
Disolución in vitro de grasa sobrepasante con lisina en soluciones con diferentes pH como alternativa proteico-energética en bovinos*

In vitro dissolution of bypass fat with lysine in solutions with different pH levels as a protein-energy alternative for cattle

**Simón Castro Valencia¹, Sebastián Jurado Castañeda²,
William Armando Tapie Canacuan³ y
Carlos Santiago Escobar Restrepo⁴**

1 Semillero SENAR (UCO). Correo: simoncastro12@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7623-1137>

2 Semillero SENAR (UCO). Correo: sebas.jc1998@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3859-4544>

3 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: william.tapie@udea.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7064-6753>

4 Grupo de Investigación INCA-CES, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES. Correo: csescobar@ces.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3955-484X>

* Trabajo vinculado al Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente, y al Grupo de Investigación INCA-CES, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES. Contacto: csescobar@ces.edu.co

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de disolución in vitro de la grasa sobrepasante enriquecida con lisina en soluciones con diferentes pH, con miras a su uso como alternativa proteico-energética en bovinos. El estudio incluyó tres fases. En la Fase I se elaboraron 500 g de grasa sobrepasante utilizando aceite de palma, carbonato de calcio, hidróxido de sodio, agua y HCl-Lisina. En la Fase II, se evaluó la desaparición de la grasa a seis niveles de pH (2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 y 7,5) utilizando bolsas de nylon inmersas en solución durante 0, 2, 4, 12, 24, 36 y 48 horas. Y, en la Fase III, se analizaron los pH extremos (2,5 y 7,5) para determinar la retención de lisina en las fases líquida y sólida tras 48 horas

de inmersión. El producto obtenido presentó un color amarillo caramelo, sabor amargo, olor a detergente y textura sólida. El pH 7,5 mostró la mayor desaparición (85,33 %) a las 7 horas, mientras que el pH 2,5 alcanzó un 65,82 % a las 10 horas. Los pH intermedios tuvieron valores máximos similares (promedio de 76,47 %) en diferentes tiempos. No se detectaron residuos de proteína (Lisina) en las fases líquida o sólida. La grasa sobrepasante formulada es adecuada para su uso en rumiantes; sin embargo, la grasa no tuvo la capacidad de proteger la inclusión de la HCl-Lisina ni mostró una asociación clara con la desaparición según el pH.

Palabras clave

Alimentación, Aminoácidos, Nutrición, Proteína sobrepasante, Rumen.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the in vitro dissolution capacity of bypass fat enriched with lysine in solutions with different pH levels, aiming for its use as a protein-energy alternative for cattle. The study comprised three phases. In Phase I, 500 g of bypass fat were prepared using palm oil, calcium carbonate, sodium hydroxide, water, and HCl-lysine. In Phase II, the fat disappearance was assessed at six pH levels (2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, and 7.5) using nylon bags immersed in solution for 0, 2, 4, 12, 24, 36, and 48 hours. In Phase III, the extreme pH levels (2.5 and 7.5) were analyzed to determine lysine retention in the liquid and solid phases after 48 hours of immersion. The

product obtained had a caramel-yellow color, bitter taste, detergent-like odor, and solid texture. At pH 7.5, the highest disappearance (85.33 %) occurred at 7 hours, while at pH 2.5, a disappearance of 65.82% was reached at 10 hours. Intermediate pH levels showed similar maximum disappearance values (average 76.47%) at different times. No protein (lysine) residues were detected in the liquid or solid phases. The formulated bypass fat is suitable for use in ruminants; however, it did not protect the inclusion of HCl-lysine and showed no clear association between disappearance and pH.

Keywords

Amino acids, Bypass protein, Feeding, Nutrition, Rumen.

Introducción

El ganado bovino desempeña un papel fundamental en la transformación de pastos, forrajes y suplementos en productos alimenticios esenciales para el consumo humano, como leche, carne y queso. Esta actividad contribuye significativamente a la seguridad alimentaria mundial al proporcionar fuentes de proteína y energía que satisfacen los requerimientos nutricionales de la población. Sin embargo, el uso predominante de pastos como base de la alimentación bovina presenta limitaciones importantes, ya que estos no logran cubrir completamente las necesidades nutricionales de los animales, requiriéndose la suplementación con otras fuentes para optimizar la productividad. En Colombia, los forrajes presentan un bajo contenido de proteína cruda (Carulla et al., 2004), lo que hace indispensable el uso de suplementos que mejoren el aporte proteico. La fracción de proteína dietética que escapa a la fermentación ruminal, conocida como proteína bypass o sobrepasante, puede contribuir significativamente al metabolismo animal si es altamente digestible en el intestino. Dentro de los aminoácidos esenciales más limitantes en la síntesis proteica de tejidos y glándula mamaria se encuentran la metionina y la lisina (Ansaldogutiérrez, 2000).

A principios de los años 80, Palmquist et al. (1986) desarrollaron una metodología innovadora para proteger grasas en el rumen mediante la saponificación con calcio, produciendo jabones cálcicos o grasas sobrepasantes. Estas tecnologías, ampliamente utilizadas por su economía y efectividad, ofrecen una alternativa viable para mejorar la productividad animal aportando ácidos grasos y energía a nivel intestinal. En esta investigación, se evaluó la protección de lisina mediante un jabón cálcico, determinando su dinámica de solubilidad in vitro en soluciones con diferentes niveles de pH. Este enfoque busca garantizar que la lisina llegue al intestino delgado, donde puede ser absorbida eficientemente, contribuyendo así a mejorar los resultados productivos en bovinos.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se desarrolló en la Universidad Católica de Oriente, ubicada en el municipio de Rionegro, Antioquia, con una Latitud: 06° 09' N Longitud: 75° 22' W Altitud: 2125 m.s.n.m. El montaje y seguimiento del trabajo se evaluó bajo condiciones del laboratorio con una temperatura de 23°± 2,0 y una humedad de 62 %±0,1.

El experimento estuvo dividido en tres fases: la elaboración y estandarización de la grasa sobrepasante con lisina, la solubilidad del producto a diferentes pH y la determinación de la capacidad de retención de la lisina como sobrepasante.

Fase I. Elaboración de la grasa sobrepasante con lisina

Para la elaboración de 500 g de grasa sobrepasante se emplearon los siguientes materiales: aceite de palma, carbonato de calcio, hidróxido de sodio (soda cáustica), agua y HCl-Lisina. El proceso inició con el precalentamiento del recipiente durante 5 minutos. Una vez alcanzada la temperatura adecuada, se añadieron 296 g de aceite de palma. Al observar la formación de burbujas en el aceite, se incorporaron gradualmente 115 g de carbonato de calcio previamente disuelto en agua. Tras 15 minutos de mezcla continua, se añadieron 41 g de hidróxido de sodio junto con 250 ml de agua para completar la reacción química. La mezcla se agitó continuamente durante 5 minutos hasta alcanzar una consistencia viscosa con formación de grumos sólidos. En este punto, se retiró del calor y se continuó agitando manualmente. Cuatro minutos después de apagar el fuego, y antes de que la mezcla se solidificara por completo, se adicionaron 90 g de lisina, asegurándose de que se integrara de manera homogénea. Posteriormente, la mezcla se prensó utilizando un cedazo para eliminar restos líquidos. El producto obtenido se dejó en reposo durante 3 días, tras lo cual se ralló y empacó para su uso posterior.

Fase II. Estudio de solubilidad in vitro de la grasa sobrepasante

Para evaluar la solubilidad, se prepararon seis recipientes con 6000 ml de agua cada uno, ajustando el pH para obtener seis tratamientos específicos: 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 y 7,5. El pH ácido se estabilizó con ácido clorhídrico (HCl), mientras que el pH básico se ajustó utilizando hidróxido de sodio (NaOH). La estabilidad del pH se monitoreó continuamente con un pH-metro. Una vez estabilizados los valores de pH, se emplearon bolsas de nylon (10 x 10 cm, con un tamaño de poro de 50 μm) para contener un promedio de $1,062 \pm 0,156$ g de grasa sobrepasante por bolsa. Se utilizaron 21 bolsas por tratamiento, distribuidas en tres repeticiones para cada uno de los siete tiempos de incubación: 0, 2, 4, 12, 24, 36 y 48 horas. Las bolsas se suspendieron en la solución mediante una cadena de acero, asegurando un orden de inmersión y de sacado que minimizara interrupciones de la exposición de las bolsas a la solución, comenzando con las muestras del tiempo más corto (2 horas) y terminando con las de 48 horas. Durante el experimento, se verificó el pH de las soluciones cada hora para mantener la estabilidad durante la inmersión. Al retirar las bolsas, estas se colocaron en una estufa de convección a una temperatura constante de 65 °C durante 48 horas para su posterior pesaje y determinación de la materia seca (MS).

La dinámica de desaparición en función del pH y del tiempo de inmersión se analizó mediante modelos matemáticos que permitieron calcular tres fracciones para cada tratamiento:

a = intercepto con el eje Y en el tiempo cero. Esta representa el sustrato soluble y completamente degradable que sale rápidamente del saco de nylon.

b = la diferencia entre el intercepto (a) y la asíntota. Representa la fracción insoluble pero potencialmente degradable del sustrato.

c = 1- (a+b) = representa la fracción no soluble de la muestra.

Fase III. Análisis químico y bromatológico

Para evaluar si la porción proteica (HCl-Lisina) era efectivamente protegida por la grasa sobrepasante, se emplearon dos *beakers* con 1200 ml de agua cada uno, ajustados a los pH más contrastantes: 2,5 y 7,5. En cada *beaker* se adicionaron 220 g de grasa sobrepasante, dejando las muestras en reposo durante 48 horas. Durante este tiempo, se monitoreó regularmente el pH y se agitó periódicamente la mezcla para mantener la estabilidad del pH. Al finalizar el periodo de incubación, las mezclas fueron filtradas utilizando un cedazo para separar las fases sólida y líquida. La fase sólida fue sometida a secado en una estufa de convección a temperatura constante, mientras que ambas fases (sólida y líquida) fueron rotuladas y enviadas al laboratorio para el análisis de proteína bruta (PB) mediante el método de Kjeldahl, siguiendo los estándares descritos por la AOAC (2005).

Análisis estadístico

Para el análisis de las variables correspondientes al porcentaje de desaparición/solubilidad, se evaluaron diferentes modelos no lineales

(Tabla 1) y se determinó el mejor ajuste a partir del criterio de información Akaike (AIC) y coeficiente de correlación R². La comparación entre tratamientos se hizo a partir del intervalo de confianza (IC) de los modelos seleccionados, interpretando que cuando los IC se traslapan no existen diferencias estadísticas. Se consideró un α de 0,05. Se utilizó el programa *Past* versión 4.1.

Tabla 1

Modelos evaluados para las curvas de desaparición de la materia seca de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH

Modelo	Ecuación	Autor
Lineal	$y=ax+b$	Nelder & Wedderburn
Cuadrático	$y=ax^2+bx+c$	
Von Bertalanffy	$y=\frac{a}{1+be^{cx}}$	Von Bertalanffy, Ludwig
Logístico	$y=a*(1-be^{-cx})$	Wright, Edward
Gomperzt	$y=a(b^{cx})$	Gompertz, Benjamin
Gaussiano	$y=\frac{ae^{-(x-b)^2}}{2z}$	Gauss, Carl Friedrich
Exponencial	$y=a-(a*e^{-c*x})$	

Nota. Elaboración propia.

Resultados

Fase I. Elaboración de la grasa sobrepasante con lisina

En la realización de la grasa sobrepasante con la adición de la lisina, después de utilizar todos los materiales y con las cantidades explicadas anteriormente, se obtuvo un producto al cual

se le realizó un examen organoléptico con el fin de determinar las diferentes características como un color amarillo caramelo, un sabor amargo, con un olor a detergente, con una textura sólida, áspera y húmeda (Imagen 1). Las características nutricionales calculadas esperadas son 59,2 % de grasa, 23,2 % de calcio y 18 % de proteína.

Imagen 1

Grasa sobrepasante con HCl-Lisina, producto finalizado y rayado



Nota. Elaboración propia

Fase II. Estudio de solubilidad in vitro de la grasa sobrepasante

El modelo que obtuvo mejor ajuste fue el de Gompertz. En la Tabla 2 se muestran las

ecuaciones halladas para cada pH con los respectivos AIC y R2.

Tabla 2

Ecuaciones, AIC y R2 para la dinámica de porcentaje de desaparición de la materia seca de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH

pH	Ecuaciones (Gompertz)	AIC	R2
7,5	$y=85,354*\exp(-0,92078*\exp(-1,3698x))$	81,88	0,99
6,5	$y=73,051*\exp(-1,2179*\exp(-1,0962x))$	299,94	0,94
5,5	$y=76,436*\exp(-0,92227*\exp(-18,72x))$	308,08	0,93
4,5	$y=67,238*\exp(-0,65251*\exp(-0,77179x))$	809,95	0,65
3,5	$y=79,1*\exp(-1,418*\exp(-0,84285x))$	39,47	0,99
2,5	$y=72,9*\exp(-0,64614*\exp(-0,65309x))$	148,69	0,91

Nota. AIC: criterio de información Akaike; R2: coeficiente de correlación.

En el modelo Gompertz (Tabla 2), el parámetro "a" representa el valor máximo de desaparición porcentual. Para el pH 7,5, se alcanzó el porcentaje de desaparición más alto (85,35 %) a las 8 horas, destacándose como el tratamiento con mayor desaparición. En contraste, el pH 4,5 presentó el menor valor máximo de desaparición (67,23 %) alcanzado a las 14 horas. Los tratamientos con pH 6,5 y 2,5 mostraron valores máximos de desaparición similares, 73,05 % y 72,9 %, respectivamente, alcanzados a las 11 y 17 horas. Por su parte, el pH 5,5 logró su valor

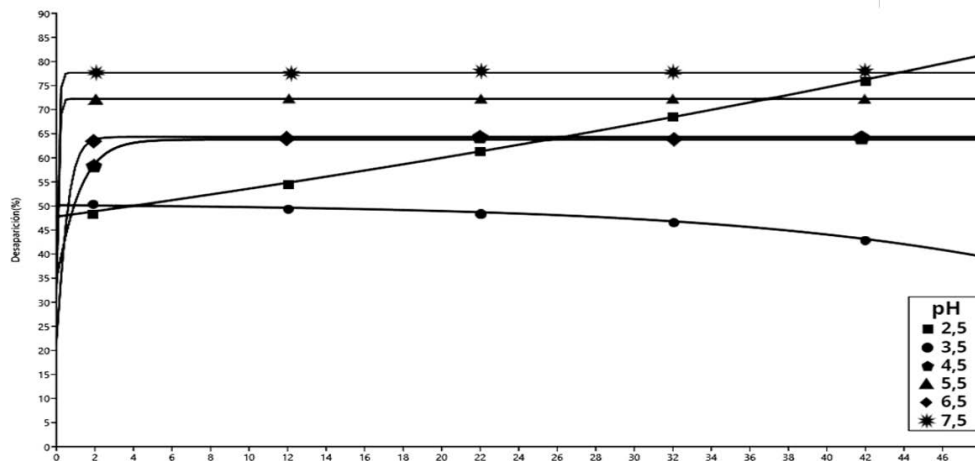
máximo de desaparición (76,43 %) en el menor tiempo, a las 0,64 horas. Finalmente, el pH 3,5 alcanzó un 79,1 % de desaparición a las 14 horas. Entre las horas 4 y 12, los valores de desaparición se estabilizaron para todos los tratamientos. Por esta razón, y como se observa en la Gráfica 2, las comparaciones entre los diferentes pH se realizaron hasta la

hora 4. En la Gráfica 1, se presenta la dinámica de desaparición de la materia seca (MS) durante un periodo de 48 horas.

En la Tabla 3 se resumen los tiempos necesarios para alcanzar el valor máximo de desaparición de la MS (asíntota), así como los valores de los parámetros "a", "b" y "c" que describen la dinámica de desaparición.

Gráfica 1

Dinámica del porcentaje de desaparición de la materia seca (MS) de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH en 48 horas



Nota. Elaboración propia.

Tabla 3

Fracciones de la desaparición de la materia seca de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH

pH	Hora Máxima ¹	a	b	c
7,5	8,00	33,90	51,37	14,65
6,5	11,00	21,61	51,44	26,95
5,5	0,64	30,39	46,04	23,56

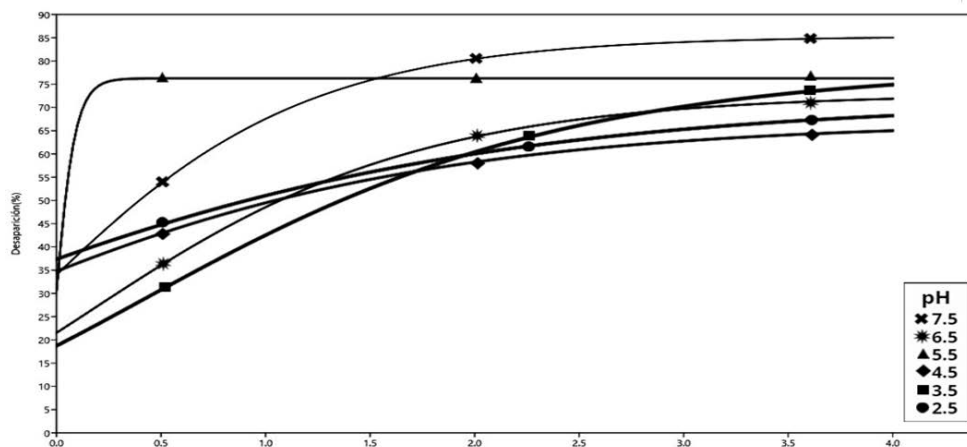
pH	Hora Máxima ¹	a	b	c
4,5	14,00	35,01	32,22	32,76
3,5	14,00	19,16	59,94	20,90
2,5	17,00	37,69	35,21	27,10

Nota. Hora para alcanzar el valor máximo de porcentaje de desaparición; a, interceptó con el eje.

Y en el tiempo cero. Esta representa el sustrato soluble y completamente degradable que sale rápidamente del saco de nylon; b, la diferencia entre el intercepto (a) y la asíntota. Representa la fracción insoluble pero potencialmente degradable del sustrato; c, 1- (a+b): representa la fracción no soluble de la muestra.

Gráfica 2

Dinámica de % de desaparición de la MS de grasa sobrepasante con HCl-Lisina bajo diferentes pH en 4 horas



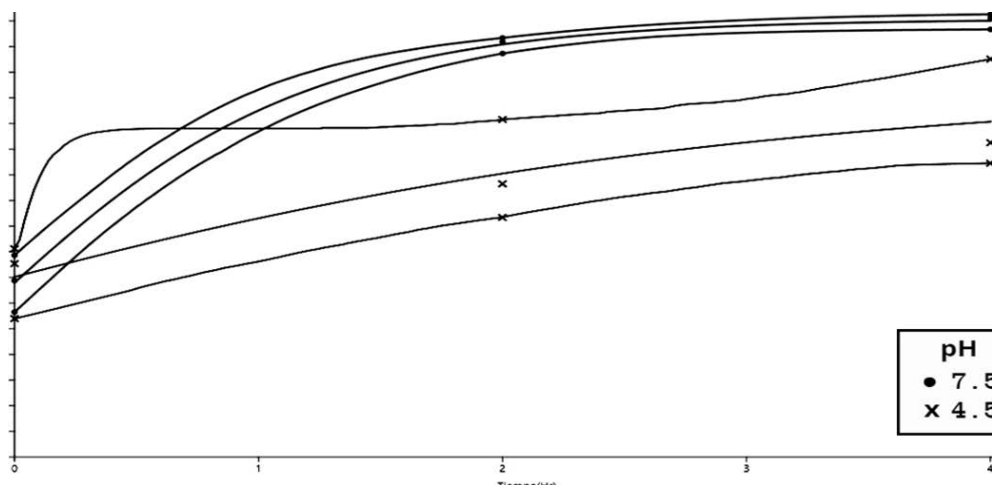
Nota. Elaboración propia.

La gráfica 3 muestra el porcentaje de desaparición de la grasa sobrepasante en función del tiempo para los pH 7,5 y 4,5. Al inicio del experimento (hora 0), el porcentaje de desaparición fue de 33,98 % para el pH 7,5 y 35,01 % para el pH 4,5. En este punto, no se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos. No obstante, a partir de la hora 1, se evidenciaron diferencias estadísticas significativas, con el pH 7,5

alcanzando un porcentaje de desaparición del 67,54 % frente al 49,73 % del pH 4,5. En la hora 4, esta diferencia estadística se mantuvo, observándose que el pH 7,5 alcanzó su valor más alto de desaparición (85,03 %), mientras que el pH 4,5 registró el valor más bajo (65,26 %). Estos resultados resaltan la influencia del pH en la dinámica de desaparición de la grasa sobrepasante a lo largo del tiempo.

Gráfica 3

Comparación de la dinámica de desaparición entre el pH 7,5 y 4,5 en 4 horas

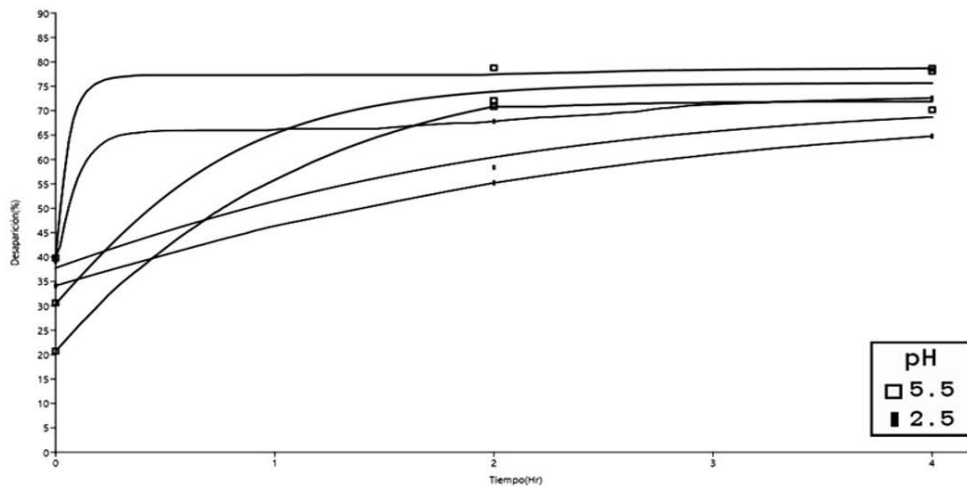


Nota. Elaboración propia.

La gráfica 4 muestra el porcentaje de desaparición de la grasa sobrepasante en función del tiempo para los pH 5,5 y 2,5. Este pH alcanzó su valor máximo de desaparición (76,43 %) en el menor tiempo (0,64 horas) en comparación con el pH 2,5, el cual alcanza su valor máximo de 72,90 % a las 17 horas. Se encuentran entonces diferencias estadísticas constantes desde la hora 1,5 hasta la hora 4 del estudio.

Gráfica 4

Comparación de la dinámica de desaparición entre el pH 5,5 y 2,5 en 4 horas

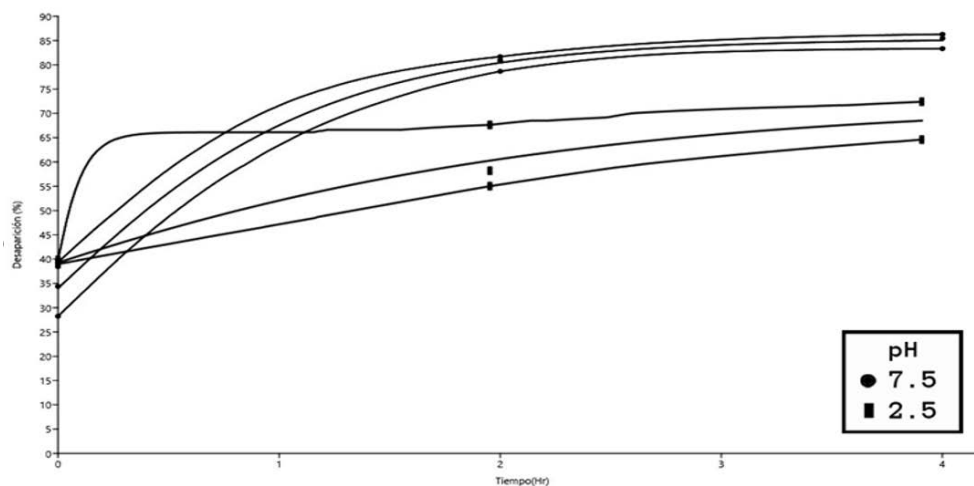


Nota. Elaboración propia.

La gráfica 5 muestra el porcentaje de desaparición de la grasa sobrepasante en función del tiempo para los pH 7,5 y 2,5. A la pH 2,5 es de 61,19 % desde la hora dos (2); a partir de este punto ambos pH son estadísticamente diferentes.

Gráfica 5

Comparación de la dinámica de desaparición entre el pH 7,5 y 2,5 en 4 horas



Nota. Elaboración propia.

La comparación del porcentaje de desaparición de la grasa sobrepasante en función del tiempo para los pH 4,5 y 3,5 no mostró ninguna diferencia estadística.

Fase III. Análisis químico y bromatológico

Al momento de contrastar los dos pH de 7,5 y 2,5, estos mostraron un comportamiento totalmente diferente. Para el pH 2,5 se evidenció una separación de la grasa sobrepasante en dos capas, una capa sólida con textura grasosa y esponjosa que se ubicó en la parte superior del recipiente y otra capa totalmente líquida en la parte inferior (Imagen 2). En contraste, el pH 7,5 presentó la separación en 3 capas, una pequeña capa en la parte superior con textura grasosa, en la parte media una capa líquida turbia y en la parte inferior presentó una capa más sólida donde se evidenció la separación del calcio con el resto de los ingredientes y se precipitó.

Imagen 2

Contraste visual entre los pH 7,5 y 2,5 de la grasa sobrepasante con HCl-Lisina



Nota. A la izquierda pH 7,5; derecha 2,5.

El resultado final del análisis del cálculo de contenido de proteína cruda fue de <2.5 g/100 g para la parte sólida y líquida de los pH 2,5 y 7,5.

Discusión

Fase I. Elaboración de la grasa sobrepasante con lisina

Las grasas sobrepasantes son una fuente concentrada de energía esencial para los animales, lo que ha llevado al desarrollo de diversos métodos de formulación. Proaño et al. (2015) evaluaron la saponificación de dos tipos de materias primas grasas, cebo ovino (origen animal) y residuos de aceite de palma (origen vegetal), utilizando diferentes compuestos químicos: hidróxido de sodio, hidróxido de potasio e hidróxido de calcio. Los resultados mostraron diferencias significativas entre estos métodos. En este estudio, se optó por utilizar hidróxido de calcio para saponificar el aceite de palma, ya que Proaño et al. (2015) destacan que esta combinación ofrece beneficios importantes: no afecta el metabolismo ruminal, es insoluble en el rumen, resiste la acción enzimática de los microorganismos y no interfiere con la digestión de la fibra.

Para complementar proteicamente el jabón cálcico, se adicionó lisina con el objetivo de proteger este aminoácido esencial de la degradación ruminal mediante encapsulación en la matriz grasa. Según Cardona (2020), la lisina es un aminoácido hidrófilo y esencial, lo que implica que no posee afinidad natural por grasas o aceites vegetales. Durante

el proceso de fabricación, la mezcla de grasa sobrepasante y lisina fue expuesta a temperaturas superiores a 120 °C, lo que pudo causar alteraciones en la estructura química de la lisina, como desnaturalización, reacciones de Maillard y degradación térmica (Kuklinski, 2003). Para reducir estas pérdidas, se recomienda emplear técnicas que optimicen las condiciones de temperatura y tiempo, así como el uso de aditivos o tratamientos específicos para estabilizar la lisina y preservar su calidad nutricional.

Además de la temperatura, el pH desempeña un papel fundamental en la estabilidad y disponibilidad de la lisina. Debido a su estructura química, que incluye un grupo amino (-NH₂) y un grupo carboxilo (-COOH), la lisina puede comportarse como ácido o base dependiendo del pH del medio. En un pH básico, la lisina es más estable y menos propensa a la degradación o a reacciones químicas no deseadas, lo que favorece su solubilidad y biodisponibilidad. En contraste, en condiciones de pH ácido, la lisina tiende a ser menos estable y más susceptible a degradarse o sufrir reacciones químicas indeseables (Teijón, 2006).

En términos generales, un pH neutro o ligeramente básico se considera óptimo para mantener la estabilidad y disponibilidad de la lisina en las dietas animales. Sin embargo, es crucial considerar las interacciones complejas entre el pH y otros factores durante el proceso de formulación para garantizar la calidad nutricional de la lisina y su eficacia en las

dietas animales. Este conocimiento subraya la importancia de ajustar las condiciones de procesamiento y las estrategias de formulación para maximizar los beneficios nutricionales de las grasas sobrepasantes enriquecidas con lisina.

Fase II. Estudio de solubilidad in vitro de la grasa sobrepasante

Ansaldó-Gutiérrez (2000) estudió la cinética de degradación de los aminoácidos lisina y metionina utilizando la técnica de incubación de bolsas de nylon en novillos fistulados. Las bolsas, que contenían aminoácidos protegidos y sin proteger, fueron incubadas durante tiempos secuenciales (0, 2, 4, 8, 24 y 48 horas). Al finalizar cada intervalo, los contenidos de las bolsas se retiraron para su análisis químico y se determinó el porcentaje de desaparición de los aminoácidos. Sin embargo, los resultados obtenidos no se ajustaron a los modelos cinéticos esperados, lo que sugiere que esta técnica no es adecuada para evaluar la degradación de compuestos altamente solubles como los aminoácidos estudiados. En este contexto, Nozière & Michalet-Doreau (1996) también concluyen que la técnica de diálisis o difusión en bolsas de nylon no es apropiada para medir la disponibilidad de compuestos solubles como la lisina y otros aminoácidos. Esto se debe a que dichos compuestos tienden a escapar de las bolsas independientemente de su degradación, lo que podría llevar a resultados imprecisos. En su lugar, estos autores sugieren métodos alternativos, como la medición de aminoácidos plasmáticos, para obtener datos

más confiables. Contrariamente, Villalobos et al. (2000) proponen que esta técnica es válida para medir la solubilidad de aminoácidos debido a la permeabilidad selectiva de la membrana de nylon, que permite la difusión de aminoácidos mientras retiene moléculas de mayor tamaño. No obstante, enfatizan que la solubilidad puede verse afectada por otros factores, como las condiciones del medio.

En relación con los resultados obtenidos en este estudio, se observó que el jabón cálcico presenta una alta solubilidad en un pH de 7,5, debido a la formación de iones hidroxilo (OH^-) en el agua, facilitando la disolución. En contraste, en un pH de 2,5, el jabón cálcico es insoluble, ya que no hay suficientes iones OH^- para reaccionar y formar iones de calcio (Ca^{2+}). Este comportamiento coincide con lo reportado por Pérez (2017), quien describe que, aunque el carbonato de calcio puede reaccionar con ácidos fuertes para formar sales de calcio solubles en agua, esto no implica que sea soluble por sí mismo a pH ácido. Adicionalmente, la solubilidad de la grasa sobrepasante varía según factores como la concentración de calcio y de ácidos grasos. En general, los jabones cálcicos son menos solubles en agua que los jabones de sodio o potasio. Según Varó (2002), la solubilidad de los jabones cálcicos puede reducirse significativamente en presencia de altas concentraciones de calcio, ya que los iones Ca^{2+} tienden a formar precipitados insolubles con los iones de ácidos grasos, disminuyendo así la solubilidad del jabón.

Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar tanto las condiciones de pH como las interacciones químicas durante el diseño y la evaluación de jabones cálcicos con adición de lisina como componentes de grasas sobrepasantes, asegurando su estabilidad y funcionalidad en las aplicaciones nutricionales.

Fase III. Análisis químico y bromatológico

Quiral et al. (2001) estudiaron el contenido de lisina disponible en diferentes tiempos de calentamiento y temperaturas, encontrando que este aminoácido, al ser sometido a altas temperaturas, experimenta un proceso inicial de desnaturalización de proteínas. Esto facilita el desplegamiento y la disociación de las moléculas proteicas, exponiendo los grupos amino libres en la superficie molecular. Sin embargo, cuando el calentamiento se prolonga, las proteínas desplegadas tienden a interactuar entre sí formando agregados. Este fenómeno resulta en el bloqueo de los grupos amino libres de lisina, reduciendo su disponibilidad.

En este estudio, la determinación de proteína bruta mediante el método de Kjeldahl no detectó niveles cuantificables de proteína en las muestras analizadas. Según la literatura, esto podría deberse a que las altas temperaturas provocaron la separación del grupo cetóácido de la lisina de su grupo amino. Este último pudo haber sido transformado en amonio, que posteriormente se volatilizó durante el proceso térmico (Alaiz et al., 1992).

La ausencia de detección de nitrógeno mediante el método de Kjeldahl respalda la hipótesis de que el calentamiento excesivo no solo afecta la estructura de las proteínas, sino que también conduce a la pérdida de compuestos nitrogenados esenciales, como los grupos amino, debido a la volatilización. Estos resultados subrayan la importancia de controlar cuidadosamente las condiciones de temperatura y tiempo durante el procesamiento térmico de alimentos o aditivos para preservar la calidad y disponibilidad de aminoácidos esenciales como la lisina.

Conclusiones

La formulación del jabón cálcico a partir de aceite de palma, carbonato de calcio, hidróxido de sodio y HCl-Lisina permitió obtener un producto con características físicas adecuadas para su manejo, almacenamiento y suministro como grasa sobrepasante en rumiantes. Sin embargo, las condiciones de temperatura y tiempo durante el proceso pudieron afectar negativamente la estabilidad de la lisina, desnaturalizándola e impidiendo su protección efectiva.

El pH tuvo una influencia significativa en la solubilidad de la grasa sobrepasante. Los mayores porcentajes de desaparición se observaron en pH 7,5, mientras que los valores más bajos ocurrieron en pH 4,5. Aunque se esperaba que los pH ácidos favorecieran la desaparición y los básicos la redujeran, los resultados no mostraron

un patrón claro. Esto indica la necesidad de explorar más factores que puedan afectar la dinámica de solubilidad.

El análisis químico y bromatológico mostró que la grasa sobrepasante no logró proteger la lisina de la degradación, independientemente del pH (2,5 y 7,5). Esto sugiere que las condiciones del proceso de elaboración (temperatura y pH) afectaron negativamente la estabilidad y disponibilidad de la lisina, la cual no fue detectable mediante el método de Kjeldahl.

La producción de grasa sobrepasante sigue siendo una estrategia viable para aportar energía a los rumiantes. Sin embargo, la adición de HCl-Lisina no resultó ser una estrategia efectiva para proteger este aminoácido bajo las condiciones evaluadas. Futuros estudios deben considerar ajustes en las variables del proceso y la incorporación de tecnologías avanzadas que optimicen la estabilidad y la protección de aminoácidos esenciales.

Referencias

- Alaiz, M., Navarro, J. L., Girón, J., & Vioque, E. (1992). Amino acid analysis by high-performance liquid chromatography after derivatization with diethyl ethoxymethylenemalonate. *Journal of Chromatography A*, 591(1-2), 181-186. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(92\)80236-n](https://doi.org/10.1016/0021-9673(92)80236-n)
- Ansaldo-Gutiérrez, C. G. (2000). Estudio de la cinética de degradación y metabolismo ruminal de dos aminoácidos sometidos a diferentes métodos de protección.
- AOAC. (2000). *Official methods of analyses of the Association of Official Agricultural Chemists* (17th ed.). AOAC International Suite 400, 2200 Wilson Boulevard, Arlington, Virginia, USA.
- Cardona Serrate, F. (2020). Proteínas y aminoácidos en alimentos. Alteraciones.
- Carulla, J., Cárdenas, E., Sánchez, N., & Riveros, C. (2004). Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana. *Seminario Nacional de Lechería Especializada: "Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad"*. Medellín, septiembre, 1, 21-38. <https://doi.org/10.14409/fave.v7i1.2997>
- Kuklinski, C. (2003). *Nutrición y bromatología*. Omega.
- Nozière, P., & Michalet-Doreau, B. (1996). Validation of in sacco method: influence of sampling site, nylon bag or rumen contents, on fibrolytic activity of solid-associated microorganisms. *Animal feed science and technology*, 57(3), 203-210. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00851-9](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00851-9)
- Palmquist, D. L., Jenkins, T. C., & Joyner Jr, A. E. (1986). Effect of dietary fat and calcium source on insoluble soap formation in the rumen. *Journal of dairy science*, 69(4), 1020-1025. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(86\)80497-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(86)80497-0)
- Pérez, M. F. P. (2017). Elaboración de jabón cálcico a partir de sebo de reses faenadas en la provincia cercado del departamento de tarija, para uso en alimento balanceado: *Proyecto de Grado* (Modalidad, Investigación Aplicada). *Repositorio UAJMS*. <https://doi.org/10.26439/ulima.tesis/5828>
-

- Proaño, F., Stuart, J. R., Chongo, B., Flores, L., Herrera, M., Medina, Y., & Sarduy, L. (2015). Evaluación de tres métodos de saponificación en dos tipos de grasas como protección ante la degradación ruminal bovina. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(1), 35-39.
- Quitral, V., Abugoch, L., Vinagre, J., & Larraín, M. (2001). Efecto de tratamientos térmicos sobre el contenido de lisina disponible en carne de jaiba mora (*Homalaspis plana*). *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 51(4), 382-385.
- Teijón, J. M. (2006). *Fundamentos de bioquímica estructural*. Editorial Tébar.
- Varó Galvañ, P. J. (2002). *Contribución al estudio sobre el comportamiento ambiental y degradación de jabones*.
- Villalobos, C., González, E., & Ortega, J. A. (2000). Técnicas para estimar la degradación de proteína y materia orgánica en el rumen y su importancia en rumiantes en pastoreo. *Técnica Pecuaria en México*, 38(2), 119-134.