos, cuando se requiere suplementar la dieta, se añaden forrajes conservados (como el heno y el ensilaje), granos y concentrados. Las raciones

deben ajustarse a las necesidades específicas de cada animal, tomando en cuenta factores como su peso, su capacidad de producción de leche, días de lactancia y el estado reproductivo, ya sea que se encuentre preñado o no.

En un sistema extensivo, los animales se alimentan principalmente de pastos, heno y sal común. Este tipo de sistema favorece un crecimiento más lento, y los animales destinados a la carne suelen ser vendidos entre los cuatro y seis años, aunque en condiciones de pastos de alta calidad, su crecimiento puede acelerarse. La ventaja de este sistema es su bajo costo de inversión, ya que no requiere de grandes infraestructuras o suplementación constante.

Por otro lado, el sistema intensivo emplea una dieta más controlada, que incluye una mayor proporción de concentrados y ensilajes. En este enfoque, el crecimiento de los animales es mucho más rápido, y están listos para ser vendidos entre los 14-18 meses. La carne producida en este sistema es generalmente más tierna y jugosa. Sin embargo, el elevado costo de este modelo hace que sea menos común en regiones como América Latina, aunque se encuentra mucho más extendido en Europa y Estados Unidos. Además, las necesidades nutricionales varían dependiendo del tipo de ganado, ya que no solo se consideran sus requerimientos para el mantenimiento general, sino también para la producción de carne, leche, cría o trabajo.

La nutrición del ganado bovino debe satisfacer sus necesidades durante todo el día, por lo que es fundamental que los ganaderos proporcionen una combinación adecuada de forrajes, agua, sal mineralizada y concentrados. Los forrajes, el agua y la sal mineralizada forman la base principal de la alimentación en el caso de los animales destinados a carne. Para las ganaderías de leche, sin embargo, los concentrados tienen un papel tan relevante como el de los pastos y otros forrajes.

Es esencial que los alimentos ofrecidos sean balanceados, garantizando que cubran todas las necesidades nutricionales del animal, tanto para su desarrollo productivo como reproductivo. Este equilibrio es crucial para asegurar el rendimiento del ganado y su salud.

No obstante, también se debe considerar el factor económico. Los concentrados, debido a su elevado costo, pueden no ser siempre una opción viable. En estos casos, el ganadero podría verse obligado a explorar fuentes de alimentación alternativas, menos costosas, pero que aún cumplan con las exigencias nutricionales del ganado.

Para el adecuado rendimiento de las vacas lecheras, es fundamental que reciban una alimentación que cubra cinco tipos de nutrimentos clave: agua, energía, proteínas, minerales y vitaminas. De estos, el agua es el más importante y esencial para mantener funciones vitales. Tras el agua, la principal necesidad es la energía, seguida de las proteínas. Estos dos elementos son cruciales para

que el animal pueda aprovechar adecuadamente los demás nutrientes que se le proporcionan. Aunque los minerales y las vitaminas también son importantes, su requerimiento es mucho menor en comparación con la energía y las proteínas. Es común que se ponga más énfasis en complementar estos micronutrientes, mientras que las necesidades de energía y proteínas no siempre reciben la atención que merecen. Sin una ingesta suficiente de estos últimos, el aprovechamiento de otros nutrimentos puede verse afectado, perjudicando tanto la salud como la producción de la vaca.

## Nutrición en ganado vacuno

La nutrición animal es una rama de la ganadería que se enfoca en el estudio de la utilización de los diferentes alimentos y los principios inmediatos que los componen para satisfacer las necesidades de los animales de interés productivo (Ayanz, 2009). Se entiende como el conjunto de procesos mediante los cuales un organismo obtiene y asimila los nutrientes esenciales para su crecimiento y la regeneración de tejidos dañados. Estos nutrientes son fundamentales para que los animales desempeñen sus funciones productivas (Elizondo, 2002). Los nutrientes que el sistema digestivo absorbe incluyen ácidos grasos volátiles, glucosa, minerales y vitaminas, los cuales son empleados en la síntesis de compuestos presentes en productos como carne, leche y lana, además de contribuir al mantenimiento de funciones biológicas esenciales, como la reproducción. Para facilitar su estudio, los requerimientos nutricionales suelen dividirse en dos categorías.

- De mantenimiento: aquellos que permiten la supervivencia del animal sin que este genere ningún tipo de producción (Ayanz, 2009).
- De producción: aquellos que, una vez cubiertas las necesidades de mantenimiento, posibilitan la producción de carne, leche, crías o fuerza de trabajo, entre otros productos de interés (Ayanz, 2009).

La cantidad total de alimento requerida se obtiene sumando ambos tipos de necesidades. En particular, la nutrición es un factor clave en la reproducción, ya que un nivel inadecuado de alimentación puede afectar el crecimiento y retrasar la madurez sexual. Si un animal no recibe los nutrientes adecuados antes de la época de apareamiento, puede presentar infertilidad, baja tasa de concepción o dificultad para mantener la gestación. Es fundamental considerar la ingesta de nutrientes dentro de la alimentación animal, entendida como la cantidad de alimento que el animal consume y que está regulada por diversos factores interrelacionados (Sartori, 2009). Entre estos factores se encuentran:

- Palatabilidad: se refiere al sabor y la textura de los alimentos. Los rumiantes prefieren los sabores dulces porque indican la presencia

de carbohidratos solubles, esenciales en su dieta después del agua. En contraste, tienden a rechazar sabores amargos, ya que suelen asociarse con compuestos tóxicos (Sartori, 2009).

- Comportamiento de pastoreo: describe la manera en que los animales buscan y seleccionan su alimento. Según Fred Provenza, investigador de la Universidad Estatal de Utah, el estudio del comportamiento de pastoreo implica analizar las preferencias de hábitat y alimento, así como los efectos de los nutrientes y toxinas en la elección de los animales. Además, factores como el tamaño y la frecuencia del bocado afectan la ingesta: a mayor densidad del pasto, mayor cantidad de forraje se obtiene con cada mordida, lo que demuestra que la relación entre el manejo del pastoreo, el comportamiento animal y la nutrición es compleja y dinámica, influenciada por cambios estacionales y la calidad del forraje (Sartori, 2009).
- El contenido químico de los alimentos también influye en su consumo. Además de los nutrientes esenciales, muchas plantas contienen compuestos secundarios que, aunque suelen considerarse tóxicos, su efecto depende de la cantidad ingerida. Los animales han desarrollado mecanismos naturales para reconocer y limitar su consumo de estos compuestos, lo que les permite mantener una dieta equilibrada (Slanac et al., 2007).
- Asimismo, la cantidad, densidad y disponibilidad de forraje afectan directamente la ingesta. Los rumiantes tienen un número limitado de bocados por minuto y, en el caso del ganado bovino, el tiempo de pastoreo se restringe a unas 8 horas diarias. Por ello, es crucial garantizar una alta densidad de pasturas para maximizar la cantidad de alimento obtenido por bocado. Mientras que el ganado bovino envuelve el pasto con su lengua antes de arrancarlo, ovejas y cabras emplean sus labios y dientes para seleccionar las partes más nutritivas de la planta (Sartori, 2009).
- El tiempo de permanencia en un potrero también afecta la cantidad de forraje consumido. A medida que los animales permanecen más tiempo en una parcela, la disponibilidad de plantas disminuye y se reduce la calidad de la proteína del forraje, lo que afecta el consumo y la ganancia de peso. Jim Gerrish ha demostrado que la prolongada permanencia en un potrero tiene un impacto negativo en la ingesta y el desarrollo del animal (Sartori, 2009).
- El estado fisiológico del animal también es determinante en sus requerimientos nutricionales. Las principales etapas en la vida de los rumiantes incluyen (Scull & Savón, 2003).

1. Crecimiento (ej. terneros, corderos y cabritos en etapa de desarrollo).
2. Gestación avanzada, particularmente relevante en ovejas y cabras.
3. Lactancia, periodo crítico para la producción de leche y el desarrollo de las crías.
4. Mantenimiento, como ocurre durante el periodo seco de las vacas.

Por ejemplo, las vacas lecheras alcanzan su mayor nivel de ingesta después del pico de producción de leche. Durante esta fase, el animal recurre a sus reservas corporales para mantener un equilibrio energético, lo que explica por qué muchos animales productores de leche pierden condición corporal en esta etapa (Hess et al., 2005). La temperatura ambiental también incide en los requerimientos alimenticios. A medida que las temperaturas descienden por debajo del umbral de confort del animal, su metabolismo aumenta para generar calor, lo que incrementa la demanda de energía. En climas cálidos y húmedos, por el contrario, los animales reducen su actividad de pastoreo (Bell, 2007). El objetivo de la nutrición animal es doble: por un lado, analizar el valor nutricional de los alimentos mediante la evaluación de la cantidad y calidad de los compuestos que los conforman; y, por otro, determinar con precisión las necesidades de los animales para planificar su alimentación de manera eficiente. En términos generales, se busca cubrir los requerimientos esenciales con el menor costo posible, garantizando la producción deseada (Ayanz, 2009). El desarrollo corporal de las vacas en crecimiento está estrechamente vinculado a su ganancia de peso, lo que la convierte en un indicador clave del estado del animal (Cura et al., 2003). En sistemas extensivos de producción de carne, es común que los ganaderos no satisfagan completamente las necesidades del ganado de forma permanente. En su lugar, se gestiona la condición corporal de los animales aprovechando al máximo los recursos naturales del pastoreo y reduciendo la necesidad de suplementación sin comprometer la producción (Ayanz, 2009).

### **Del residuo al recurso: Transformando el lodo de palma en alimento para el ganado**

El estudio nace de una pregunta clave: ¿Cómo podemos convertir el lodo de palma –hoy un desecho problemático– en un alimento nutritivo para el ganado, simplemente ajustando su secado? Cada año, toneladas de este residuo se acumulan en la selva peruana, mientras los ganaderos buscan alternativas económicas para alimentar sus vacas. Por un lado, podría ser que secarlo a baja

temperatura durante más tiempo no mejore su valor nutricional (hipótesis nula). Pero también existe la posibilidad opuesta: que justamente esa combinación convierta este lodo en un superalimento bovino (hipótesis alterna). La respuesta no solo resolvería un problema ambiental, sino que abriría una nueva fuente de nutrición animal.

### **Objetivos: Más allá del ensayo y error**

Esta investigación no se limita a probar temperaturas y tiempos de secado. Busca descubrir el verdadero potencial del lodo de palma: ¿Qué nutrientes conserva después del secado? ¿Resulta rentable para los ganaderos? ¿En qué proporción se puede mezclar con otros alimentos como la torta de palmiste? Detrás de estos objetivos hay una meta mayor: ofrecer a la industria ganadera una solución circular, donde lo que hoy es basura se convierta en el plato principal del ganado. Los resultados podrían redefinir el manejo de residuos agrícolas en el Perú.

### **Del problema a la solución: Por qué este libro transformará la industria palmera y ganadera del Perú**

Este libro nace de una urgencia y una oportunidad. La urgencia: cada año, la industria de la palma aceitera en Perú genera miles de toneladas de lodo residual que, lejos de convertirse en un recurso, terminan en vertederos como un pasivo ambiental. La oportunidad: ese mismo residuo que hoy contamina podría ser la clave para revolucionar la alimentación del ganado vacuno en el país.

¿Por qué es crucial esta investigación? Porque resuelve dos problemas críticos de un solo golpe:

1. El desafío ambiental: El lodo de palma mal gestionado contamina suelos y fuentes de agua, poniendo en riesgo ecosistemas vulnerables de la Amazonía peruana.
2. La necesidad económica: Los ganaderos peruanos buscan desesperadamente alternativas nutricionales asequibles, mientras las empresas palmicultoras gastan millones en deshacerse de lo que podría ser su próximo producto estrella.

Este trabajo va más allá del laboratorio. A través de rigurosos análisis, demostramos cómo ajustando temperatura y tiempo de secado podemos transformar un desecho en un superalimento bovino. Pero lo más innovador está en la propuesta final: la combinación estratégica de este lodo procesado con torta

de palmiste crea un producto con valor comercial real, capaz de competir en el mercado de alimentos balanceados.

Los hallazgos que presentamos no son solo datos científicos, son una hoja de ruta para:

- Empresas agroindustriales que quieren convertir sus residuos en ganancias
- Ganaderos que necesitan reducir costos de alimentación
- Autoridades ambientales que buscan soluciones de economía circular

Este libro es la prueba de que la sostenibilidad ambiental y la rentabilidad económica no son conceptos opuestos, sino dos caras de una misma moneda. La revolución de la palma aceitera peruana comienza aquí, convirtiendo lo que hoy es un problema en la solución que el sector agroindustrial estaba esperando.



## **Capítulo 3**

### *Metodología para Nutrición Ganadera Sostenible*

---

## **Objeto de estudio**

Lodo de palma calcinado

## **Materiales, reactivos, equipos e instrumentos**

### *Materiales*

- Cuaderno 180 hojas
- Lapiceros
- Depósitos metálicos
- Computadora de escritorio
- Celular smartphone
- Lodo húmedo de palma

### *Equipos e instrumentos*

- Estufa Memmert UF260
- Balanza digital OHAUS PX12001
- Molino Corona
- Desecador Dry-Keeper Bel-Art H42058-0001

## **Transformando Residuos en Recursos: Metodología para Convertir el Lodo de Palma en Alimento Ganadero**

### *Enfoque Metodológico*

Para demostrar cómo el lodo residual de palma puede transformarse en un alimento nutritivo para el ganado, diseñamos un riguroso proceso experimental que analiza científicamente su potencial.

### *Materiales de Estudio*

- Población analizada: Todos los tipos de lodo generados en el proceso de extracción de aceite de palma
- Muestra de trabajo: 27 muestras representativas de 100 gramos cada una de lodo fresco

### *Innovador Diseño Experimental*

Implementamos un diseño bifactorial único que nos permite evaluar:

- El impacto de diferentes temperaturas de secado
- La influencia de diversos tiempos de procesamiento
- La interacción entre estos factores clave

Esta metodología nos permitirá identificar la combinación óptima de temperatura y tiempo que maximice el valor nutricional del producto final, manteniendo su viabilidad económica. Los resultados sentarán las bases técnicas para implementar esta solución tanto a nivel industrial como en pequeñas explotaciones ganaderas.

Por qué esta metodología marca la diferencia:

- Combina rigor científico con aplicabilidad práctica
- Genera datos replicables para diferentes escalas de producción
- Considera tanto la calidad nutricional como la rentabilidad del proceso

Este enfoque integral nos posiciona para revolucionar el manejo de residuos agroindustriales en el Perú, transformando un problema ambiental en una oportunidad económica sostenible.

Tabla 5. Niveles de las variables de investigación

Variables Independientes de estudio	Niveles de estudio
Factor A	a <sub>1</sub>
	a <sub>2</sub>
	a <sub>3</sub>
Factor B	b <sub>1</sub>
	b <sub>2</sub>
	b <sub>3</sub>
Variables Dependientes de Estudio	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial nutricional para ganado vacuno:</li> <li>• Proteína (%)</li> <li>• Fibra (%)</li> <li>• Humedad (%)</li> <li>• Cenizas (%)</li> <li>• Ca y P (%)</li> <li>• Rentabilidad del balanceado</li> </ul>	

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

**Factor A:** temperatura de secado

- a<sub>1</sub> : 65 °C
- a<sub>2</sub> : 75 °C
- a<sub>3</sub> : 100 °C

**Factor B:** tiempo de secado

- b<sub>1</sub> : 4 h
- b<sub>2</sub> : 5 h
- b<sub>3</sub> : 6 h

El número total de muestras para medir el potencial nutricional del lodo de palma para ganado vacuno son:

**N° de muestras:** [(N° niveles de A) x (N° niveles de B) x (N° de replicas)]

**N° de muestras:** [(3) x (3) x (3)] = 27

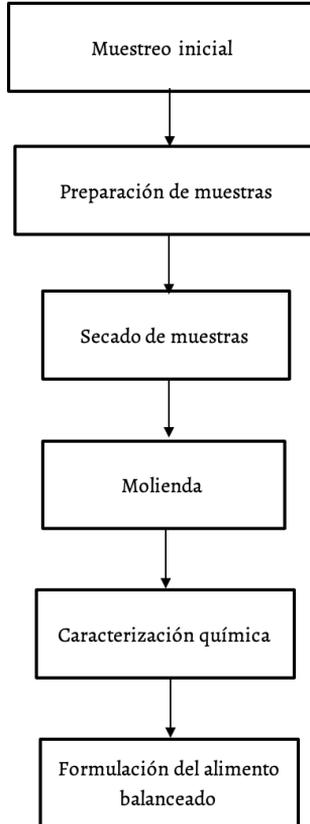
Tabla 6. Matriz de diseño de investigación

Factor A/ Factor B	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> .b <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> .b <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> .b <sub>3</sub>
a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> .b <sub>1</sub>	a <sub>2</sub> .b <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> .b <sub>3</sub>
a <sub>3</sub>	a <sub>3</sub> .b <sub>1</sub>	a <sub>3</sub> .b <sub>2</sub>	a <sub>3</sub> .b <sub>3</sub>

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

## Procedimiento experimental

Figura 12. Diagrama de procedimiento experimental



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

### a. Muestreo inicial

Como primer paso, se realizó un muestreo inicial de lodo de palma con una humedad del 78%.

### b. Preparación de muestras

Se recolectaron 300 gramos de lodo de palma y se dividieron en tres muestras de 100 gramos, colocadas en cortes de papel aluminio.

### **c. Secado de muestras**

Las muestras se colocaron en la estufa y se registraron los datos según los niveles de temperatura de secado establecidos (65°C, 75°C y 100°C) y los tiempos de secado (4 h, 5 h y 6 h), asegurando que la humedad final alcanzara un 6%.

### **d. Molienda y caracterización química**

Una vez ya secas, estas fueron llevadas a una molienda en un molino Corona. Luego, se reunió la cantidad necesaria de 1 kg y se enviaron a análisis de caracterización química en el laboratorio GALAB GmbH para evaluar su potencial nutricional para el ganado vacuno. Luego de saber su valor nutricional se escogió el mejor tratamiento de variables en base a recopilación bibliográfica como también en base a análisis de varianza ANOVA y prueba Tukey para poder realizar un análisis económico del producto llamado “Torta de tridecanter” con el apoyo de una asesoría técnica en elaboración de materia prima.

### **e. Formulación del alimento balanceado**

Tras identificar la configuración con mayor potencial nutricional, se realizó una formulación adecuada combinando el lodo de palma calcinado óptimo con torta de palmiste, una fuente nutritiva comercializada, con el fin de mejorar su valor nutricional y emplear la mezcla como alimento balanceado para ganado vacuno. Por último, también se realizó un análisis económico del producto compuesto.



## **Capítulo 4**

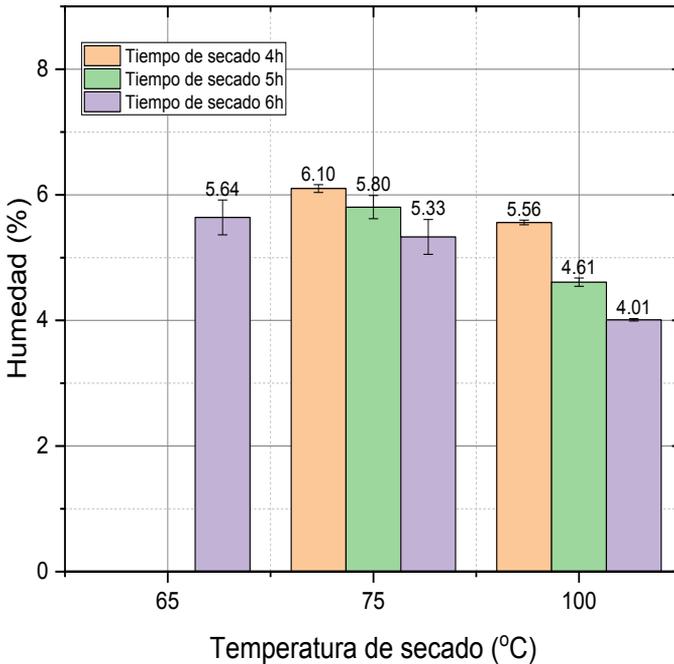
### *El Potencial del Lodo de Palma en Alimentos Ganaderos*

---

## Valor nutricional de lodo de palma

### *Humedad*

Figura 13. Humedad promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 13 presenta la humedad promedio del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado, expresada en un gráfico de barras. En el eje X se representa la temperatura de secado en grados Celsius (°C), con tres niveles evaluados: 65°C, 75°C y 100°C. En el eje Y se muestra la humedad del lodo en porcentaje (%), reflejando la cantidad de agua retenida después del proceso de secado. Adicionalmente, el tiempo de secado, medido en horas (h), se representa mediante barras agrupadas de forma paralela en cada nivel de temperatura, permitiendo la comparación de la humedad residual en función del tiempo de exposición al calor.

Los resultados muestran que, a nivel experimental, en el tratamiento de 65°C, el lodo de palma solo alcanzó una consistencia seca adecuada a las 6 horas de secado, mientras que en 4 y 5 horas la muestra retuvo una humedad elevada que impidió su manipulación. La humedad registrada en 65°C y 6 horas fue de 5.65%, sin valores disponibles para los otros tiempos de secado en este nivel de temperatura. Por otro lado, en el tratamiento de 75°C, se logró obtener valores en los tres tiempos de secado, registrando una humedad de 6.10% a 4 horas, 5.80% a 5 horas y 5.33% a 6 horas, evidenciando una tendencia decreciente a medida que el tiempo de secado aumenta. En el caso de 100°C, los valores de humedad fueron 5.56% a 4 horas, 4.61% a 5 horas y 4.01% a 6 horas, mostrando también una reducción progresiva de la humedad conforme el tiempo de exposición al calor se incrementa.

Al analizar la influencia de la temperatura en cada tiempo de secado, se observa que, a 4 horas, la humedad fue mayor en 75°C (6.10%) en comparación con 100°C (5.56%). En 5 horas, la humedad también fue superior en 75°C (5.80%) respecto a 100°C (4.61%), lo que indica que la temperatura más alta generó una mayor reducción de la humedad en el mismo tiempo de secado. A 6 horas, la humedad promedio registrada fue de 5.64% a 65°C, 5.33% a 75°C y 4.01% a 100°C, confirmando la tendencia de una menor retención de humedad conforme la temperatura de secado aumenta.

El comportamiento observado en la reducción de la humedad del lodo de palma está asociado a la cinética de evaporación del agua presente en la muestra. A temperaturas más elevadas, la transferencia de calor es más eficiente, lo que favorece la eliminación del contenido de agua en un menor tiempo (Liu et al., 2023). Sin embargo, en temperaturas más bajas, el proceso de secado es más lento, lo que explica la dificultad de alcanzar una humedad adecuada en tiempos reducidos como 4 y 5 horas a 65°C. En los tratamientos de 75°C y 100°C, la reducción de la humedad a medida que aumenta el tiempo de secado responde a la mayor disponibilidad de energía térmica, lo que acelera la evaporación del agua y permite alcanzar una menor retención de humedad en el material final (Li et al., 2022).

Dado que solo se obtuvieron resultados a 6 horas para el nivel de temperatura de 65°C ya que a 4 y 5 horas el lodo no logró la consistencia adecuada y no se pudo registrar datos, este nivel no cuenta con la cantidad suficiente de observaciones para ser incluido en el análisis estadístico que nos ayudan a tomar decisiones del mejor tratamiento, como ANOVA y la prueba de Tukey. Por lo tanto, en los siguientes análisis estadísticos no se consideró el nivel de 65°C.

Figura 14. Análisis de Varianza de humedad de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (22/02/2025 21:18:00)

Descriptive Statistics

Temperatura de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
75 oC	9	5.74444	0.3767	0.12557	0.1419	0	9
100 oC	13	4.72667	0.67796	0.22599	0.45962	4	9

Tiempo de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
4 h	6	5.83	0.29927	0.12217	0.08956	0	6
5 h	6	5.20667	0.66524	0.27158	0.44255	0	6
6 h	10	4.67	0.74415	0.3038	0.55376	4	6

Overall

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
	22	5.23556	0.74651	0.17595	0.55727	4	18

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Temperatura de secado	1	4.66142	4.66142	230.89048	<0.0001
Tiempo de secado	2	4.04431	2.02216	100.16181	<0.0001
Interaction	2	0.52564	0.26282	13.01816	9.86044E-4
Model	5	9.23138	1.84628	91.45008	<0.0001
Error	12	0.24227	0.02019		
Corrected Total	17	9.47364			

At the 0.05 level, the population means of Temperatura de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the population means of Tiempo de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the interaction between Temperatura de secado and Tiempo de secado is significant

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

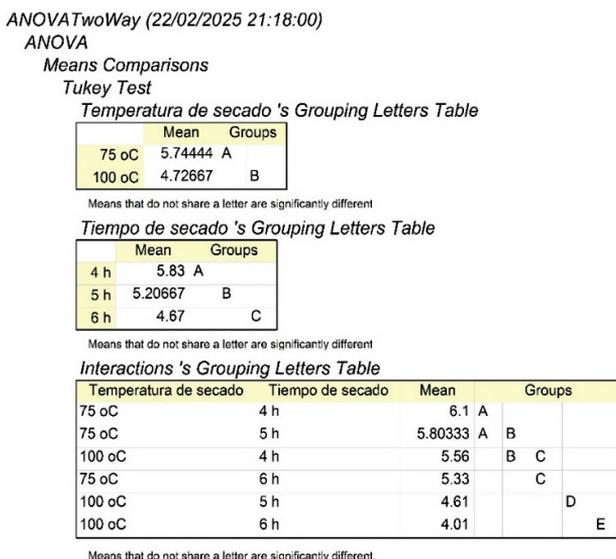
Ahora, en el análisis de varianza (ANOVA) presentado en la Figura 14, se evalúa la influencia de la temperatura de secado y el tiempo de secado sobre la humedad del lodo de palma. Este análisis estadístico permite determinar si existen diferencias significativas entre los niveles de estas variables independientes en relación con la humedad residual del lodo después del secado. El ANOVA se realiza para identificar si los factores estudiados tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la variable de respuesta, en este caso, la humedad. Se llevó a cabo con un nivel de confianza del 95% y un rango de significancia de 0.05, lo que implica que cualquier valor p menor a este nivel indicará diferencias significativas entre los grupos comparados.

La imagen muestra una tabla con los valores de probabilidad p (p-value) obtenidos para cada factor y su interacción. En este caso, se observa que la temperatura y el tiempo de secado tienen valores p menores a 0.0001, mientras que la interacción entre ambas variables presenta un valor de 0.00098604. Dado que todos estos valores son inferiores a 0.05, se confirma que tanto la temperatura

como el tiempo de secado influyen significativamente en la humedad del lodo de palma, al igual que la interacción entre ambas variables.

Esto lleva a rechazar la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), que plantea que no hay diferencias significativas entre las medias de humedad en los distintos niveles de temperatura y tiempo de secado. En su lugar, se acepta la hipótesis alterna (H<sub>1</sub>), que establece que al menos un nivel de temperatura o tiempo de secado produce un efecto significativo en la humedad del lodo de palma.

Figura 15. Prueba Tukey de humedad de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Por último, la Figura 15 presenta la prueba de Tukey aplicada al contenido de humedad del lodo de palma. En esta imagen se muestran tablas con los valores medios de humedad agrupados mediante letras asignadas a cada nivel de las variables independientes. Además, se incluyen las combinaciones de temperatura y tiempo de secado, permitiendo identificar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

La prueba de Tukey es un método estadístico empleado para realizar comparaciones múltiples entre grupos, con el propósito de determinar cuáles presentan diferencias estadísticamente significativas en sus medias. Se utiliza como complemento del análisis de varianza (ANOVA) para establecer con mayor

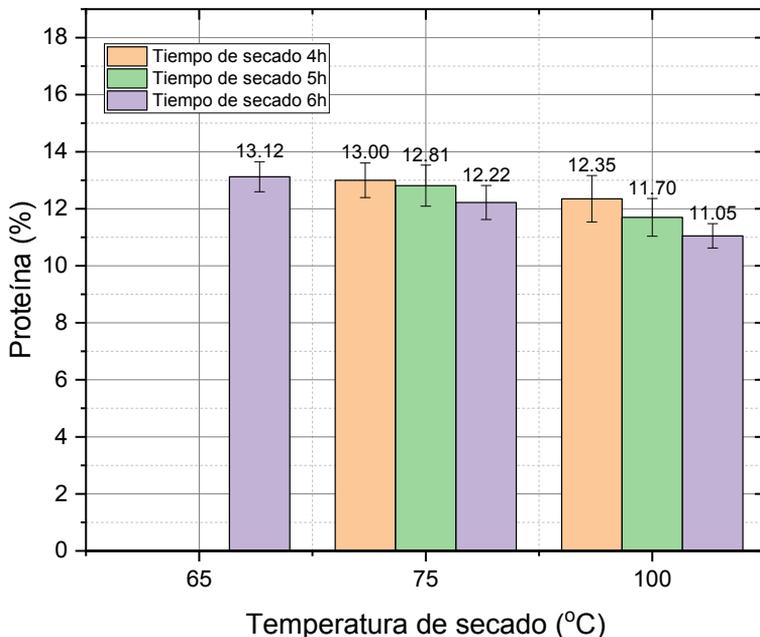
precisión qué niveles de las variables generan efectos distintos en la variable de respuesta. En este caso, permite identificar qué combinaciones de temperatura y tiempo de secado generan mayores o menores contenidos de humedad en el lodo de palma.

En la imagen se observa que la combinación de 75°C y 4h pertenece al grupo A, indicando que presenta la mayor humedad. La combinación de 75°C y 5h se encuentra en los grupos A y B, sugiriendo una leve reducción con respecto al primer tratamiento. La combinación de 100°C y 4h pertenece a los grupos B y C, mostrando una disminución progresiva del contenido de humedad. Conforme aumenta la temperatura y el tiempo de secado, la humedad se reduce aún más, evidenciado en las combinaciones de 75°C y 6h en el grupo C, 100°C y 5h en el grupo D y finalmente 100°C y 6h en el grupo E, que corresponde al tratamiento con el menor contenido de humedad.

La interpretación de estos resultados permite concluir que el aumento de la temperatura y el tiempo de secado generan una disminución significativa en la humedad. La prueba de Tukey confirma estas diferencias y establece que la combinación de 100°C y 6 horas es el tratamiento más efectivo en términos de reducción de humedad, ya que se encuentra en un grupo distinto al de los demás tratamientos. Si bien la prueba de Tukey permite establecer diferencias significativas entre los tratamientos en términos de humedad, esta variable no es determinante en la elección del mejor tratamiento para la alimentación del ganado vacuno. Todas las muestras alcanzaron la consistencia requerida para su procesamiento y suministro como alimento. Por lo tanto, la selección del tratamiento óptimo debe basarse en otras propiedades de mayor relevancia, como la conservación del contenido proteico, asegurando así un mejor valor nutricional del lodo de palma.

## Proteína

Figura 16. Proteína promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 16 presenta la proteína promedio del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado, expresada en un gráfico de barras. En el eje X se representa la temperatura de secado en grados Celsius (°C), con tres niveles evaluados: 65°C, 75°C y 100°C. En el eje Y se muestra la proteína del lodo en porcentaje (%), reflejando la cantidad proteica después del proceso de secado. Adicionalmente, el tiempo de secado, medido en horas (h), se representa mediante barras agrupadas de forma paralela en cada nivel de temperatura, permitiendo la comparación de la proteína en función del tiempo de exposición al calor.

En cuanto a los resultados obtenidos, se observa que el único caso en el que se registró un contenido de proteína de 13.12 % fue en la combinación de 65°C y 6 horas de secado. En el nivel de 75°C, se evidencia que a 4 horas se obtuvo un valor de 13 %, mientras que con un aumento del tiempo a 5 horas el valor disminuyó a 12.81 % y a 6 horas descendió a 12.22 %. Por otro lado, en el nivel de 100°C, el contenido de proteína también muestra una tendencia decreciente con el tiempo de secado, alcanzando valores de 12.335 % a 4 horas, 11.70 % a 5 horas y 11.05 % a 6

horas. Notando una tendencia decreciente de proteína al aumentar el tiempo de secado. Si se analiza el comportamiento del contenido de proteína en función de la temperatura a tiempos fijos de secado, se observa que a 4 horas el valor registrado fue de 13 % a 75°C y 12.35 % a 100°C. A 5 horas de secado, el contenido de proteína fue de 12.81 % a 75°C y de 11.70 % a 100°C. Finalmente, a 6 horas se obtuvo 13.12 % a 65°C, 12.22 % a 75°C y 11.05 % a 100°C. En general, se puede notar una tendencia decreciente en el contenido de proteína conforme aumenta la temperatura de secado.

El comportamiento observado en la variación del contenido de proteína con la temperatura y el tiempo de secado se debe a la sensibilidad de las proteínas a las condiciones térmicas. A temperaturas más elevadas y tiempos de exposición prolongados, las proteínas pueden sufrir desnaturalización y degradación, lo que se traduce en una disminución en su concentración (Jayawardena et al., 2022). Este efecto es más pronunciado a 100°C, donde el tiempo de secado prolongado reduce de manera significativa el contenido de proteína en comparación con los niveles obtenidos a temperaturas más bajas.

Figura 17. Análisis de Varianza de proteína de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (22/02/2025 22:48:06)

Descriptive Statistics

Temperatura de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
75 oC	9	12.67556	0.65926	0.21975	0.43463	0	9
100 oC	9	11.7	0.79815	0.26605	0.63705	0	9

Tiempo de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
4 h	6	12.67333	0.73279	0.29916	0.53699	0	6
5 h	6	12.255	0.86768	0.35423	0.75287	0	6
6 h	6	11.635	0.79142	0.3231	0.62635	0	6

Overall

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
	18	12.18778	0.86962	0.20497	0.75624	0	18

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Temperatura de secado	1	4.28269	4.28269	10.17212	0.00778
Tiempo de secado	2	3.27508	1.63754	3.88944	0.04987
Interaction	2	0.24608	0.12304	0.29224	0.75176
Model	5	7.80384	1.56077	3.70709	0.02923
Error	12	5.05227	0.42102		
Corrected Total	17	12.85611			

At the 0.05 level, the population means of Temperatura de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the population means of Tiempo de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the interaction between Temperatura de secado and Tiempo de secado is not significant

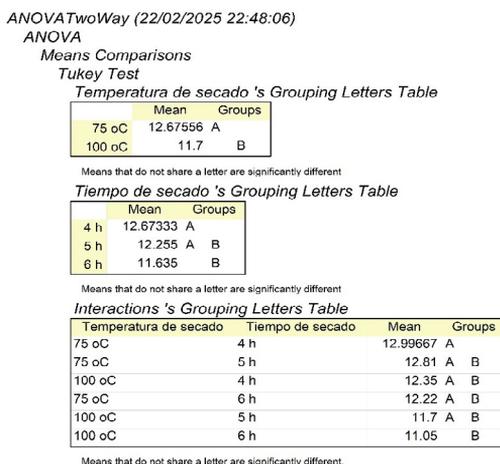
Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 17 presenta el análisis de varianza (ANOVA) aplicado al contenido de proteína del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado. El análisis se realizó utilizando el software Origin 2024 con un nivel de confianza del 95%, lo que implica un valor de significancia de 0.05.

La imagen proporciona una tabla de resultados estadísticos que muestra los valores de probabilidad (p-value) obtenidos para cada factor evaluado. Se reporta un p-value de 0.00778 para la temperatura, lo que indica que esta variable tiene un efecto significativo sobre el contenido de proteína, ya que es menor al umbral de 0.05. Para el tiempo de secado, el p-value es de 0.04987, lo que también sugiere un efecto significativo, aunque con menor magnitud en comparación con la temperatura. Sin embargo, el p-value de la interacción entre ambas variables es de 0.75176, lo que indica que la combinación de temperatura y tiempo de secado no tiene un efecto significativo en la variación del contenido de proteína, ya que este valor es mayor a 0.05.

A partir de estos resultados, el análisis ANOVA permite concluir que tanto la temperatura como el tiempo de secado influyen significativamente en el contenido de proteína del lodo de palma, mientras que su interacción no tiene un impacto estadísticamente relevante. Esto lleva a rechazar la hipótesis nula para las variables independientes de temperatura y tiempo de secado, ya que sus p-valores indican diferencias significativas en las medias poblacionales. No obstante, se acepta la hipótesis nula para la interacción de ambas variables, dado que el análisis no evidencia un efecto combinado significativo sobre el contenido de proteína.

Figura 18. Prueba Tukey de proteína de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

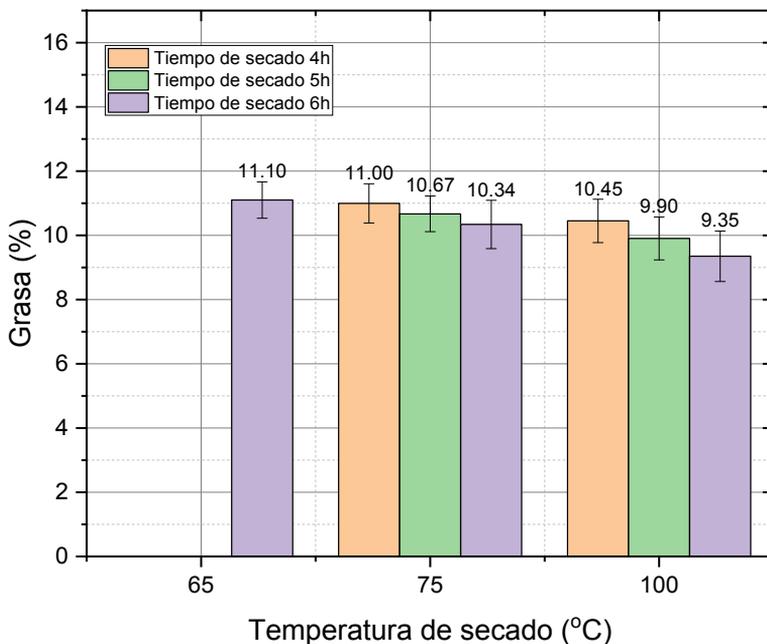
La Figura 18 presenta la prueba de Tukey aplicada al contenido de proteína en el lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado. En la imagen se muestran tablas agrupadas de letras individuales para cada factor independiente y para la interacción entre ambos. En el caso de la temperatura, los niveles evaluados se diferencian por letras asignadas, lo que indica que existen diferencias significativas entre ellos. Para el tiempo de secado, se observa que el nivel de 4 horas se identifica con la letra A, el nivel de 5 horas presenta las letras A y B, y el nivel de 6 horas tiene la letra B, lo que sugiere que el contenido de proteína varía con el tiempo de secado.

En cuanto a la interacción entre temperatura y tiempo de secado, se evidencia que la combinación de 75°C y 4 horas se clasifica con la letra A, mientras que la combinación de 75°C y 5 horas, así como 100°C y 4 horas, comparten las letras A y B, lo que indica similitud en estos tratamientos. De manera similar, las combinaciones de 75°C y 6 horas, así como 100°C y 5 horas, también presentan las letras A y B, lo que sugiere que no existen diferencias significativas entre ellas. Finalmente, la combinación de 100°C y 6 horas se clasifica únicamente con la letra B, lo que indica una diferencia significativa con los tratamientos marcados solo con la letra A.

Estos resultados permiten interpretar que los tratamientos con temperaturas más bajas y tiempos de secado más cortos tienden a presentar mayores contenidos de proteína, mientras que aquellos con temperaturas más elevadas y tiempos prolongados muestran una reducción en este parámetro. Con base en la prueba de Tukey, el mejor tratamiento en términos de retención de proteína es la combinación de 75°C y 4 horas, ya que se encuentra dentro del grupo con la mayor clasificación, lo que indica que conserva el mayor contenido de proteína de manera significativa en comparación con otros tratamientos.

## Grasa

Figura 19. Grasa promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 19 presenta la grasa promedio del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado, expresada en un gráfico de barras. En el eje X se representa la temperatura de secado en grados Celsius (°C), con tres niveles evaluados: 65°C, 75°C y 100°C. En el eje Y se muestra la grasa del lodo en porcentaje (%) después del proceso de secado. Adicionalmente, el tiempo de secado, medido en horas (h), se representa mediante barras agrupadas de forma paralela en cada nivel de temperatura, permitiendo la comparación de la grasa en función del tiempo de exposición al calor.

Los resultados indican que el contenido de grasa solo alcanzó un valor de 11.10 % cuando el secado se realizó a 65°C durante 6 horas. En el caso de 75°C, se obtuvo un contenido de grasa de 11 % para 4 horas, de 10.67 % para 5 horas y de 10.34 % para 6 horas. A una temperatura de 100°C, el contenido de grasa fue de 10.45 % a las 4 horas, de 9.90 % a las 5 horas y de 9.35 % a las 6 horas. Por lo que se observa que, a medida que aumenta la temperatura de secado, el contenido de grasa tiende a disminuir, con valores menores en los tiempos de secado más prolongados. Mientras que cuando se comparan los valores de grasa entre

diferentes temperaturas para un mismo tiempo de secado, se observa que en 4 horas el contenido de grasa es de 11 % a 75°C y de 10.45 % a 100°C. En 5 horas, el contenido de grasa es de 10.67 % a 75°C y de 9.90 % a 100°C. En 6 horas, el contenido de grasa es de 11.10 % a 65°C, de 10.34 % a 75°C y de 9.35 % a 100°C. En general, los datos reflejan que, para un mismo tiempo de secado, el contenido de grasa disminuye conforme se incrementa la temperatura.

El comportamiento observado en los resultados se debe a los efectos térmicos sobre los componentes del lodo de palma durante el proceso de secado. A temperaturas más elevadas, es posible que la grasa se vea afectada por procesos de degradación o volatilización, lo que reduce su concentración en la muestra final; además, los tiempos de secado más prolongados podrían intensificar estos efectos, ya que una mayor exposición al calor puede provocar una pérdida más acentuada de la fracción grasa del material (Maula et al., 2020).

Figura 20. Análisis de Varianza de grasa de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (25/02/2025 10:14:00)

Descriptive Statistics

Temperatura de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
75 oC	12	10.67111	0.472	0.15733	0.22279	3	9
100 oC	12	9.9	0.59992	0.19997	0.3599	3	9

Tiempo de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
4 h	8	10.72667	0.52267	0.21338	0.27319	2	6
5 h	8	10.285	0.56199	0.22943	0.31583	2	6
6 h	8	9.845	0.6419	0.26205	0.41203	2	6

Overall

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
	24	10.28556	0.65696	0.15485	0.4316	6	18

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Temperatura de secado	1	2.67576	2.67576	14.68537	0.00239
Tiempo de secado	2	2.33201	1.16601	6.3994	0.01284
Interaction	2	0.14301	0.07151	0.39244	0.68376
Model	5	5.15078	1.03016	5.65381	0.0066
Error	12	2.18647	0.18221		
Corrected Total	17	7.33724			

At the 0.05 level, the population means of Temperatura de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the population means of Tiempo de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the interaction between Temperatura de secado and Tiempo de secado is not significant

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 20 presenta el análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la influencia de la temperatura y el tiempo de secado sobre el contenido de grasa en el lodo de palma. El análisis se llevó a cabo con un nivel de confianza del 95%, utilizando un valor de referencia de significancia de 0.05 para la comparación estadística de los factores.

La imagen proporciona una tabla de resultados donde se presentan los valores de probabilidad  $p$  obtenidos experimentalmente. En el caso de la temperatura, el valor  $p$  calculado fue de 0.00239, mientras que para el tiempo de secado se obtuvo un valor de 0.01284. Ambos valores son menores al umbral de 0.05, lo que indica que estas variables influyen significativamente en la variación del contenido de grasa. Sin embargo, el valor  $p$  correspondiente a la interacción entre ambas variables fue de 0.68376, lo que sugiere que no existe un efecto combinado significativo entre la temperatura y el tiempo de secado en la respuesta analizada.

A partir de estos resultados, se concluye que tanto la temperatura como el tiempo de secado afectan de manera independiente el contenido de grasa en el lodo de palma. Dado que los valores  $p$  de estos factores son menores a 0.05, se rechaza la hipótesis nula que plantea que no existe diferencia significativa entre los niveles de temperatura y tiempo de secado. Por otro lado, dado que el valor  $p$  de la interacción entre ambas variables es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula que indica que la interacción entre temperatura y tiempo de secado no tiene un efecto significativo sobre la variación del contenido de grasa. Esto significa que, aunque la temperatura y el tiempo de secado afectan la propiedad evaluada, lo hacen de manera independiente sin que sus efectos se potencien o se modifiquen mutuamente.

Figura 21. Prueba Tukey de grasa de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (25/02/2025 10:14:00)

ANOVA

Means Comparisons

Tukey Test

Temperatura de secado 's Grouping Letters Table

	Mean	Groups
75 oC	10.67111	A
100 oC	9.9	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tiempo de secado 's Grouping Letters Table

	Mean	Groups
4 h	10.72667	A
5 h	10.285	A B
6 h	9.845	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Interactions 's Grouping Letters Table

Temperatura de secado	Tiempo de secado	Mean	Groups
75 oC	4 h	11.00333	A
75 oC	5 h	10.67	A
100 oC	4 h	10.45	A B
75 oC	6 h	10.34	A B
100 oC	5 h	9.9	A B
100 oC	6 h	9.35	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

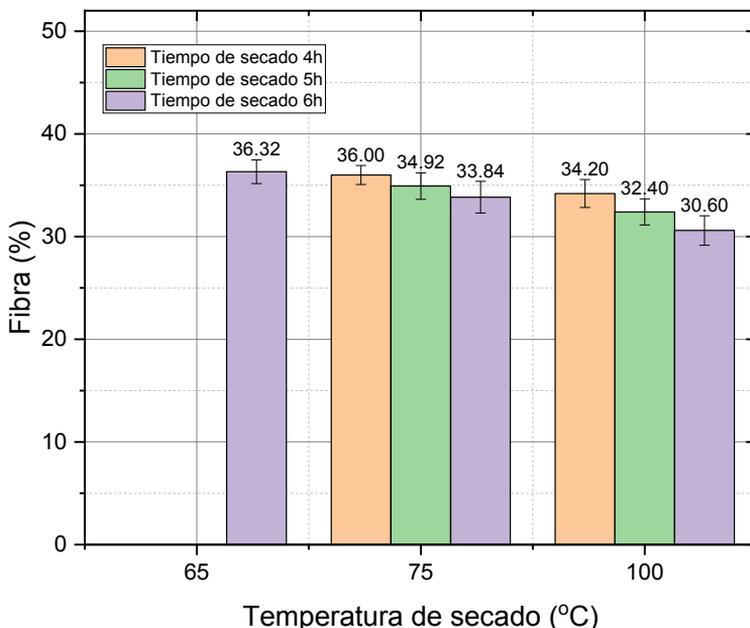
La Figura 21 presenta los resultados de la prueba de Tukey aplicada al contenido de grasa en el lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado.

Los resultados del cuadro indican que las temperaturas presentan diferencias significativas al asignarse letras distintas a cada nivel. En cuanto al tiempo de secado, el nivel de 4 h se encuentra en el grupo A, el nivel de 5 h pertenece a los grupos A y B, mientras que el nivel de 6 h se encuentra únicamente en el grupo B. Para la interacción de ambas variables, se observa que la combinación de 75°C con 4 h tiene la letra A, mientras que la combinación de 75°C con 5 h mantiene la misma letra. La combinación de 100°C con 4 h y la combinación de 75°C con 6 h se agrupan en A y B, mientras que la combinación de 100°C con 5 h también pertenece a este grupo. Finalmente, la combinación de 100°C con 6 h se ubica en el grupo B, lo que indica que se diferencia de las demás condiciones evaluadas.

Estos resultados indican que la temperatura y el tiempo de secado afectan de manera independiente el contenido de grasa en el lodo de palma. A medida que aumenta la temperatura y el tiempo de secado, se observan cambios en la composición de los grupos, evidenciando una reducción en el contenido de grasa. Para seleccionar el mejor tratamiento, se debe considerar la combinación que mantenga el mayor contenido de grasa, lo que corresponde a la condición que se encuentra dentro del grupo con la letra A. En este caso, la combinación de 75°C y 4 h representa el mejor tratamiento, ya que mantiene el mayor contenido de grasa en comparación con los demás niveles evaluados.

## Fibra

Figura 22. Fibra promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 22 presenta la fibra promedio del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado, expresada en un gráfico de barras. En el eje X se representa la temperatura de secado en grados Celsius (°C), con tres niveles evaluados: 65°C, 75°C y 100°C. En el eje Y se muestra la fibra del lodo en porcentaje (%) después del proceso de secado. Adicionalmente, el tiempo de secado, medido

en horas (h), se representa mediante barras agrupadas de forma paralela en cada nivel de temperatura, permitiendo la comparación de la fibra en función del tiempo de exposición al calor.

En los resultados obtenidos, se observa que el mayor contenido de fibra registrado corresponde a 65°C y 6 h, con un valor de 36.32%. Para el nivel de temperatura de 75°C, se registraron valores de fibra de 36% a 4 h, 34.92% a 5 h y 33.84% a 6 h. En el caso de la temperatura de 100°C, se encontraron valores de 34.20% a 4 h, 32.40% a 5 h y 30.60% a 6 h. Estos resultados evidencian una tendencia decreciente en el contenido de fibra conforme se incrementa el tiempo de secado en cada nivel de temperatura. Desde la perspectiva de la influencia de la temperatura de secado sobre el contenido de fibra, se observa que, para un tiempo de 4 h, los valores obtenidos fueron de 36% a 75°C y 34.20% a 100°C. Para un tiempo de 5 h, los valores fueron de 34.92% a 75°C y 32.40% a 100°C. Finalmente, para un tiempo de 6 h, los valores registrados fueron de 36.32% a 65°C, 33.84% a 75°C y 30.60% a 100°C. Esto indica que, para cada tiempo de secado, el contenido de fibra disminuye a medida que aumenta la temperatura de secado.

El comportamiento observado puede explicarse debido a los efectos de la temperatura y el tiempo de secado sobre la composición del lodo de palma. La aplicación de temperaturas elevadas y tiempos prolongados puede inducir la degradación de la estructura de la fibra, reduciendo su contenido en el material (Li et al., 2021). A temperaturas moderadas, la pérdida de fibra es menor, ya que el secado ocurre de manera más controlada y sin afectar significativamente su estructura. Sin embargo, cuando se alcanza un nivel térmico alto durante tiempos extendidos, la reducción en el contenido de fibra es más pronunciada, lo que sugiere una mayor degradación térmica de los compuestos fibrosos del lodo de palma.

Figura 23. Análisis de Varianza de fibra de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (23/02/2025 00:17:25)  
Descriptive Statistics

**Temperatura de secado**

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
75 oC	9	34.92111	1.44937	0.48312	2.10066	0	9
100 oC	9	32.39778	1.95228	0.65076	3.81139	0	9

**Tiempo de secado**

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
4 h	6	35.09833	1.43642	0.58642	2.0633	0	6
5 h	6	33.66167	1.7933	0.73211	3.21594	0	6
6 h	6	32.21833	2.22124	0.90682	4.9339	0	6

**Overall**

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
	18	33.65944	2.11367	0.4982	4.46788	0	18

ANOVA  
Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Temperatura de secado	1	28.65245	28.65245	16.48429	0.00158
Tiempo de secado	2	24.88324	12.44162	7.1579	0.00899
Interaccion	2	1.5552	0.7776	0.44737	0.64955
Model	5	55.09089	11.01818	6.33897	0.00421
Error	12	20.858	1.73817		
Corrected Total	17	75.94889			

At the 0.05 level, the population means of Temperatura de secado are significantly different.  
At the 0.05 level, the population means of Tiempo de secado are significantly different.  
At the 0.05 level, the interaction between Temperatura de secado and Tiempo de secado is not significant

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

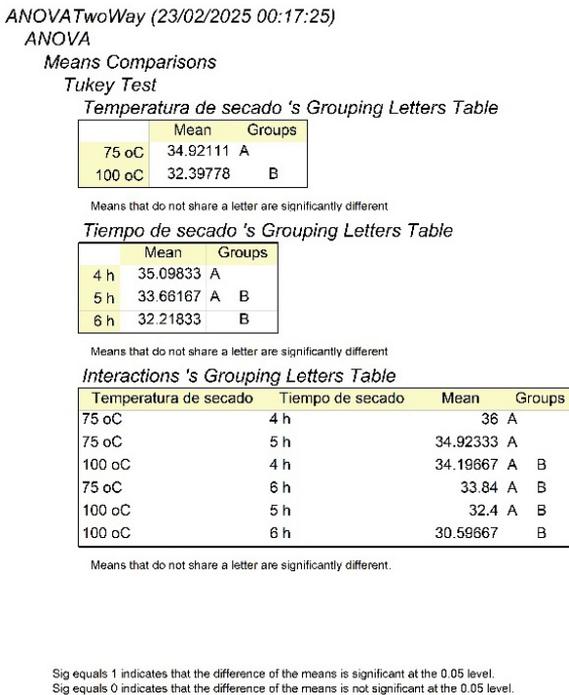
La Figura 23 presenta el análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la influencia de la temperatura y el tiempo de secado sobre el contenido de fibra en el lodo de palma. El análisis también se realizó con un nivel de confianza del 95 %, utilizando un valor de referencia de significancia de 0.05 para la comparación estadística de los factores.

La imagen proporciona una tabla de estadísticas que muestra los valores de probabilidad (p-value) obtenidos para cada factor de estudio. Los resultados indican un p-value de 0.00158 para la temperatura, 0.00899 para el tiempo de secado y 0.64955 para la interacción entre ambas variables. Como el nivel de significancia considerado es de 0.05, los valores de p obtenidos para la temperatura y el tiempo de secado son menores que este umbral, lo que implica que ambos factores tienen un efecto significativo sobre el contenido de fibra. En contraste, la interacción entre temperatura y tiempo de secado presenta un p-value superior a 0.05, lo que sugiere que la combinación de ambas variables no tiene un efecto significativo en conjunto sobre la propiedad analizada.

Estos resultados permiten concluir que tanto la temperatura como el tiempo de secado afectan significativamente el contenido de fibra en el lodo de palma de manera independiente. En este sentido, se rechaza la hipótesis nula que establece que la temperatura no tiene un efecto significativo sobre la fibra, aceptando la

hipótesis alterna que indica que la temperatura sí influye en esta propiedad. De igual forma, se rechaza la hipótesis nula para el tiempo de secado, confirmando que este factor también impacta en la cantidad de fibra presente. Sin embargo, al no encontrarse una influencia significativa de la interacción entre ambas variables, se acepta la hipótesis nula correspondiente, lo que indica que los efectos de la temperatura y el tiempo de secado no dependen entre sí en la variación del contenido de fibra.

Figura 24. Prueba Tukey de fibra de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 24 presenta la prueba Tukey aplicada al contenido de fibra en el lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado. En la imagen se observan las tablas de letras agrupadas para las variables individuales de temperatura y tiempo de secado, así como para la interacción entre ambas.

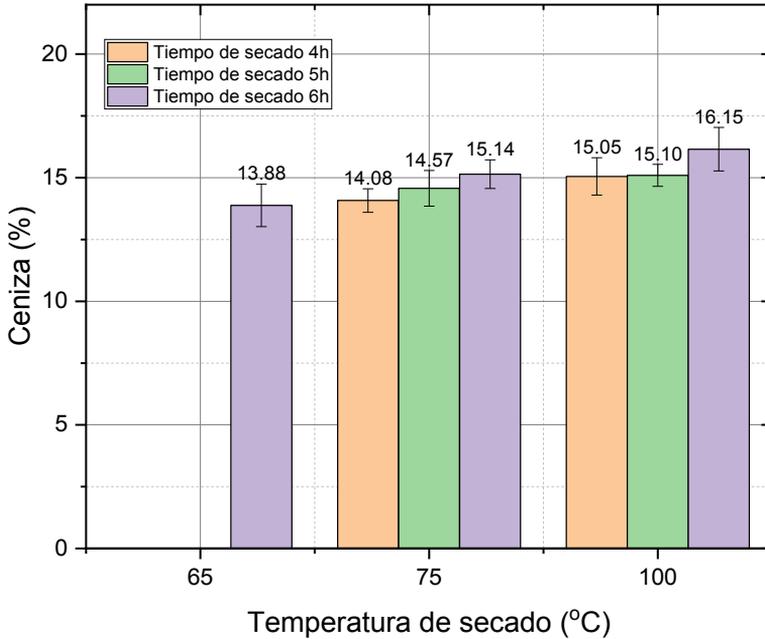
Los resultados muestran que, en la tabla correspondiente a la temperatura, cada nivel presenta letras distintas, lo que indica que todas las temperaturas

evaluadas generan diferencias significativas en el contenido de fibra. En cuanto al tiempo de secado, el nivel de 4 horas está representado por la letra A, el de 5 horas por A y B, mientras que el de 6 horas tiene la letra B. Esto sugiere que el contenido de fibra a 4 y 6 horas es significativamente diferente, mientras que a 5 horas puede considerarse un punto intermedio. En la tabla de interacción entre temperatura y tiempo de secado, se observa que la combinación de 75°C con 4 y 5 horas comparte la letra A, al igual que la combinación de 100°C con 4 horas. Las combinaciones de 75°C con 6 horas, 100°C con 5 horas y 100°C con 4 horas presentan las letras A y B, mientras que la combinación de 100°C con 6 horas tiene únicamente la letra B.

La interpretación de estos resultados indica que los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas en su contenido de fibra, mientras que aquellos con letras distintas sí lo hacen. De esta manera, los valores más altos de fibra se encuentran en los tratamientos con la letra A, particularmente en las combinaciones de 75°C con 4 y 5 horas, así como 100°C con 4 horas. Por lo tanto, desde el punto de vista estadístico, el mejor tratamiento para conservar un mayor contenido de fibra en el lodo de palma se encuentra en estas combinaciones, ya que presentan valores significativamente superiores en comparación con los demás niveles de temperatura y tiempo de secado evaluados.

## Ceniza

Figura 25. Ceniza promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 25 presenta el contenido de ceniza promedio del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado, expresada en un gráfico de barras. En el eje X se representa la temperatura de secado en grados Celsius (°C), con tres niveles evaluados: 65°C, 75°C y 100°C. En el eje Y se muestra la ceniza del lodo en porcentaje (%) después del proceso de secado. Adicionalmente, el tiempo de secado, medido en horas (h), se representa mediante barras agrupadas de forma paralela en cada nivel de temperatura, permitiendo la comparación de la fibra en función del tiempo de exposición al calor.

Los resultados reflejan que el único caso en el que se obtuvo a 65°C y un tiempo de secado de 6 horas fue de 13.88% de ceniza. En el nivel de 75°C, los valores obtenidos fueron de 14.08% a 4 horas, 14.57% a 5 horas y 15.14% a 6 horas, evidenciando un incremento progresivo conforme aumenta el tiempo de secado. En el nivel de 100°C, se registraron valores de 15.05% a 4 horas, 15.10% a

5 horas y 16.15% a 6 horas, lo que muestra una tendencia similar de aumento del contenido de ceniza con el tiempo de secado. Desde la perspectiva de la influencia de la temperatura de secado, los resultados indican que a 4 horas el contenido de ceniza fue de 14.08% a 75°C y 15.05% a 100°C. Para un tiempo de secado de 5 horas, se obtuvieron valores de 14.57% a 75°C y 15.10% a 100°C. A las 6 horas de secado, los valores fueron de 13.88% a 65°C, 15.14% a 75°C y 16.15% a 100°C. Estos datos reflejan que el contenido de ceniza tiende a incrementarse a medida que se aumenta la temperatura, observándose los mayores valores en el nivel más alto de temperatura y tiempo de secado.

El fundamento de estos fenómenos radica en la pérdida progresiva de materia orgánica y otros componentes volátiles conforme aumenta la temperatura y el tiempo de secado. Durante este proceso, la eliminación de humedad y sustancias orgánicas favorece la concentración relativa de los componentes inorgánicos del lodo de palma, lo que se traduce en un mayor contenido de ceniza (Maula et al., 2020). A temperaturas más elevadas y con tiempos de secado prolongados, la combustión parcial o la degradación térmica de los materiales orgánicos es más pronunciada, lo que explica la tendencia observada en los resultados experimentales.

Figura 26. Análisis de Varianza de ceniza de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (23/02/2025 00:39:56)

Descriptive Statistics

Temperatura de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
75 oC	9	14.59667	0.69619	0.23206	0.48468	0	9
100 oC	9	15.43444	0.82317	0.27439	0.6776	0	9

Tiempo de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
4 h	6	14.565	0.77807	0.31764	0.60539	0	6
5 h	6	14.83333	0.60932	0.24875	0.37127	0	6
6 h	6	15.64833	0.86645	0.35373	0.75074	0	6

Overall

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
	18	15.01556	0.856	0.20176	0.73274	0	18

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Temperatura de secado	1	3.15842	3.15842	7.20562	0.01988
Tiempo de secado	2	3.81968	1.90984	4.3571	0.0378
Interaction	2	0.21861	0.10931	0.24937	0.78323
Model	5	7.19671	1.43934	3.28371	0.04247
Error	12	5.25993	0.43833		
Corrected Total	17	12.45664			

At the 0.05 level, the population means of Temperatura de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the population means of Tiempo de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the interaction between Temperatura de secado and Tiempo de secado is not significant

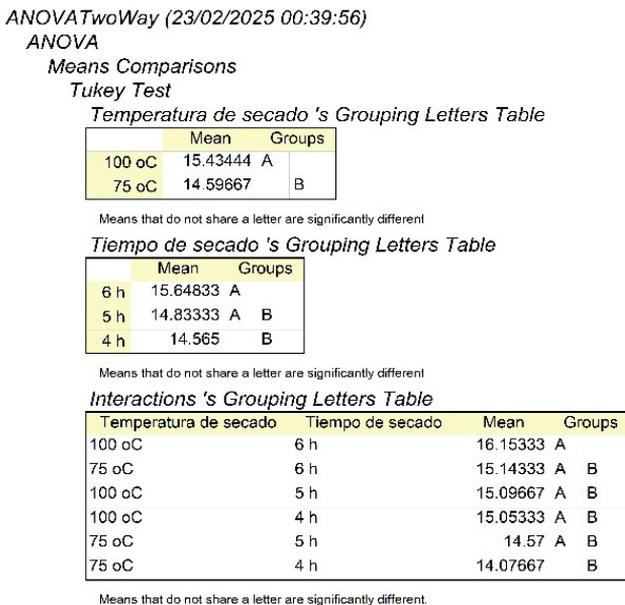
Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 26 presenta el análisis de varianza (ANOVA) aplicado al contenido de ceniza del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado. Estableciendo un nivel de confianza del 95% y un valor de referencia de  $p$  igual a 0.05.

Los resultados proporcionados en la imagen incluyen una tabla de estadística inferencial que muestra los valores de probabilidad  $p$  obtenidos para cada una de las variables analizadas. En el caso de la temperatura de secado, el valor  $p$  experimental es de 0.01988, mientras que para el tiempo de secado es de 0.0378. Ambos valores son menores a 0.05, lo que indica que las medias de estas variables presentan diferencias significativas entre sus niveles. Sin embargo, la interacción entre temperatura y tiempo de secado arroja un valor  $p$  de 0.78323, el cual es mayor a 0.05, lo que sugiere que la combinación de ambas variables no genera un efecto significativo en la variación del contenido de ceniza.

Con base en estos resultados, se puede concluir que tanto la temperatura como el tiempo de secado influyen de manera independiente en el contenido de ceniza del lodo de palma, lo que implica que las diferencias observadas en los niveles de estas variables no son producto del azar. Sin embargo, la interacción entre ambos factores no genera una diferencia significativa en los valores obtenidos, por lo que se acepta la hipótesis nula que establece que no hay interacción entre la temperatura y el tiempo de secado en la determinación del contenido de ceniza. Por otro lado, se rechaza la hipótesis nula para cada factor individual, confirmando que la temperatura y el tiempo de secado afectan significativamente la cantidad de ceniza presente en el material.

Figura 27. Prueba Tukey de ceniza de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 27 presenta la prueba de comparación múltiple de Tukey aplicada al contenido de ceniza del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado. En la imagen se muestran tablas con agrupaciones de letras para cada nivel individual de temperatura y tiempo de secado, así como para sus combinaciones.

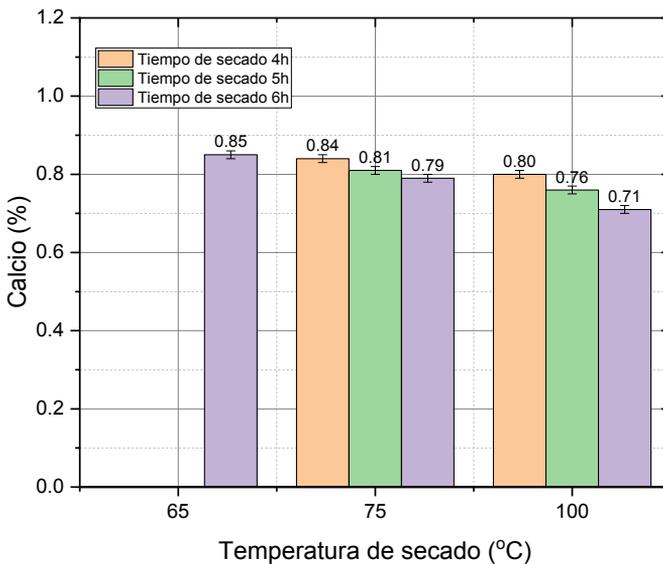
Los resultados de la prueba Tukey indican que, en la tabla individual de temperatura, cada nivel presenta una letra distinta, lo que confirma que existen diferencias significativas entre ellos. En el caso del tiempo de secado, el nivel de 4 h está identificado con la letra A, el nivel de 5 h con las letras A y B, y el nivel de 6 h con la letra B, lo que sugiere que los niveles de 4 h y 6 h presentan diferencias significativas en el contenido de ceniza, mientras que el nivel de 5 h tiene una respuesta intermedia. En cuanto a la interacción entre ambas variables, se observa que la combinación de 75°C y 4 h tiene la letra B, 75°C y 5 h presenta A y B, 100°C y 4 h muestra A y B, 75°C y 6 h tiene A y B, 100°C y 5 h muestra A y B, y finalmente, la combinación de 100°C y 6 h está identificada únicamente con la letra A.

La interpretación de estos resultados indica que el contenido de ceniza del lodo de palma varía significativamente en función de la temperatura y el tiempo

de secado. La agrupación de letras permite establecer diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, siendo aquellos con la misma letra considerados estadísticamente similares. Desde esta perspectiva, el mejor tratamiento se elige en función del nivel más alto de ceniza obtenido, siempre y cuando se encuentre dentro de un grupo estadísticamente superior. En este caso, la combinación de 100°C y 6 h, al estar clasificada con la letra A de manera exclusiva, representa la condición con mayor contenido de ceniza y con diferencias significativas respecto a otros tratamientos, lo que la posiciona como la mejor opción dentro de este análisis. Aunque cabe aclarar que, para la toma de decisión del mejor tratamiento para su aplicación en ganado vacuno, se debe tener en cuenta los parámetros de contenido de ceniza recomendada, aun así, no haya habido diferencias significativas entre sí.

## Calcio

Figura 28. Calcio promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 28 presenta el contenido de calcio promedio del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado, expresada en un gráfico

de barras. En el eje X se representa la temperatura de secado en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), con tres niveles evaluados:  $65^{\circ}\text{C}$ ,  $75^{\circ}\text{C}$  y  $100^{\circ}\text{C}$ . En el eje Y se muestra el calcio del lodo en porcentaje (%) después del proceso de secado. Adicionalmente, el tiempo de secado, medido en horas (h), se representa mediante barras agrupadas de forma paralela en cada nivel de temperatura, permitiendo la comparación del calcio en función del tiempo de exposición al calor.

Los resultados indican que, a una temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$ , el único contenido de calcio registrado fue de  $0.85\%$  cuando el tiempo de secado alcanzó las 6 h. En el nivel de  $75^{\circ}\text{C}$ , se observó que el contenido de calcio fue de  $0.84\%$  a 4 h, disminuyó a  $0.81\%$  a 5 h y continuó reduciéndose a  $0.79\%$  a 6 h. A  $100^{\circ}\text{C}$ , la tendencia fue similar, con valores de  $0.80\%$  a 4 h,  $0.76\%$  a 5 h y  $0.71\%$  a 6 h, evidenciando una reducción progresiva del calcio con el incremento del tiempo de secado en este rango de temperatura. Considerando la influencia de la temperatura en los diferentes tiempos de secado, se observa que, a 4 h, el contenido de calcio fue de  $0.84\%$  a  $75^{\circ}\text{C}$  y de  $0.80\%$  a  $100^{\circ}\text{C}$ . A 5 h, el calcio disminuyó a  $0.81\%$  en  $75^{\circ}\text{C}$  y a  $0.76\%$  en  $100^{\circ}\text{C}$ . Finalmente, a 6 h, los valores registrados fueron de  $0.85\%$  a  $65^{\circ}\text{C}$ ,  $0.79\%$  a  $75^{\circ}\text{C}$  y  $0.71\%$  a  $100^{\circ}\text{C}$ , mostrando que la mayor retención de calcio ocurrió en la temperatura más baja con el mayor tiempo de secado, mientras que el contenido de calcio disminuyó conforme la temperatura de secado aumentó.

El comportamiento observado en el contenido de calcio se debe a los efectos combinados de la temperatura y el tiempo de secado sobre la composición química del lodo de palma. A medida que la temperatura aumenta, los compuestos minerales pueden experimentar transformaciones que influyen en la cantidad de calcio retenida en la muestra, como también la difusión de micronutrientes hacia espacios intercelulares quedando distribuidos de manera no homogénea en la muestra (Uribe et al., 2012). Del mismo modo, el tiempo de secado prolongado favorece la pérdida de ciertos componentes volátiles o solubles, lo que puede contribuir a la reducción del calcio disponible. Aunque cabe resultar que los cambios no fueron muy grandes.

Figura 29. Análisis de Varianza de calcio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (24/02/2025 10:38:03)

Descriptive Statistics

Temperatura de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
75 oC	9	0.81333	0.02345	0.00782	5.5E-4	0	9
100 oC	9	0.75667	0.04	0.01333	0.0016	0	9

Tiempo de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
4 h	6	0.82	0.02366	0.00966	5.6E-4	0	6
5 h	6	0.785	0.02881	0.01176	8.3E-4	0	6
6 h	6	0.75	0.04472	0.01826	0.002	0	6

Overall

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
	18	0.785	0.04315	0.01017	0.00186	0	18

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Temperatura de secado	1	0.01445	0.01445	144.5	<0.0001
Tiempo de secado	2	0.0147	0.00735	73.5	<0.0001
Interaction	2	0.0013	6.5E-4	6.5	0.01223
Model	5	0.03045	0.00609	60.9	<0.0001
Error	12	0.0012	1E-4		
Corrected Total	17	0.03165			

At the 0.05 level, the population means of Temperatura de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the population means of Tiempo de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the interaction between Temperatura de secado and Tiempo de secado is significant

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 29 presenta el análisis de varianza (ANOVA) aplicado al contenido de calcio en el lodo de palma, evaluando la influencia de la temperatura y el tiempo de secado sobre esta propiedad. Estableciendo un nivel de confianza del 95% y un valor de referencia de p igual a 0.05.

La imagen proporciona una tabla de estadísticas en la que se presentan los valores de probabilidad p (p-value) obtenidos experimentalmente para cada una de las variables independientes y su interacción. Se observa que tanto la temperatura como el tiempo de secado tienen valores de p menores a 0.0001, lo que indica una diferencia significativa entre sus niveles. Además, la interacción entre ambas variables presenta un p-value de 0.01223, lo que también sugiere que existe un efecto combinado significativo en la variación del contenido de calcio. Dado que el análisis se realizó con un nivel de confianza del 95%, y el umbral de significancia fue de 0.05, estos resultados demuestran que las medias de las poblaciones correspondientes a temperatura, tiempo de secado y su interacción presentan diferencias estadísticamente significativas.

A partir de estos resultados, se concluye que tanto la temperatura como el tiempo de secado influyen significativamente en el contenido de calcio del lodo de palma, y que su interacción también desempeña un papel relevante en

la variabilidad de esta propiedad. En este contexto, se rechaza la hipótesis nula, que establece que las variables de temperatura y tiempo de secado no afectan el contenido de calcio, y se acepta la hipótesis alterna, que indica que al menos una de estas variables o su interacción tiene un efecto significativo en la cantidad de calcio presente en la muestra.

Figura 30. Prueba Tukey de calcio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (24/02/2025 10:38:03)  
ANOVA  
Means Comparisons  
Tukey Test

*Temperatura de secado 's Grouping Letters Table*

	Mean	Groups
75 oC	0.81333	A
100 oC	0.75667	B

Means that do not share a letter are significantly different.

*Tiempo de secado 's Grouping Letters Table*

	Mean	Groups
4 h	0.82	A
5 h	0.785	B
6 h	0.75	C

Means that do not share a letter are significantly different.

*Interactions 's Grouping Letters Table*

Temperatura de secado	Tiempo de secado	Mean	Groups
75 oC	4 h	0.84	A
75 oC	5 h	0.81	B
100 oC	4 h	0.8	B
75 oC	6 h	0.79	B
100 oC	5 h	0.76	C
100 oC	6 h	0.71	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 30 presenta la prueba de comparación de medias de Tukey aplicada al contenido de calcio en el lodo de palma, evaluando la influencia de la temperatura y el tiempo de secado.

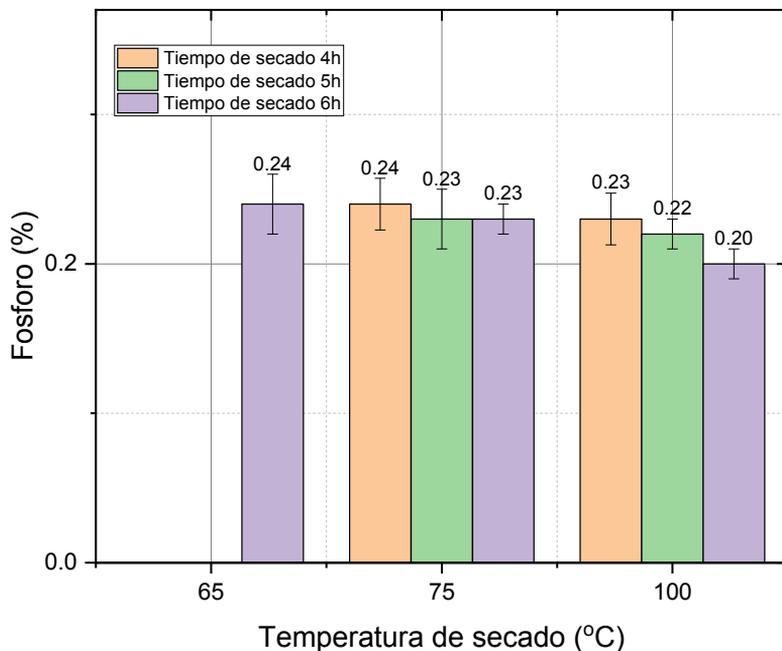
Los resultados de la prueba de Tukey se presentan en tablas donde se agrupan los niveles de las variables mediante letras. En el caso de la temperatura, cada nivel muestra una letra diferente, lo que indica que existen diferencias significativas entre los valores medios de calcio en cada temperatura de secado.

De manera similar, los niveles de tiempo de secado también presentan diferencias significativas entre sí. En cuanto a la interacción entre temperatura y tiempo de secado, se observa que la combinación de 75°C y 4 h tiene la letra A, la combinación de 75°C y 5 h presenta la letra B, la combinación de 100°C y 4 h también muestra la letra B, la combinación de 75°C y 6 h mantiene la letra B, la combinación de 100°C y 5 h tiene la letra C y la combinación de 100°C y 6 h presenta la letra D. La asignación de letras indica que las combinaciones que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas, mientras que aquellas con letras distintas muestran diferencias estadísticamente significativas en su contenido de calcio.

A partir de estos resultados, se puede interpretar que las condiciones de secado influyen significativamente en la variabilidad del contenido de calcio. La combinación con la letra A representa el grupo con el valor más alto de calcio, mientras que la combinación con la letra D corresponde al valor más bajo. Por lo tanto, el mejor tratamiento en términos de retención de calcio es aquel que presenta la letra A, es decir, la combinación de 75°C y 4 h, ya que esta condición permite obtener el mayor contenido de calcio en el lodo de palma.

## Fósforo

Figura 31. Fósforo promedio de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 31 presenta el contenido de fósforo promedio del lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado, expresada en un gráfico de barras. En el eje X se representa la temperatura de secado en grados Celsius (°C), con tres niveles evaluados: 65°C, 75°C y 100°C. En el eje Y se muestra el fósforo del lodo en porcentaje (%) después del proceso de secado. Adicionalmente, el tiempo de secado, medido en horas (h), se representa mediante barras agrupadas de forma paralela en cada nivel de temperatura, permitiendo la comparación del fósforo en función del tiempo de exposición al calor.

Los resultados obtenidos muestran que, a una temperatura de 65°C, el fósforo solo se detectó a 6 h con un valor de 0.24%. En el nivel de 75°C, los valores registrados fueron 0.24% a las 4 h, 0.23% a las 5 h y 0.23% a las 6 h. Para la temperatura de 100°C, el contenido de fósforo fue de 0.23% a las 4 h, 0.22% a las 5 h y 0.20% a las 6 h. A partir de estos valores, se observa que el fósforo tiende a mantenerse relativamente constante en la temperatura de 75°C, mientras que a 100°C se evidencia una disminución conforme aumenta el tiempo de secado. Desde otra perspectiva, al analizar los valores de fósforo bajo la influencia de las

diferentes temperaturas para cada tiempo de secado, se observa que a las 4 h el contenido de fósforo fue de 0.24% a 75°C y de 0.23% a 100°C. A las 5 h, el fósforo alcanzó valores de 0.23% a 75°C y 0.22% a 100°C. Finalmente, a las 6 h, el fósforo fue de 0.24% a 65°C, 0.23% a 75°C y 0.20% a 100°C. En general, se aprecia que, a temperaturas más elevadas y tiempos de secado prolongados, la cantidad de fósforo en el lodo de palma tiende a disminuir, con el valor más bajo registrado a 100°C y 6 h.

El comportamiento del contenido de fósforo en función de la temperatura y el tiempo de secado puede explicarse por los efectos de la degradación térmica y las pérdidas por volatilización o reacciones químicas inducidas por el calor. A temperaturas más bajas, la retención de fósforo es mayor, ya que las condiciones térmicas menos agresivas minimizan la degradación de los compuestos fosforados presentes en el lodo de palma. Sin embargo, a temperaturas más elevadas y tiempos de secado prolongados, es probable que se produzca una reducción en la disponibilidad del fósforo debido a transformaciones químicas o pérdidas por evaporación de compuestos volátiles (Uribe et al., 2012). Aunque cabe resultar que los cambios al igual que con el contenido de calcio, no fueron muy grandes

Figura 32. Análisis de Varianza de fosforo de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (24/02/2025 10:52:47)

Descriptive Statistics

Temperatura de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
75 oC	9	0.23333	0.015	0.005	2.25E-4	0	9
100 oC	9	0.21667	0.01732	0.00577	3E-4	0	9

Tiempo de secado

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
4 h	6	0.235	0.01643	0.00671	2.7E-4	0	6
5 h	6	0.225	0.01517	0.00619	2.3E-4	0	6
6 h	6	0.215	0.01871	0.00764	3.5E-4	0	6

Overall

	N	Mean	SD	SEM	Variance	Missing	NonMissing
	18	0.225	0.0179	0.00422	3.20588E-4	0	18

ANOVA

Overall ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	P Value
Temperatura de secado	1	0.00125	0.00125	5.76923	0.0334
Tiempo de secado	2	0.0012	6E-4	2.76923	0.1026
Interaction	2	4E-4	2E-4	0.92308	0.42375
Model	5	0.00285	5.7E-4	2.63077	0.07884
Error	12	0.0026	2.16667E-4		
Corrected Total	17	0.00545			

At the 0.05 level, the population means of Temperatura de secado are significantly different.

At the 0.05 level, the population means of Tiempo de secado are not significantly different.

At the 0.05 level, the interaction between Temperatura de secado and Tiempo de secado is not significant.

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 32 presenta el análisis de varianza (ANOVA) aplicado al contenido de fósforo en el lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado. El análisis se llevó a cabo con un nivel de confianza del 95% y un valor de significancia de 0.05.

Los resultados presentados en la imagen incluyen una tabla estadística que muestra los valores de probabilidad (p-value) obtenidos para cada una de las variables independientes y su interacción. En el caso de la temperatura de secado, el valor p experimental es de 0.0334, lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los niveles de temperatura evaluados. Por otro lado, el p-value correspondiente al tiempo de secado es de 0.1026, y el de la interacción entre temperatura y tiempo es de 0.42375. Ambos valores superan el umbral de 0.05, lo que sugiere que ni el tiempo de secado por sí solo ni su interacción con la temperatura producen diferencias significativas en el contenido de fósforo del lodo de palma.

A partir de estos resultados, se concluye que la temperatura de secado tiene un efecto significativo en la variación del fósforo, mientras que el tiempo de secado y su combinación con la temperatura no presentan un impacto estadísticamente relevante. En términos de hipótesis, se rechaza la hipótesis nula asociada a la temperatura, lo que confirma que los diferentes niveles de temperatura influyen en la cantidad de fósforo retenido en el lodo de palma. En contraste, se acepta la hipótesis nula para el tiempo de secado y la interacción entre temperatura y tiempo, ya que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos niveles evaluados para estas variables.

Figura 33. Prueba Tukey de fosforo de lodo de palma bajo influencia de temperatura y tiempo de secado

ANOVA TwoWay (24/02/2025 10:52:47)

ANOVA

Means Comparisons

Tukey Test

Temperatura de secado 's Grouping Letters Table

	Mean	Groups
75 oC	0.23333	A
100 oC	0.21667	B

Means that do not share a letter are significantly different

Tiempo de secado 's Grouping Letters Table

	Mean	Groups
4 h	0.235	A
5 h	0.225	A
6 h	0.215	A

Means that do not share a letter are significantly different

Interactions 's Grouping Letters Table

Temperatura de secado	Tiempo de secado	Mean	Groups
75 oC	4 h	0.24	A
75 oC	5 h	0.23	A
75 oC	6 h	0.23	A
100 oC	4 h	0.23	A
100 oC	5 h	0.22	A
100 oC	6 h	0.2	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 33 presenta la prueba de Tukey aplicada al contenido de fósforo en el lodo de palma bajo la influencia de la temperatura y el tiempo de secado. En la imagen se muestran las tablas de comparación múltiple, donde cada nivel de temperatura y tiempo de secado es representado con letras asignadas según su diferencia significativa.

Los resultados indican que, en la tabla correspondiente a la temperatura de secado, cada nivel presenta una letra distinta, lo que sugiere diferencias significativas entre ellos. En cambio, para el tiempo de secado, todas las condiciones fueron asignadas con la letra A, lo que implica que no existen diferencias significativas entre los distintos tiempos evaluados. En la tabla de interacción entre temperatura y tiempo de secado, todas las combinaciones fueron etiquetadas con la misma letra A en el siguiente orden: la combinación de 75°C y 4 h, la combinación de 75°C y 5 h, la combinación de 75°C y 6 h, la combinación de 100°C y 4 h, la combinación de 100°C y 5 h, y la combinación de 100°C y 6 h.

Esto indica que, independientemente del tiempo de secado, los tratamientos no muestran diferencias significativas en la interacción de ambas variables.

La interpretación de estos resultados confirma que la temperatura de secado influye en la variación del contenido de fósforo, ya que presenta agrupaciones diferenciadas. Sin embargo, el tiempo de secado no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre esta propiedad. Dado que en la tabla de interacción todas las combinaciones comparten la misma letra, se concluye que no hay un tratamiento específico que sobresalga en términos de una mejora significativa en la retención de fósforo. Por lo tanto, la selección del mejor tratamiento desde esta perspectiva dependería únicamente de la temperatura de secado, ya que es la única variable que presenta diferencias significativas en la prueba de Tukey. Por lo que se elegiría cualquier combinación con temperatura de 75 °C ya que se obtuvo la letra A de mayor significancia.

### Selección de mejor tratamiento

Tabla 7. Estándares recomendados de valor nutricional para ganado vacuno

Valor Nutricional (%)	Estándar recomendado	Fuente
Humedad	(7 max)	(Tecnigrasas, Suplementos y Nutrientes S.A.S., s.f.)
Proteína	(12-15)	(Hidalgo Lozano, 2013)
Grasa	(12.7 max)	(Valencia-Ordoñez, 2013)
Fibra	(13-16)	(Hidalgo Lozano, 2013)
Ceniza	(14 max)	(Tecnigrasas, Suplementos y Nutrientes S.A.S., s.f.)
Calcio	(0.4-0.75)	(Hidalgo Lozano, 2013)
Fosforo	(0.3-0.6)	(Hidalgo Lozano, 2013)

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Para la selección del mejor tratamiento, se realizó una recopilación de estándares recomendados sobre el valor nutricional de suplementos alimenticios para ganado vacuno a partir de múltiples fuentes como se observa en la Tabla 6. A partir de esta información, se establecieron parámetros de referencia que incluyen valores de humedad (máximo 7%), proteína (12-15%), grasa (máximo 12.7%), fibra (13-16%), ceniza (máximo 14%), calcio (0.4-0.75%) y fósforo (0.3-0.6%). Estos criterios resultan fundamentales para evaluar la aplicabilidad de los tratamientos de secado de lodos de palma en la formulación de suplementos nutricionales.

Con base en estos estándares, se seleccionaron como candidatos aquellos tratamientos que operaron a menores temperaturas y tiempos de secado, y que además cumplen con la mayoría de estos parámetros clave. La selección también consideró los resultados de las pruebas de Tukey, en las cuales se determinó la significancia entre los tratamientos en la mayoría de las propiedades evaluadas. Entre los tratamientos que destacaron, se identificaron dos opciones con valores nutricionales muy cercanos entre sí: el tratamiento realizado a 65°C por 6 horas y el tratamiento a 75°C por 4 horas. Ambos cumplen con los estándares establecidos y muestran propiedades comparables en los análisis realizados.

Sin embargo, es importante señalar que el tratamiento a 65°C por 6 horas no pudo ser evaluado en la prueba de Tukey debido a que no se logró obtener resultados consistentes para otros niveles de temperatura a 65°C, lo que impidió la comparación estadística. Además de los criterios nutricionales y estadísticos, se consideró la eficiencia del proceso como un factor fundamental en la selección del mejor tratamiento. Dado que el objetivo es aplicar este procedimiento de secado para la obtención del producto denominado “Torta de Tridecanter”, resulta fundamental priorizar un tratamiento que, además de cumplir con los estándares nutricionales, permita optimizar el tiempo y los recursos empleados en su producción.

Por estas razones, se optó por seleccionar el tratamiento de 75°C por 4 horas como la mejor opción. Este tratamiento no solo cumple con los valores recomendados en términos nutricionales, sino que también ha demostrado ser significativo en los análisis de Tukey. Además, presenta una ventaja operativa al requerir menor tiempo de secado en comparación con otros tratamientos, lo que lo hace más eficiente y viable para su aplicación a nivel industrial en la producción de suplementos alimenticios para ganado vacuno.

### **Análisis de costos de rentabilidad**

Una vez seleccionado el mejor tratamiento para la aplicación del producto “Torta de Tridecanter”, se llevó a cabo un análisis de costos y rentabilidad con el objetivo de evaluar su viabilidad económica como suplemento nutricional para ganado vacuno. Este análisis fue realizado con la asesoría técnica de la empresa “Ingenieros y Servicios Generales E.I.R.L.”, especializada en la elaboración de materia prima para la alimentación animal. Para ello, se evaluaron diferentes dietas formuladas para cerdos, ganado vacuno y gallinas de postura, considerando tanto la opción con la inclusión de la “Torta de Tridecanter” como sin ella. A través de esta comparación, se buscó determinar el impacto del producto en los costos de producción y establecer si su incorporación en la alimentación del ganado vacuno resulta económicamente rentable.

Figura 34. Matriz de aporte Nutricional de la torta de tridecanter de palma

MATRIZ NUTRICIONAL DE TORTA DE TRICANTER					
* Materia Seca	94.00 %	* Humedad	6.00 %	* Proteína Cruda	13.00 %
* Grasa Cruda	11.00 %	* Fibra Cruda	36.00 %	* Calcio	0.84 %
* Fosforo Disponible	0.24 %	* Sodio	0.0018 %	* Lisina	0.19 %
* Treonina	0.49 %	* Arginina	0.44 %	* Isoleucina	0.50 %
* Leucina	0.88 %	* Almidón	13.00 %	* Cisteína	0.12 %
* Glicina	0.56 %	* Ac. glutámico	1.17 %	* Histidina	0.21 %
* Tirosina	0.43 %	* Fenilalanina	0.52 %	* Serina	0.56 %
* Energía Bruta	2,830.00 Kcal	* Cenizas	19 %		

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Como se puede observar en la Figura 34, debido al alto contenido de fibra y alto contenido de cenizas del tratamiento seleccionado se descartó el uso de la torta de tridecanter para pollos de engorde cerdos de engorde y ganados de engorde ya que esto impacta en la digestibilidad del alimento balanceado. Por lo que se recomendaron las siguientes dietas y sus respectivos nutrientes:

Figura 35. Dieta balanceada para cerdos en gestación con y sin inclusión de torta de tridecanter

Cod.	Ingredientes Nombre	RACIONES PARA CERDOS		Precio
		GESTACION SIN T (kg)	GESTACION CON T (kg)	
9	Maiz	227.000	322.201	S/1.300
10	Arroz Partido	200.000	200.000	S/1.260
14	Afrecho deTrigo	300.000	150.000	S/1.120
17	Polvillo de Arroz	150.000	170.000	S/0.670
<b>21</b>	<b>Torta de Tricanter</b>	<b>0.000</b>	<b>30.000</b>	<b>S/0.300</b>
22	Torta de soya	90.000	95.700	S/2.360
23	Sal	5.000	5.000	S/0.430
28	Carbonato de calcio	12.532	11.186	S/0.300
45	Fosbic	6.552	6.919	S/3.100
54	L-Lisina HCl 99%	1.367	1.384	S/5.180
100	L-Treonina 98.5%	0.699	0.760	S/7.210
134	proapak cerdos repro	1.500	1.500	S/21.280
137	Betaina	1.000	1.000	S/15.750
361	Bacitracina	1.000	1.000	S/59.170
506	Colistina	0.500	0.500	S/92.550
530	availsow	1.000	1.000	S/52.190
702	Detoxa plus	1.500	1.500	S/15.000
703	Antioxidante veterinario	0.200	0.200	S/51.300
647	norange	0.050	0.050	S/13.870
411	Axtra xap	0.100	0.100	S/82.500
<b>Totales</b>		<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	
<b>Costos</b>		<b>S/1,481.35</b>	<b>S/1,474.22</b>	

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Figura 36. Nutrientes de dieta para cerdos en gestación con y sin inclusión de torta de tridecanter

<b>Nutrientes</b>			
<b>Cod.</b>	<b>Nombre</b>	<b>GESTACION SIN T</b>	<b>GESTACION CON T</b>
3	Humedad (%)	11.9989	11.9989
5	Mat. Seca (%)	87.7511	87.7511
7	E.Met. Cerdos (Kcal)	2,921.2418	2,921.2418
10	Proteína Cruda (%)	14.0743	14.0743
12	Fibra cruda (%)	5.1716	5.1716
15	Met+Cist (%)	0.5250	0.5250
16	Lisina (%)	0.7500	0.7500
18	Treonina (%)	0.5700	0.5700
28	Triptofano (%)	0.2023	0.2023
29	Arginina (%)	0.9545	0.9545
30	Isoleucina (%)	0.5747	0.5747
31	Valina (%)	0.6185	0.6185
32	Histidina (%)	0.3485	0.3485
34	Met+Cis.Dig cerdos (%)	0.4000	0.4000
47	Lis.Dig cerdos (%)	0.6228	0.6228
81	Treo.Dig cerdos (%)	0.4500	0.4500
83	Trip.Dig cerdos (%)	0.1572	0.1572
56	Grasa (%)	4.2897	4.2897
11	Calcio (%)	0.7500	0.7500
21	Fósforo (%)	0.6709	0.6709
22	Fósf.Disp.cerdos (%)	0.3500	0.3500
41	Sodio (%)	0.2001	0.2001
87	Potasio(%)	0.9077	0.9077
94	Cloro (%)	0.3426	0.3426
112	Na+K-Cl (mEq/kg)	227.6810	227.6810
132	Colina (ppm)	701.1567	701.1567

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 35 presenta el análisis comparativo de costos en la formulación de una dieta balanceada para cerdos en gestación, considerando los escenarios con y sin la inclusión de la “Torta de Tridecanter”. En esta tabla se detallan los costos individuales de los insumos utilizados en ambas formulaciones, así como el costo total de cada ración. Los resultados muestran que el costo total de la dieta sin la inclusión de la Torta de Tridecanter es de 1418.35 soles, mientras que con su inclusión asciende a 1474.22 soles. Esto indica un incremento en los costos de alimentación al incorporar este producto en la dieta, lo que sugiere que su implementación debe evaluarse considerando otros factores. Por otro lado, la Figura 36 muestra la comparación del contenido nutricional de la dieta para cerdos en gestación con y

sin la inclusión de la Torta de Tridecanter. En este análisis se observa que los niveles de nutrientes permanecen constantes en ambas formulaciones, lo que indica que la adición de este producto no modifica significativamente el perfil nutricional de la dieta. Esta estabilidad en la composición nutricional sugiere que la Torta de Tridecanter puede integrarse a la alimentación sin alterar los requerimientos nutricionales esenciales de los cerdos en gestación.

Figura 37. Dieta balanceada para cerdos en lactancia con y sin inclusión de torta de tridecanter

Cod.	Ingredientes Nombre	RACIONES PARA CERDOS		Precio
		LACTANCIA SIN T (Kg)	LACTANCIA CON T (Kg)	
9	Maíz	231.000	265.413	S/1.300
10	Arroz Partido	250.000	200.000	S/1.260
17	Polvillo de Arroz	150.000	135.000	S/0.670
21	<b>Torta de tricanter</b>	<b>0.000</b>	<b>50.000</b>	<b>S/0.300</b>
22	Torta de soya	160.000	168.000	S/2.360
75	Harina Integral de soya	140.000	110.000	S/2.430
61	Aceite Palma	30.000	30.000	S/3.750
23	Sal	4.500	4.500	S/0.430
28	Carbonato de calcio	11.488	12.570	S/0.300
45	Fosbic	11.279	11.744	S/3.100
611	Sodio bicarbonato	2.000	2.000	S/2.730
530	availa sow	1.500	1.500	S/52.190
54	L-Lisina HCl 99%	1.183	1.223	S/5.180
644	proapak cerdos repro	1.500	1.500	S/26.580
137	Betaina	1.000	1.000	S/15.750
361	Bacitracina	1.000	2.000	S/59.170
506	Colistina	0.500	0.500	S/92.550
570	Availa Fe	1.250	1.250	S/8.640
411	Axtra XAP	0.100	0.100	S/82.500
703	Antioxidante veterinario	0.200	0.200	S/51.300
702	Detoxa	1.500	1.500	S/15.000
<b>Totales</b>		<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	
<b>Costos</b>		<b>S/1,889.19</b>	<b>S/1,883.01</b>	

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Figura 38. Nutrientes de dieta para cerdos en lactancia con y sin inclusión de torta de tridecanter

<b>Nutrientes</b>			
<b>Cod.</b>	<b>Nombre</b>	<b>LACTANCIA SIN T</b>	<b>LACTANCIA CON T</b>
3	Humedad (%)	11.1762	11.1762
5	Mat. Seca (%)	88.5688	88.5688
7	E.Met. Cerdos (Kcal)	3,400.0000	3,400.0000
10	Proteína Cruda (%)	18.6374	18.6374
12	Fibra cruda (%)	3.1966	3.1966
15	Met+Cist (%)	0.6457	0.6457
16	Lisina (%)	1.1000	1.1000
18	Treonina (%)	0.7093	0.7093
28	Triptofano (%)	0.2679	0.2679
29	Arginina (%)	1.2693	1.2693
30	Isoleucina (%)	0.8613	0.8613
31	Valina (%)	0.8250	0.8250
32	Histidina (%)	0.4493	0.4493
34	Met+Cis.Dig cerdos (%)	0.5121	0.5121
47	Lis.Dig cerdos (%)	0.9809	0.9809
81	Treo.Dig cerdos (%)	0.5898	0.5898
83	Trip.Dig cerdos (%)	0.2179	0.2179
56	Grasa (%)	9.4209	9.4209
11	Calcio (%)	0.9500	0.9500
21	Fósforo (%)	0.6575	0.6575
22	Fósf.Disp.cerdos (%)	0.4500	0.4500
41	Sodio (%)	0.2500	0.2500
87	Potasio(%)	0.9366	0.9366
94	Cloro (%)	0.3397	0.3397
112	Na+K-Cl (mEq/kg)	259.5290	259.5290
132	Colina (ppm)	700.7943	700.7943

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Por otro lado, la Figura 37 presenta el análisis comparativo de costos en la formulación de una dieta balanceada para cerdos en lactancia, evaluando la inclusión de la Torta de Tridecanter en la ración. Los resultados muestran que el costo total de la dieta sin la inclusión de la Torta de Tridecanter es de 1889.19 soles, mientras que con su inclusión se reduce a 1883.01 soles. A diferencia del caso de la dieta para cerdas en gestación, en esta ocasión la incorporación de la Torta de Tridecanter genera un ligero ahorro en el costo de la alimentación, lo que sugiere que su uso podría representar una alternativa económicamente viable para esta etapa productiva. En la Figura 38, se muestra la comparación del contenido nutricional de la dieta para cerdos en lactancia con y sin la inclusión. En esta evaluación se observa que los niveles de nutrientes también permanecen constantes en ambas formulaciones, lo que indica que la adición de este producto no altera significativamente el perfil nutricional de la dieta.

Figura 39. Dieta balanceada para producción de vacas lecheras con y sin inclusión de torta de tridecanter

<i>Ingredientes</i> Nombre	RACIONES PARA VACAS LECHERAS		Precio
	PRODUCCION SIN T (Kg)	PRODUCCION CON T (Kg)	
Maíz	390.000	467.570	S/1.300
Torta de Soya	205.000	190.000	S/2.360
Avena	195.000	195.000	S/0.840
Afrecho de Trigo	92.500	10.000	S/1.120
Melaza de Caña	80.000	50.000	S/1.900
<b>Torta de Tricanter</b>	<b>0.000</b>	<b>50.000</b>	<b>S/0.300</b>
Sal	1.000	1.000	S/0.430
Availa 4	1.500	1.500	S/42.500
Detoxa plus	1.000	1.000	S/15.000
Fosfato Monocalcico	5.349	5.120	S/3.100
Urea	4.457	4.430	S/10.740
Carbonato de Calcio	0.550	0.740	S/0.300
Bicarbonato de Sodio	4.400	4.400	S/2.000
Lipofeed	5.000	5.000	S/3.970
Nutrigan Elite	13.044	13.040	S/3.650
Axtra Phy 10000	0.700	0.700	S/41.250
Nutrasa Xila	0.500	0.500	S/52.500
<b>Totales</b>	<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	
<b>Costos</b>	<b>S/1,685.37</b>	<b>S/1,616.28</b>	

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Figura 40. Nutrientes de dieta balanceada para producción de vacas lecheras con y sin inclusión de torta de tridecanter

<i>Nutrientes</i>			
Cod.	Nombre	PRODUCCION SIN T	PRODUCCION CON T
3	NDT (%)	79.2562	79.2562
5	EN Lactacion (xKg)	1.8000	1.8000
7	Proteina Cruda (%)	18.0000	18.0000
10	PDR (% PC)	70.1334	70.1334
12	PNDR (% PC)	28.0162	28.0162
15	Grasa (%)	3.0834	3.0834
16	Fibra Cruda (%)	5.0948	5.0948
18	FDN (%)	16.4367	16.4367
28	FDA (%)	7.0617	7.0617
29	CNF (%)	57.3686	57.3686
30	EN Mantenimient (xKg)	1.9044	1.9044
31	EN Ganancia (xKg)	1.2529	1.2529
32	Calcio (%)	0.9860	0.9860
34	Fosforo (%)	0.8154	0.8154
47	Sodio (%)	0.2000	0.2000
81	BCAD (x1Kg MS) (%)	175.2048	175.2048
83	BCAD (xKg MS) + 1000	1,168.2048	1,168.2048
132	Magnesio (ppm)	0.2334	0.2334

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Ahora, en la Figura 39 se presenta el análisis de costos de una dieta balanceada para la producción de vacas lecheras, comparando el escenario con y sin la inclusión de la Torta de Tridecanter. Los resultados muestran que el costo total de la dieta sin la inclusión de la Torta de Tridecanter resulta de 1685.37 soles, mientras que con su inclusión se reduce a 1616.28 soles. Esto evidencia que la incorporación de la Torta de Tridecanter en la alimentación de vacas lecheras permite obtener un ahorro significativo en los costos de alimentación, lo que resalta su potencial como un insumo económicamente viable para la producción lechera. Por otro lado, la Figura 40 presenta la comparación del contenido nutricional de la dieta balanceada para vacas lecheras con y sin la inclusión. En este análisis se observa que los niveles de nutrientes también se mantienen constantes en ambas formulaciones, lo que indica que la adición de este subproducto no afecta la calidad nutricional de la dieta.

Figura 41. Dieta balanceada para vacas pre parto con y sin inclusión de torta de tridecanter

Cod.	Ingredientes Nombre	RACIONES PARA VACAS		Precio
		PRE PARTO SIN T (kg)	PRE PARTO CON T (kg)	
	Maíz	430.000	445.000	S/1.300
	Torta de Soya	150.000	148.000	S/2.360
	Avena	296.350	296.350	S/0.840
	Afrecho de Trigo	50.000	15.000	S/1.120
	<b>Torta de Tricanter</b>	<b>0.000</b>	<b>30.000</b>	<b>S/0.300</b>
	Melaza de caña	50.000	42.000	S/1.900
	Availa Se	0.300	0.300	S/14.550
	Detoxa plus	1.000	1.000	S/15.000
	Fosfato Monocalcico	4.000	4.000	S/3.100
	Carbonato de Calcio	0.500	0.500	S/0.300
	Bicarbonato de Sodio	3.850	3.850	S/2.000
	Lipofeed	3.000	3.000	S/3.970
	Nutrigan Elite	10.000	10.000	S/3.650
	Axtra phy 10000	0.500	0.500	S/41.250
	Nutraxe Xila	0.500	0.500	S/52.500
<b>Totales</b>		<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	
<b>Costos</b>		<b>S/1,447.83</b>	<b>S/1,417.21</b>	

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Figura 42. Nutrientes de dieta balanceada para vacas pre parto con y sin inclusión de torta de tridecanter

<i>Nutrientes</i>			
Cod.	Nombre	PRE PARTO SIN T	PRE PARTO CON T
	NDT (%)	80.4889	80.4889
	EN Lactacion (xKg)	1.7000	1.7000
	Proteina Cruda (%)	14.0000	14.0000
	PDR (% PC)	66.9900	66.9900
	PNDR (% PC)	31.0000	31.0000
	Grasa (%)	3.4150	3.4150
	Fibra Cruda (%)	5.3700	5.3700
	FDN (%)	17.3300	17.3300
	FDA (%)	7.0617	7.0617
	CNF (%)	57.3686	57.3686
	EN Mantenimient (xKg)	1.9044	1.9044
	EN Ganancia (xKg)	1.2529	1.2529
	Calcio (%)	0.7000	0.7000
	Fosforo (%)	0.6500	0.6500
	Sodio (%)	0.1000	0.1000
	BCAD (x1Kg MS) (%)	70.6750	70.6750
	BCAD (xKg MS) + 1000	1,065.9000	1,065.9000
	Magnesio (ppm)	0.2345	0.2345

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Figura 41 presenta el análisis de costos de una dieta balanceada para vacas en preparto, comparando los costos con y sin la inclusión de la Torta de Tridecanter. Los resultados muestran que el costo total de la dieta sin la inclusión de la Torta de Tridecanter es de 1447.83 soles, mientras que con su inclusión se reduce a 1417.21 soles. Esto indica que la incorporación de este subproducto en la alimentación de vacas en preparto genera un ahorro económico, lo que sugiere su viabilidad como alternativa en la formulación de dietas para este grupo de animales. Mientras, la Figura 42 muestra la composición nutricional de la dieta balanceada para vacas en preparto con y sin la inclusión. Los resultados evidencian que los niveles de nutrientes se mantienen constantes en ambas formulaciones, lo que implica que la adición de este subproducto no altera la calidad nutricional de la dieta.

Figura 43. Dieta balanceada para gallinas de postura sin inclusión de torta de tridecanter

Ingredientes		Raciones sin Torta de tricanter				Precio
Cod.	Nombre	NOVOGEN CRECIMIEN (kg)	NOVOGEN PRE POST (Kg)	NOVOGEN POSTURA 1 (Kg)	NOVOGEN POSTURA 2 (kg)	
5	HNA INTEGRAL SOYA	40.000	64.691	47.586	44.682	S/2.316
9	MAIZ SELVA SAN MARTIN	649.389	667.117	593.100	578.904	S/1.400
14	CARBONATO CALCIO FINO	57.951	69.745	77.298	90.131	S/0.234
17	BICARBONATO SODIO	2.000	2.000	2.000	2.000	S/2.200
21	DL METIONINA	1.347	1.309	1.727	1.390	S/16.900
22	HCL LISINA	0.000	0.193	0.077	0.000	S/10.140
24	TRIPTOFANO L	0.000	0.076	0.051	0.000	S/30.000
28	CLORURO COLINA 60%	1.000	1.000	1.000	1.000	S/4.390
45	BETAINA HCL	0.500	0.500	0.500	0.500	S/9.230
54	TORTA SOYA AMERICANA 4	224.103	169.237	190.408	174.494	S/2.142
81	POLVILLO ARROZ 1RA	0.000	0.000	65.000	75.224	S/0.680
120	VALINA L	0.100	0.100	0.381	12.624	S/20.940
137	SAL COMUN	2.018	1.979	2.167	2.364	S/0.300
138	PHOSBIC 21.5	12.302	12.813	9.414	7.396	S/2.900
319	OXIDO DE ZINC	0.020	0.020	0.020	0.020	S/33.930
361	MILBOND TX	2.000	2.000	2.000	2.000	S/3.910
364	MICOFUNG	1.000	1.000	1.000	1.000	S/5.990
443	PREMIX G POSTURA	1.000	1.000	1.000	1.000	S/13.169
507	AXTRA PHY 150g Pollos	0.100	0.100	0.100	0.100	S/34.834
530	ROBAVIO ADVANCE 50g PO	0.050	0.000	0.050	0.050	S/201.970
703	MILPRO	2.000	2.000	2.000	2.000	S/3.820
704	SILIMARINA 80%	0.120	0.120	0.120	0.120	S/126.420
706	ESCENT	2.000	2.000	2.000	2.000	S/20.490
711	BN DROG	1.000	1.000	1.000	1.000	S/23.600
<b>Totales</b>		<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	
Costos		S/1,698.52	S/1,660.71	S/1,620.13	S/1,811.96	

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Figura 44. Dieta balanceada para gallinas de postura con inclusión de torta de tridecanter

Ingredientes		Raciones con Torta de tricanter				Precio
Cod.	Nombre	NOVOGEN CRECIMIEN (kg)	NOVOGEN PRE POST (Kg)	NOVOGEN POSTURA 1 (Kg)	NOVOGEN POSTURA 2 (kg)	
5	HNA INTEGRAL SOYA	40.000	42.000	38.000	35.000	S/2.316
9	MAIZ SELVA SAN MARTIN	628.392	639.846	560.370	550.151	S/1.400
14	CARBONATO CALCIO FINO	57.984	69.745	77.298	90.131	S/0.234
17	BICARBONATO SODIO	2.000	2.000	2.000	2.000	S/2.200
21	DL METIONINA	1.357	1.221	1.943	1.739	S/16.900
22	HCL LISINA	0.000	0.263	0.178	0.310	S/10.140
24	TRIPTOFANO L	0.000	0.076	0.051	0.000	S/30.000
28	CLORURO COLINA 60%	1.000	1.000	1.000	1.000	S/4.390
45	BETAINA HCL	0.500	0.500	0.500	0.500	S/9.230
54	TORTA SOYA AMERICANA 4	215.000	169.217	190.408	174.494	S/2.142
81	POLVILLO ARROZ 1RA	0.000	0.000	57.000	63.000	S/0.680
120	VALINA L	0.100	0.100	0.381	12.624	S/20.940
137	SAL COMUN	2.018	1.979	2.167	2.364	S/0.300
138	PHOSBIC 21.5	12.360	12.813	9.414	7.396	S/2.900
319	OXIDO DE ZINC	0.020	0.020	0.020	0.020	S/33.930
361	MILBOND TX	2.000	2.000	2.000	2.000	S/3.910
364	MICOFUNG	1.000	1.000	1.000	1.000	S/5.990
443	PREMIX G POSTURA	1.000	1.000	1.000	1.000	S/13.169
507	AXTRA PHY 150g Pollos	0.100	0.100	0.100	0.100	S/34.834
530	ROBAVIO ADVANCE 50g PO	0.050	0.000	0.050	0.050	S/201.970
703	MILPRO	2.000	2.000	2.000	2.000	S/3.820
704	SILIMARINA 80%	0.120	0.120	0.120	0.120	S/126.420
706	ESCENT	2.000	2.000	2.000	2.000	S/20.490
711	BN DROG	1.000	1.000	1.000	1.000	S/23.600
1002	<b>TORTA DE TRICANTER</b>	<b>30.000</b>	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	<b>S/0.300</b>
<b>Totales</b>		<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	<b>1,000.000</b>	
Costos		S/1,659.82	S/1,584.16	S/1,566.33	S/1,765.01	

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Figura 45. Nutrientes y raciones de dieta balanceada para gallinas de postura sin inclusión de torta de tridecanter

<b>Nutrientes</b>		<b>Raciones</b>			
Cod.	Nombre	NOVOGEN CRECIMIEN	NOVOGEN PRE POST	NOVOGEN POSTURA 1	NOVOGEN POSTURA 2
3	Energía Metab Aves (Kcal)	2,900.0000	2,850.0000	2,850.0000	2,850.0000
5	Proteína Cruda (%)	18.5000	16.5000	17.5000	17.5000
6	Grasa Cruda (%)	3.7432	4.1442	4.5000	4.5000
7	Fibra Cruda (%)	2.3491	2.3000	2.6340	2.6000
10	Calcio (%)	2.7164	3.1681	3.3700	3.8000
12	Fosforo Disponible (%)	0.4500	0.4500	0.4000	0.3600
14	Calcio/Fosforo D (%)	6.0364	7.0403	8.4250	10.5556
15	Sodio (%)	0.1753	0.1732	0.1800	0.1872
16	Cloro (%)	0.1800	0.1800	0.1906	0.2000
18	Balance Electrolytico (Meq/l)	25.5000	24.6000	24.6000	25.1000
28	Lisina dig. Aves (%)	0.8681	0.7600	0.8100	0.7562
29	Metionina dig. Aves (%)	0.4200	0.3927	0.4400	0.3943
30	Met + Cis dig. Aves (%)	0.7046	0.6500	0.7074	0.6500
31	Treonina dig. Aves (%)	0.6299	0.5508	0.5865	0.5558
32	Triptofano dig. Aves (%)	0.1882	0.1700	0.1816	0.1668
33	Arginina dig. Aves (%)	1.0862	0.9551	1.0197	0.9635
34	Valina dig. Aves (%)	0.8137	0.7187	0.7900	1.9342
35	Isoleucina dig. Aves (%)	0.6797	0.5989	0.6273	0.5915
47	Acido Linoleico (Omg 6) (%)	1.7997	2.0301	2.0778	2.0635
53	Colina Extra (ppm)	520.7400	520.7400	520.7400	520.7400

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Figura 46. Nutrientes y raciones de dieta balanceada para gallinas de postura con inclusión de torta de tridecanter

<b>Nutrientes</b>		<b>Raciones</b>			
i.	Nombre	NOVOGEN CRECIMIEN	NOVOGEN PRE POST	NOVOGEN POSTURA 1	NOVOGEN POSTURA 2
3	Energía Metab Aves (Kcal)	2,900.0000	2,850.0000	2,850.0000	2,850.0000
5	Proteína Cruda (%)	18.5000	16.5000	17.5000	17.5000
6	Grasa Cruda (%)	3.7432	4.1442	4.5000	4.5000
7	Fibra Cruda (%)	2.3491	2.3000	2.6340	2.6000
10	Calcio (%)	2.7164	3.1681	3.3700	3.8000
12	Fosforo Disponible (%)	0.4500	0.4500	0.4000	0.3600
14	Calcio/Fosforo D (%)	6.0364	7.0403	8.4250	10.5556
15	Sodio (%)	0.1753	0.1732	0.1800	0.1872
16	Cloro (%)	0.1800	0.1800	0.1906	0.2000
18	Balance Electrolytico (Meq/l)	25.5000	24.6000	24.6000	25.1000
28	Lisina dig. Aves (%)	0.8681	0.7600	0.8100	0.7562
29	Metionina dig. Aves (%)	0.4200	0.3927	0.4400	0.3943
30	Met + Cis dig. Aves (%)	0.7046	0.6500	0.7074	0.6500
31	Treonina dig. Aves (%)	0.6299	0.5508	0.5865	0.5558
32	Triptofano dig. Aves (%)	0.1882	0.1700	0.1816	0.1668
33	Arginina dig. Aves (%)	1.0862	0.9551	1.0197	0.9635
34	Valina dig. Aves (%)	0.8137	0.7187	0.7900	1.9342
35	Isoleucina dig. Aves (%)	0.6797	0.5989	0.6273	0.5915
47	Acido Linoleico (Omg 6) (%)	1.7997	2.0301	2.0778	2.0635
53	Colina Extra (ppm)	520.7400	520.7400	520.7400	520.7400

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Por último, las Figuras 43 y 44 presentan el análisis de costos de la dieta balanceada para gallinas de postura en cuatro etapas productivas: Crecimiento, Pre postura, Postura 1 y Postura 2, comparando los costos con y sin la inclusión de la Torta de Tridecanter. En la Figura 43, se observan los costos sin la inclusión

de este subproducto, obteniendo valores de 1698.52 soles para la etapa de Crecimiento, 1660.71 soles para Pre-postura, 1620.13 soles para Postura 1 y 1811.96 soles para Postura 2. Por otro lado, en la Figura 44, donde se incorpora la Torta de Tridecanter, los costos disminuyen en todas las etapas, alcanzando 1659.82 soles en Crecimiento, 1584.16 soles en Pre-postura, 1566.33 soles en Postura 1 y 1765.01 soles en Postura 2. Estos resultados indican que su inclusión en la alimentación de gallinas de postura permite una reducción en los costos de producción sin comprometer la formulación de la dieta, lo que representa un beneficio económico para los productores avícolas. Asimismo, las Figuras 45 y 46 muestran la composición nutricional sin y con la inclusión de la Torta de Tridecanter, respectivamente. En ambas figuras, se evidencia que los niveles de nutrientes se mantienen constantes en todas las etapas productivas, lo que significa que la incorporación de este subproducto no altera la calidad nutricional de la dieta.

Tabla 8. Análisis de costo de inclusión

ESPECIE	TIPOS DE ALIMENTO	INCLUSION	COSTO DIETA S/
CERDOS	GESTACION	0%	1481.35
	LACTANCIA	3%	1474.22
GANADO VA-CUNO	VACAS PRODUCCION	0%	1889.19
		5%	1883.01
	VACAS PRE PARTO	0%	1685.37
		5%	1616.28
	CRECIMIENTO	0%	1447.83
		3%	1417.21
GALLINAS DE POSTURA	PRE POSTURA	0%	1698.52
		3%	1659.82
	POSTURA 1	0%	1660.71
		5%	1584.16
POSTURA 2	0%	1620.13	
	5%	1566.33	
		0%	1811.96
		5%	1765.01

ESPECIE		
CERDOS	DIFERENCIA S/	7.13
	% DE REDUCCION DE COSTO S/	0.48%
GANADO VACUNO	DIFERENCIA S/	69.09
	% DE REDUCCION DE COSTO S/	4.10%
GALLINAS DE POSTURA	DIFERENCIA S/	30.62
	% DE REDUCCION DE COSTO S/	2.11%
	DIFERENCIA S/	38.7
	% DE REDUCCION DE COSTO S/	2.28%
	DIFERENCIA S/	76.55
	% DE REDUCCION DE COSTO S/	4.61%
	DIFERENCIA S/	53.8
	% DE REDUCCION DE COSTO S/	3.32%
	DIFERENCIA S/	46.95
	% DE REDUCCION DE COSTO S/	2.6%

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Tabla 7 presenta un análisis comparativo resumen de los costos de alimentación con y sin la inclusión de la “Torta de Tridecanter” en las dietas formuladas para cerdos, ganado vacuno y gallinas de postura. En esta tabla se detallan los costos totales en cada caso y el porcentaje de reducción obtenido con la incorporación de este subproducto en proporciones del 3 % al 5 %, evidenciando el impacto económico de su uso en la alimentación animal. El análisis revela que la inclusión de la Torta de Tridecanter genera ahorros significativos en diferentes especies, siendo más notable en las gallinas de postura durante la etapa de pre-postura, donde se obtuvo una reducción del 4.61 % en los costos de alimentación. Este resultado es seguido por las vacas de producción de leche, donde se logró un ahorro del 4.10 %, lo que indica que el uso de este subproducto es particularmente beneficioso en la alimentación del ganado vacuno lechero. Este análisis permite confirmar que la Torta de Tridecanter es una alternativa viable para la formulación de dietas balanceadas para el ganado vacuno, ya que contribuye a la reducción de costos sin afectar el perfil nutricional de las raciones.

Tabla 9. Proyección de consumo anual de torta de tridecanter

TOTAL DE CONSUMO DE TORTA DE TRIDECANTER (TM)	TOTAL, DE CONSUMO DE TORTA DE TRIDECANTER (KG)	TOTAL, DE CONSUMO DE ALIMENTO (KG)	RACIÓ DE CONSUMO POR TIPO DE ALIMENTO (KG)	TOTAL, DE ANIMALES AÑO (UND)	INCLUSION (%)	TIPOS DE ALIMENTO	ESPECIE
1078.64	1078636.80	35954560.00	320.00	112358.00	3%	GESTACION	CERDOS
954.39	954392.40	19087848.00	156.00	122358.00	5%	LACTANCIA	
196948.00	196948000.00	3938960000.00	4240.00	929000.00	5%	VACAS PRODUCCION	GANADO VACU-NO
99495.90	994959000.00	3316530000.00	3570.00	929000.00	3%	VACAS PRE PARTO	
4050.37	4050370.53	135012351.10	4.68	28830312.00	3%	CRECIMIENTO	GALLINAS
2371.29	2371293.16	47425863.24	1.65	28830312.00	5%	PRE POSTURA	DE POSTURA
29752.88	29752881.98	595057639.68	20.64	28830312.00	5%	POSTURA 1	
29450.16	29450163.71	589003274.16	20.43	28830312.00	5%	POSTURA 2	

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Por último, la Tabla 8 presenta la proyección de consumo anual de la “Torta de Tridecanter” en el Perú, basada en datos estadísticos del Ministerio de Agricultura y Riego del año 2022. Esta proyección considera el total de consumo de alimento en kilogramos para distintas especies y etapas productivas, así como el cálculo correspondiente del consumo de la Torta de Tridecanter expresado en toneladas métricas (TM).

Los valores obtenidos indican que el consumo anual estimado de la Torta de Tridecanter alcanza cifras significativas en diversas categorías de animales. En el caso de los cerdos, el consumo proyectado es de 1078.64 TM para la etapa de gestación y 954.39 TM para la lactancia. Para el ganado vacuno, se estima un consumo de 196948.00 TM en vacas de producción y 99495.90 TM en vacas en parto. En lo que respecta a las gallinas de postura, el consumo proyectado varía según la etapa de desarrollo, con 4050.37 TM en crecimiento, 2371.29 TM en pre-postura, 29752.88 TM en la primera fase de postura y 29450.16 TM en la segunda fase de postura. Estos resultados reflejan un volumen importante de aprovechamiento potencial de la Torta de Tridecanter como materia prima en la producción pecuaria. Su inclusión en la alimentación animal no solo puede contribuir a la reducción de costos en las dietas formuladas, como se evidenció en el análisis de costos, sino que también representaría una alternativa sustentable para el uso de subproductos en la industria pecuaria.

## **Análisis Económico de la torta de Tridecanter Lodo de palma**

Después de haber obtenido el porcentaje de reducción de costos y la proyección anual de torta de Tridecanter Lodo de palma, se determinó el precio óptimo para su inclusión como alimento balanceado para ganado vacuno. Se establece que, según las dietas balanceadas, el precio de venta por kilogramo sería de 30 céntimos, lo que equivale a 300 soles por tonelada.

Para esto se utilizó el siguiente modelo el Flujo de Caja Descotado Libre para la evaluación de proyectos de inversión, alineada con teorías de finanzas corporativas y análisis de costo-beneficio.

Aquí se presentan las fórmulas utilizadas en la evaluación económica del proyecto:

### **a. Valor Presente del Flujo de Caja (VP Flujo 1 - 10 años)**

El cual calcula el valor presente de los flujos de caja futuros descontados a una tasa específica.

$$VP = \sum \frac{FC_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

- $FC_t$  = Flujo de caja en el año t
- $r$  = Taza de descuento
- $t$  = Taza de descuento

### b. VAN / INV (Relación Valor Actual Neto sobre Inversión)

Mide la rentabilidad del proyecto en relación con la inversión inicial.

$$\frac{VAN}{INV} = \left( \frac{VP - Inversión}{Inversión} \right) \times 100$$

Si el resultado es mayor a 100%, significa que el proyecto genera más del doble de la inversión.

### c. TIR (Tasa Interna de Retorno)

Es la tasa de descuento que hace que el VAN sea cero.

$$0 = \sum \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - Inversión$$

### d. TIR - COK (Diferencia entre TIR y Costo de Capital - COK)

Muestra cuánto la TIR supera el costo de oportunidad del capital.

$$TIR - COK = TIR - COK$$

Si es positivo, el proyecto es viable.

### e. Recuperación de la Inversión (Payback o PRI - Período de Recuperación de la Inversión)

Tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.

$$PRI = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Flujo de caja promedio Anual}}$$

Si los flujos son variables, se acumulan los flujos año a año hasta cubrir la inversión.

Según las proyecciones actuales, el mercado de consumo que sería para la Torta de tridecanter lodo de palma asciende a un total de **364,099 toneladas (Tm) anuales**, lo que refleja una demanda considerable en la industria. Por su parte, la planta de Industrias de Shanusi, produce **7,000 toneladas anuales** de lodo de palma. Esta cantidad no solo es significativa en términos de la capacidad productiva de la planta, sino que también encuentra un mercado con demanda suficiente para su comercialización, lo que garantiza su colocación y potencial rentabilidad.

Al colocar el precio según el balance de 300 soles la Tm que sería de 79 dólares la evaluación económica del proyecto sería lo siguiente:

Tabla 10. Inversión Inicial

DETALLE DE LA INVERSION TOTAL	Montos USD
Planta Piloto	32000
Secador Rotativo	100,000
asesoría en Ingeniería y comisión de puesta en marcha	15,000
Molino	20,000
Exportación CIF Callao	30,000
Otros no previstos	50,000
Montaje Eléctrico	15,000
Montaje Mecánico	50 000
Obras Civiles	100,000
Materiales eléctricos	50,000
Materiales Metalmecánicos y consumibles	60,000
Transporte interno y Gastos generales del proyecto	70,000
Total, USD	542,000

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Tabla 11. Ingresos y egresos

PANEL DE VARIABLES DE ENTRADA:											
Etapa de Inversión	Completo										
Inversión	542,000										
Años del Proyecto	10										
Impuesto a la Renta	10%										
(TAX)											
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	609,517	632,107	641,230	646,457	645,243	650,462	669,421	683,285	683,111	667,404
Costos Operativos	-	99,385	100,597	101,087	101,367	101,302	101,582	102,599	103,343	103,334	102,491
Gastos Operativos	-	162,331	167,606	169,736	170,956	170,673	171,892	176,319	179,556	179,516	175,848

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos / Ahorro		609,517	632,107	641,230	646,457	645,243	650,462	669,421	683,285	683,111	667,404
Egresos Totales		-261,716	-268,203	-270,823	-272,324	-271,975	-273,474	-278,918	-282,900	-282,850	-278,339
Utilidad Operativa		347,802	363,904	370,407	374,133	373,268	376,988	390,503	400,385	400,262	389,065
(-) Impuesto a la Renta		-34,780	-36,390	-37,041	-37,413	-37,327	-37,699	-39,050	-40,039	-40,026	-38,907
(-) Inversión	-542,000										
(+) Valor Residual del Activo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de Caja	-542,000	313,021	327,514	333,367	336,720	335,941	339,289	351,452	360,347	360,235	350,159

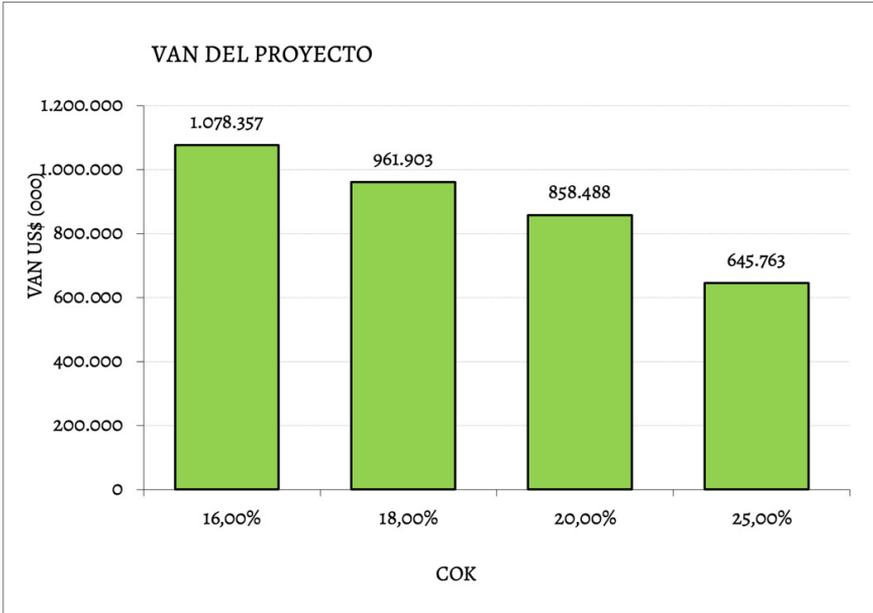
Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Tabla 12. Indicadores de rentabilidad

Concepto	Tasas de Descuento			
	16.00%	18.00%	20.00%	25.00%
VP Flujo 1 - 10 años	1,078,357	961,903	858,488	645,763
VAN / INV	199.00%	177.50%	158.40%	119.10%
Inversión	542,000	542,000	542,000	542,000
TIR	59.61%	59.61%	59.61%	59.61%
TIR - COK	43.61%	41.61%	39.61%	34.61%
Recuperación (Años)	2.13	2.2	2.28	2.48

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Figura 47. Análisis del Valor Actual Neto (VAN) a Diferentes Tasas



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Tabla 11 muestra la evaluación financiera del proyecto considerando distintas tasas de descuento (16%, 18%, 20% y 25%) y los indicadores clave que determinan su viabilidad económica. A continuación, se realiza el análisis:

El VP de los flujos disminuye conforme aumenta la tasa de descuento, lo cual es esperable porque el valor del dinero en el tiempo reduce su impacto en periodos futuros.

- A 16%: 1,078,347 \$
- A 25%: 645,763 \$

Esto sugiere que, mientras más baja sea la tasa, más valor presente generan los flujos proyectados.

VAN/INV mide el retorno del proyecto respecto a la inversión inicial (\$ 542,000). Aunque la relación también disminuye con tasas mayores, todos los valores superan el 100%, lo cual es una señal positiva.

- A 16%: 199%
- A 25%: 119.1%

Un valor mayor al 100% implica que el proyecto genera suficiente retorno para recuperar la inversión y obtener ganancias.

La TIR se mantiene constante en 59.61%. Esto indica que el proyecto es rentable mientras la tasa de descuento sea inferior a este valor. Además, es significativamente mayor que las tasas consideradas (16%-25%), confirmando su viabilidad.

TIR -COK refleja el margen de rentabilidad sobre el costo de capital. A tasas más bajas, el margen es mayor:

- A 16%: 43.61%
- A 25%: 34.61%

La inversión inicial de 542,000 se recupera en 2.13 a 2.48 años, lo que indica un período de recuperación rápido.

### **Formulación de mezcla torta de tridecanter lodo de palma y torta de palmiste**

Como parte complementaria del estudio, se realizó la formulación de un producto mezcla a partir de la “Torta de Tridecanter Lodo de Palma” y la “Torta de Palmiste”, con el objetivo de evaluar su potencial como suplemento alimenticio para ganado vacuno. La inclusión de la Torta de Palmiste en esta formulación se debe a su alto valor nutricional y a su uso comercial en la industria pecuaria, lo que la convierte en un insumo de referencia para el desarrollo de nuevas alternativas de alimentación animal.

Para esta formulación, se analizaron detalladamente las composiciones nutricionales individuales de ambas tortas, con el propósito de conocer sus principales aportes en términos de proteínas, fibras, grasas y otros nutrientes esenciales para el desarrollo y mantenimiento del ganado. Posteriormente, se realizaron diferentes mezclas en proporciones variables de Torta de Palmiste y Torta de Tridecanter Lodo de Palma, utilizando relaciones de 50/50, 60/40, 70/30 y 80/20. Cada una de estas combinaciones fue sometida a una caracterización química para determinar su viabilidad nutricional y evaluar cuál de ellas presenta mejores características para su potencial aplicación en la formulación de raciones balanceadas.

Este análisis tuvo como finalidad seleccionar la mejor proporción de mezcla que pudiera ser recomendada para su implementación en la empresa *Industrias del Shanusi*, la cual busca optimizar el aprovechamiento de sus propios residuos derivados del procesamiento de palma aceitera.

Tabla 13. Composición nutricional de Torta de Tridecanter lodo de palma y Torta de palmiste

Composición nutricional	Torta de Tridecanter lodo de palma (%)	Torta de palmiste (%)
Humedad	6.1	4.5
Proteína	13	14.6
Grasa	11	7.24
Fibra	36	17
Ceniza	14	3.33
Calcio	0.84	1.63
Fósforo	0.24	0.59

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Tabla 12 presenta la composición nutricional de la Torta de Tridecanter Lodo de Palma y la Torta de Palmiste, permitiendo una comparación detallada entre ambos subproductos en términos de humedad, contenido de proteína, grasa, fibra, ceniza, calcio y fósforo.

En cuanto a la Torta de Tridecanter Lodo de Palma, se observa un contenido de humedad del 6.1%, un nivel de proteína del 13% y una cantidad considerable de grasa, alcanzando el 11%. Sin embargo, destaca su alto contenido de fibra (36%), lo que indica una mayor proporción de material estructural menos digestible. Además, presenta un 14% de ceniza, lo que sugiere un mayor contenido de minerales, con valores de calcio (0.84%) y fósforo (0.24%). Por otro lado, la Torta de Palmiste muestra una menor humedad (4.5%) y un mayor contenido de proteína (14.6%), lo que la hace más atractiva en términos nutricionales. Su contenido de grasa es menor (7.24%), pero presenta una fibra significativamente más baja (17%), lo que indica una mejor digestibilidad en comparación con la Torta de Tridecanter Lodo de Palma. Asimismo, su contenido de ceniza es mucho menor (3.33%), lo que sugiere una menor presencia de minerales totales. Destaca su mayor concentración de calcio (1.63%) y fósforo (0.59%), lo que la hace más rica en estos minerales esenciales para el desarrollo óseo y la producción animal.

A partir de esta información, se puede interpretar que la Torta de Palmiste posee una mejor relación proteína-fibra, mayor concentración de minerales esenciales y menor contenido de humedad, lo que la convierte en una opción más equilibrada para la formulación de dietas. No obstante, la Torta de Tridecanter Lodo de Palma presenta un mayor contenido graso y una mayor proporción de

ceniza, lo que podría aportar beneficios adicionales dependiendo del tipo de ganado como es el vacuno en producción de leche y los requerimientos específicos de la dieta.

Tabla 14. Composición nutricional de composiciones de Torta de Tridecanter lodo de palma y Torta de palmiste

Composición nutricional	Composiciones Torta de palmiste/Torta de Tridecanter lodo de palma				Estándar recomendado
	50/50	60/40	70/30	80/20	
Humedad	5.3	5.14	4.98	4.82	(7 max)
Proteína	13.8	13.96	14.12	14.28	(12-15)
Grasa	9.12	8.744	8.368	7.992	(12.7 max)
Fibra	26.5	24.6	22.7	20.8	(13-16)
Ceniza	8.665	7.598	6.531	5.464	(14 max)
Calcio	1.235	1.314	1.393	1.472	(0.4-0.75)
Fósforo	0.415	0.45	0.485	0.52	(0.3-0.6)

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

La Tabla 13 presenta la composición nutricional de las diferentes mezclas de Torta de Tridecanter Lodo de Palma y Torta de Palmiste en proporciones de 50/50, 60/40, 70/30 y 80/20, comparándolas con los estándares recomendados para suplementos alimenticios destinados al ganado vacuno. A partir de los datos obtenidos, se observa una clara tendencia al incremento de los valores nutricionales conforme aumenta la proporción de Torta de Palmiste, lo que se debe a su composición natural con un mayor contenido proteico y mineral.

Sin embargo, el objetivo de la selección de la mejor mezcla no se basa únicamente en la mejora de los valores nutricionales, sino en maximizar la inclusión de Torta de Tridecanter Lodo de Palma, ya que es el subproducto que la empresa busca aprovechar y utilizar en la formulación de suplementos. En este sentido, el primer criterio de evaluación inicia con la proporción 50/50, donde se obtuvo un valor proteico del 13.8%, un contenido de calcio de 1.235% y fósforo de 0.415%, parámetros que cumplen con la mayoría de los estándares recomendados para alimentación de ganado vacuno. Sin embargo, se observó que el contenido de fibra y ceniza en esta mezcla es relativamente alto (26.5%), lo que podría afectar la digestibilidad del suplemento en ciertas aplicaciones.

Ante esto, se procedió a evaluar la siguiente proporción de 60/40, donde se encontró una mejora en los valores nutricionales, con un incremento en la proteína hasta 13.96%, calcio en 1.314% y fósforo en 0.45%, mientras que la fibra se redujo a 24.6%, acercándose a un valor óptimo en términos de digestibilidad. A partir de este punto, se determinó que esta proporción es la más adecuada para la formulación del suplemento, ya que al pasar a niveles superiores de inclusión de Torta de Palmiste (70/30 o 80/20), se reduciría significativamente la cantidad de Torta de Tridecanter Lodo de Palma, limitando así el aprovechamiento del residuo industrial que la empresa busca implementar.

Cabe destacar que, según la asesoría técnica de la empresa Ingenieros y Servicios Generales E.I.R.L., el nivel de fibra obtenido en la proporción 60/40 (24.6%) no permite la aplicación de este suplemento en la alimentación de ganado vacuno de engorde, debido a problemas de digestibilidad asociados a un alto contenido de fibra. No obstante, este nivel es compatible con las necesidades nutricionales del ganado vacuno de producción lechera, por lo que se recomienda su implementación en este sector específico. Con esta selección, se logra un equilibrio entre el máximo aprovechamiento del Torta de Tridecanter Lodo de Palma y la optimización de los valores nutricionales, asegurando su viabilidad en la industria pecuaria.

## **Análisis Económico de la mezcla de Torta de tridecanter lodo de palma + Torta de palmiste.**

Como parte adicional del proyecto, se propuso realizar un análisis económico de la comercialización de una mezcla compuesta por un 60% de torta de palmiste y un 40% de lodo de palma. Considerando que el precio de venta de la torta de palmiste es de 600 soles por tonelada, la mezcla tendría un precio ponderado de **480 soles** por tonelada, que equivale a 126 dólares.

Si bien el precio de venta de la mezcla sería inferior al de la torta de palmiste comercializada de forma individual, la rentabilidad se vería incrementada debido al mayor volumen de ventas generado por la combinación de ambos subproductos.

Actualmente, los ingresos anuales por la venta de torta de palmiste ascienden a 2.8 millones de dólares por año. Sin embargo, al incorporar la mezcla propuesta, los ingresos proyectados superarían los 4 millones de dólares, lo que demuestra la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

A continuación, se detalla el análisis económico



Flujo de Caja	-542,000									
(+) Valor Residual del Activo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(-) Inversión	-542,000									
(-) Im-puesto a la Renta	938,833	-104,315	-110,647	-113,204	-114,669	-114,329	-115,792	-121,106	-124,992	-124,943
Utilidad Operativa	995,820	1,043,148	1,106,467	1,132,039	1,146,688	1,143,286	1,157,915	1,211,057	1,249,918	1,249,431
	1,018,835									
	1,032,020									
	1,028,958									
	1,042,124									
	1,089,951									
	1,124,926									
	1,124,488									
	1,084,864									

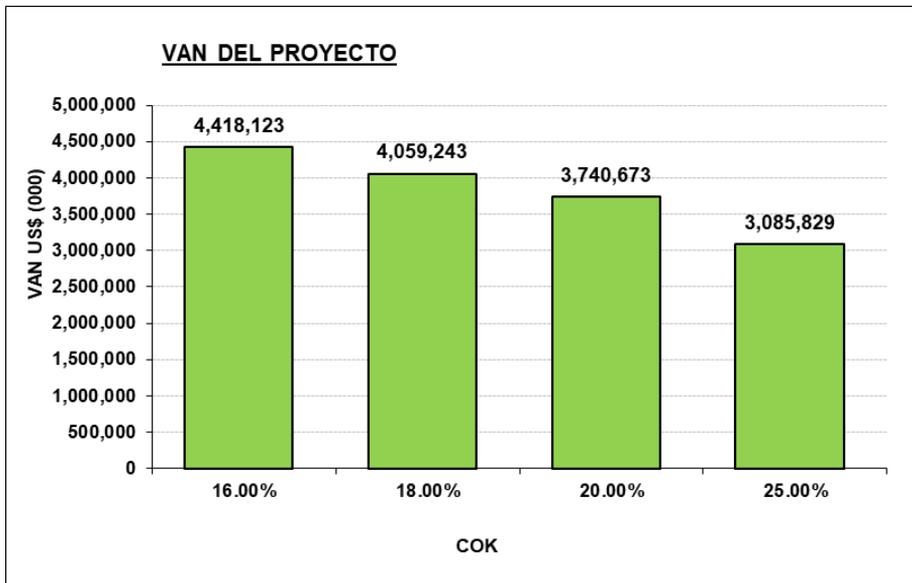
Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Tabla 16. Indicadores de rentabilidad para Torta de Tridecanter lodo de palma y Torta de palmiste

Concepto	Tasas de Descuento			
	16.00%	18.00%	20.00%	25.00%
VP Flujo 1 - 10 años	4,418,123	4,059,243	3,740,673	3,085,829
VAN / INV	815.20%	748.90%	690.20%	569.30%
Inversión	542,000	542,000	542,000	542,000
TIR	177.69%	177.69%	177.69%	177.69%
TIR - COK	161.69%	159.69%	157.69%	152.69%
Recuperación (Años)	2.13	2.2	2.28	2.48

Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

Figura 48. Análisis del Valor Actual Neto (VAN) a Diferentes Tasas para Torta de Tridecanter lodo de palma y Torta de palmiste



Fuente: Burgos Puitiza, 2025.

De los resultados obtenidos analizamos lo siguiente:

El flujo de caja disminuye a medida que aumenta la tasa de descuento (COK).

- A una tasa de 16%, el VP Flujo es de 4,418,123 USD
- A una tasa del 25% se reduce a 3,085,829 USD.

La Relación entre el Valor Actual Neto y la Inversión, Es mayor a menor COK, lo que indica que la rentabilidad relativa es más alta a tasas más bajas.

- A 16%, la relación es de 815.2%
- A 25% disminuye a 569.3%.

Tasa Interna de Retorno es del 177.69%, lo que indica una alta rentabilidad del proyecto, comparado con el COK, la TIR es considerablemente superior, lo que sugiere que el proyecto es atractivo financieramente.

TIR - COK a medida que el COK aumenta, la diferencia se reduce, a 16%, la diferencia es 161.69%, mientras que a 25% disminuye a 152.69%, aunque sigue siendo elevada.

El Periodo de recuperación de la inversión A 16%, el tiempo de recuperación es 2.13 años, mientras que a 25% se incrementa a 2.48 años, se observa que el

proyecto sigue siendo rentable en todos los escenarios, ya que el VAN permanece positivo en cada tasa analizada.

## Conclusiones

La evaluación del valor nutricional del lodo seco de palma como alimento balanceado para ganado vacuno permitió determinar que las condiciones de temperatura y tiempo de secado influyen significativamente en su composición química. A temperaturas más altas y tiempos de secado prolongados, se observó una reducción en la humedad, lo que favorece su conservación, consistencia y almacenamiento, pero también una disminución en el contenido de algunos nutrientes sensibles al calor, como la proteína.

El análisis del valor nutricional y de las características físicas y químicas del lodo de palma determinó que tanto la temperatura como el tiempo de secado influyen significativamente en su composición, según el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%. La temperatura tuvo un impacto más significativo ( $p = 0.00778$ ) en el contenido de proteína en comparación con el tiempo de secado ( $p = 0.04987$ ), mientras que la interacción entre ambas variables no mostró un efecto estadísticamente relevante ( $p = 0.75176$ ). A partir del análisis de los estándares nutricionales recomendados y la prueba de Tukey, se seleccionó el tratamiento de 75°C por 4 horas como la mejor opción, ya que cumple con los parámetros recomendados de proteína, humedad, grasa, calcio y ceniza, además de optimizar el proceso al reducir el tiempo de secado. Este tratamiento es el más viable para la producción industrial de suplementos alimenticios para ganado vacuno, asegurando un balance adecuado entre calidad nutricional y eficiencia operativa.

El análisis de costos reveló que la incorporación del lodo de palma como parte del alimento balanceado genera ahorros económicos significativos, especialmente en la alimentación de gallinas de postura (reducción del 4.61%) y vacas lecheras (4.10%). No obstante, su uso en ganado de engorde y cerdos no es recomendable debido a su alta fibra y ceniza, que afectan la digestibilidad del alimento. Estos resultados confirman que el lodo de palma seco es una alternativa viable y económicamente rentable en la formulación de dietas para ganado vacuno de producción lechera.

La formulación de mezclas entre el lodo de palma y la Torta de Palmiste mostró que la proporción 60/40 es la más adecuada, ya que optimiza el contenido proteico (13.96%), calcio (1.314%) y fósforo (0.45%), sin comprometer la digestibilidad del suplemento. Mezclas con mayor contenido de Torta de Palmiste mejorarían

los valores nutricionales, pero reducirían el aprovechamiento del lodo de palma, que es el subproducto de interés. Además, se determinó que la mezcla 60/40 no es apta para ganado de engorde debido a su alto contenido de fibra (24.6%), pero sí es viable para ganado vacuno lechero, asegurando su aplicación en la industria pecuaria.

El análisis financiero del proyecto de venta de lodo de palma confirma su viabilidad económica y su potencial de rentabilidad. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 58.34% supera significativamente las tasas de descuento evaluadas, lo que garantiza la generación de valor para los inversionistas. Asimismo, la relación VAN/INV se mantiene positiva incluso en escenarios conservadores con un Costo de Oportunidad del Capital (COK) del 25%, demostrando la solidez del proyecto ante variaciones en el entorno financiero. Estos resultados evidencian que la iniciativa no solo es factible, sino también altamente rentable, posicionándose como una alternativa estratégica para optimizar el aprovechamiento de subproductos en la industria.

El proyecto de venta de la mezcla de torta de palmiste + lodo de palma demuestra una alta rentabilidad, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 177.69%, muy por encima de cualquier tasa de descuento analizada. El Valor Actual Neto (VAN) es positivo en todos los escenarios, lo que confirma la generación de valor. Además, el tiempo de recuperación de la inversión es relativamente corto, entre 2.13 y 2.48 años, lo que indica una rápida recuperación del capital invertido.

## Recomendaciones

Realizar análisis microbiológicos del lodo de palma seco para evaluar la presencia de microorganismos patógenos y su impacto en la seguridad alimentaria del ganado, como técnicas de cultivo y PCR, considerando parámetros microbiológicos según normativas internacionales de inocuidad alimentaria.

Evaluar la digestibilidad in vivo del lodo de palma seco en ganado vacuno mediante ensayos de alimentación controlados.

Analizar la estabilidad del producto en almacenamiento, evaluando la evolución de parámetros como humedad, actividad de agua y rancidez lipídica durante un período mínimo de 6 meses bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa (15°C - 30°C y 50% - 80% HR).

Evaluar la presencia de compuestos antinutricionales en el lodo de palma seco, como taninos y fitatos, que podrían afectar la absorción de nutrientes en el ganado, empleando cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y espectrofotometría UV-Vis.

Se recomienda un análisis integral de costos que incluya su desglose, punto de equilibrio y sensibilidad a variaciones, así como estrategias de optimización y precios competitivos para maximizar la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto.



## **Referencias**

- Abd El Tawab, A., & Khattab, M. (2018). Utilization of Palm Kernel Cake as a Ruminant Feed for Animal: A Review. *Asian Journal of Biological Sciences*, 11, 157-164.
- Agraria.pe. (2023). Cultivo de palma aceitera en Perú genera más de 17,000 puestos de trabajo directos y beneficia a 7,000 familias. <https://n9.cl/rzuk6>
- Agraria.pe. (2023). La palma aceitera es el cultivo líder en el desarrollo de la Amazonía peruana. <https://n9.cl/qy6w9d>
- Agraria.pe. (2024). Perú produce alrededor de 300 mil toneladas de aceite de palma al año. <https://n9.cl/2utq3>
- Aladi, N., Okpaliko, F., Ikpamezie, L., Omede, A., Emenalom, O., Ifeanyi Charles, O., & Okeudo, N. (2022). Solid-state fermentation improves the nutritive value of grated cassava roots and palm kernel cake mix for growing pigs. *Nigerian Journal of Animal Production*, 48, 106-120.
- Alva Cisterna Miller, L. G., Bustamante Cárdenas, F. A., & Del Carpio Amesquita, C. A. (2022). Maestría en Administración de Negocios – Executive MBA. *Plan de negocio para producción y comercialización de alimento balanceado para ganado bovino* [Trabajo de Investigación, Escuela de Postgrado, Universidad San Ignacio de Loyola].
- Andina. (2018). San Martín produce 40% de la palma aceitera del total nacional. <https://n9.cl/rhktz>
- Ayanz, M.A. (2009). *Fundamentos de la alimentación y nutrición del ganado*. E.T.S. Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Badarina, I., Soetrisno, E., Nurmeiliasari, & Suherman, D. (2024). *Effect of block feed supplementation based on palm oil sludge for Bengkulu local cattle (Kaur Cattle) on the dry matter and organic matter digestibility of rations*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Barrera Hernández, J. (2024). *Evaluación integral de esquemas tecnológicos de revalorización energética de la biomasa residual del proceso de extracción de aceite de palma en el departamento de Magdalena, Colombia*. Corporación Universidad de la Costa.
- Bell, A. (2007). *Informe técnico: manejo y alimentación de la vaca en transición*. Nutrefeed, S.A.

- Burgos Puitiza, L. (2025). *Influencia de temperatura y tiempo de secado de lodo de palma en su potencial nutricional para ganado vacuno* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo].
- Caroko, N., Saptoadi, H., & Rohmat, T.A. (2020). Comparative study on the drying of oil palm solid waste using conventional and microwave methods. *Journal of engineering science and technology*, 15(4), 2696-2711.
- Castellanos, E. (2016). *Revisión sobre el cultivo de la palma de aceite en Colombia*. Fedepalma.
- Castillo Vargas, J., & Rosa, J. (2022). Efectos de la inclusión de la torta de palmiste en la dieta de los bovinos sobre el metabolismo ruminal y la composición química de la leche y la carne producidas por esta especie: Un breve panorama en el contexto brasileiro. *Agricolae & Habitat*, 5, 63-87. <https://doi.org/10.22490/26653176.6145>
- Chevez, Nivald (2022). *Efecto de la suplementación con ensilaje de maíz forrajero (zea mays) y niveles decrecientes de lodo de palma (elaeis guineensis) en el engorde de ovinos tropicales* [Trabajo de Investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
- Cura, A.A., Kobelak, A., Fernández, J. A., & Bernardis, A.C. (2003). *Ganancia de peso en vacas de cría de segundo servicio con distintas pasturas y suplementación*. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
- El País. (2024). Fabio González: el visionario de la palmicultura. <https://n9.cl/xepo1f>
- Elizondo, J. (2002). Estimación lineal de los requerimientos nutricionales del NRC para ganado de leche. *Agronomía Mesoamericana*, 13(1), 41-44.
- Fariani, A., Warly, L., Tetra Pratama, A., & Muslim, G. (2023). Effect of Mineral Mix Supplementation in Silage of Palm Frond Grated (PFG) and Palm Sludge on Digestibility and Delay Quality By In Vitro Methods. *Journal Sain Peternakan Indonesia*, 18, 83-87.
- Fadhilah, N., Safitri, L., Alfian, U., Dharmawati, N., & Renjani, R. (2024). Minimize Oil Losses in Palm Oil Mill through Optimization of Sludge Separator Performance. *Journal of Agricultural Engineering*, 13.
- Hanun, C. (2023). *The Potential of Oil Palm Plantation Byproducts as Feed for Beef Cattle*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Halim, A., & Triwibowo, B. (2016). Drying kinetics of oil palm frond waste using simple batch oven dryer. *Journal Bahan Alam Terbarukan*, 5, 1-7

- Hermoso, S., García-Estévez, I., & Eon, C. (2023). Aceite de palma y palmiste: Estudio de su utilización en la elaboración de galletas a través del etiquetado. *FarmaJournal*, 8, 27-35. <https://doi.org/10.14201/fj2023822735>
- Hess, B. W., Lake, S. I., Scholljegerdes, E. J., Weston, T. R., Nayigihugu, V., Molle, J. D. C., & Moss, G. E. (2005). Nutritional controls of beef cow reproduction. *Journal of Animal Science*, 83, 90–106.
- Hidalgo Lozano, V. (2013). *Formulación de alimentos balanceados para engorde de ganado vacuno*. Agrobanco.
- Husin, A., Hamzani, S., Amirnordin, S., Mohideen Batcha, M. F., Wahidon, R., & Wae-Hayee, M. (2022). Drying studies of oil palm decanter cake for production of green fertilizer. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 97, 66-79.
- Ismail, R., Trisna, A., Vidiana, T., & Amran, M. (2023). *Evaluation Nutrient of Larvae Black Soldier Fly (Hermetia Illucens) on Fermented Palm Oil Sludge Culture Media*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Jayawardena, R., Morton, J., Bekhit, A., Bhat, Z., & Brennan, C. (2022). Effect of drying temperature on nutritional, functional and pasting properties and storage stability of beef lung powder, a prospective protein ingredient for food supplements. *LWT*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113315>
- Kushairi, A. (2019). Reseña histórica, estado actual y perspectivas futuras de la agroindustria global de la palma de aceite. *Palmas*, 40(1), 32-33.
- Li, Q., Cheng, T., Lu, Y., Zhang, B., Huang, Y., Yang, Y., Li, C., Li, J., Wang, H., & Fu, P. (2022). Sludge low-temperature drying with mainly non-phase change in mere seconds based on particle high-speed self-rotation in cyclone. *Water Research*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119092>
- Li, X., Wang, L., Huang, J., Yi, H., Xu, Z., & Zhou, H. (2021). Performance of rice straw fiber improving the drying of waste activated sludge. *E3S Web of Conferences*, 267. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126702042>
- Liu, D., Wang, Q., Hu, A., Wang, Z., Zhang, Q., & Wang, L. (2023). Optimized model of sludge drying characteristics based on an experimental study of thickness, temperature, and humidity. *Journal of Cleaner Production*, 429. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139540>

- Martínez Zambrano, J. J., & Marcillo Molina, J. (2020). *Valoración nutricional del lodo de palma y su efecto en alimentación de bovinos de carne* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas].
- Maula, R., Nurhaliza, N., Nurlaila, N., Mukhlisshien, M., Sofyana, S., & Syamsuddin, Y. (2020). Production anti-diabetes flour from Tanjung fruit (*Mimusops elengi* L). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 845. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/845/1/012022>
- Mena Miño, L. (2024). Valoración nutricional del lodo de palma y su efecto en alimentación de bovinos de carne. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 6(11), 6-19.
- Pincay Monserrate, N. E. (2023). *Inclusión del lodo de palma en la dieta de codornices macho (Coturnix coturnix) en etapa de crecimiento, engorde y finalización* [Trabajo de integración curricular, Universidad Técnica de Babahoyo].
- Rincón M., S. M., & Martínez C., D. M. (2009). Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *Palmas*, 30(2), 11-24.
- Romero, H. M., & Cala, J. E. (2017). *Comportamiento agronómico de cultivares comerciales de palma de aceite en el Palmar de la Vizcaína*. Fedepalma.
- Sartori, R. (2009). Factores nutricionales que afectan el desempeño en programas reproductivos en bovinos de carne y de leche. *Taurus*, 11(44), 4-15.
- Scull, I. N., & Savón, L. (2003). Determinación de polifenoles totales y taninos condensados en harina de forraje de cuatro variedades de *Vigna unguiculata*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(4), 403-407.
- Slanac, A.L., Balbuena, O., Kucseva, C.D., & Stahringer, R.C. (2007). Efectos de la suplementación proteica invernal sobre parámetros productivos de vaquillas de reposición. *Revista Veterinaria*, 18(1), 24-28.
- Tauqir, N., Bilal, R., Faraz, A., Khan, A., Ashfaq, F., Abbasi, B., Rafiq, M., Tahir, A., Ahmad, F., & Yameen, K. (2021). Palm Oil Cake Can Substitute Cottonseed Cake in the Feed of Milking Nili Buffaloes. *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*, 4, 147-153.
- Tecnigrasas, Suplementos y Nutrientes S.A.S. (s.f.). *Ficha técnica TECNIGRAS®: Energía que reproduce*.

- Uribe, E., Lemus-Mondaca, R., Vega-Galvez, A., López, L., Pereira, K., López, J., Ah-Hen, K., & Di Scala, K. (2012). Quality characterization of waste olive cake during hot air drying: Nutritional aspects and antioxidant activity. *Food and Bioprocess Technology*, 6. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0802-0>
- Valencia-Ordoñez, E. E. (2013). *Lodo de extracción de aceite rojo de palma africana en la elaboración de balanceado para alimentación bovina productora de leche* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial].





Religación  
**Press**  
Ideas desde el Sur Global



**Religación**  
Press

ISBN: 978-9942-561-53-4



9 789942 561534