

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE PROPIONATO DE
CALCIO EN LA DIETA DE ENGORDA DE OVINOS DE PELO
SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

INGENIERO BIOTECNÓLOGO AGROPECUARIO

PRESENTA

SAMANTHA VANESSA ALVAREZ COLES

DIRECTOR DE TESIS

DRA. MARÍA DE LOS ANGELES LÓPEZ BACA

Ejido Nuevo León, Mexicali, B.C., México, a 29 de agosto 2025.

La presente tesis titulada “**Efecto de la suplementación de propionato de calcio en la dieta de engorda de ovinos de pelo sobre la calidad de la carne**”, fue realizada por Samantha Vanessa Álvarez Coles y dirigida por la Dra. María de los Ángeles López Baca, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO BIOTECNÓLOGO AGROPECUARIO

COMITÉ PARTICULAR

DIRECTORA

Dra. María de los Angeles López Baca

SINODAL

Dr. Ulises Macías Cruz

SINODAL

Dr. José Alejandro Roque Jiménez

“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER”

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México, agosto de 2025.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Autónoma de Baja California, al Instituto de Ciencias Agrícolas por permitir desarrollarme en mi carrera profesional.

A mi directora de tesis Dra. María de los Angeles López Baca por todo su apoyo, por compartir su conocimiento, por su paciencia y dedicación. Gracias doctora.

A mis padres por su esfuerzo, cariño y dedicación en sacarnos adelante y que no nos faltara nada.

A mi hermana Alexa Paulina por su apoyo incondicional y motivación para culminar mi carrera.

A mi pareja David Moroni por su apoyo, comprensión, motivación y paciencia.

A mis amigos con quienes viví grandes momentos personales y académicos.

DEDICATORIAS

A mi padre Raúl Álvarez Álvarez que en paz descanse. Quien en vida siempre procuro que no me faltara nada.

A mi madre María Guadalupe Coles Gallo por su apoyo, cuidado y comprensión.

A mis padres quienes me guiaron y apoyaron para llegar a ser quien soy.

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Producción mundial y nacional de carne ovina.....	4
2.2 Sistema intensivo de engorda de ovinos y calidad de la carne	6
2.3 Uso de granos de cereales en la alimentación de ovinos de engorda	7
2.3.1 Digestión y metabolismo de los granos	7
2.3.2 Impacto en la composición corporal y calidad de la carne.	9
2.3.3 Problemas ruminales asociado con dietas altas en granos.....	11
2.4 Uso del propionato de calcio como estrategia alimenticia en ovinos.	12
2.4.1 Características físico-químicas.....	12
2.4.2 Biodisponibilidad y mecanismo de acción	13
2.4.3 Efecto en las características de la calidad de la carne.....	14
2.4.4 Perspectivas de su uso en la producción de carne.....	15
III. JUSTIFICACIÓN	17
IV. HIPÓTESIS	18
V. OBJETIVO GENERAL	18
VI. OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	19
7.1 Sitio experimental	19
7.2 Animales y manejo	19
7.3 Diseño experimental y tratamientos.....	20
7.4 Evaluación de calidad de la carne.....	20

7.5 Análisis estadístico.....	22
VIII. RESULTADOS.....	23
IX. DISCUCIÓN.....	27
X. CONCLUSIONES.....	31
XI. LITERATURA CITADA.....	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto de la adición de propionato de calcio en la dieta de engorda de ovinos de pelo sobre el pH y color de la carne fresca y madurada por 7 días.....	24
Cuadro 2. Efecto de la adición de propionato de calcio en la dieta de engorda de ovinos de pelo sobre las características físicas y concentración de metamioglobina de carne madurada por 7 días.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción/Rendimiento de Carne de ganado ovino, fresca o refrigerada en Mundo + (Total)	4
Figura 2. Proporción de producción de Carne de ganado ovino, fresca o refrigerada por región.....	5
Figura 3. Volumen de producción de carne de ovino en México de 2011 a 2022 (en toneladas métricas).....	6
Figura 4. Cambios en el pH <i>post-mortem</i> de la carne de ovinos de pelo que transita de fresca a madurada por 7 días.....	25
Figura 5. Cambios en los parámetros de color <i>post-mortem</i> de la carne de ovinos de pelo que transita de fresca a madurada por 7 días.....	25

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la suplementación de propionato de calcio (PrCa) en la dieta de engorda sobre las características de calidad de la carne de corderos y corderas de raza pelo alimentados en condiciones estabuladas. Se utilizaron en total 39 ovinos de engorda (27 machos y 12 hembras), los cuales se asignaron bajo un parcelas divididas (parcela= sexo) en un diseño de bloques completamente al azar, a las siguientes dosis de PrCa (subparcela): dieta basal plus 0, 5 y 10 g de PrCa/kg de alimento. Los ovinos se alojaron en corraletas individuales y, después de 41 d de recibir los tratamientos, se sacrificaron para colectar el músculo *Longissimus toracis* donde se realizó la evaluación de la calidad de la carne a 24 h (puntual) y 7 d (madurada) *post-mortem*. En ambas evaluaciones se midió pH y parámetros de color, adicionalmente en la evaluación de carne madurada se midió: concentración de metamioglobilina, capacidad de retención de agua, pérdidas por cocción y esfuerzo al corte. Toda la información se sometió análisis de varianza y análisis de medias a través de polinomios ortogonales y prueba de Tukey. No se presentaron ($P>0.05$) interacciones entre los factores principales (PrCa, sexo y tiempo de muestreo). La dosis de PrCa no afectó ($P>0.05$) pH y color en ninguna de las evaluaciones. Adicionalmente, el resto de rasgos de calidad de la carne evaluados en la carne madurada no cambiaron ($P>0.05$) con la suplementación de PrCa. El sexo no afectó ($P>0.05$) ninguna de las variables de estudio. El tiempo de evaluación fue un factor que modificó ($P<0.01$) tanto pH y parámetros de color, siendo las medias más altas a los 7 d que a las 24 h *post-mortem*. En conclusión, independientemente del sexo, la calidad de la carne fresca o madurada de ovinos de pelo no cambia por alimentarlos durante la engorda con PrCa a dosis menores o iguales a 10 g/kg de alimento.

Palabras claves: Borregos, glucogénicos, *Longissimus toracis*, pH final.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of calcium propionate (CaPr) supplementation in fattening diets on meat quality characteristics of hair breed lambs and ewe lambs fed under stable conditions. A total of 39 fattening sheep (27 males and 12 females) were used, which were assigned under a split plot (plot = sex) in a completely randomized block design, to the following doses of CaPr (subplot): basal diet plus 0, 5 and 10 g of CaPr/kg of feed. The sheep were housed in individual pens and, after 41 d of receiving the treatments, they were sacrificed to collect the *Longissimus thoracis* muscle where the meat quality assessment was carried out at 24 h (punctual) and 7 d (matured) *post-mortem*. In both evaluations, pH and color parameters were measured. In addition, in the evaluation of matured meat, the following were measured: metaglobulin concentration, water retention capacity, cooking losses and shear stress. All information was subjected to analysis of variance and analysis of means through orthogonal polynomials and Tukey's test. There were no interactions ($P>0.05$) between the main factors (CaPr, sex and sampling time). The dose of CaPr did not affect ($P>0.05$) pH and color in any of the evaluations. Additionally, the rest of the meat quality traits evaluated in matured meat did not change ($P>0.05$) with CaPr supplementation. Sex did not affect ($P>0.05$) any of the study variables. The evaluation time was a factor that modified ($P<0.01$) both pH and color parameters, with the means being higher at 7 d than at 24 h *post-mortem*. In conclusion, regardless of sex, the quality of fresh or matured meat from hair sheep does not change when feeding them during fattening with CaPr at doses less than or equal to 10 g/kg of feed.

Keywords: Sheep, glucogenic, *Longissimus thoracis*, ultimate pH.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las industrias cárnicas demandan alta calidad de la carne de ovino y que esta mantenga estándares de calidad durante todo el año. Si bien es sabido que la carne ovina, no es una de las fuentes de proteína animal más demandadas a nivel mundial, sin embargo, es una proteína animal que sigue en desarrollo (FAOSTAT, 2022). En México, en la zona del noreste del país los ovinos de raza de pelo según el SIAP, 2022 ha incrementado su población, debido a su alta capacidad de adaptación a climas extremos y sus mecanismos energéticos para mantenerse bajo condiciones extremas (Macías-Cruz et al., 2020). Colocando a la ovinocultura como un nicho de oportunidades para la producción de proteína de origen animal.

En los sistemas especializados de producción de corderos de primera calidad, están enfocados en producir corderos finalizados a base de granos y forrajes. Principalmente el enfoque de estas empresas es la producción de carne. Claramente, los sistemas de producción basados en la producción de carne, utilizan granos y cereales en cantidades adecuadas para la suplementación estratégica y la alimentación de mantenimiento del hato (Zhand et al. 2022). En estos tipos de sistemas de producción de corderos para carne, el uso de granos dependerá de la disponibilidad de recursos de alimentación alternativos y de las especificaciones del mercado objetivo de la empresa. Cuando hay alimentos más baratos disponibles, es menos probable que se utilicen grandes cantidades de grano.

Los efectos de la nutrición fueron reportados por Pethick y Rowe (1996) quienes alimentaron a corderos con 4 niveles de ingesta de una ración de grano, ellos estimaron como resultado tasas de crecimiento de 0, 50, 100 y 200 g/día. Observaron que se incrementaron los niveles de glucógeno muscular medidos en los músculos semimembranoso y semitendinoso mediante biopsia. Posteriormente, después del sacrificio mostraron un

aumento significativo y lineal en los niveles de glucógeno con el incremento de la ingesta de alimento. Como resultado de este estudio se destacó la importancia de una buena nutrición antes del sacrificio (finalización) como una estrategia para minimizar la incidencia de carne oscura, firme y seca (DFD, por siglas en inglés).

La DFD es una condición que está estrechamente relacionada con los niveles de glucógeno muscular en el momento del sacrificio (Pethick et al., 2023). Los niveles bajos de glucógeno en la carne dan como resultado una carne con un pH alto (por encima de 5.8) y un aspecto oscuro, firme y seco que es rechazado por los consumidores. La DFD presenta problemas en la cocción y la vida de anaquel. Pethick et al. (2023) llevaron a cabo dos estudios en los que se midió el pH en el músculo semimembranoso y semitendinoso de los corderos, y ellos informaron que entre 29 y 45 % de las canales tenían niveles de pH superiores a 5.7 en el músculo semimembranoso, y entre 82 y 87 % en el músculo semitendinoso. Estos autores también reportan que el 10.3 % de las canales tenían un pH superior a 5.8. Suleman et al. (2020) destacaron la variabilidad de la calidad de la carne y especialmente para la ternera medida por medio del fuerza al corte, una medida objetiva de la energía necesaria para cortar una muestra de carne de tamaño estándar. Otro aspecto de gran importancia en la calidad se relaciona con el atractivo visual de la carne y, en particular, con su color (mioglobina). Así, se ha demostrado que un color de carne poco atractivo o una carne DFD es un problema importante en los corderos.

Considerando lo anterior, en las épocas del año en que los granos se encarecen o las fuentes de alimento alternativas no son adecuadas para mantener el crecimiento de los corderos, una estrategia podría ser el uso de glucogénicos, de tal forma que se pueda mantener una tasa de crecimiento adecuada (Zhang et al. 2022). Además, cabe mencionar que se pudieran disminuir los gastos por alimentación al disminuir el uso de granos en la

producción de ovinos. Existen estudios con el uso de glucogénicos en ovinos (Apaez, 2016; Carrillo-Muro et al., 2022, 2023a, 2023b), donde observaron mejoras en el comportamiento productivo y características de la canal sin afectar la calidad de la carne, sin embargo, no todos los resultados son consistentes en el uso del propionato de calcio (PrCa). Hasta el momento, sea sugerido como una alternativa el uso de precursores de glucosa (glucogénicos) como el glicerol, el propilenglicol (Rodríguez-Cordero et al., 2023) o el PrCa para reemplazar parcialmente los granos. Por lo cual, en este estudio se usó el PrCa para hacer más eficientes las dietas de engorda para evaluar la calidad de la carne de corderos y corderas de raza pelo alimentados en condiciones estabuladas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Producción mundial y nacional de carne ovina

A nivel mundial, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT), reportó un inventario para el año 2022 de 10,272,315.46 millones de toneladas de carne de ganado ovino (FAOSTAT, 2022). De acuerdo a los datos reportados por FAOSTAT 2022, se observó un incremento constante desde el año 2017 con una producción de 9 408,373.33 millones de toneladas de carne ovina.

Producción/Rendimiento de Carne de ganado ovino, fresca o refrigerada en Mundo + (Total)

1994 - 2022

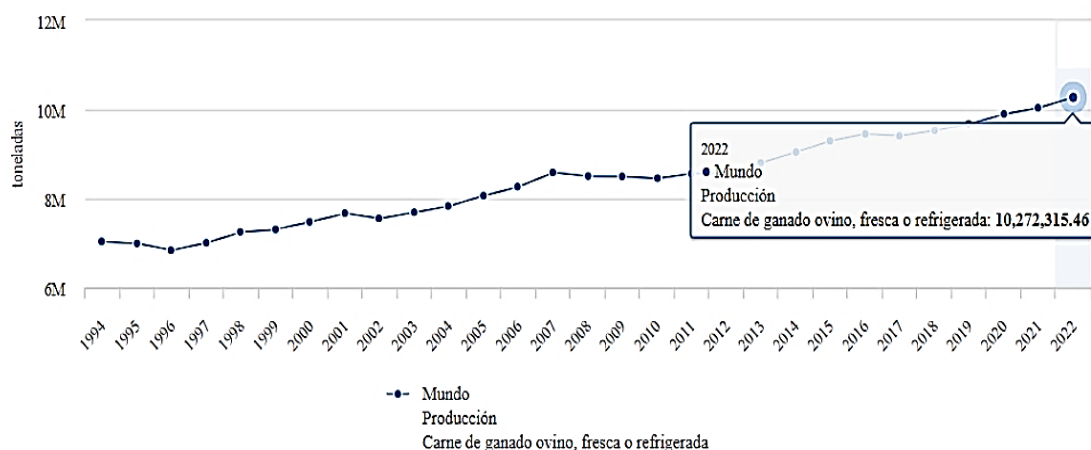


Figura 1. Producción/Rendimiento de Carne de ganado ovino, fresca o refrigerada en Mundo + (Total) FAOSTAT, 2022.

Según datos del 2022 (FAOSTAT, 2022), las regiones a nivel mundial donde se concentró la mayor producción de carne de ovino fueron Asia 48.3 %, África 18 % Europa 15.2 %, Oceanía 13.7 % y América 4.9 %. Las crecientes necesidades alimentarias de la población humana en constante

expansión y los desafíos del cambio climático ha orillado a desarrollar y buscar estrategias de sistemas sostenibles de producción de rumiantes.

Si bien las industrias ganaderas actualmente proporcionan suficientes alimentos de origen animal para la población mundial, existe la necesidad de mejorar la sostenibilidad ambiental de la producción ganadera y, al mismo tiempo, aumentar la productividad para satisfacer la demanda futura.

Proporción de producción de Carne de ganado ovino, fresca o refrigerada por región
Promedio 1994 - 2022

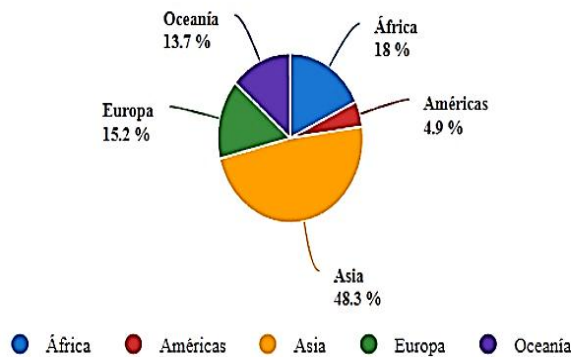


Figura 2. Proporción de producción de Carne de ganado ovino, fresca o refrigerada por región (FAOSTAT, 2022).

La producción de carne de ganado ovino en México para el 2022 fue 67,248.79 toneladas (FAOSTAT, 2022), de acuerdo con lo reportado. Cabe mencionar que del año 2011 al 2022. En México, la mejora de productividad de los sistemas de cría de ganado ovino se ha sostenido de forma en que el uso de recursos no impacte de manera de ambiental, y la producción de alimentos. Siendo un problema importante dentro de la cadena de suministro, se necesitan más investigaciones para garantizar que las estrategias y comparaciones entre los alimentos se basen tanto en su impacto ambiental

como en su valor nutritivo para evaluar de forma más real la sostenibilidad de los sistemas de producción de rumiantes.



Figura 3. Volumen de producción de carne de ovino en México de 2011 a 2022 (en toneladas métricas) FAOSTAT, 2022.

2.2 Sistema intensivo de engorda de ovinos y calidad de la carne

En los últimos años la industria cárnica ovina ha experimentado importantes cambios al incrementar la producción FAOSTAT, 2022. Durante este tiempo, la demanda de la lana disminuyó y, como resultado, se puso más énfasis en la producción de carne. Los cambios en la industria de la carne de cordero han sido impulsados en gran medida por los consumidores, en particular en el mercado de corderos. La alimentación en los sistemas intensivos de ovinos con cereales, principalmente en crecimiento y finalización para alcanzar posibles aumentos de peso vivo. Principalmente, con el objetivo obtener canales de calidad aumentado la demanda de los beneficios que tiene el incluir diferentes tipos de cereales y granos en las raciones (Suliman et al., 2020). Los cereales y granos varían en su valor nutritivo. Parte de esta variación está asociada con diferencias en las propiedades químicas y físicas, pero alguna variación también dependerá de la interacción entre los cereales y las características del animal (Suliman et al., 2020). Por ejemplo, el nivel de

consumo, el manejo de la alimentación, la relación grano-forraje, el procesamiento del alimento y el período de adaptación pueden influir en el nivel de nutrientes que el animal obtiene del grano.

2.3 Uso de granos de cereales en la alimentación de ovinos de engorda

Los granos se utilizan en una variedad de sistemas de engorda de corderos, que van desde los sistemas intensivos, semi-intensivos y escasamente en los extensivos. Según el sistema de producción serán equivalente a los niveles de insumos y productos disponibles y la intensidad del sistema de producción. La existencia de una amplia gama de sistemas de producción en la industria cárnica de ovino se percibe por sus diferentes y variable en la calidad de las canales después del sacrificio (Sañudo et al., 1998). Estas inconsistencias se reflejan en la poca estandarización en la calidad, siendo los sistemas de engorda de ovinos van a depender de la rentabilidad. Por lo que, la rentabilidad dependerá de los costos y la eficiencia asociada con la producción.

Estos costos van a variar según el entorno económico, pero si se han establecido los parámetros biológicos, se puede superponer un entorno económico para predecir la rentabilidad. Todo lo anterior depende de parámetros multifactoriales especificaciones y requisitos actuales de la industria de la carne de ovino y evalúa el rendimiento biológico de los corderos y ovejas que se crían y se producen para el sacrificio utilizando sistemas de alimentación con granos.

2.3.1 Digestión y metabolismo de los granos

Los carbohidratos son tan importantes para los animales rumiantes como para los no rumiantes, ya que aportan la glucosa necesaria para el funcionamiento adecuado de las células. Sin embargo, en los rumiantes, la

fermentación ruminal transforma la mayor parte de los polisacáridos de la pared celular y todos los carbohidratos intracelulares presentes en el forraje en ácidos grasos volátiles de cadena corta, que luego son absorbidos por el epitelio ruminal (Kim et al., 2023). Los granos como fuentes de carbohidratos, es decir, la digestión del almidón a glucosa requiere la acción de varias enzimas producidas en las glándulas salivales, los microorganismos del rumen, en el páncreas y el intestino delgado. La amilasa secretada por las glándulas nasolabiales se encuentra en niveles relativamente altos en la saliva de algunos rumiantes, como el búfalo (Church, 1979). La alfa-amilasa es secretada por el páncreas, mientras que la isomaltasa, la maltasa-glucoamilasa, la trehalasa y la lactasa son secretadas por la mucosa intestinal. La alfa-amilasa, la beta-amilasa, la enzima R, la pululanasa, la iso-amilasa o la alfa-límite dextrinasa son producidas por los microorganismos del rumen.

Los procesos fisiológicos en los corderos, como en todos los mamíferos, requieren trifosfato de adenosina (ATP, siglas en inglés) para alimentar la reacción y este ATP resulta de la oxidación de sustratos de alta energía. En los rumiantes, los principales sustratos energéticos para la síntesis de ATP son los ácidos grasos volátiles (AGV) que surgen de la fermentación microbiana de los carbohidratos de la dieta en el rumen (Miller et al., 2020). El acetato es cuantitativamente el sustrato más importante, pero el propionato también juega un papel esencial como precursor glucogénico para asegurar que se cubran los requerimientos energéticos del sistema nervioso. La alimentación con granos como el sorgo y el maíz, que resisten la fermentación ruminal, también puede proporcionar glucosa para su absorción directa en el intestino delgado. Aunque niveles extremadamente altos de granos se han asociado con grasas blandas, ahora se considera la alimentación con granos de cereales menos degradables como una forma de estimular la vía del ATP-citrato la cual actúa que se expresa en el hígado y los tejidos adiposos principalmente, asimismo

proporciona glucosa al intestino, aumentando la síntesis de lípidos intracelulares asociados con el marmoleado de la carne (Miller 2020).

2.3.2 Impacto en la composición corporal y calidad de la carne

Los principios generales de cómo el crecimiento, la cantidad de ingesta de alimento y la composición corporal interactúan para cambiar continuamente el requerimiento nutricional de los corderos en función de los gramos/día y los gramos/kilogramo de alimento son consistentes en todos los tipos de corderos. Sin embargo, entre los corderos, el patrón de desarrollo variará de acuerdo con los atributos genéticos y fisiológicos del cordero (Miller 2020).

Estos atributos genéticos se van expresar en sus genotipos, esto quiere decir que animales más pesados en la madurez generalmente crecen más rápido y son más magros cuando se los compara con el mismo peso o diferente edad. Otro aspecto a considerar son las razas cárnicas que a diferencia de las cruza con otras razas con diferente propósito tienden a crecer más rápido (Cabrera-Vaca 2016) e incluso estudios inconsistentes reportaron que los corderos de segundo cruza crecen más rápido que los corderos de primera cruza debido al mayor expresión de su vigor híbrido (Miller 2020).

También, se puede verse influenciado otros factores, incluidas las condiciones ambientales locales y la importancia relativa de la explotación de corderos en todo el sistema de producción. Independientemente del sistema de producción, se ha demostrado los beneficios de seleccionar las crías con altos valores de crecimiento y ganancia de peso (Suleman et al. 2020). Si bien el peso y la grasa de la canal son los criterios principales para determinar la calidad del cordero para diferentes mercados, existen otros que pueden ser más o menos importantes. Miller (2020) intentó determinar el impacto de las características de la canal en el valor minorista mediante el estudio de las evaluaciones realizadas por mayoristas y minoristas de canales con un rango

de peso, grasa, conformación y distribución de grasa. Hubo indicaciones claras de que características distintas del peso y la grasa influyeron en la evaluación del valor. Se utilizó el color de la carne, aunque su importancia relativa varió entre evaluadores. La conformación fue un factor considerado constantemente y cuando se valoraron las canales subjetivamente hubo una clara preferencia por las canales con patas traseras que tenían una forma de "U" musculosa en lugar de una forma de "V" angular.

Esto concuerda con algunas prácticas de la industria que establecen que las canales se califican o evalúan visualmente para determinar su calidad incluso si cumplen con las especificaciones de peso y grasa. Cabe mencionar que los consumidores se han vuelto más exigentes en términos de sus requisitos de un producto de alta calidad más consistente, especialmente en contener menor grasa. McLaughlin (2024) propuso un programa de corderos en rangos establecidos que especificaran de 18-26 kg de peso de la canal y un índice de grasa de 2-3 mm, sin embargo, los esfuerzos se concentraron en pesos superiores a 22 kg y una medición de grasa dorsal de 6-15 mm (McLaughlin 2024).

Pethick y Rowe (1996) se reportó que al alimentar ovejas con 4 niveles de ingesta de una ración granulada (maíz y cebada) estima que daba como resultado tasas de crecimiento de 0, 50, 100 y 200 g/día. Los niveles de glucógeno muscular medidos en los músculos semimembranoso y semitendinoso mediante biopsia. Posteriormente, después del sacrificio mostraron un aumento significativo y lineal en los niveles de glucógeno con el aumento de la ingesta de alimento. Como resultado de este estudio sea destacado la importancia de una buena nutrición antes del sacrificio (finalización) como una estrategia para minimizar la incidencia de carne DFD. El uso de grano en la engorda a corto plazo es un método que los productores pueden adoptar para asegurar que se mantenga la tasa de crecimiento hacia adelante para maximizar los niveles de glucógeno en el músculo antes del

sacrificio. Esta condición está estrechamente relacionada con los niveles de glucógeno muscular en el momento del sacrificio (Miller 2020).

Los niveles bajos de glucógeno en la carne dan como resultado una carne con un pH alto (por encima de 5.7) y un aspecto oscuro, firme y seco (DFD) que es rechazado por los consumidores. La DFD presenta problemas en la cocción y la vida de anaquel. Por lo tanto, el finalizar con granos puede optimizar la calidad de la carne en combinación de un buen manejo de pastizales de época como alternativas en el crecimiento de los corderos.

2.3.3 Problemas ruminales asociado con dietas altas en granos

Los sistemas intensivos de engorde de ovinos donde el uso de dietas con alto contenido de granos requiere cierto control de la digestión del almidón para minimizar la incidencia de acidosis ruminal. La alteración de la barrera del pericarpio mediante el procesamiento mecánico de los granos de cereales permite que las bacterias amilolíticas accedan a los gránulos de almidón, lo que aumenta la velocidad y el grado de digestión ruminal (Díaz et al., 2018). Díaz et al. (2018) un estudio donde compararon cebada procesada, reportaron que el grano entero disminuye la velocidad de fermentación ruminal, lo que puede aumentar los tiempos de alimentación y rumia pudiendo reducir el riesgo de acidosis. Además, el reducir una posible acidosis previene el no afectar la pared del rumen y las papilas ruminales (rumenitis). Cabe mencionar que el uso de granos no procesados también disminuye el costo en la producción de los alimentos. Sin embargo, concluyeron que el procesamiento de la cebada no produjo ningún beneficio en el rendimiento de los corderos en comparación con el grano entero.

2.4 Uso del propionato de calcio como estrategia alimenticia en ovinos

2.4.1 Características físico-químicas

Los propionatos son componentes que se encuentran en algunos alimentos de manera común. El ácido propiónico es producido por ciertas bacterias, las cuales se encuentran en varios forrajes y pastos como resultado de la producción microbiana (Lieshchova, et al., 2023). En el caso del propionato de calcio (PrCa) es un compuesto orgánico, una sal de calcio y ácido propiónico, $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO})_2$, como producto de la reacción entre el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y el $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$. Se caracteriza por ser cristales incoloros de alta solubilidad en agua (Pongsavee, 2019). El PrCa es un aditivo alimentario que fue aprobado y listado con el número 282 en el Codex Alimentarius, y es uno de los derivados del conservante alimentario E280 (ácido propiónico). El PrCa (E 282) se obtiene por la reacción del ácido propiónico y el óxido de calcio en agua en presencia de un floculante. El producto se filtra, se seca por aspersion, se tamiza y se envasa. Se utiliza en la panificación industrial como conservante para alimentos, piensos y cosméticos, debido a sus propiedades (ácido carboxílico monoprótico). El PrCa se utiliza en productos horneados como inhibidor de moho (se utiliza en una cantidad de 0.1 a 0.4 % basado en el peso del producto). También se emplea como conservante en una variedad de productos, incluidos productos horneados, carnes procesadas y productos lácteos. Actualmente el PrCa está “reconocido como seguro” según la FDA y se usa ampliamente en productos alimenticios sin ninguna restricción más allá de las buenas prácticas de fabricación actuales (EFSA, 2014).

El PrCa y el sorbato de potasio son ampliamente utilizados en la panificación debido a sus propiedades como conservadores. García et al. (2021) compararon la eficacia de estos dos aditivos contra tres cepas fúngicas que son las principales responsables en el deterioro en el pan. García et al. (2021) reportaron que el PrCa no inhibe el crecimiento de levaduras, este hallazgo lo hace el conservador antimicrobiano más útil en la industria de

alimentos fermentados. Además, el PrCa redujo la cantidad de hongo *Aspergillus flavus* generador de aflatoxinas cancerígenas (Bintvihok y Kositcharoenkul, 2006). Asimismo, el PrCa puede disociarse en ácido propiónico (antifúngico activo) e iones de calcio (Sequeira et al., 2017) cuando es sometido a soluciones acuosas. Este efecto antimicrobiano del PrCa depende del valor de pH del producto, ya que su forma no disociada tiene un mejor efecto antimicrobiano que su forma disociada (Suhr y Nielsen, 2004). En el caso del sorbato de potasio fue más eficaz para inhibir el crecimiento de hongos (García et al., 2021).

2.4.2 Biodisponibilidad y mecanismo de acción

El uso de aditivos en las explotaciones de producción animal se ha enfocado en buscar la sustentabilidad y potencializar los recursos para la producción de alimentos en general. Uno de estas estrategias es el uso de PrCa, donde sea reportado que puede aumentar la energía dietética y mejorar el rendimiento de crecimiento de los corderos en etapa de finalización (Wang et al., 2020). Si bien, el PrCa se disocia en el rumen, liberando iones de calcio y propionato, lo que conduce a un mejor estado energético a través del aumento de la síntesis de glucosa en el hígado (Hendawy et al., 2021). Los ácidos AGV que surgen de la fermentación microbiana en el rumen, como el acetato es importante, pero el propionato también juega un papel esencial como precursor glucogénico.

El propionato, el componente principal de los AGV en el rumen, es el precursor primario de la gluconeogénesis en los rumiantes y aporta hasta el 90% de la glucosa de un rumiante. Además, se sugirió que la suplementación con propionato puede aumentar la proliferación de células epiteliales del rumen (Salvi et al., 2021). A pesar de los datos que respaldan al propionato como un factor que contribuye al desarrollo del rumen, se desconoce el mecanismo por el cual el propionato puede mejorar el desarrollo del rumen.

El propionato de calcio se disocia en Ca^{2+} y ácido propiónico en las soluciones acuosas del rumen. Se hipotetiza que la suplementación con PrCa podría mejorar la concentración de propionato y que el mecanismo es mejorar el desarrollo del epitelio ruminal que se asocia con un aumento del propionato en el rumen a través de la estimulación de la expresión de GPR (Proteínas de acoplamiento al receptor G, incluidos GPR41 y GPR43 (Zhang et al., 2020).

2.4.3 Efecto en las características de la calidad de la carne

En estudios donde reportaron la suplementación de PrCa en ovinos mostraron no afectar las características de la carne de ovinos de pelo, tal como pH a 24 h *post-mortem*, pérdida de peso por cocción, CRA y esfuerzo al corte no cambiaron (Apaez, 2016; Carrillo-Muro et al., 2023a, 2023b). Sin embargo, mismos estudios observaron efectos negativos en los parámetros de color cuando utilizaron PrCa. En relación al color de la carne, entre los 45 min y las 24 h *post-mortem*, la luminosidad (L^*), enrojecimiento (a^*) y croma aumentaron. Wu et al. (2020) observaron que la proteólisis produce mayor reflexión de la luz y, por tanto, más L^* . Wu et al. (2020) también reportaron un metabolismo que demanda mayor contenido de mioglobina en las razas de ovinas lecheras, lo que podría llevar aun mayor valor de a^* . El valor de luminosidad (L^*) disminuyó conforme aumenta el peso al sacrificio, de acuerdo con lo observado por Garrido et al. (2024).

Diferentes autores han relacionado la L^* de la carne con el contenido de humedad. A mayor contenido de humedad observado en la carne de corderos jóvenes podría explicar esta mayor luminosidad. El valor de a^* aumenta a medida que el peso de sacrificio aumenta de 16 a 25 kg; esto está relacionado con el contenido de mioglobina (Wu et al., 2020), que aumenta con la edad. Hopkins et al. (2006) observaron que la carne de ovino con valores de fuerza al corte inferiores a 49 N se considera tierna y menor cantidad de

mioglobina. Sin embargo, existen diferencias significativas entre razas en corderos en los porcentajes del esfuerzo al corte, humedad y proteína.

Otro parámetro de calidad de la carne que se han reportado con aumentar con el uso de PrCa, es el esfuerzo al corte y lo han relacionado con una mejor deposición de masa muscular y ganancia de peso (Carillo-Muro et al., 2022). El peso al sacrificio influye en todos los parámetros de calidad de la carne, así como el esfuerzo al corte y el contenido de colágeno. Garza et al. (2002) reportaron que los corderos más pesados pueden producir carne menos tierna debido a que la solubilidad del colágeno intramuscular disminuye paralelamente al peso. De acuerdo con datos obtenidos de otras, el contenido de grasa aumenta paralelamente al peso al sacrificio y la capacidad de retención de agua (CRA) disminuye. Wu et al. (2020) observaron que a medida que el pH disminuye la carne expulsa más agua. La carne de corderos jóvenes presentó un mayor contenido de humedad y al mismo tiempo mayor cantidad de proteína.

2.4.4 Perspectivas de su uso en la producción de carne

Una vez que los corderos alcanzan un peso adecuado para ser terminados con grano (> 30 kg de peso vivo), parece haber poco margen para modificar la composición corporal simplemente proporcionando aminoácidos en exceso de los necesarios para el crecimiento alométrico (Garza et al., 2002). Una baja ingesta de nitrógeno degradable en el rumen (NDR) simplemente limita la ingesta voluntaria de alimentos (Gürbüz et al., 2022). Cualquier margen para modificar la composición de la ganancia de un cordero individual para lograr una mayor masa muscular y una menor deposición de grasa durante el acabado depende del acondicionamiento del cordero a través de su historial nutricional previo, ya sea prenatal, predestete o posdestete. Considerando los factores antes mencionados, una alternativa puede ser el uso de precursores de glucosa (glucogénicos) para modificar la composición

de los corderos y reemplazar parcialmente los granos, sin afectar la calidad de la carne en ovinos de pelo.

III. JUSTIFICACIÓN

La producción de carne ovina en la actualidad es un nicho de oportunidad como la demanda a nivel nacional e internacional no es abastecida, lo que ha hecho que tenga un precio competitivo frente a las carnes de otras especies. Más aún, el mercado de la carne ovina en los últimos años ha evolucionado parcialmente hacia la producción de cortes finos, lo que ha llevado a que el consumidor demande carne de calidad y estar dispuesto a pagar un precio más elevado por ella. Actualmente, se conoce que la forma de poder producir esta carne con mejores estándares de calidad, es a través de alimentar los ovinos de engorda con dietas altamente energéticas basadas en granos de cereales (60 a 80 %), ya que de esta manera se alcanzan canales de mejor conformación a una edad temprana; siendo la edad un factor muy importante para garantizar la calidad de la carne. Sin embargo, este tipo de alimentación lleva a que la rentabilidad de la producción de carne ovina disminuya, además de afectar su salud por promover problemas de acidosis ruminal. Basado en que los granos de cereales mejoran la disponibilidad de energía en los ovinos de engorda al incrementar, a través de su digestión ruminal, la cantidad del ácido graso volátil (AGV) propiónico que es un sustrato gluconeogénico; se ha propuesto que la sustitución parcial del grano en la dieta con PrCa podría ser una alternativa. El PrCa es un compuesto que se hidroliza en el rúmen aumentando la producción del ácido propiónico sin cambiar el pH ruminal. Esto lleva a mejorar la disponibilidad de glucosa circulante y las reservas de glucógeno, lo que beneficia para tener energía disponible para formación de músculo y, al sacrificio, suficiente glucógeno para la acidificación correcta del mismo durante su proceso de transformación a carne. Si bien, actualmente se conoce los posibles efectos benéficos del PrCa en la calidad de carne, poco se ha estudiado sobre el impacto de este producto gluconeogénico sobre aspectos físico-químicos de la carne.

IV. HIPÓTESIS

La suplementación de propionato de calcio a dosis moderadas en la dieta de engorda de ovinos de pelo tiene efectos benéficos de corto plazo en la calidad física de la carne fresca y almacenada en anaquel por mejorar el pH *post-mortem* y reducir la oxidación de la metamioglobina.

V. OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto sexo y nivel de suplementación de propionato de calcio en la dieta de engorda de ovinos de pelo sobre aspectos de calidad de la carne fresca y maduradas, tales como pH, color, dureza, capacidad de retención del agua y concentración de metamioglobina.

VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto del sexo y su interacción con la dosis de suplementación utilizando propionato de calcio en las dietas de engorda de ovinos de pelo.
- Evaluar el impacto de la suplementación utilizando propionato de calcio en dietas de finalización de ovinos de pelo en la calidad de la canal y su relación con la maduración de la carne.
- Analizar variables de calidad de la carne como pH, color, dureza, capacidad de retención de agua y concentraciones de metamioglobina en la carne de ovinos de pelo suplementados con propionato de calcio durante la fase de finalización.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Sitio de estudio

El estudio se realizó en la Unidad Experimental Ovina del Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de Mexicali, B.C., durante la época de invierno. El clima en la región es árido y seco con una época de lluvias principalmente concentrada en los meses de invierno, mientras que los veranos son muy calientes superando los 40 °C (INEGI, 2017).

7.2. Animales y manejo

Se utilizaron 40 ovinos cruzados Dorper x Katahdín de post-destete (27 corderos y 13 corderas), los cuales tenían una edad de 3.5 meses y un peso vivo (PV) inicial de 25.1±1.1 kg. Todo el manejo que recibieron estos animales experimentales fue acorde a las siguientes Normas Oficiales Mexicanas: NOM-051-ZOO-1995 (trato humanitario de los animales durante su movilización), NOM-062-ZOO-1999 (manejo de la producción, cuidado, uso y protección de la salud de los animales de laboratorio), y NOM-033-SAG/ZOO-2014 (métodos para el sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres). Al destete y luego 15 días después como refuerzo, los ovinos experimentales se desparasitaron con 3.0 mL/animal de Adbendal 10% Co® (Laboratorio Adler Pharma, Tlaquepaque, Jalisco, México), vitaminaron con 0.5 mL/animal de Vigantol ADE Fuerte® inyectado intramuscular (Laboratorio Elanco Salud Animal, Zapopan, Jalisco, México), y vacunaron subcutánea con 2.5 mL/animal de la vacuna Bovimune® clostri 10 (Laboratorio Lapisa, La Piedad Michoacana, México). Posteriormente, se sometieron a una prueba de comportamiento productivo que duró 51 días, siendo los primeros 10 días de periodo de adaptación (corraletas individuales y dieta experimental base) y los 41 días restantes de periodo experimental donde los tratamientos fueron ofrecidos. Todos los días se alimentaron *ad libitum* en horarios de 0600, 1200

y 1800, asimismo se ofreció agua a libre acceso y se realizaba revisión clínica visual. La dieta experimental base se formuló a 2.5 Mcal de energía metabolizable/ kg de materia seca (MS) y 16 % de proteína cruda, mezclado los siguientes ingredientes: paja de trigo (20 %), heno de alfalfa (30 %), trigo molido (33 %), harina de soya (10 %), semilla de algodón (4.5 %), premezcla de minerales-vitaminas (1 %) y sal común (1.5 %).

7.3. Diseño experimental y tratamientos

El primer día del periodo experimental se registró el peso vivo individual de los ovinos, el cual se utilizó como factor bloqueador para asignar los animales dentro de cada sexo (parcela grande) a una de las tres dosis de PrCa evaluadas (0, 5 y 10 g/kg de MS; parcela chica). El PrCa se ofreció durante los 41 d agregándolo directamente en la dieta base en una proporción 50:50 de la dosis diaria esperada en los horarios de las 0600 y 1200 h. Para calcular la dosis diaria basado en el consumo de alimento, los animales se pesaron cada 10 día y se estimó el consumo de MS diario como el 4.0 % de su PV. Este consumo estimado se multiplicó por la dosis, según el tratamiento. Al finalizar el periodo de alimentación con los tratamientos, todos los animales se sacrificaron por el método de degüelle después de un ayuno de 12 h en el Taller de Carne del ICA-UABC.

7.4. Evaluación de la calidad de la carne

Los cuerpos fueron eviscerados para obtener la canal, la cual se almacenó en un cuarto frío durante 24 h a 4 ° C. El pH de la canal se registró a los 45 min y 24 h post-mortem introduciendo un electrodo de punción en el músculo *Longissimus dorsi* (*LT*), específicamente a la altura de la 12va y 13va costilla. El electrodo estaba conectada a un pH metro (HI 98140, Hanna instruments Digital, Woonsocket, RI). Posteriormente, se realizó la disección del músculo *LT* (entre la 4ta y 12va costilla) y se evaluó los parámetros de color por triplicado usando un colorímetro portátil Minolta (CR-400, Kónika

Minolta Sensing, Japon), el cual se colocó en la superficie del músculo después de retirar la grasa superficial registrándose luminosidad (L^*), color rojizo (a^*), color amarillento (b^*), chroma (C^*) y ángulo hue (h^*). Finalmente, el músculo se empaquetó al vacío durante 7 d a una temperatura entre 0 y 4 °C para evaluar la calidad de la carne madurada.

La evaluación de la carne madurada se realizó después de desempaquetar y oxigenar el músculo durante 30 min. Inicialmente, se midió el color usando la metodología descrita previamente por triplicado. Luego, se licuó una muestra de 5 g de carne durante un minuto con 25 mL de agua para registrar el pH con un analizador portátil de líquidos (HI-2210, Hanna Instruments Digital, Woonsocket, RI); este proceso se hizo por duplicado. Finalmente, el músculo se cortó transversalmente en tres secciones, la primera se usó para evaluar la capacidad de retención de agua (CRA), la segunda para pérdida de peso por cocción y esfuerzo al corte, y la tercera para porcentaje de metamioglobina (MetMb).

La CRA se determinó centrifugando 3 g de carne suspendidos dentro de una tela porosa en tubos de 50 mL (Sutton et al., 1997). Se registró el peso de la carne post-centrifugación y se expresó como un porcentaje del peso inicial de la carne. La pérdida de peso por cocción se obtuvo registrando el peso de un bistec antes y después de cocinarlo en una parrilla eléctrica (Cook Master Oster, modelo 3222-3, Mississauga, Ontario, Canadá) hasta que alcanzó una temperatura interna de 71 °C. La diferencia de pesos se expresó como un porcentaje del peso inicial del bistec. El esfuerzo al corte se midió en el mismo bistec cocinado después de 20 min que se dejó a temperatura ambiente. El bistec finalmente se seccionó en tres cubos prismáticos de 1.27 cm³, los cuales se colocaron en el equipo de corte Warner-Bratzler (Salter Model 235, Compañía manufacturera GR, Manhattan, KS, USA), considerando que las fibras musculares estuvieran perpendiculares a la navaja de corte.

En caso de evaluación de MetMb, se siguió la metodología descrita por Stewart (1965). Así, se homogenizaron 5 g de carne con 20 mL de solución buffer fosfato durante 30 min con un equipo Ultra-turax, y posteriormente se centrifugó la mezcla a 28 000 $\times g$ durante 30 min a 4 °C. Finalmente, se filtró la mezcla en papel filtro Whatman No. 1 y una muestra del filtrado se colocó en un espectrofotómetro para medir la absorbancia en las longitudes de onda de 700, 572 y 525 nm. La CRA, el esfuerzo al corte y porcentaje de MetMb se midieron por triplicado en cada muestra, y al final se promediaron los valores por muestra.

7.5. Análisis estadísticos

Toda la información de CRA, pérdida por cocción, esfuerzo al corte y porcentaje MetMb se sometió análisis de varianza en un modelo que incluyó los efectos fijos de bloque, dosis, sexo y la interacción dosis x sexo. En el caso específico de pH y color, se usó el mismo modelo, pero incluyendo como efecto fijo al tiempo y sus interacciones posibles. No hubo efecto de las interacciones ($P > 0.05$) para ninguna variable. Las medias se compararon con una prueba de Tukey, declarando significancia a $P \leq 0.05$. Todos los análisis estadísticos se desarrollaron con el paquete estadístico SAS (2014).

VIII. RESULTADO

Los resultados de los cambios de pH y color de la carne *post-mortem* por efecto de la suplementación de PrCa en la dieta de engorda de corderos y corderas de pelo se presentan en el Cuadro 1. Las interacciones PrCa x sexo x tiempo, PrCa x sexo, PrCa x tiempo y sexo x tiempo no afectaron ($P > 0.10$) tanto el pH y los parámetros de color. En general, la alimentación de los ovinos con PrCa durante la engorda no modificó ($P \geq 0.19$) el pH de la carne a los 45 min, 24 h o 7 d *post-mortem*, así como sus parámetros a^* , b^* , L^* , C^* y h° en la evaluación puntual (24 h *post-mortem*) y después de 7 d madurada al vacío a 4°C. El sexo de los ovinos de pelo tampoco fue un factor ($P \geq 0.50$) que alterara tanto pH y parámetros de color de la carne *post-mortem*. En cambio, todos estos parámetros de calidad de la carne fueron cambiando ($P < 0.01$) con el tiempo de maduración de la carne (Figura 4 y 5). Así, la carne presentó un pH mayor ($P < 0.01$) a los 45 min *post-mortem* comparado con el registrado a las 24 h y 7 d *post-mortem*, siendo aún más bajo ($P < 0.01$) a las 24 h que a los 7 d *post-mortem* (Figura 4). La carne fresca de 24 h *post-mortem* presentó valores medios más bajos ($P < 0.01$) en todos los parámetros de color (a^* , b^* , L^* , C^* y h°) comparado a cuando se hizo la evaluación en carne madurada por 7 d (Figura 5).

En el Cuadro 2 se presentan los resultados del efecto de PrCa y sexo sobre las características físicas y concentración de metamioglobina de la carne madurada por 7 d de ovino de pelo engordado en corral. La interacción PrCa x sexo no afectó ($P \geq 0.10$) la capacidad de retención del agua, la pérdida de peso por cocción, el esfuerzo al corte y la concentración de metamioglobina. Adicionalmente, independientemente del sexo ($P \geq 0.44$), la alimentación de los ovinos con PrCa durante la engorda tampoco fue un factor ($P \geq 0.18$) que modificara estos parámetros de calidad de la carne.

Cuadro 1. Efecto de la adición de propionato de calcio (PrCa) en la dieta de engorda de ovinos de pelo sobre el pH y color de la carne fresca y madurada (*post-mortem*) por 7 días.

	PrCa (g/kg alimento)				Sexo			Valor de P^1		
	0	5	10	E.E.	Hembra	Macho	E.E.	PrCa	Sexo	Tiempo
pH	5.89	5.88	5.88	0.03	5.88	5.88	0.05	0.96	0.95	<0.01
Variables de color										
L^*	41.63	41.80	42.26	0.43	41.60	42.19	0.65	0.51	0.51	<0.01
a^*	22.05	22.46	21.75	0.30	22.02	22.16	0.44	0.19	0.82	<0.01
b^*	7.65	7.84	7.60	0.26	7.81	7.58	0.38	0.74	0.66	<0.01
C^*	23.56	23.67	23.04	0.35	23.38	23.40	0.52	0.36	0.97	<0.01
h°	18.91	18.58	18.97	4.40	19.10	18.54	0.60	0.72	0.50	<0.01

¹No hubo efecto de las interacciones entre factores principales.

² L^* = Luminosidad, a^* = Rojizo, b^* = Amarillento, C^* =Chroma, h° = Ángulo hue.

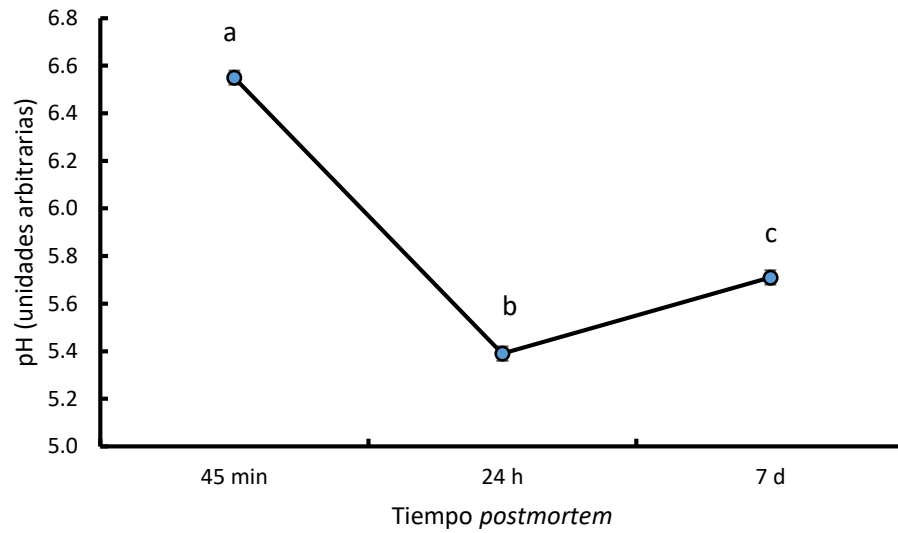


Figura 4. Cambios en el pH *post-mortem* de la carne de ovinos de pelo que transita de fresca a madurada por 7 días (efecto cuadrático a $P=0.01$).

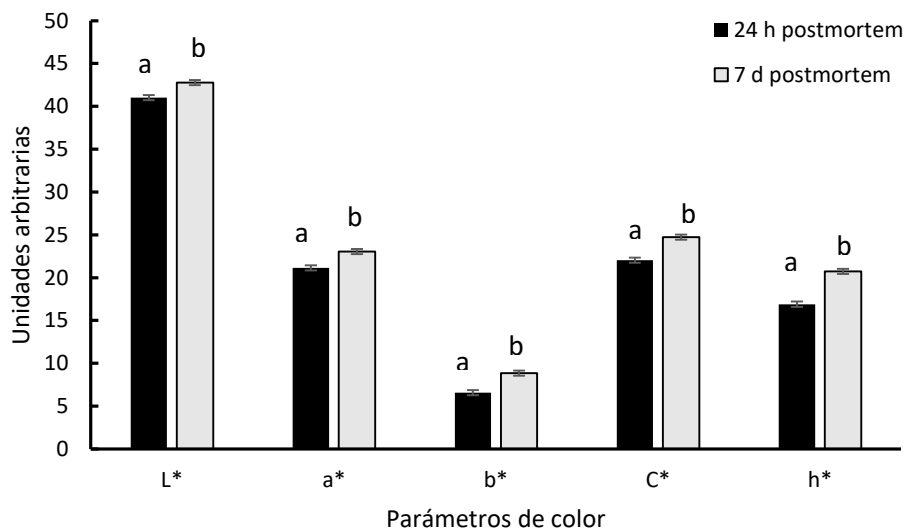


Figura 5. Cambios en los parámetros de color *post-mortem* de la carne de ovinos de pelo que transita de fresca a madurada por 7 días.

Cuadro 2. Efecto de la adición de propionato de calcio (PrCa) en la dieta de engorda de ovinos de pelo sobre las características físicas y concentración de metamioglobina de carne madurada por 7 días.

Variables ²	PrCa (g/kg alimento)				Sexo			Valores de P ¹	
	0	5	10	E.E.	Hembra	Macho	E.E.	PrCa	Sexo
Capacidad de retención de agua (%)	85.56	83.53	86.30	1.14	84.45	85.81	1.64	0.18	0.54
Pérdida de peso por cocción (%)	25.72	22.56	23.00	1.55	22.66	24.87	2.22	0.29	0.47
Esfuerzo al corte (kg)	2.90	2.71	2.53	0.21	2.66	2.76	0.30	0.45	0.81
Concentración de metamioglobina (%)	24.40	25.14	26.87	1.33	26.53	24.41	1.98	0.40	0.44

¹No hubo efecto de las interacciones entre factores principales.

IX. DISCUSIÓN

El grado de calidad de la carne depende en gran medida de la disponibilidad de glucógeno en músculo al momento del sacrificio y la cantidad de grasa intramuscular (López-Baca et al., 2019). Ambas cuestiones se asocian directamente con la alimentación que reciben los ovinos durante la etapa de engorda, aunque los almacenes de glucógeno muscular pueden disminuirse rápidamente frente a situaciones de estrés agudo pre-sacrificio y repercutir negativamente en los cambios de pH de la carne al punto que se interfiera con los procesos bioquímicos naturales desencadenados en el músculo para convertirse en carne con características óptimas (Hopkins et al., 2006). Una carne con una firmeza y apariencia de calidad, generalmente proviene de un músculo que al sacrificio cuenta con concentraciones de glucógeno de al menos 57 $\mu\text{mol/g}$ de músculo (Gagaoua et al., 2021), el cual a través de las 24 h *post-mortem* se va transformado en ácido láctico permitiendo que, en un ambiente ligeramente ácido, se presente la transformación de músculo a carne (Prache et al., 2022). Así, se espera un $\text{pH} > 6.0$ a los 45 min post-sacrificio y su caída a las 24 h entre 5.4 y 5.8 (Ponnampalam et al., 2017). En el presente estudio, se adicionó PrCa a la dieta de engorda de ovinos de pelo partiendo de la hipótesis que dicho precursor glucogénico mejoraría la calidad de la carne tanto en corderos y corderas al aumentar las reservas de glucógeno en músculo. Los resultados encontrados demostraron que, independientemente del sexo, la alimentación de los ovinos durante la fase de engorda-finalización con el producto no genera cambios en la calidad de la carne puntual y madurada. Estos hallazgos coinciden en su mayoría con los encontrados por otros estudios donde utilizaron generalmente dosis mayores a los 10 g/kg de alimento e hicieron evaluación puntual (Apaez, 2016; Carrillo-Muro et al., 2022, 2023a, 2023b). No obstante, existen algunas discrepancias entre ellos en relación a que características de calidad de la carne son alteradas con la alimentación de PrCa.

En general, la suplementación de PrCa ha mostrado no afectar características de la carne de ovinos de pelo como pH a 24 h *post-mortem*, pérdida de peso por cocción, CRA y esfuerzo al corte (Apaez, 2016; Carrillo-Muro et al., 2023a, 2023b). No obstante, los parámetros de color son más frecuentemente modificados por usar este precursor glucogénico en la alimentación de corderos enteros de engorda, particularmente causa una disminución tanto en la luminosidad como en la percepción de lo rojizo y amarillento de la carne (Apaez, 2016; Carillo-Muro et al., 2022). También se ha reportado un aumento en el esfuerzo al corte debido a la alimentación con PrCa de corderos de engorda, lo cual atribuyeron a que mejoró la deposición de masa muscular y la ganancia de peso (Carillo-Muro et al., 2022). Importante señalar que, si bien se ha documentado algunas alteraciones en la calidad de la carne de ovinos con la suplementación de PrCa, los valores promedios encontrados entre tratamiento (incluyendo los de este estudio) se encuentran dentro del rango normal ($\text{pH}_{45\text{min}} > 6.0$, $\text{pH}_{24\text{h}} = 5.4\text{-}5.9$, esfuerzo al corte ≤ 5 kg/cm², valor de $a^* \geq 9$, y valor de $L^* \geq 34$; Hopkins et al., 2006; Khliji et al., 2010; Sañudo et al., 1998). Esto sugiere que la adición de PrCa en la dieta de engorda de ovinos de pelo no es un factor determinante en modificar la calidad de la carne fresca y madurada en anaquel, lo cual podría deberse a que este producto glucogénico no afecta el pH final y la oxidación de la mioglobina de la carne; tal como se observó en la presente investigación.

La estrecha dependencia entre los atributos de la calidad de la carne con el pH final actualmente está bien definida en la literatura. Un pH < 5.8 es requerido para evitar que la mioglobina seda su oxígeno a la ruta bioquímica de la cadena de transporte de electrones, lo que trae como consecuencia un aumento en la concentración de metamioglobina combinado con valores de a^* y L^* disminuidos (Wu et al., 2020). También la actividad del sistema enzimático calpaína-calpastatina del músculo se altera a pH > 5.8 , impactando negativamente en su acción proteolítica; proceso bioquímico de gran relevancia para transformar el músculo en carne suave y jugosa, es decir,

carne que presente menor esfuerzo al corte y adecuada CRA (Hopkins et al., 2006; Ponnampalam et al., 2017). Por otra parte, los pH medidos en la carne a 45 min, 24 h y 7 d *post-mortem* no se vieron afectados con la suplementación del PrCa porque quizás esta estrategia de alimentación no favoreció que aumentaran las reservas de glucógeno muscular, esto se hipotetiza a partir de un estudio previo en becerros donde no encontraron cambios en las concentraciones de glucógeno muscular al alimentar dichos animales con dicho producto glucogénico (Garza et al., 2002). Esto último se requiere confirmar en estudio futuros.

Respecto al sexo, los resultados del presente estudio mostraron que el PrCa no afecta la calidad de la carne tanto en corderas y corderos, además el sexo por si solo tampoco fue un factor asociado con cambios en los atributos de la carne. Se conoce que, en ovinos, el efecto de sexo sobre calidad de la carne es dependiente de la edad, siendo notorias a edades que empieza la actividad reproductiva o adultas (Ponnampalam et al., 2017; Prache et al., 2022). Por su parte, Ye et al. (2020) concluyeron que el efecto de sexo en la calidad de la carne es inexistente a la misma edad y antes de que alcancen el peso maduro. En línea con lo encontrado en nuestro estudio, el sexo tampoco influyó sobre el pH a 24 h, así como en color, CRA, pérdida de peso por cocción y esfuerzo al corte tanto en evaluación puntual como en carne madurada obtenida a partir de ovinos autóctonos de España de post-destete (Miguel et al., 2021). Por lo tanto, los resultados de sexo podrían ser atribuidos a que los ovinos se sacrificaron a una edad temprana y presentaban similares pesos al sacrificio.

Cabe mencionar que el pH y los parámetros de color se evaluaron a diferentes tiempos, demostrándose que la suplementación de PrCa durante la engorda de ovinos de pelo no ejerce efectos de corto plazo *post-mortem* en carne fresca y madurada por 7 d, ya que la interacción PrCa x tiempo no fue significativa. No obstante, el tiempo por si sólo alteró tanto el pH y el color de la carne, específicamente disminuyó el pH en las primeras 24 h *post-mortem*

como era esperado (45 min= 6.6 a 24 h= 5.4) de acuerdo a lo indicado en la literatura (Prache et al., 2022). En la carne madurada, tanto el pH y el color de la carne mejoraron, lo cual coincide con los reportado (Gürbüz et al., 2022).

X. CONCLUSIONES

Se concluye que la suplementación dietaria de ovinos de engorda con propionato de calcio no afecta el pH final y la oxidación de mioglobina. En consecuencia, este producto glucogénico no genera beneficios en la calidad de la carne fresca y madurada en condiciones de anaquel. La ausencia del efecto benéficos de esta estrategia de alimentación en ovinos de pelo es independiente del sexo.

En general, se recomienda a los productores no suplementar la dieta de engorda con propionato de calcio para mejorar la densidad energética porque esto no se refleja en una mejor calidad de la carne; mercado pequeño en el país pero que mejora significativamente la rentabilidad de esta actividad pecuaria.

XI. LITERATURA CITADA

- Apáez Barrios, J. (2017). Uso de propionato de calcio y sodio para la alimentación de corderos en finalización (Master's thesis).
- Barraso, C., Cobos, S., López-Parra, M. M., Rodríguez, J., García, A., & Rodríguez, P. L. (2023). Efecto del nivel de incorporación de maíz sobre la degradabilidad de un concentrado in vitro. *Archivos de Zootecnia*, 72(280), 276-283.
- Bintvihok, A., & Kositcharoenkul, S. (2006). Effect of dietary calcium propionate on performance, hepatic enzyme activities and aflatoxin residues in broilers fed a diet containing low levels of aflatoxin B1. *Toxicon*, 47(1), 41–46.
- Cabrera Vaca, C. A. (2016). Evaluación de tres sistemas de alimentación (balanceo y pastos), con ovinos tropicales cruzados (dorper x pelibuey) para la fase de crecimiento y acabado en el cantón Balzar (Bachelor's thesis, Espol).
- Carrillo-Muro, O., Rivera-Villegas, A., Hernández-Briano, P., López-Carlos, M. A., Aguilera-Soto, J. I., Estrada-Angulo, A., ... & Mendez-Llorente, F. (2022). Effect of calcium propionate level on the growth performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot ram lambs. *Small Ruminant Research*, 207, 106618.
- Carrillo-Muro, O., Rivera-Villegas, A., Hernandez-Briano, P., Lopez-Carlos, M. A., & Castro-Perez, B. I. (2023a). Effect of Dietary Calcium Propionate Inclusion Period on the Growth Performance, Carcass Characteristics, and Meat Quality of Feedlot Ram Lambs. *Agriculture*, 13(8), 1577.
- Carrillo-Muro, O., Rivera-Villegas, A., Hernandez-Briano, P., Lopez-Carlos, M. A., & Plascencia, A. (2023b). Effects of Duration of Calcium Propionate Supplementation in Lambs Finished with Supplemental Zilpaterol Hydrochloride: Productive Performance, Carcass Characteristics, and Meat Quality. *Animals*, 13(19), 3113.

- Church, D. C. (1979). Digestive physiology and nutrition of ruminants. Volumen 2. Nutrition (No. Ed. 2, 452pp).
- EFSA (2014). Scientific opinion on the re-evaluation of propionic acid (E280), sodium propionate (E281), calcium propionate (E282) and potassium propionate (E283) as food additives. EFSA Journal, 12(7), 3779.
- FAOSTAT, (2022). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura.
https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities_by_country
- García, M. V., García-Cela, E., Magan, N., Copetti, M. V., & Medina, A. (2021). Comparative growth inhibition of bread spoilage fungi by different preservative concentrations using a rapid turbidimetric assay system. *Frontiers in Microbiology*, 12, 678406.
- Garza, J., Hanson, D., Kirchofer, K., Calkins, C. R., & Horton, J. (2002). Evaluation of Calcium Propionate as a Nutrient to Prevent Dark Cutting Beef. *Nebraska Beef Report* — Page 94-96.
- Díaz, D. F. P. (2018). Importancia de la interacción de bacteriófagos y bacterias ruminales en el desarrollo productivo del rumiante. *Revista Ciencias Agropecuarias (RCA)*, 4(2), 41-45.
- Gürbüz, Ü., Kahraman, H. A., Telli, A. E., Biçer, Y., & Doğruer, Y. (2022, March). Comparison of meat quality characteristics of dry aged lamb loins and optimization of dry aging process. In *Veterinary Research Forum* (Vol. 13, No. 1, p. 21). Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran.
- Hendawy, A. O., Sugimura, S., Sato, K., Mansour, M. M., Abd El-Aziz, A. H., Samir, H., ... & Ali, A. M. (2021). Effects of selenium supplementation on rumen microbiota, rumen fermentation, and apparent nutrient digestibility of ruminant animals: a review. *Fermentation*, 8(1), 4.
- INEGI.7 2017. Anuario geográfico y estadístico de Baja California 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en:

- https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/BCN_ANUARIO_PDF.pdf (Accesado el 11 de agosto de 2024).
- FAOSTAT. (2022). Crops and livestock products. Retrieved March 20, 2022, from Food and Agriculture Organization of the United Nations website: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Gagaoua, M., Warner, R. D., Purslow, P., Ramanathan, R., Mullen, A. M., López-Pedrouso, M., ... & Terlouw, E. C. (2021). Dark-cutting beef: A brief review and an integromics meta-analysis at the proteome level to decipher the underlying pathways. *Meat Science*, 181, 108611.
- Garrido Ezquerro, M., Blanco Alibés, M., & Ripoll García, G. (2024). Mejora de la calidad de la canal y carne de terneros mediante la inclusión de esparceta en la dieta (Bachelor's Thesis).
- Hopkins, D. L., Hegarty, R. S., Walker, P. J., & Pethick, D. W. (2006). Relationship between animal age, intramuscular fat, cooking loss, pH, shear force and eating quality of aged meat from sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(7), 879-884.
- Khlijji, S., Van de Ven, R., Lamb, T. A., Lanza, M., & Hopkins, D. L. (2010). Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Science*, 85(2), 224-229.
- Kim, C. H. (2023). Complex regulatory effects of gut microbial short-chain fatty acids on immune tolerance and autoimmunity. *Cellular & Molecular Immunology*, 20(4), 341-350.
- Lieshchova, M. A., Bilan, M. V., Mylostyvyi, R. V., Kravtsova, M. V., & Brygadyrenko, V. V. (2023). Effect of calcium propionate on rats with a high-fat hypercaloric diet. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14(4), 680-686.
- López-Baca, M.A., Contreras, M., González-Ríos, H., Macías-Cruz, U., Torrentera, N., Valenzuela-Melendres, M., Muhlia-Almazán, A., Soto-Navarro, S., Avendaño-Reyes, L. (2019) Growth, carcass

- characteristics, cut yields and meat quality of lambs finished with zilpaterol hydrochloride and steroid implant. *Meat Science* 158, 107890.
- Macías-cruz, U., Saavedra, R., Correa-, A., Mellado, M., Torrentera, N. G., Chay-, A., ... Avendaño-reyes, L. (2020). Feedlot performance, carcass characteristics and meat quality of hair breed male lambs to seasonal heat seasonal (winter vs. summer) in an arid climate. *Meat Science*, 108202.
- McLaughlin, T. K. (2024). Tracing Bighorn Sheep in the Pend Oreille Valley, Washington State (Master's thesis, Washington State University).
- Miguel, E., Blazquez, B., & Ruiz de Huidobro, F. (2021). Liveweight and sex effects on instrumental meat quality of Rubia de El Molar autochthonous ovine breed. *Animals*, 11(5), 1323.
- Miller, R. (2020). Drivers of consumer liking for beef, pork, and lamb: A Review. *Foods*, 9(4), 428.
- Rodríguez-Cordero, D., Carrillo-Muro, O., Hernandez-Briano, P., Rivera-Villegas, A., & Estrada-Angulo, A. (2023). Effect of dietary calcium propionate inclusion level and duration in high-risk newly received stocker calves: Growth performance, body fat reserves, and health. *Agriculture*, 13(11), 2062.
- Pethick, D. W., & Rowe, J. B. (1996). The effect of nutrition and exercise in carcass parameters and the level of glycogen in skeletal muscle of Merino sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 47(4), 525-537.
- Pethick, D. W., O'Reilly, R. A., Zhao, L., Gardner, G. E., Luo, H., Meng, Q., & Pannier, L. (2023). Chinese consumer assessment of Australian sheep meat using a traditional hotpot cooking method. *Foods*, 12(5), 1109.
- Ponnampalam, E. N., Hopkins, D. L., Bruce, H., Li, D., Baldi, G., & Bekhit, A. E. D. (2017). Causes and contributing factors to “dark cutting” meat: Current trends and future directions: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 400-430.

- Pongsavee M. (2019). Effects of 3300 del A-1061 Ter BRCA1 frameshift mutation and calcium propionate on oxidative stress and breast carcinogenesis. *International Journal of Molecular Epidemiology and Genetics*, 10(3), 47–52.
- Prache, S., Schreurs, N., & Guillier, L. (2022). Factors affecting sheep carcass and meat quality attributes. *Animal*, 16, 100330.
- SAS (2014). User's guide. Software 9.4. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Sañudo, C., Nute, G. R., Campo, M. M., Maria, G., Baker, A., Sierra, I., ... & Wood, J. D. (1998). Assessment of commercial lamb meat quality by British and Spanish taste panels. *Meat Science*, 48(1-2), 91-100.
- Salvi, P. S., & Cowles, R. A. (2021). Butyrate and the intestinal epithelium: modulation of proliferation and inflammation in homeostasis and disease. *Cells*, 10(7), 1775.
- Sequeira, S. O., Phillips, A. J. L., Cabrita, E. J., & Macedo, M. F. (2017). Antifungal treatment of paper with calcium propionate and parabens: Short-term and long term effects. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 120, 203–215.
- SIAP (2022). Inventario ovino 2022.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/744954/Inventario_2021_ovino.pdf
- Suleman, R., Wang, Z., Aadil, R. M., Hui, T., Hopkins, D. L., & Zhang, D. (2020). Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects. *Meat Science*, 167, 108172.
- Stewart, M. R., Zipser, M. W., & Watts, B. M. (1965). The use of reflectance spectrophotometry for the assay of raw meat pigments. *Journal of Food Science*, 30(3), 464-469.

- Suhr, K. I., & Nielsen, P. V. (2004). Effect of weak acid preservatives on growth of bakery product spoilage fungi at different water activities and pH values. *International Journal of Food Microbiology*, 95(1), 67–78.
- Sutton, D. S., Ellis, M., Lan, Y., McKeith, F. K., & Wilson, E. R. (1997). Influence of slaughter weight and stress gene genotype on the water-holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles. *Meat Science*, 46(2), 173-180.
- Wang, Y., Wang, Q., Dai, C., Li, J., Huang, P.; Li, Y., Ding, X., Huang, J., Hussain, T. & Yang, H. (2020). Effects of dietary energy on growth performance, carcass characteristics, serum biochemical index, and meat quality of female Hu lambs. *Animal Nutrition*. 6, 499–506.
- Wu, S., Han, J., Liang, R., Dong, P., Zhu, L., Hopkins, D. L., ... & Luo, X. (2020). Investigation of muscle-specific beef color stability at different ultimate pHs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(12), 1999.
- Ye, Y., Schreurs, N. M., Johnson, P. L., Corner-Thomas, R. A., Agnew, M. P., Silcock, P., ... & Realini, C. E. (2020). Carcass characteristics and meat quality of commercial lambs reared in different forage systems. *Livestock Science*, 232, 103908.
- Zhang, F., Nan, X., Wang, H., Guo, Y., & Xiong, B. (2020). Research on the Applications of Calcium Propionate in Dairy Cows: A Review. *Animals*, 10(8), 1336.
- Zhang, X., Liu, C., Kong, Y., Li, F., & Yue, X. (2022). Effects of intramuscular fat on meat quality and its regulation mechanism in Tan sheep. *Frontiers in Nutrition*, 9, 908355.