

Tesis de Doctorado en Agronomía

**Efecto del grano de avena y la harina de lino
sobre el desempeño productivo y la calidad
de la carne en rumiantes terminados a
corral**

Ing. Agr. María Sol Villaverde

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctora en Agronomía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre febrero de 2019 y febrero de 2025, bajo la dirección del Dr. Hugo Mario Arelovich y la codirección de la Dra. Marcela Fernanda Martínez.

Ing. Agr. María Sol Villaverde
DNI 36.330.060



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Subsecretaría de Posgrado

La presente tesis ha sido aprobada el *14 de julio de 2025*, mereciendo la calificación de *8 (ocho)*.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que, de una forma u otra, hicieron posible este trabajo:

A mi familia, por su apoyo incondicional y acompañamiento durante toda mi carrera universitaria. A mis padres, Mónica y Alberto, quienes, con sus valores, me enseñaron que con esfuerzo y dedicación todos los sueños se pueden alcanzar. A mi tío Daniel, por estar siempre cuando lo he necesitado. A mi tía abuela Nelly (alias "Juanita"), que hoy no está, pero esperaba con mucha ilusión este momento.

A mi pareja Boris, por brindarme todo su apoyo incondicional y no dejar que me diera por vencida.

A mis directores Hugo y Marcela, por su guía, paciencia y confianza a lo largo de estos años. Gracias por darme la oportunidad de desarrollarme tanto profesional como personalmente.

A mis compañeros del Área de Producción Animal, por su ayuda constante y los buenos momentos compartidos, que hicieron más llevadero este proceso. A las docentes del Taller de Producción Animal, Leticia, Celeste y Victoria, por confiar en mí, acompañarme y brindarme el espacio para desarrollar los experimentos con ovinos. A Rodrigo, por gestionar la adquisición de alimentos e insumos para los ovinos. A Hebe, Claudia, Pepe y Sergio, por las atenciones veterinarias a los corderos. A Mariano, Rocío, Damián y Delia, por su colaboración en la realización de los experimentos.

A los no docentes del Departamento de Agronomía de la UNS, por su colaboración en la reparación de las instalaciones y en la preparación del material y los alimentos para los ovinos.

A los estudiantes y tesinistas que participaron activamente en los experimentos, en especial a Florencia, Patxi, César, Jenifer y Lucas. Sin su participación todo hubiera sido mucho más difícil.

A Ayelén y todo el personal de campo del área de Producción Animal del INTA EEA Bordenave, quienes fueron fundamentales para la realización del experimento con bovinos. Gracias por sus enseñanzas y consejos.

Al Frigorífico Sur S.A. y a Federico, por poner a disposición las instalaciones y el personal. También agradezco a todo el personal de las plantas de Médanos y Bahía Blanca, quienes nos ayudaron con gran predisposición e infinita paciencia.

A Ethel, Federico, Ana y Clarisa de PLAPIQUI, por su invaluable ayuda, gran predisposición y colaboración en los análisis de compuestos fenólicos y perfil de ácidos grasos, y por acompañarme en otras ideas que surgieron a lo largo del proceso.

A mis amigos, por estar siempre presentes, acompañándome durante todo el proceso, incluso a la distancia, alentándome a no bajar los brazos y seguir adelante.

Agradezco a las instituciones que hicieron posible este doctorado. Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), por el apoyo brindado a través de una Beca Doctoral. A la Universidad Nacional del Sur (UNS), por permitir la realización de este Doctorado de forma gratuita y por financiar parte de los experimentos. Al Departamento de Agronomía de la UNS, por facilitar sus instalaciones y recursos para el desarrollo del trabajo. Al INTA EEA Bordenave y a PLAPIQUI (CONICET), por el acceso a sus equipos e infraestructura.

Finalmente, a todos los aquellos que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo de esta tesis, ¡Gracias!

RESUMEN

Argentina es reconocida mundialmente por la calidad de su carne, caracterizada por la alimentación de rumiantes a base de pasto, ocasionalmente suplementada con granos. La intensificación ganadera ha desplazado la producción hacia zonas marginales donde el cultivo de maíz, utilizado como suplemento energético de preferencia, enfrenta limitaciones edafoclimáticas. En este contexto, los cereales de invierno, como la avena, emergen como alternativas viables por su facilidad de cultivo, versatilidad y alta palatabilidad. Asimismo, la inclusión de semillas de lino y sus subproductos en la dieta de rumiantes ha demostrado aumentar los niveles de ácido α -linolénico y sus derivados de cadena larga en el músculo, compuestos beneficiosos para la salud humana. Además, los compuestos fenólicos presentes en los alimentos de origen vegetal poseen propiedades antioxidantes, fitoestrogénicas y astringentes que pueden modular el crecimiento, la fermentación ruminal y mejorar la salud animal y la calidad de sus productos. Otra estrategia para mejorar la aptitud comercial de la carne es el proceso de maduración, que intensifica el color y mejorar la capacidad de retención de agua. Se realizaron cuatro experimentos con bovinos u ovinos en terminación, alimentados con dietas isoproteicas basadas en heno solo o combinado con concentrados energéticos y proteicos como grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino. Se evaluaron el desempeño productivo (ganancia de peso, conversión alimenticia, peso y rendimiento de carcasa, área de ojo de bife, espesor de grasa dorsal) y características de la carne, como el perfil de ácidos grasos y la concentración de compuestos fenólicos, además del color, capacidad de retención de agua y estabilidad oxidativa tras diferentes períodos de maduración. Los animales alimentados con heno (tratamiento control) presentaron menores ganancias de peso, pesos de carcasa y una conversión alimenticia menos eficiente en comparación con aquellos alimentados con granos. Sin embargo, mostraron un rendimiento de carcasa, desarrollo muscular y grado de terminación similares, además de una relación n-6:n-3 más favorable en su carne. Los animales que consumieron grano de avena tuvieron un rendimiento de carcasa ligeramente inferior a los alimentados con maíz, pero su consumo voluntario fue más homogéneo, indicando mayor estabilidad ruminal. Las diferencias en el perfil de ácidos grasos entre ambos tratamientos fueron mínimas y no afectaron la relación n-6:n-3. No se observaron diferencias en los parámetros productivos entre los animales alimentados con harina de girasol o de lino. Sin embargo, la harina de lino aumentó la concentración de ácido α -linolénico en la carne y redujo la relación n-6:n-3, pero provocó un aumento en la oxidación de las proteínas. En ningún experimento se encontraron diferencias en la concentración de compuestos fenólicos en la carne. La maduración prolongada mejoró la capacidad de retención de agua, pero las diferencias

de color observadas no serían perceptibles a simple vista. El grano de avena puede reemplazar al grano de maíz y la harina de lino a la de girasol en dietas de terminación sin comprometer el desempeño productivo ni las características tecnológicas y organolépticas de la carne, pudiendo incluso mejorar su perfil nutricional.

ABSTRACT

Argentina is globally recognized for the exceptional quality of its meat, which is primarily derived from ruminants raised on grass-based diets, occasionally supplemented with grains. More recently, the livestock sector has intensified its production systems, relocating activities to marginal areas where corn crops, commonly used as an energy supplement, faces soil and water limitations. In this context, winter cereals such like oats emerge as viable alternatives due to their ease of cultivation, versatility, and high palatability. Additionally, the inclusion of flaxseed and its by-products in ruminant diets has been shown to enhance the levels of α -linolenic acid and its long-chain derivates in muscle, compounds recognized for their health benefits. Moreover, phenolic compounds found in plant-based feed exhibit antioxidant, phytoestrogenic, and astringent properties that can modulate growth, ruminal fermentation, and improve animal health and the quality of their products. Another strategy to enhance the commercial value of meat is the ageing process, which has been shown to intensify colour and improve water-holding capacity. Four experiments were conducted with finishing cattle or sheep fed isoproteic diets based on hay alone or combinations of hay plus grain and a protein meal; namely oat grain, corn grain, sunflower meal, or flaxseed meal. Evaluations included productive performance metrics (weight gain, feed conversion, carcass weight and carcass yield, ribeye area, backfat thickness) as well as meat quality attributes such as fatty acid profile and phenolic compound concentration. Also, colour, water-holding capacity and oxidative stability were evaluated across various ageing periods. Animals fed hay (as a control diet) exhibited lower weight gains, lighter carcasses and less efficient feed conversion compared to those fed grains. However, they achieved similar carcass yields, muscle development, and degrees of finishing, along with a more favourable n-6:n-3 ratio in their meat. Ruminants consuming oat grain-based diet exhibited slightly lower carcass yields compared to those fed corn grain but demonstrated more homogeneous voluntary intake, reflecting greater ruminal stability. Differences in the fatty acid profile between these grain treatments were minimal and did not impact the n-6:n-3 ratio. No significant differences in productive performance were observed between animals fed sunflower meal or flaxseed meal. However, flaxseed meal increased the α -linolenic acid concentration in meat and reduced the n-6:n-3 ratio, but caused an increase in protein

oxidation. Across all experiments, no differences in the concentration of phenolic compounds in the meat were detected. Prolonged ageing improved water-holding capacity of meat, although the observed colour differences were unlikely to be perceptible to the naked eye. Oat grain effectively replaced corn grain, and flaxseed meal successfully substituted sunflower meal in finishing diets without compromising productive performance or the technological and sensory characteristics of the meat, while potentially improving its nutritional profile.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 Introducción general	1
Propiedades de la carne	6
Color	9
Capacidad de retención de agua	13
Valor nutricional de la carne	15
Perfil de ácidos grasos	15
Estabilidad oxidativa	17
Compuestos fenólicos	19
HIPÓTESIS	22
OBJETIVOS	23
CAPÍTULO 2 Desempeño productivo, características de la carcasa y calidad tecnológica de la carne de novillos en terminación alimentados con grano de avena o grano de maíz.....	25
Introducción	25
Hipótesis	26
Objetivos	27
Materiales y métodos	27
Animales, dietas y manejo general	27
Desempeño productivo y evaluación de la carcasa <i>in vivo</i>	30
Procedimiento de faena y evaluación de la carcasa	30
Evaluación de la carne madurada	32
Análisis estadísticos	34
Resultados	35
Desempeño productivo	35
Características de la carcasa y calidad de la carne	38
Características de la carne madurada	40
Discusión	46
Composición del grano de avena y desempeño productivo	46
Características de la carcasa y calidad de la carne	49
Maduración de la carne	50
Conclusión	52
CAPÍTULO 3 Desempeño productivo y características de la carcasa de ovinos alimentados con dietas formuladas con diferentes fuentes energéticas y proteicas	53
Introducción	53
Hipótesis	55
Objetivos	55

Materiales y métodos	55
Sítio experimental	56
Manejo general, tratamientos dietarios y características de los animales.....	57
Evaluación del desempeño productivo	65
Análisis estadísticos.....	67
Resultados	68
Evolución y ganancia de peso	68
Consumo voluntario.....	69
Eficiencia	79
Parámetros sanguíneos.....	81
Líquido ruminal	83
Características de la carcasa	87
Discusión	90
Dietas basadas en heno vs. granos	90
Dietas basadas en grano de maíz vs. grano de avena.....	92
Dietas basadas en harina de girasol vs. harina de lino.....	95
Compuestos fenólicos	96
Parámetros sanguíneos y ruminariales	97
Conclusión	98
CAPÍTULO 4 Calidad nutricional, organoléptica y tecnológica de la carne de ovinos alimentados con dietas formuladas con diferentes fuentes energéticas y proteicas	99
Introducción	99
Hipótesis.....	101
Objetivos	102
Materiales y métodos	102
Características de la carne fresca.....	102
Características de la carne madurada	104
Análisis estadísticos.....	106
Resultados	107
Características de la carne fresca.....	107
Características de la carne madurada	120
Discusión	138
Dietas basadas en heno vs. granos	139
Dietas basadas en grano de avena vs. grano de maíz.....	141
Dietas basadas en harina de girasol vs. harina de lino.....	142
Efecto del tiempo de maduración.....	143

Compuestos fenólicos	145
Conclusión	147
CONSIDERACIONES FINALES	149
BIBLIOGRAFÍA.....	153
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA GENERADA EN EL TRANSCURSO DE ESTA TESIS.....	168
ANEXO	170

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 2.1.** Ingredientes y composición química de las dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), suministradas a novillos en terminación durante el experimento de 2019.29 29
- Tabla 2.2.** Máxima verosimilitud restringida para la evolución del peso vivo y la ganancia de peso acumulada de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza autorregresiva. 37
- Tabla 2.3.** Máxima verosimilitud restringida para área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta..... 37
- Tabla 2.4.** Máxima verosimilitud restringida para ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, tasa de crecimiento del área de ojo de bife (AOB) y tasa de crecimiento del espesor de grasa dorsal (EGD) de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz)..... 37
- Tabla 2.5.** Máxima verosimilitud restringida para peso de carcasa, pH y pérdidas por goteo de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo e incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta..... 40
- Tabla 2.6.** Máxima verosimilitud restringida para pérdidas por refrigeración, rendimiento de carcasa, pérdidas por cocción y pérdidas por jugo exprimible de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz). 40
- Tabla 2.7.** pH y variables de color de la carne de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), perteneciente al experimento de 2019, luego de ser madurada, congelada y descongelada..... 41
- Tabla 2.8.** pH y variables de color de la carne de novillos madurada en húmedo por 4 o 14 días y evaluada luego del proceso de congelado y descongelado, perteneciente al experimento de 2019..... 43
- Tabla 2.9.** Máxima verosimilitud restringida para pH, L*, a*, b*, tonalidad y saturación de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz) y madurada durante dos períodos (4 y 14 días). 45

Tabla 2.10. Máxima verosimilitud restringida para pérdida por purga y descongelado y materia seca de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz) y madurada durante dos períodos (4 y 14 días).....	45
Tabla 2.11. Máxima verosimilitud restringida para pérdida por purga y descongelado, tonalidad y diferencia total del color de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz) o madurada durante dos períodos (4 y 14 días).....	46
Tabla 3.1. Composición del suplemento vitamínico-mineral utilizado en la formulación de las dietas durante los experimentos de 2021, 2022 y 2023.....	58
Tabla 3.2. Ingredientes, composición química y proporción de los ácidos grasos de dietas basadas en heno (H), grano de avena (A) o grano de maíz (M), suministradas a ovinos durante el experimento de 2021.....	62
Tabla 3.3. Ingredientes, composición química y proporción de los ácidos grasos de dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), suministradas a ovinos durante el experimento de 2022.....	63
Tabla 3.4. Ingredientes, composición química y proporción de los ácidos grasos de dietas basadas en grano de avena con harina de girasol (G) o harina de lino (L) como suplemento proteico, suministradas a ovinos durante el experimento de 2023	64
Tabla 3.5. Máxima verosimilitud restringida para la evolución del peso vivo y la evolución de la ganancia de peso acumulada de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza autorregresiva.	72
Tabla 3.6. Máxima verosimilitud restringida para la ganancia diaria de peso de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).....	72
Tabla 3.7. Consumo acumulado de los diferentes nutrientes en ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) y harina de lino (L), correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.	75
Tabla 3.8. Máxima verosimilitud restringida para el consumo diario de materia seca (MS), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB)y energía metabolizable (EM) de corderos correspondientes a los experimentos 2021 (total, etapa 1 y etapa 2), 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).....	76
Tabla 3.9. Máxima verosimilitud restringida para la evolución del consumo diario de materia seca de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza autorregresiva. Prueba de Levene para la varianza de la evolución del consumo diario de materia seca correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.....	77
Tabla 3.10. Máxima verosimilitud restringida para el consumo acumulado de materia seca (MS), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) y energía metabolizable (EM)de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023,	

alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).....	78
Tabla 3.11. Máxima verosimilitud restringida para conversión alimenticia, consumo de proteína bruta (PB) por kg de ganancia y consumo de energía metabolizable (EM) por kg de ganancia de corderos correspondientes a los experimentos 2021 (total, etapa 1 y etapa 2), 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).....	81
Tabla 3.12. Máxima verosimilitud restringida para la concentración sanguínea de glucosa, urea y nitrógeno ureico correspondiente a los ovinos de los experimentos 2021 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).	83
Tabla 3.13. Máxima verosimilitud restringida para pH, concentración de nitrógeno amoniacal y concentración de compuestos fenólicos totales, no tánicos y tánicos en el líquido ruminal de ovinos alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), pertenecientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.....	86
Tabla 3.14. Máxima verosimilitud restringida para el peso de carcasa de los corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.....	89
Tabla 3.15. Máxima verosimilitud restringida para pérdida por refrigeración, rendimiento de carcasa, espesor de grasa dorsal y área de ojo de bife de ovinos alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), pertenecientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.....	89
Tabla 4.1. Máxima verosimilitud restringida para el pH de la carne de los corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.....	109
Tabla 4.2. Variables de color de la carne fresca de ovinos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L), evaluadas en los experimentos realizados durante 2022 y 2023.	109
Tabla 4.3. Máxima verosimilitud restringida para las variables de color (L^* , a^* , b^* , tonalidad y saturación) correspondientes a la carne de ovinos de los experimentos 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).	110
Tabla 4.4. Composición de los ácidos grasos de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L) correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.	112
Tabla 4.5. Máxima verosimilitud restringida para la concentración de ácidos grasos de la carne de los ovinos del experimento 2021, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena o grano de maíz).	113

Tabla 4.6. Máxima verosimilitud restringida para la concentración de ácidos grasos de la carne de los ovinos del experimento 2022, alimentados con diferentes dietas (basadas engrano de avena o grano de maíz).....	114
Tabla 4.7. Máxima verosimilitud restringida para la concentración de ácidos grasos de la carne de los ovinos del experimento 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas engrano de avena con harina de girasol o harina de lino como suplemento proteico).	115
Tabla 4.8. Máxima verosimilitud restringida para las sumas parciales de ácidos grasos saturados (SFA), insaturados (UFA), monoinsaturados (MUFA), poliinsaturados (PUFA), relación PUFA:SFA, relación n-6:n-3, índice aterogénico e índice trombogénico de la carne de los ovinos correspondiente a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).....	118
Tabla 4.9. Máxima verosimilitud restringida para la concentración de compuestos fenólicos en la carne de los corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.....	119
Tabla 4.10. Valores de pH y variables de color de la carne madurada de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L), evaluados en los experimentos realizados durante 2021, 2022 y 2023.	121
Tabla 4.11. Resultados de la métrica CIEDE ₂₀₀₀ correspondientes a las comparaciones de color de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) y harina de lino (L). Los datos corresponden a los experimentos realizados en 2021, 2022 y 2023.....	122
Tabla 4.12. Valores de pH y variables de color de la carne de ovinos madurada en húmedo durante 1, 4, 8 y 16 días, evaluada luego del proceso de congelado y descongelado; correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.	127
Tabla 4.13. Resultados de la métrica CIEDE ₂₀₀₀ , correspondientes a las comparaciones del color de la carne de ovinos de los experimentos 2021, 2022 y 2023, madurada en húmedo durante 1, 4, 8 y 16 días y evaluada luego del proceso de congelado y descongelado.	127
Tabla 4.14. Máxima verosimilitud restringida para pH, luminosidad (L*), color rojo (a*), color amarillo (b*), tonalidad y saturación de la carne de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino) y madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días).	133
Tabla 4.15. Máxima verosimilitud restringida para color rojo (a*) y saturación de la carne de corderos correspondientes al experimento 2022, alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz) o madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días).	134
Tabla 4.16. Máxima verosimilitud restringida para diferencia total del color de la carne de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).134	
Tabla 4.17. Máxima verosimilitud restringida para pérdidas por purga y descongelado, cocción y jugo exprimible, y oxidación lipídica (TBARS) y proteica (carbonilos) de la carne de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas	

(basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino) y madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días).	135
Tabla 4.18. Máxima verosimilitud restringida para pérdida por purga y descongelado de la carne de corderos correspondientes al experimento 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena con harina de girasol o harina de lino) o madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días).	136
Tabla 4.19. Máxima verosimilitud restringida para pérdidas por goteo a 24 y 48 horas de la carne de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días), evaluada como medidas repetidas en el tiempo e incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.....	137
Tabla 4.20. Máxima verosimilitud restringida para pérdidas por goteo a 24 y 48 horas de la carne de corderos correspondientes al experimento 2021, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena o grano de maíz), evaluada como medidas repetidas en el tiempo e incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.	136
Tabla A2.0.1. Composición química de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2019, basadas en grano entero de avena (A) o grano entero de maíz...	170
Tabla A3.0.2. Composición química de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2021, basadas en heno (H) grano de avena (A) o grano de maíz (M).	171
Tabla A3.0.3. Composición de los ácidos grasos de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2021, basadas en heno (H) grano de avena (A) o grano de maíz (M).....	172
Tabla A3.0.4. Composición química de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2022, basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M).	173
Tabla A3.0.5. Composición de los ácidos grasos de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2022, basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M).	174
Tabla A3.0.6. Composición química de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2023, basadas en harina de girasol (G) o harina de lino (L).	175
Tabla A3.0.7. Composición de los ácidos grasos de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2023, basadas en harina de girasol (G) o harina de lino (L).	176
Tabla A4.0.8. Perfil completo de ácidos grasos de la carne de los ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A) o grano de maíz (M), correspondientes al experimento de 2021.....	178
Tabla A4.0.9. Perfil completo de ácidos grasos de la carne de los ovinos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), correspondientes al experimento de 2022.	179
Tabla A4.0.10. Perfil completo de ácidos grasos de la carne de los ovinos con dietas basadas en harina de girasol (G) o harina de lino (L), correspondientes al experimento de 2023.	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Producción total de carne durante los últimos 10 años (2014 – 2023) y su distribución por especie animal en 2023. A y B: a nivel mundial; C y D: en Argentina.....	2
Figura 1.2. Localización del Sudoeste Bonaerense en la provincia de Buenos Aires y delimitación de sus subregiones de acuerdo con las líneas de isohietas. Fuente: Plan de Desarrollo del Sudoeste Bonaerense, Ministerio de Desarrollo Agrario, Provincia de Buenos Aires.....	3
Figura 1.3. Niveles de organización del tejido muscular y ubicación del agua dentro del músculo esquelético. Adaptado de Pearce et al. (2011).	6
Figura 1.4. Características de la carne en función de la dinámica del descenso del pH. DFD: carne oscura, firme y seca; PSE: carne pálida, suave y exudativa. Adaptado de Honikel (2014b) y Matarneh et al. (2017).	7
Figura 1.5. Interconversiones de las formas redox de la mioglobina en la carne, determinadas por la valencia del átomo de hierro y el tipo de ligando unido. Adaptado de Mancini (2009b) y Faustman y Suman (2017).....	10
Figura 1.6. A: Representación tridimensional del espacio de color CIE Lab*. B: Esquema ilustrativo de la medición de tonalidad y saturación en el plano cromático (Hunt y King, 2012).	11
Figura 1.7. Esquema de clasificación de los compuestos fenólicos. Adaptado de Correddu et al. (2020) y Serra et al. (2021).....	20
Figura 2.1. Instalaciones utilizadas durante el experimento de 2019, pertenecientes a la Estación Experimental Agropecuaria INTA Bordenave.	29
Figura 2.2. Esquema del corte del músculo Longissimus lumborum y su utilización para los distintos análisis durante el experimento de 2019. El bovino indica la posición de la cabeza del animal y V indica el número de vértebra correspondiente a cada bife. Los análisis de capacidad de retención de agua incluyeron pérdidas por goteo, pérdidas por cocción y pérdidas por jugo exprimible.	31
Figura 2.3. Pruebas de capacidad de retención de agua. A: Muestras de carne suspendidas en bolsas dentro de una heladera a 4 °C para evaluar las pérdidas por goteo. B: Muestras de carne en bolsas, sumergidas en un baño a 75 °C para determinar las pérdidas por cocción. C: Muestra de carne colocada entre papel de filtro y dos placas de vidrio, antes del prensado, para medir pérdidas de jugo exprimible. D: Prensa de 2,5 kg utilizada para determinar pérdidas de jugo exprimible. E: Muestra de carne tras el prensado.	32
Figura 2.4. A: Proceso de envasado de la carne al vacío. B: Medición del color de la carne utilizando un colorímetro Minolta CR-400.....	34
Figura 2.5. A: Evolución del peso vivo; B: evolución de la ganancia de peso acumulada; C: ganancia diaria de peso; D: conversión alimenticia; de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.....	35
Figura 2.6. A: Evolución del área de ojo de bife (AOB); B: evolución del espesor de grasa dorsal (EGD); C: tasa de crecimiento del AOB; D: tasa de crecimiento del EGD; de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.....	36

Figura 2.7. A: Peso de carcasa caliente y fría; B: pérdidas de agua por refrigeración de la carcasa; C: rendimiento de carcasa; de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.	38
Figura 2.8. pH inicial y final (1 y 24 horas postmortem) de la carne de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.....	39
Figura 2.9. Pérdidas por goteo a 24 y 48 horas; B: pérdidas por cocción; C: pérdidas de jugo exprimible, correspondientes a la carne de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.	39
Figura 2.10. Representación tridimensional del color de la carne de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), luego de ser madurada, congelada y descongelada, pertenecientes al experimento de 2019. Cada punto representa una muestra de carne en función del tratamiento dietario: N = 2 períodos de maduración x 15 individuos (7 A y 8 M).	42
Figura 2.11. A: Pérdidas por purga y descongelado; B: materia seca de la carne, de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M) pertenecientes al experimento de 2019.	42
Figura 2.12. Representación tridimensional del color de la carne de novillos madurada en húmedo por 4 y 14 días y evaluada luego del proceso de congelado y descongelado, pertenecientes al experimento de 2019. Cada punto representa una muestra de carne en función del tiempo de maduración: N = 2 períodos de maduración x 17 individuos (7 A y 8 M).	44
Figura 2.13. A: Pérdidas por purga y descongelado; B: materia seca, de la carne de novillos madurada en húmedo por 4 o 14 días, congelada y evaluada luego del proceso de descongelado, correspondiente al experimento de 2019.....	44
Figura 3.1. Instalaciones utilizadas durante los experimentos de los años 2021, 2022 y 2023, pertenecientes al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. A: Vista general; B: Detalle del interior de un corral.....	56
Figura 3.2. Esquema del corte del músculo Longissimus lumborum y su utilización para los distintos análisis durante los experimentos de 2021, 2022 y 2023. El ovino indica la posición de la cabeza del animal, V indica el número de la vértebra correspondiente a cada bife y la línea azul señala la cara sobre la que fue tomada la fotografía para realizar el análisis de imágenes.	67
Figura 3.3. Evolución del peso vivo, evolución de la ganancia de peso acumulada y ganancia diaria de peso promedio de corderos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-C: experimento 2021 (las líneas punteadas indican el inicio y la finalización del período de acostumbramiento entre la Etapa 1 y la Etapa 2); D-F: experimento 2022; G-I: experimento 2023. ns: diferencias no significativas ($p > 0,05$); *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$	71
Figura 3.4. Consumo diario de materia seca (MS), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) y energía metabolizable (EM) de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-E: experimento 2021; F-J: experimento 2022; K-O: experimento 2023.....	73

Figura 3.5. Evolución del consumo diario de materia seca (MS) y su variabilidad en ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A: experimento 2021, B: experimento 2022 y C: experimento 2023. El análisis estadístico evalúa la variabilidad del consumo voluntario de materia seca en función de los tratamientos dietarios (T), los días de experimentación (D) y su interacción (T x D).....	74
Figura 3.6. Conversión alimenticia, consumo de proteína bruta (PB) por kilogramo de ganancia de peso y consumo de energía metabolizable (EM) por kilogramo de ganancia de peso en ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano entero de avena (A), grano entero de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino(L). A-C: experimento 2021; D-F: experimento 2022; G-I: experimento 2023.....	80
Figura 3.7. Concentración sanguínea de glucosa, urea y nitrógeno ureico en ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano entero de avena (A), grano entero de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-C: experimento 2021; D-F: experimento 2023.....	82
Figura 3.8. Valores de pH, concentración de nitrógeno amoniacial y concentración de compuestos fenólicos totales, no tánicos y tánicos en el líquido ruminal de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano entero de avena (A) o grano entero de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-C: experimento 2021; D-F: experimento 2022; G-I: experimento 2023.....	85
Figura 3.9. Peso de carcasa caliente y fría, pérdidas por refrigeración, rendimiento de carcasa, espesor de grasa dorsal y área de ojo de bife de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz, harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-E: experimento 2021; F-J: experimento 2022; K-O: experimento 2023.....	88
Figura 4.1. Esquema del corte del músculo Longissimus lumborum y su distribución para los distintos análisis. El esquema del ovino indica la posición de la cabeza del animal. La letra "V" señala de la vértebra correspondiente a cada bife, la línea punteada representa un corte, y la línea azul identifica la cara utilizada para tomar la fotografía destinada al análisis de imágenes. Los análisis de capacidad de retención de agua abarcan pérdidas por purga y descongelado, goteo, cocción y jugo exprimible.	103
Figura 4.2. Valores de pH inicial y final (1 y 24 horas postmortem, respectivamente) de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) y harina de lino (L), correspondientes a los experimentos A: 2021; B:2022 y C: 2023.....	108
Figura 4.3. Representación tridimensional del color de la carne fresca de ovinos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). Cada punto representa una muestra de carne en función del tratamiento dietario. A: experimento 2022, 10 A y 10 M; B: experimento 2023, 10 G y 10 L	110
Figura 4.4. Sumas parciales de ácidos grasos saturados (SFA), insaturados (UFA), monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFA), relación PUFA: SFA, relación n-6:n-3, índice aterogénico e índice trombogénico de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-E: experimento 2021; F-J: experimento 2022; K-O: experimento 2023.	117

Figura 4.5. Concentración de compuestos fenólicos totales en la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) y harina de lino (L). Los datos corresponden a los experimentos A: 2021; B:2022 y C: 2023..... 119

Figura 4.6. Representación tridimensional del color de la carne de ovinos, alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L), luego de ser madurada, congelada y descongelada. Cada punto representa una muestra de carne en función del tratamiento dietario. A: experimento 2021, N = 4 períodos de maduración x 17 individuos (6 H, 6 A, 5 M); B: experimento 2022, N = 4 períodos de maduración x 20 individuos (10 A y 10 M); C: experimento 2023 N = 4 períodos de maduración x 20 individuos (10 G y 10 L)..... 123

Figura 4.7. Pérdidas por purga y descongelado, goteo, cocción y jugo exprimible de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L), evaluada después de ser madurada, congelada y descongelada. A-D: experimento 2021; E-H: experimento 2022; I-L: experimento 2023..... 124

Figura 4.8. Oxidación lipídica (TBARS) y proteica (carbonilos) de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de maíz (M), grano de avena (A), harina de girasol (G) o harina de lino (L), evaluada luego de ser madurada, congelada y descongelada. A-B: experimento 2021; C-D: experimento 2022; E-F: experimento 2023. 125

Figura 4.9. Representación tridimensional del color de la carne de ovinos, madurada en húmedo por 1, 4, 8 y 16 días y evaluada luego del proceso de congelado y descongelado. Cada punto representa una muestra de carne en función del tiempo de maduración. A: experimento 2021, N = 4 períodos de maduración x 17 individuos (6 H, 6 A y 5 M); B: experimento 2022, N = 4 períodos de maduración x 20 individuos (10 A y 10 M); C: experimento 2023 N = 4 períodos de maduración x 20 individuos (10 G y 10 L). 128

Figura 4.10. Pérdidas por purga y descongelado, goteo (24 y 48 horas), cocción y jugo exprimible de la carne de ovinos madurada por 1, 4, 8 y 16 días, evaluada luego de ser congelada y descongelada. A-D: experimento 2021; E-H: experimento 2022; I-L: experimento 2023..... 131

Figura 4.11. Oxidación lipídica (TBARS) y proteica (carbonilos) de la carne de ovinos evaluada luego de ser madurada en húmedo por 1, 4, 8 y 16 días, congelada y descongelada. A-B: experimento 2021; C-D: experimento 2022; E-F: experimento 2023..... 132

Figura A2.0.1. Rúmenes pertenecientes a novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) y grano de maíz (M), correspondientes al experimento de 2019. El rumen de la izquierda pertenece a un individuo del tratamiento M y el de la derecha al tratamiento A .. 170

Figura A3.0.2. Consumo diario individual de materia seca de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). Cada línea de color representa a un individuo. A-C: experimento 2021; D y E: experimento 2022; F y G: experimento 2023. 177

LISTA DE ABREVIATURAS

ΔE_{00}	Diferencia del color CIEDE ₂₀₀₀	H*	Tonalidad
ΔE	Diferencia total del color	H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
A	Dieta basada en grano entero de avena	HCl	Ácido clorhídrico
a*	Color rojo	KCl	Cloruro de potasio
AG	Ácido gálico	KH ₂ PO ₄	Fosfato de potasio monobásico
AOB	Área de ojo de bife	KOH	Hidróxido de potasio
ATP	Adenosina trifosfato	L	Dieta basada en harina de lino
b*	Color amarillo	L*	Luminosidad
BHT	Butilhidroxitolueno	M	Dieta basada en grano entero de maíz
BUN	Nitrógeno ureico en sangre	MDA	Malondialdehído
C*	Saturación	MS	Materia seca
CMS	Consumo de materia seca	MUFA	Ácidos grasos monoinsaturados
CNE	Carbohidratos no estructurales	n-3	Ácidos grasos omega 3
DFD	Carne oscura, firme y seca	n-6	Ácidos grasos omega 6
DIVMS	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca	NIDA	Nitrógeno insoluble en detergente ácido
DNPH	Dinitrofenilhidrazina	PB	Proteína bruta
ED	Energía digestible	PSE	Carne pálida, blanda y exudativa
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético	PUFA	Ácidos grasos poliinsaturados
EE	Extracto etéreo	PV	Peso vivo
EGD	Espesor de grasa dorsal	PVPP	Polivinilpolipirrolidona
EM	Energía metabolizable	RFC	Reactivo de Folin-Ciocalteu
FDA	Fibra en detergente ácido	SFA	Ácidos grasos saturados
FDN	Fibra en detergente neutro	TBA	Ácido tiobarbitúrico
FDNe	Fibra en detergente neutro efectiva	TBARS	Prueba de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico
G	Dieta basada en harina de girasol	TCA	Ácido tricloroacético
H	Dieta basada en heno		

CAPÍTULO 1

Introducción general

La carne es un alimento altamente nutritivo que ha sido parte de la dieta humana durante al menos un millón de años (Klurfeld, 2015). Aporta proteínas de alto valor biológico, energía, vitaminas, minerales y ácidos grasos. Cuando se combina con vegetales, frutas y carbohidratos, contribuye a una dieta equilibrada (Daley et al., 2010; Wood, 2017). En las últimas cinco décadas, el consumo mundial de carne ha registrado un crecimiento continuo, especialmente pronunciado en algunos países emergentes. Este aumento se ha visto impulsado por el aumento del poder adquisitivo, que ha favorecido una transición en la dieta, reemplazando proteínas de origen vegetal por proteínas de origen animal (WHO, 2003).

La producción de carne a nivel mundial ha mostrado un crecimiento constante en la última década (Figura 1.1 A). En 2023, se produjeron 369 millones de toneladas a nivel global y, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se proyecta que para 2030 esta cifra alcance los 376 millones de toneladas (FAO, 2024; WHO, 2003). Además, se estima que para 2050 la producción mundial de carne podría ascender a 470 millones de toneladas (FAO, 2009). A nivel global, las carnes de pollo y cerdo lideran la producción, representando cada una el 34 %, seguidas por la carne vacuna con 19 % y la carne ovina con 3 % (Figura 1.1 B; FAO, 2024). Se proyecta que, durante los próximos años, la ganadería se consolidará como el subsector agrícola más relevante a nivel mundial, tanto en términos de valor agregado como de uso de la tierra (Guevara et al., 2009). En Argentina, la producción de carne también ha experimentado un crecimiento significativo, alcanzando alrededor de 6,5 millones de toneladas en 2023 (Figura 1.1 C; FAO, 2024). La carne vacuna ocupa el primer lugar con 51 % de la producción total, seguida por la carne de pollo con 35 % y la carne de cerdo con 12 % (Figura 1.1 D). Aunque la carne ovina representa solo el 0,7 % de la producción nacional, constituye el 99 % de la carne orgánica que es exportada desde nuestro país (SENASA, 2024).

Argentina es ampliamente reconocida por la calidad de su carne bovina, caracterizada por la alimentación de los rumiantes principalmente a pasto y, ocasionalmente, suplementados con granos de cereales en forma estratégica (Arelovich et al., 2011; Giraudo et al., 2014; Pighin et al., 2016). No obstante, en las últimas tres décadas, el sector ganadero ha experimentado transformaciones profundas, impulsadas por la expansión de la frontera agrícola hacia regiones más áridas, la adopción de nuevas tecnologías, el incremento de los precios de los cereales y del costo de la tierra y la creciente demanda global de proteínas de alta calidad, entre otros factores.

Esto ha derivado en la diversificación e intensificación de los sistemas productivos, lo que ha desplazado la ganadería hacia zonas marginales, teniendo que adaptarse a nuevos desafíos ambientales y productivos (Guevara et al., 2009; Arelovich et al., 2011; Pighin et al., 2016; Gonzalez Fischer y Bilenca, 2020).

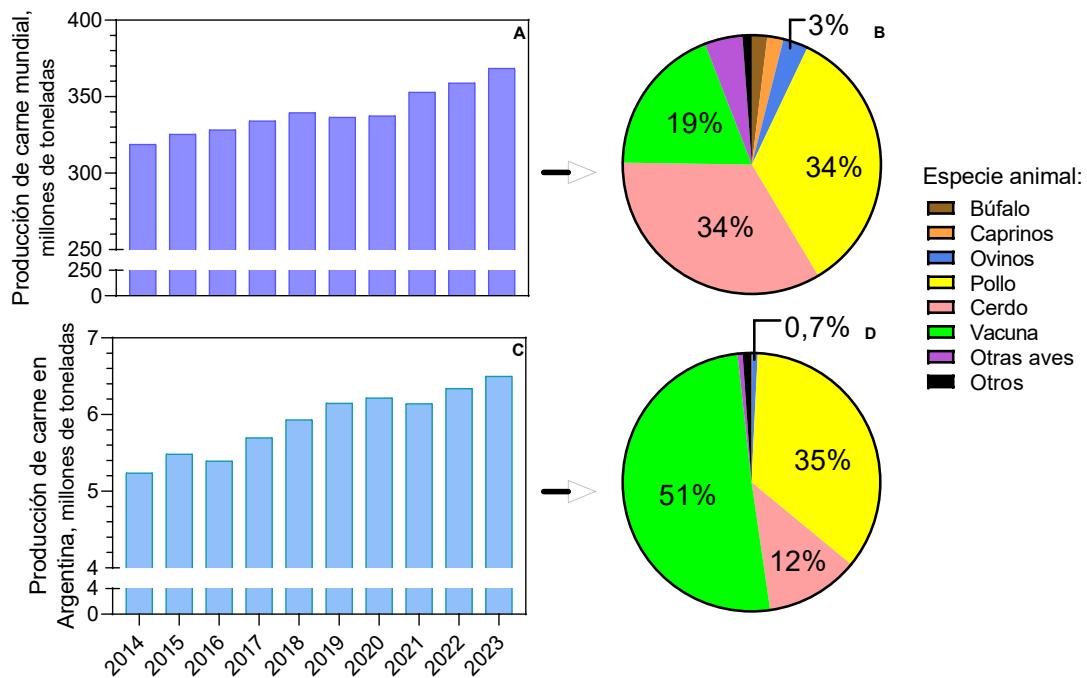


Figura 1.1. Producción total de carne durante los últimos 10 años (2014 – 2023) y su distribución por especie animal en 2023. A y B: a nivel mundial; C y D: en Argentina.

El Sudoeste de la provincia de Buenos Aires alberga más de 3 millones de cabezas de ganado vacuno y 550 mil cabezas ovinas, lo que representa 16 % y 31 % de las existencias provinciales y 6 % y 4 % de las existencias nacionales, respectivamente (Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca, 2024a, 2024b). El área se divide en cuatro subregiones: Ventania, Semiárida, Corfo y Patagónica (Figura 1.2). Específicamente, la subregión Semiárida se encuentra delimitada por las isohietas de 700 y 530 mm y se caracteriza por un régimen de precipitaciones estacionales, con lluvias abundantes en verano y escasas en invierno. Además, presenta una marcada estacionalidad térmica, con inviernos fríos y veranos cálidos (SMN, 2024). Los intensos vientos estivales provocan una alta tasa de evapotranspiración, lo que provoca deficiencias hídricas moderadas a severas, limitando frecuentemente la disponibilidad de agua para los cultivos de secano. Esta subregión también presenta una notable irregularidad en las precipitaciones anuales, alternando entre períodos secos y húmedos (Campo et al., 2009).

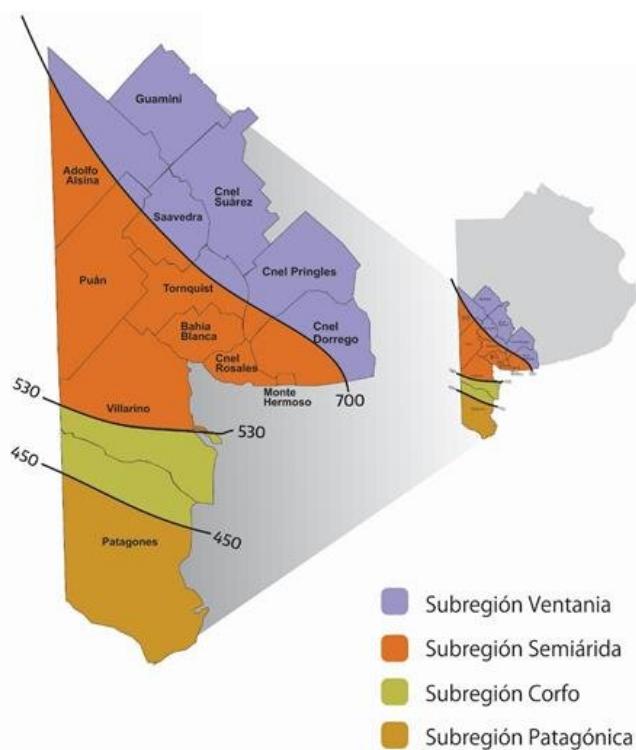


Figura 1.2. Localización del Sudoeste Bonaerense en la provincia de Buenos Aires y delimitación de sus subregiones de acuerdo con las líneas de isohietas. Fuente: Plan de Desarrollo del Sudoeste Bonaerense, Ministerio de Desarrollo Agrario, Provincia de Buenos Aires.

En la subregión Semiárida la actividad predominante es la cría de ganado, seguida por la recría y la terminación, realizadas principalmente en sistemas pastoriles (Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca, 2024a). Sin embargo, las características climáticas de esta subregión pueden afectar la cantidad, calidad y disponibilidad del forraje, limitando el potencial productivo de los animales si no se implementan estrategias de suplementación energético-proteicas para complementar las pasturas (Nardone et al., 2010). En este contexto, los establecimientos que realizan ciclo completo (*i.e.* que crían, recrían y terminan a los animales), suelen recurrir a dichas estrategias para responder a las exigencias del mercado y a las limitaciones del entorno. Otra alternativa utilizada es el confinamiento de los animales en corrales durante la etapa final de engorde, lo que permite reducir el tiempo de permanencia en el campo y garantizar una terminación adecuada (Guevara et al., 2009; Arelovich et al., 2011; Gonzalez Fischer y Bilenca, 2020).

La selección de ingredientes para la formulación de dietas en sistemas de terminación a corral depende de factores como el precio, la disponibilidad y la facilidad de transporte, ya que la

alimentación representa entre 70 % y 80 % del costo total de producción de carne (Pighin et al., 2016). El grano de maíz es el recurso más utilizado debido a su alta densidad energética (Pighin et al., 2016). No obstante, en el contexto edafológico y climático de la subregión Semiárida, el cultivo de maíz bajo régimen de secano presenta limitaciones significativas, lo que a menudo obliga a transportarlo desde otras regiones, incrementando considerablemente el costo de las raciones (Arelovich et al., 2011; Villaverde et al., 2021). En este contexto, los granos de cereales de invierno, como la avena y la cebada, surgen como alternativas energéticas viables y sustitutas al maíz (Dion y Seoane, 1992; Plascencia et al., 2018). En particular, la avena se destaca por su facilidad de cultivo, versatilidad y capacidad de adaptación a condiciones climáticas adversas, así como por su doble propósito: producción de grano y forraje (Martínez et al., 2010). Además, su alta palatabilidad la posiciona como una opción atractiva tanto para los productores ganaderos del Sudoeste Bonaerense, como de otras regiones marginales del mundo (Wang et al., 2023).

En general, las dietas de alta densidad energética poseen una proporción significativa de granos de cereales en su composición, los cuales aportan cantidades variables de almidón y proteína bruta degradables en rumen. La degradabilidad de estos nutrientes depende de diversos factores, como la estructura química, el patrón cristalino, la forma y tamaño de los gránulos de almidón y la presencia de una matriz proteica entre otros (Ørskov, 1986; Humer y Zebeli, 2017). Los granos de los cereales de invierno (*e.g.*, trigo, avena, cebada y centeno) presentan tasas de degradabilidad ruminal más altas que los cereales de verano (*e.g.*, maíz y sorgo, Offner et al., 2003). En Argentina, además del maíz, los granos más utilizados como concentrados energéticos en la alimentación de rumiantes en sistemas de engorde a corral son la cebada y la avena, generalmente complementados con una fuente proteica como harina de soja o girasol (Giraudo et al., 2014; Pighin et al., 2016). Específicamente, el grano de maíz contiene aproximadamente 70 % de almidón con una degradabilidad ruminal del 60 %, mientras que el grano de avena tiene 45 % de almidón, pero con una degradabilidad ruminal del 92 % (Owens et al., 1986; Offner et al., 2003). Debido a la interacción entre la concentración de almidón y la tasa y eficiencia de su degradabilidad en el rumen, una misma cantidad de grano de avena o maíz podría aportar cantidades similares de almidón degradable en el rumen (Humer y Zebeli, 2017).

Se ha demostrado que la capacidad de masticación está inversamente relacionada con el tamaño del animal (Humer y Zebeli, 2017). Los pequeños rumiantes son más eficientes en la digestión de los granos enteros, ya que mediante un intenso proceso de rumia y masticación logran romper el pericarpio de los granos, facilitando la adhesión de los microorganismos ruminantes a los gránulos de almidón y aumentando así la tasa de degradación (Huntington, 1997;

Humer y Zebeli, 2017). En contraste, aunque en grandes rumiantes la masticación puede causar daños significativos al grano de maíz entero, los granos más pequeños, como los de los cereales de invierno, suelen permanecer intactos cuando se los suministra enteros, lo que limita parcialmente su digestibilidad (Beauchemin et al., 1994; Humer y Zebeli, 2017). El procesado de los granos mejora la degradabilidad ruminal del almidón y su utilización, pero también incrementa la proporción de almidón degradable en el rumen, lo que aumenta el riesgo de trastornos ruminantes, como la acidosis, en dietas con alto contenido de granos (Ørskov, 1986; Dion y Seoane, 1992; Owens et al., 1997; Humer y Zebeli, 2017; Plascencia et al., 2018).

La acidosis ruminal subaguda se caracteriza por una disminución del pH ruminal por debajo de 5,6 durante al menos 3 horas al día, resultado de una acumulación excesiva de ácidos grasos volátiles en el rumen, pero sin una acumulación persistente de ácido láctico (Commun et al., 2012; Lorenz, 2022; Zhang et al., 2023). Estos episodios conducen a una reducción en el consumo de materia seca y a una digestión más lenta de la fibra, lo que puede impactar negativamente en la ganancia de peso de los animales (Huntington, 1997; Commun et al., 2012; Pan et al., 2021; Lorenz, 2022). La inclusión en la dieta de fibra en detergente neutro efectiva (FDNe), fibra con longitud suficientemente para estimular la masticación y la rumia, ayuda a estabilizar el pH ruminal y optimizar el aprovechamiento de la energía de la dieta (Owens et al., 1997; NASEM, 2016a). En dietas de alta densidad energética, NASEM (2016a) recomienda un contenido mínimo de 8 % de FDNe, con partículas fibrosas de aproximadamente 5 cm de longitud, para maximizar la digestión y reducir trastornos metabólicos.

La alimentación de rumiantes con raciones de alta densidad energética en sistemas de engorde a corral puede conducir a un engrasamiento excesivo de la carcasa, lo cual es poco deseable para la mayoría de los mercados debido a la baja aceptación por parte de los consumidores (Ponnampalam et al., 2004; Giraudo et al., 2014; Pighin et al., 2016). Características como el rendimiento de carcasa, el desarrollo muscular y el nivel de engrasamiento son factores clave en la determinación del precio (Boggs y Merkel, 1982; De Brito et al., 2016; Prache et al., 2022). Un bajo rendimiento de carcasa se traduce en menor cantidad de carne aprovechable por animal, mientras que un área de ojo de bife mayor y un espesor de grasa dorsal más elevado indican un mejor desarrollo muscular y terminación, respectivamente (Boggs y Merkel, 1982; Lonergan et al., 2019a; Prache et al., 2022). Aunque el engrasamiento excesivo de la carcasa puede ser indeseable, la acumulación de grasa subcutánea actúa como una barrera contra la evaporación del agua contenida en los músculos, disminuyendo así las pérdidas que pudieran ocasionarse durante la refrigeración (Muela et al., 2010).

Propiedades de la carne

El músculo es un tejido altamente organizado compuesto por fibras musculares estructuradas en distintos niveles mediante tejido conectivo. En primer lugar, se encuentran los fascículos, que están conformados por fibras o células musculares (Figura 1.3). Cada fibra contiene numerosas miofibrillas, organelas que constituyen aproximadamente el 80 % del volumen celular y están compuestas por miofilamentos. Estos miofilamentos incluyen filamentos delgados de actina y gruesos de miosina, responsables de la contracción muscular (Pearce et al., 2011). La transformación del músculo en carne es un proceso complejo que involucra cambios energéticos, químicos y físicos, los cuales influyen significativamente en atributos clave de su calidad (Lonergan et al., 2019b).

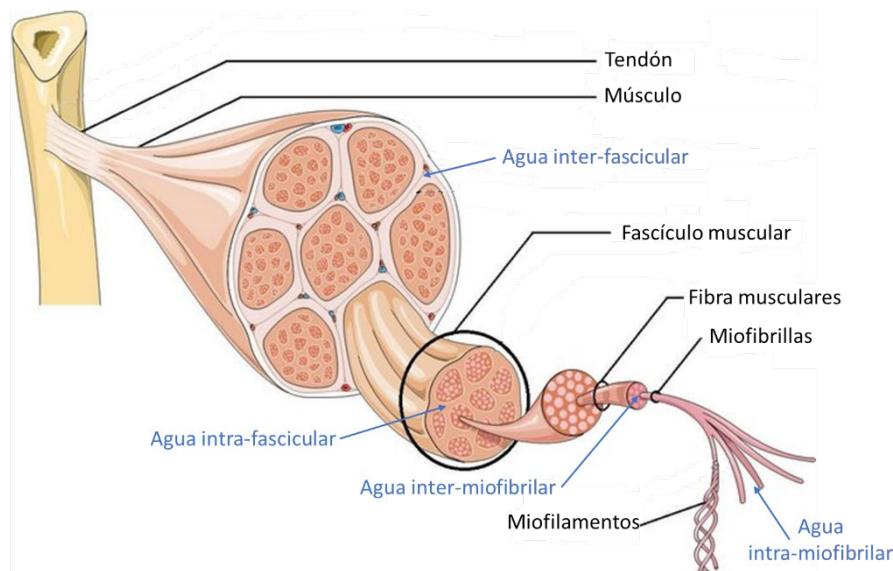


Figura 1.3. Niveles de organización del tejido muscular y ubicación del agua dentro del músculo esquelético. Adaptado de Pearce et al. (2011).

Tras el sacrificio del animal, el sistema circulatorio deja de funcionar, interrumpiendo los mecanismos homeostáticos. Al agotarse el oxígeno disponible, el metabolismo celular continúa funcionando de forma anaeróbica, produciendo y utilizando adenosina trifosfato (ATP) hasta que se consume por completo (Matarneh et al., 2017). En ausencia de ATP, los filamentos de actina y miosina (Figura 1.3) se enlazan de manera irreversible, desencadenando el *rigor mortis*, un estado caracterizado por la pérdida de excitabilidad y extensibilidad del músculo (Honikel, 2014a; Matarneh et al., 2017). Asimismo, los productos finales de la glucólisis y de la hidrólisis del ATP, como el lactato y los iones de hidrógeno (H^+), se acumulan en el músculo debido a la

falta de mecanismos de eliminación, lo que reduce el pH de su valor inicial de 7,0 - 7,2 en el tejido vivo a aproximadamente 5,5.

La velocidad y la magnitud del descenso del pH de la carne influyen directamente en atributos esenciales de calidad, como el color, la capacidad de retención de agua, la terneza y, en consecuencia, su valor económico (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Honikel, 2014a; Matarneh et al., 2017). En condiciones normales, el pH desciende de manera gradual durante las primeras 24 horas después del sacrificio, alcanzando valores finales entre 5,3 y 5,8 (Figura 1.4; Honikel, 2014b; Matarneh et al., 2017; Lonergan et al., 2019b).

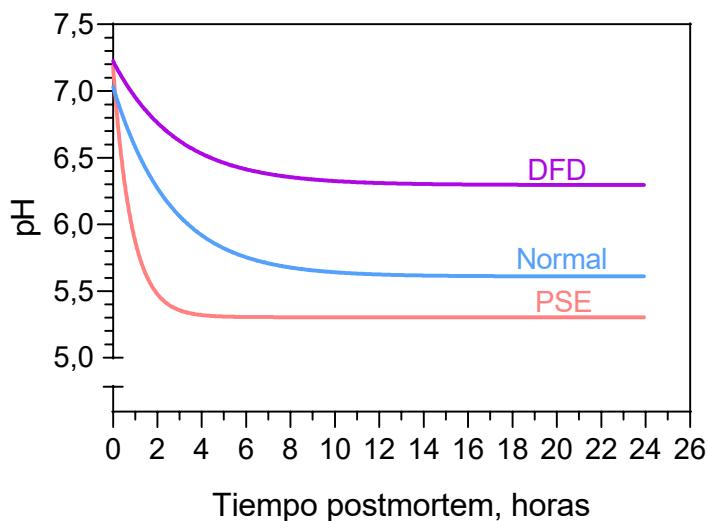


Figura 1.4. Características de la carne en función de la dinámica del descenso del pH. DFD: carne oscura, firme y seca; PSE: carne pálida, suave y exudativa. Adaptado de Honikel (2014b) y Matarneh et al. (2017).

Cuando el pH final de la carne es igual o superior a 6,0, esta adquiere un color más oscuro debido a una mayor retención de agua intracelular, lo que incrementa la absorción de luz por el tejido, y a una mayor retención de pigmentos (Honikel, 2014b; Matarneh et al., 2017; Lonergan et al., 2019b). Este tipo de carne, conocida como oscura, firme y seca (DFD, por sus siglas en inglés), es frecuente en rumiantes y se caracteriza por una vida útil reducida. Es causada por una deficiencia de glucógeno en las células musculares, asociada a una menor concentración relativa de glucosa en sangre, al estrés crónico previo al sacrificio (que dificulta la reposición de las reservas de glucógeno) o a la combinación de ambos factores (Matarneh et al., 2017). Esta insuficiencia de glucógeno en el músculo limita la producción de ácido láctico e iones de hidrógeno, impidiendo que el pH de la carne descienda hasta los niveles normales (Figura 1.4; Honikel, 2014b; Matarneh et al., 2017; Lonergan et al., 2019b).

Cuando el pH final de la carne es inferior a 5,4, o desciende rápidamente a valores cercanos a 5,5 durante la primera hora luego del sacrificio, ésta adquiere una apariencia pálida y presenta menor capacidad de retención de agua, lo que la hace menos adecuada para el procesamiento industrial (Honikel, 2014b; Lonergan et al., 2019b). El mayor contenido de agua extracelular libre genera una estructura de la carne más abierta, lo que incrementa la reflectancia de la luz. Esta característica, combinada a una mayor pérdida de pigmentos da como resultado un color más claro en la carne. Este tipo de carne se conoce, conocida como pálida, blanda y exudativa (PSE, por sus siglas en inglés), se origina debido a un metabolismo extremadamente acelerado del glucógeno después del sacrificio, mientras la temperatura de la carcasa aún es elevada (Figura 1.4). La combinación de pH bajo y alta temperatura provoca la desnaturalización de las proteínas musculares, afectando su funcionalidad y su capacidad de retención de agua. Este tipo de carnes es más común en la producción porcina y avícola (Honikel, 2014b; Matarneh et al., 2017; Lonergan et al., 2019b).

El almacenamiento de la carne tras el *rigor mortis*, bajo condiciones refrigeradas y controladas durante un tiempo variable previo a su consumo, se conoce como maduración (Matarneh et al., 2017; Kim et al., 2018). Durante este proceso, las enzimas proteolíticas presentes en la carne degradan las fibras musculares, lo que mejora significativamente su terneza y aumenta su capacidad de retención de agua (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Farouk et al., 2012; Kim et al., 2018). El grado de terneza alcanzado depende de factores como el tipo de músculo, la cantidad de tejido conectivo y la duración del período de maduración, entre otros (Kim et al., 2018; Lonergan et al., 2019c). Otras propiedades de la carne que se benefician con la maduración incluyen la jugosidad, que está relacionada con la capacidad de retención de agua en la carne cocida; el sabor, ya que la carne madurada adquiere un sabor distintivo en comparación con la carne fresca; y el color, que se torna más luminoso y rojo debido a la desnaturalización de las proteínas (Jayasooriya et al., 2007; Khan et al., 2016). Este proceso representa un importante valor agregado, ya que estudios indican que los consumidores están dispuestos a pagar precios más altos por productos cárnicos de calidad superior (Colella y Ortega, 2017; Kim et al., 2018; Feuz et al., 2020; Mohan et al., 2020).

Existen dos métodos principales para la maduración de la carne: la maduración en húmedo y en seco, ambos comúnmente utilizados en la industria cárnica, incluso de manera combinada (Kim et al., 2018). La maduración en húmedo consiste en envasar los cortes de carne al vacío y almacenarlos en condiciones refrigeradas, entre -1 y 4 °C, por un período variable que puede extenderse desde 3 hasta aproximadamente 28 días (Kim et al., 2018). Este método es el más

empleado en la industria debido sus numerosas ventajas, como la reducción significativa de las pérdidas por purga y desperdicios de carne, la optimización del espacio de almacenamiento, la prolongación de la vida útil del producto y el mantenimiento de atributos sensoriales clave como la terneza, jugosidad y sabor. Además, su implementación implica menores costos operativos y facilita la automatización de los procesos. No obstante, entre sus desventajas se encuentra la posible aparición de sabores indeseables, como notas metálicas, a sangre o agrias, los cuales pueden minimizarse ajustando la temperatura y el tiempo de maduración (Kim et al., 2018; Mohan et al., 2020). Por otro lado, la maduración en seco implica almacenar carcasas enteras o grandes cortes de carne en cámaras refrigeradas, entre 0 y 3 °C, durante un período de entre 14 y 60 días, sin envoltorio protector y bajo condiciones estrictamente controladas de humedad, circulación de aire y pureza ambiental. Este proceso confiere a la carne un sabor distintivo y característico (Kim et al., 2018). No obstante, presenta desventajas significativas en comparación con la maduración en húmedo, como mayores costos operativos debido a las pérdidas de peso por deshidratación y contracción, el tiempo prolongado requerido para alcanzar los resultados, una mayor demanda de mano de obra y la necesidad de mantener condiciones de almacenamiento altamente controladas (Kim et al., 2018; Mohan et al., 2020).

Color

El color es el primer atributo que los consumidores evalúan al elegir un alimento y desempeña un papel crucial en su aceptación, ya que afecta directamente la intención de compra. Cada alimento posee un rango de color considerado aceptable, el cuál varía entre los consumidores en función de factores como la edad, el origen étnico y el contexto sociocultural (Pathare et al., 2013). En el caso de la carne, el color es especialmente importante, ya que funciona como un indicador visual de frescura y calidad (Khlijji et al., 2010; Holman et al., 2017; Feuz et al., 2020). Sin embargo, durante la exhibición en comercios minoristas, la carne experimenta un proceso natural de decoloración que le otorga tonalidades amarronadas, lo que limita su vida útil y genera rechazo entre los consumidores. Esto representa un desafío económico significativo para la industria cárnica al impactar negativamente en la comercialización del producto (Mancini, 2009a; Khlijji et al., 2010; Holman et al., 2017; Ramanathan y Mancini, 2018; Feuz et al., 2020).

El color de la carne está determinado principalmente por la mioglobina, una proteína soluble en agua que representa entre 80 % y 90 % de los pigmentos presentes en el músculo. Su función es unirse al oxígeno y transportarlo a las mitocondrias de las células musculares (Hunt y King, 2012; Matarneh et al., 2017; Ramanathan y Mancini, 2018). La estructura de la mioglobina incluye ocho hélices alfa y un grupo prostético hemo que contiene un átomo de hierro. Este átomo

puede presentar dos estados de valencia, ferroso (Fe^{2+}) o férrico (Fe^{3+}), y su interacción con diferentes ligandos como oxígeno (O_2), monóxido de carbono (CO) o agua (H_2O), determina el color de la carne. Dependiendo de estas interacciones, la mioglobina adopta cuatro formas químicas: desoximieloglobina, oximieloglobina, carboximieloglobina y metamioglobina, cada una asociada a un color específico de la carne (Mancini y Hunt, 2005; Hunt y King, 2012; Faustman y Suman, 2017).

En el interior de la carne fresca o envasada al vacío, la mioglobina contiene hierro en su estado reducido (Fe^{2+}) y carece de ligandos unidos, lo que da lugar a la desoximieloglobina, responsable de un color rojo-púrpura oscuro (Figura 1.5). Al cortar la carne y exponerla al aire, el oxígeno atmosférico se une al ligando, manteniendo el hierro en su estado reducido y dando lugar a la oximieloglobina. Este proceso, conocido como *blooming*, confiere a la carne un color rojo brillante muy atractivo para los consumidores (Figura 1.5). Si el ligando es monóxido de carbono en lugar de oxígeno, se forma carboximieloglobina, que también produce un color rojo brillante (Figura 1.5). En cambio, cuando el hierro se oxida a su estado férrico (Fe^{3+}), el agua se une como ligando, dando lugar a la metamioglobina, responsable de un color marrón que los consumidores suelen asociar como deterioro (Figura 1.5). Las interconversiones entre estas formas redox de la mioglobina dependen de factores como la disponibilidad de ligandos, del pH y la temperatura (Mancini y Hunt, 2005; Mancini, 2009a; Hunt y King, 2012; Faustman y Suman, 2017).

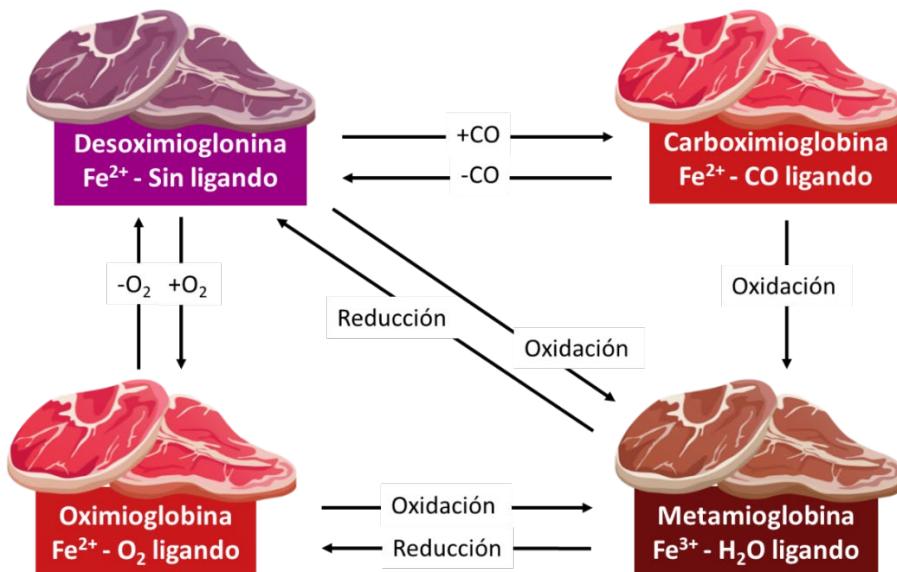


Figura 1.5. Interconversiones de las formas redox de la mioglobina en la carne, determinadas por la valencia del átomo de hierro y el tipo de ligando unido. Adaptado de Mancini (2009b) y Faustman y Suman (2017).

Existen diversos sistemas para describir el color de un objeto, siendo uno de los más utilizados el espacio de color CIE Lab*, desarrollado en 1976 por la Commission Internationale de l'Eclairage (Hunt y King, 2012). Este sistema utiliza un modelo tridimensional de coordenadas: dos para representar el color (a^* y b^*) y una para representar la luminosidad (L^*). El eje a^* varía desde verde (- a^*) hasta rojo (+ a^*), mientras que el eje b^* se extiende desde azul (- b^*) hasta amarillo (+ b^*), ambos ejes con valores entre -60 y 60. La luminosidad, representada por el eje L^* , varía de 0 (negro) a 100 (blanco), aumentando de abajo hacia arriba. El centro del espacio de color, corresponde al gris neutro (Figura 1.6 A; Hunt y King, 2012; Pathare et al., 2013). La tonalidad, o ángulo *hue*, es una característica cualitativa que define los colores como rojizos, verdosos, azules y amarillentos, entre otros (Pathare et al., 2013). Un ángulo de 0° representa tonos rojos, mientras que los ángulos de 90°, 180° y 270° corresponden a los tonos amarillos, verdes y azules, respectivamente (Figura 1.6 B). Por su parte, el índice de saturación, o *croma*, es un atributo cuantitativo que determina el grado de diferencia de una tonalidad en comparación con un color gris que posee la misma luminosidad (Pathare et al., 2013). A mayores valores de saturación, mayor es la percepción de la intensidad del color por el ojo humano (Figura 1.6 B). Tanto la tonalidad como la saturación se calculan a partir de las coordenadas a^* y b^* (Hunt y King, 2012; Pathare et al., 2013).

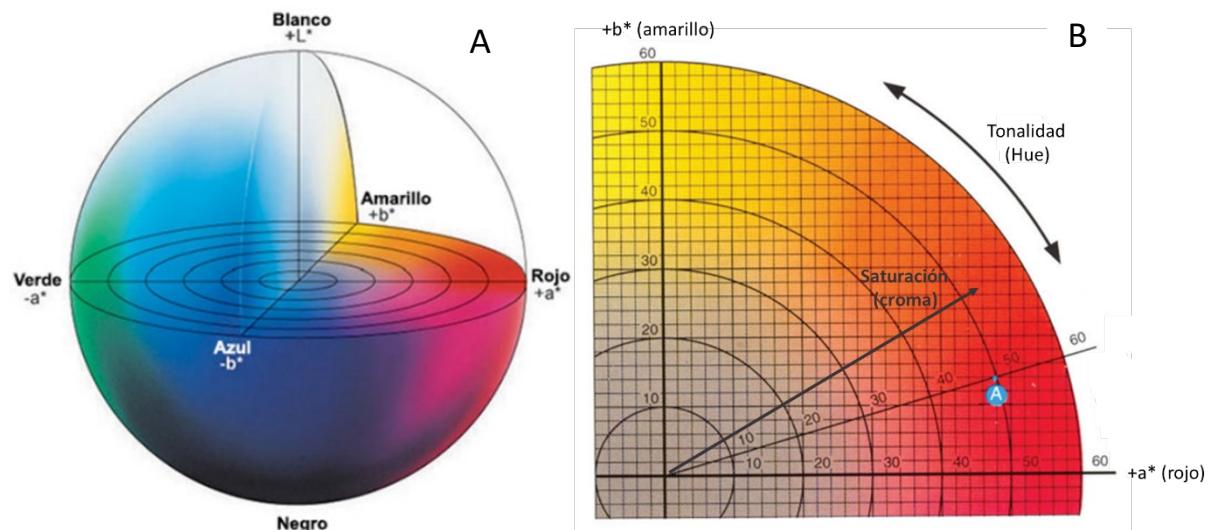


Figura 1.6. A: Representación tridimensional del espacio de color CIE Lab*. B: Esquema ilustrativo de la medición de tonalidad y saturación en el plano cromático (Hunt y King, 2012).

La diferencia entre dos colores se puede cuantificar utilizando la distancia euclídea entre sus puntos en el espacio tridimensional del color, lo que se conoce como diferencia total de color (ΔE , Hunt y King, 2012). Este cálculo se realiza utilizando los valores de L^* a^* y b^* de cada

muestra, permitiendo medir la magnitud de la diferencia cromática entre ellas. Este parámetro es útil para evaluar los cambios a lo largo del tiempo o para establecer rangos de tolerancia en variaciones de color. Si la diferencia total de color es mayor a 3, se considera que los colores son muy distintos; si se encuentra entre 1,5 y 3, se considera que son distintos y si es menor a 1,5, se consideran que la diferencia es pequeña. Generalmente el ojo humano no percibe diferencias de 1 o 2 unidades en la diferencia total del color y, dependiendo de la tonalidad, puede no notar variaciones de hasta 3 unidades (Hunt y King, 2012; Pathare et al., 2013).

Si bien la fórmula de diferencia total del color es útil para medir variaciones cromáticas, no refleja completamente cómo el ojo humano percibe estas diferencias (Pereira et al., 2020). Para mejorar esta medición se desarrolló la métrica CIEDE₂₀₀₀ (ΔE_{00}), que calcula las diferencias de manera más precisa, en relación con el umbral de discriminación visual del ojo humano en el espacio de color Lab*. Esta ecuación se basa en los parámetros de luminosidad, saturación y tonalidad, ponderados de manera específica para detectar diferencias a medida que la luminosidad varía de blanco a negro. Según este sistema, las diferencias se consideran muy distintas cuando son superiores a 10, dependientes de la luz y del observador cuando están entre 10 y 3 y similares cuando son menores a 3. Debido a la complejidad de los cálculos de la métrica CIEDE₂₀₀₀, existen herramientas digitales que facilitan este proceso (Luo et al., 2001; Pereira et al., 2020).

Diversos estudios han investigado la relación entre el color de la carne y su aceptación por parte de los consumidores, encontrando resultados consistentes tanto para carne bovina como ovina, lo que sugiere que las carnes rojas generan expectativas de color similares (Hopkins, 1996; Khilji et al., 2010; Holman et al., 2017). Estos estudios destacan que el parámetro más adecuado para predecir la aceptabilidad es el color rojo, mientras que la luminosidad y la saturación contribuyen a afinar la precisión dentro del rango de color aceptable. En carne bovina, un valor de color rojo igual o superior a 12,5 satisface al consumidor promedio, mientras que un valor de 12,7 satisface al 95 % de los consumidores, acompañado de un valor mínimo de saturación de 18 (Holman et al., 2017). Para la carne ovina, el valor de color rojo debe alcanzar 9,5 para la media de los consumidores y 14,5 para el 95 %, con un valor mínimo de luminosidad de 34,0 para la media y 44,0 para el 95 %. Cuando la carne ovina ha sido madurada, los valores de color rojo necesarios aumentan a 14,8 y 21,7 para la media y el 95 % de los consumidores, respectivamente (Khilji et al., 2010). Ambos estudios concluyen que los umbrales de aceptabilidad son independientes de factores demográficos como la nacionalidad, el género o la edad de los consumidores.

La dieta de los animales influye en varios factores relacionados con el color de la carne, tales como el metabolismo energético, el almacenamiento y la utilización del glucógeno, el pH de la carne, la velocidad de enfriamiento de la carcasa y la acumulación de antioxidantes en el tejido muscular (Mancini y Hunt, 2005). Las dietas pastoriles tienden a fomentar un metabolismo muscular oxidativo en lugar de anaeróbico, lo que resulta en menor almacenamiento de glucógeno en el músculo (Mancini y Hunt, 2005). En contraste, las dietas ricas en concentrados favorecen la producción de propionato en el rumen, que actúa como precursor de la gluconeogénesis hepática, incrementando así el depósito de glucógeno en el músculo (Matarneh et al., 2017). Como resultado, los animales alimentados a pasto suelen presentar menores reservas de glucógeno muscular, un pH más elevado y un color muscular más oscuro en comparación con los alimentados con concentrados (Mancini y Hunt, 2005; Matarneh et al., 2017). Adicionalmente, la dieta también afecta indirectamente la luminosidad del músculo a través del espesor de grasa dorsal y la velocidad de enfriamiento de la carcasa. Los animales terminados con concentrados tienden a desarrollar un mayor espesor de grasa dorsal, lo que ralentiza el enfriamiento de la carcasa (Mancini y Hunt, 2005). Este enfriamiento más lento promueve la actividad de las enzimas glucolíticas y un descenso más pronunciado del pH, lo que a su vez promueve la desnaturaleza de proteínas y mayor luminosidad en la carne (Mancini y Hunt, 2005; Matarneh et al., 2017).

Capacidad de retención de agua

El músculo está compuesto aproximadamente por 75 % de agua, 20 % de proteínas, 5 % de lípidos y 1 % de carbohidratos, vitaminas y minerales (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Pearce et al., 2011). Del total de agua presente, el 85 % se encuentra dentro de las miofibrillas, entre los miofilamentos de actina y miosina (agua intra-miofibrilar), mientras que el 15 % restante se distribuye entre las miofibrillas, los fascículos y las fibras musculares (agua extra-miofibrilar; Figura 1.3; Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Pearce et al., 2011; Warner, 2017). Por su naturaleza dipolar, el agua es atraída hacia las proteínas cargadas electrostáticamente, lo que permite clasificarla en tres fracciones: agua asociada a proteínas, agua inmovilizada (o atrapada) y agua libre (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Pearce et al., 2011). El agua asociada a proteínas constituye una pequeña proporción del agua total, está fuertemente unida a los grupos hidrofílicos de las proteínas musculares por lo que no se mueve fácilmente y es resistente tanto al congelamiento como a la cocción. El agua inmovilizada, representa aproximadamente el 85 % del agua intramuscular. Esta no se encuentra tan estrechamente ligada a las proteínas como la fracción anterior, por lo que su orientación molecular es menos ordenada y se congela con

mayor facilidad. El agua libre se encuentra retenida únicamente por fuerzas capilares, sin influencia de las cargas electrostáticas de las proteínas, lo que la convierte en la fracción más susceptible a perderse como exudado o purga (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Pearce et al., 2011).

El pH final normal de la carne (aproximadamente 5,5) es similar al punto isoeléctrico de las proteínas (alrededor de 5,4), donde su carga eléctrica neta es nula. Este equilibrio causa dos efectos principales: por un lado, disminuye la capacidad de las proteínas para atraer y retener agua mediante cargas eléctricas, lo que afecta principalmente al agua inmovilizada (Figura 1.3; Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Pearce et al., 2011). Por otro lado, reduce las fuerzas electrostáticas de repulsión que separan los miofilamentos musculares entre sí, estrechando el espacio entre la actina y la miosina, y provocando la contracción de las miofibrillas (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Pearce et al., 2011). Las miofibrillas están unidas entre sí y a la membrana celular mediante estructuras proteicas llamadas costámeros. Durante la contracción de las miofibrillas, estas estructuras transfieren la contracción a toda la célula muscular, reduciendo su diámetro y expulsando el agua del interior hacia el espacio extra-miofibrilar (Figura 1.3; Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Pearce et al., 2011). Este proceso da lugar a la formación de “canales de goteo” entre células y grupos de células, que facilitan la pérdida de líquido durante el *rigor mortis*. Estos canales constituyen las principales vías por donde fluye el líquido de purga (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Pearce et al., 2011).

La capacidad de retención de agua se define como la habilidad de la carne para retener la humedad, tanto la presente naturalmente en el tejido muscular como aquella añadida durante el procesamiento (Huff-Lonergan, 2009). Un bajo nivel de retención de agua puede generar pérdidas significativas de líquidos por purga y/o goteo, los cuales contienen proteínas y pigmentos (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005). Estas pérdidas, que ocurren sin la aplicación de ninguna fuerza mecánica, representan un desafío importante para la industria cárnica (Pearce et al., 2011).

La congelación de la carne genera mayores pérdidas de agua por exudado en comparación con la refrigeración. Los cristales de hielo que se forman dentro y entre las fibras musculares dañan físicamente la estructura de la carne, debilitando su estructura y desnaturalizando las proteínas (Farouk et al., 2009a; Beltrán y Bellés, 2018; Setyabrata y Kim, 2019). La congelación rápida produce cristales pequeños e intracelulares, lo que minimiza el daño tisular, ya que estos cristales se reabsorben con mayor facilidad en comparación con los formados en los espacios intercelulares. Asimismo, una descongelación lenta genera mayores pérdidas de agua que una

descongelación rápida (Grayson et al., 2014). No obstante, las pérdidas por descongelado pueden reducirse mediante la maduración de la carne antes de la congelación, ya que este proceso mejora la capacidad de retención de agua, la estabilidad del color y la terneza de los productos cárnicos (Farouk et al., 2009a; 2009b; Setyabrata y Kim, 2019).

Durante la cocción, las proteínas musculares se desnaturalizan, lo que reduce su capacidad para retener agua y provoca la contracción de la red proteica. Este proceso ejerce una fuerza mecánica que expulsa el agua localizada entre las fibras musculares hacia la superficie, manifestándose como "pérdida por cocción" (Warner, 2017). La cantidad de líquido perdido varía en función de la temperatura y el tiempo de cocción, aumentando progresivamente entre los 45 °C y 80 °C, siendo mayor entre los 60 °C y 80 °C (Tornberg, 2005; Warner, 2017). Estas pérdidas afectan directamente el rendimiento tecnológico del proceso de cocción, convirtiéndolas en un factor crítico para la industria cárnica (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Warner, 2017). En carnes rojas, las pérdidas por cocción están inversamente relacionadas con la jugosidad, lo que impacta en la percepción sensorial del consumidor (Aaslyng et al., 2003). Asimismo, la velocidad de enfriamiento de la carcasa depende de su peso y cobertura grasa y también se relaciona con la capacidad de retención de agua: las carcassas más livianas y magras tienden a desarrollar mayores pérdidas por cocción (Realini et al., 2017).

Valor nutricional de la carne

Perfil de ácidos grasos

El músculo contiene entre 1 % y 4 % de ácidos grasos totales, que se encuentran en forma de triglicéridos y fosfolípidos, mientras que en el tejido adiposo los ácidos grasos representan entre 60 % y 90 %, predominantemente en forma de triglicéridos (Wood y Enser, 2017). Tanto la grasa como los ácidos grasos presentes en el tejido adiposo y en el músculo contribuyen a determinar la calidad de la carne y su valor nutricional (Ulbricht y Southgate, 1991; Wood et al., 2008).

Los ácidos grasos presentes en la carne suelen tener entre 12 y 22 átomos de carbono, aunque la carne ovina puede contener pequeñas cantidades de ácidos grasos con 10 átomos de carbono o menos (Wood y Enser, 2017). Los ácidos grasos saturados (SFA) se sintetizan principalmente a partir de glucosa o ácido acético en el tejido adiposo, siendo el ácido palmítico (C16:0) y el ácido esteárico (C18:0) los productos predominantes. Los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) se generan tanto a partir de la síntesis de SFA, así como también provienen de la dieta, destacando el ácido oleico (C18:1n-9) como el más abundante (Wood y Enser, 2017). Por otro lado, el ácido linoleico (C18:2n-6) y el ácido α-linolénico (C18:3n-3) son ácidos grasos poliinsaturados (PUFA)

esenciales, ya que no pueden ser sintetizados en el organismo, por lo que deben ser obtenidos a través de la dieta. No obstante, otros PUFA pueden ser sintetizados en el hígado (Wood et al., 2008; Wood y Enser, 2017).

Los ácidos grasos linoleico y α -linolénico actúan como precursores de los PUFA de cadena larga en las vías omega-6 (n-6) y omega-3 (n-3), respectivamente (Wood et al., 2008; Daley et al., 2010). Estos ácidos grasos se generan a través de procesos mediados por las enzimas Δ -5 y Δ -6 desaturasas y elongasas, en el hígado. A partir del ácido linoleico se sintetizan el ácido araquidónico (ARA, C20:4n-6) y el ácido docosapentanoico (DPA, C22:5n-6), mientras que del ácido α -linolénico derivan el ácido eicosapentanoico (EPA, C20:5n-3), el DPA (C22:5n-3) y el ácido docosahexanoico (DHA, C22:6n-3). Estos ácidos grasos desempeñan funciones esenciales como mantener la fluidez de las membranas celulares, actuar como precursores de eicosanoides que regulan procesos como la agregación plaquetaria, la trombosis y la inflamación, y participar en la modulación de la expresión génica (Daley et al., 2010; Wood y Enser, 2017).

Los PUFA ingeridos por los rumiantes a través de la dieta son sometidos a un proceso de biohidrogenación microbiana en el rumen, lo que aumenta la proporción de SFA y MUFA y deja solo una pequeña fracción de PUFA disponible para su incorporación en los tejidos (Wood et al., 2008). Por ejemplo, aproximadamente el 30 % del ácido linoleico, presente en altas concentraciones en granos y semillas oleaginosas, logra escapar a la biohidrogenación ruminal. En cambio, del ácido α -linolénico, abundante en pasturas y sus derivados, menos del 15 % evita este proceso (Wood et al., 2008). En consecuencia, los rumiantes presentan una menor disponibilidad de PUFA para ser absorbidos en los tejidos y exhiben mayores proporciones de SFA y MUFA (Wood et al., 2008; Wood y Enser, 2017). Asimismo, la carne de rumiantes también contiene ácidos grasos de cadena ramificada, derivados de residuos de aminoácidos y ácidos grasos con número impar de átomos de carbono, como C15 y C17 (Wood y Enser, 2017).

Diversos estudios han señalado que los SFA pueden ser perjudiciales para la salud, ya que elevan el colesterol LDL (lipoproteínas de baja densidad, conocido como “colesterol malo”) en sangre, promueven la inflamación y aumentan el riesgo de enfermedades coronarias y cardiovasculares. En contraste, los PUFA ofrecen efectos beneficiosos al contrarrestar las consecuencias negativas de los SFA (Wood et al., 2008; Daley et al., 2010; Wood y Enser, 2017). No obstante, un consumo excesivo de PUFA n-6 puede provocar efectos adversos, como inflamación, trombosis, hipertensión y alteraciones neurológicas (Daley et al., 2010; Wood y Enser, 2017). Por estas razones, la OMS recomienda que la relación PUFA:SFA en la dieta sea superior a 0,4 y que la

ingesta de SFA no supere el 10 % del consumo diario de energía. Asimismo, aconseja mantener una proporción entre los PUFA n-6 y n-3 inferior a 4 (WHO, 2023).

No todos los SFA causan el mismo impacto en la salud humana (Ulbricht y Southgate, 1991). Se ha demostrado que los ácidos grasos láurico (C12:0), mirístico (C14:0) y palmítico elevan el colesterol total en sangre, aunque con efectos diferenciados: el ácido láurico incrementa los niveles de colesterol HDL (lipoproteínas de alta densidad, conocido como “colesterol bueno”), mientras que el ácido mirístico eleva el colesterol LDL en una proporción cuatro veces mayor que el ácido palmítico (Ulbricht y Southgate, 1991; Daley et al., 2010). En contraste, el ácido esteárico y los SFA de cadena corta (\leq C10:0) no tienen un impacto significativo en el aumento del colesterol total. Esta diferencias en los efectos de los SFA cuestionan la validez de la relación PUFA:SFA como indicador de riesgo cardiovascular, ya que solo tres SFA presentan propiedades hipercolesterolémicas relevantes (Ulbricht y Southgate, 1991; Daley et al., 2010).

Se sabe que los SFA con efecto aterogénico (láurico, mirístico y palmítico), no son exactamente los mismos que poseen efecto trombogénico (mirístico, palmítico y esteárico) y que los ácidos grasos insaturados actúan de manera diferente frente a estas enfermedades (Ulbricht y Southgate, 1991; Wood y Enser, 2017). Los PUFA n-6, en especial el ácido linoleico, son reconocidos por reducir el colesterol sérico, motivo por el cual se recomienda sustituir los SFA por éstos en la dieta. No obstante, una dieta rica en PUFA n-6 disminuye tanto el colesterol LDL como el HDL, el cual tiene propiedades protectoras contra las enfermedades coronarias. En contraste, los PUFA n-3, representados principalmente por el ácido α -linolénico, reducen el colesterol total al disminuir el LDL, sin afectar el HDL. De este modo, los PUFA n-6 presentan un efecto principalmente antiaterogénico al reducir los lípidos séricos, mientras que los PUFA n-3 se destacan por su efecto antitrombogénico, ya que disminuyen la actividad plaquetaria. Adicionalmente, los MUFA, especialmente el ácido oleico, también reducen el colesterol LDL, pero, a diferencia de los PUFA n-6, no afectan los niveles de colesterol HDL (Ulbricht y Southgate, 1991; Wood y Enser, 2017).

Estabilidad oxidativa

La oxidación lipídica y proteica son las principales causas de deterioro no microbiano de la calidad de la carne, dado que tanto los lípidos como las proteínas son altamente susceptibles a daños oxidativos (Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018). Estos procesos ocurren debido al agotamiento de los antioxidantes endógenos tras el sacrificio del animal, lo que genera un desequilibrio entre los agentes oxidantes y antioxidantes. Además, la susceptibilidad de la carne a la oxidación se ve influenciada por factores como la raza y especie animal, el tipo de

músculo y su ubicación anatómica (Falowo et al., 2014). El deterioro oxidativo se manifiesta en una disminución de la calidad sensorial y nutricional de la carne, la formación de compuestos tóxicos y la pérdida de funcionalidad de las proteínas (O’Sullivan y Kerry, 2009; Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018). La oxidación representa un problema significativo para la industria cárnica, ya que afecta negativamente el valor comercial del producto (Falowo et al., 2014).

Los lípidos, especialmente los PUFA, son químicamente inestables y, por lo tanto, propensos a la oxidación, especialmente durante el manejo y almacenamiento de la carne (Wood et al., 2008; Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018). La oxidación lipídica comienza en los fosfolípidos de las membranas celulares, mediante un mecanismo auto catalítico que se acelera significativamente una vez iniciado (O’Sullivan y Kerry, 2009; Falowo et al., 2014). En presencia de oxígeno y sustancias prooxidantes, se generan radicales libres, los cuales provocan la formación de aldehídos, cetonas y alcoholes, responsables de los sabores y olores desagradables en la carne oxidada (Wood y Enser, 2017). Aunque la relación entre rancidez y sabor aún no está completamente definida, el desarrollo de sabores rancios tiende a enmascarar los sabores deseables de la carne (O’Sullivan y Kerry, 2009; Wood y Enser, 2017). Además, los radicales libres generados por la oxidación de los ácidos grasos insaturados también oxidan la mioglobina, acelerando la conversión de oximioglobina (de color rojo) a metamioglobina (de color marrón), lo que afecta negativamente la apariencia visual de la carne (Figura 1.6; Faustman y Suman, 2017; Wood y Enser, 2017). Por lo tanto, la oxidación de lípidos resulta en olor rancio, desarrollo de sabores indeseables, aumento de las pérdidas por goteo, decoloración, pérdida de valor nutricional, disminución de la vida útil y acumulación de compuestos tóxicos que pueden ser perjudiciales para la salud de los consumidores (O’Sullivan y Kerry, 2009; Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018; Serra et al., 2021).

La oxidación de proteínas ocurre a través de una reacción en cadena de radicales libres, similar a la oxidación de los lípidos en el músculo animal (Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018; Serra et al., 2021). Aunque las proteínas se oxidan más rápidamente que los lípidos, no generan sabores desagradables, sí provocan cambios físicos y químicos en la carne, tales como la reducción en la capacidad de retención de agua, alteraciones en la textura, terneza, jugosidad, así como en el color, la composición de aminoácidos, la biodisponibilidad y la solubilidad de las proteínas (O’Sullivan y Kerry, 2009; Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018; Serra et al., 2021). La oxidación de lípidos y proteínas en la carne son procesos estrechamente

relacionados, ya que los productos de la oxidación de uno pueden inducir la oxidación del otro (O’Sullivan y Kerry, 2009).

La determinación del umbral exacto en que la carne de los rumiantes es rechazada por los consumidores debido a la oxidación lipídica es compleja, ya que la percepción sensorial varía según la experiencia personal y otros factores individuales (O’Sullivan y Kerry, 2009). Un análisis comúnmente utilizado para medir la estabilidad oxidativa de los lípidos en los alimentos es la prueba de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), que cuantifica la concentración de malondialdehído (MDA), un producto de la oxidación (Wood et al., 2008; Falowo et al., 2014). De manera similar, la prueba de carbonilos cuantifica la cantidad de dinitrofenilhidrazina (DNPH) que reacciona con los grupos carbonilos libres, los cuales se forman durante la oxidación de las proteínas, lo que indica el nivel de desnaturalización proteica (Falowo et al., 2014). Se ha establecido que un umbral de 2,3 mg MDA por kg de carne es el punto a partir del cual los efectos sensoriales de la oxidación comienzan a ser perceptibles; sin embargo, esto no implica necesariamente que dicho nivel conduzca al rechazo del producto por los consumidores (Wood et al., 2008; O’Sullivan y Kerry, 2009).

Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos, también conocidos como polifenoles, son metabolitos secundarios de las plantas con propiedades antioxidantes (Falowo et al., 2014; Correddu et al., 2020; Hashem et al., 2020; Serra et al., 2021). Estos abarcan más de 8000 compuestos caracterizados por la presencia de grupos hidroxilo fenólicos y se clasifican en flavonoides, no flavonoides y taninos, según el número de anillos aromáticos y su afinidad de unión con diversos compuestos (Figura 1.7; Correddu et al., 2020; Serra et al., 2021). Los flavonoides y no flavonoides (*i.e.* compuestos no tánicos) son en su mayoría fitoestrógenos, sustancias con estructuras químicas similares a los estrógenos de los mamíferos, aunque con baja afinidad para unirse a sus receptores celulares (Hashem y Soltan, 2015; Serra et al., 2021; Wyse et al., 2022). Por otro lado, los compuestos tánicos pueden tener un efecto astringente, reduciendo la ingesta de alimento y la digestibilidad de los nutrientes. Sin embargo, también presentan beneficios al mejorar la eficiencia en el uso de las proteínas de la dieta en los rumiantes, ya que se unen a estas, disminuyendo su degradabilidad ruminal y aumentando el flujo de aminoácidos hacia el intestino (Correddu et al., 2020; Serra et al., 2021).

Compuestos fenólicos

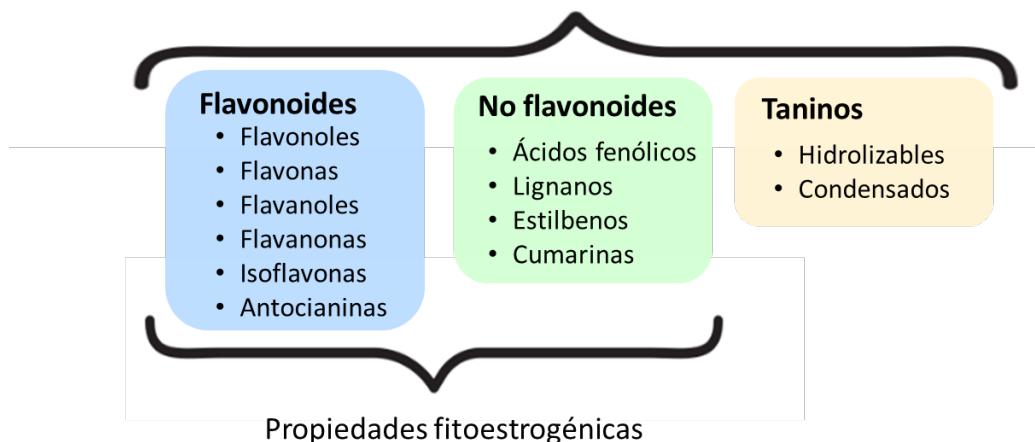


Figura 1.7. Esquema de clasificación de los compuestos fenólicos. Adaptado de Correddu et al. (2020) y Serra et al. (2021).

En la naturaleza, los compuestos no tánicos (fitoestrogénicos) suelen encontrarse conjugados con azúcares y ácidos orgánicos, formando glucósidos que carecen de actividad biológica (Hashem et al., 2020; Serra et al., 2021). Su biodisponibilidad depende de la hidrolización, un proceso en el que los glucósidos se deconjugan y transforman en agliconas, facilitando así su absorción. Este proceso es llevado a cabo por enzimas producidas por microorganismos del rumen e intestino, por el ácido clorhídrico del estómago o por las glándulas epiteliales intestinales (Gagnon et al., 2009; Hashem et al., 2020; Serra et al., 2021). Además, la microflora ruminal puede convertir estos compuestos en nuevos metabolitos, denominados fitoestrógenos de origen mamífero, que también pueden ser absorbidos (Hashem y Soltan, 2015; Serra et al., 2021). Tanto los compuestos no conjugados como los metabolitos de origen mamífero pueden presentar actividad estrogénica (Hashem y Soltan, 2015; Hashem et al., 2020). Estudios han demostrado que los fitoestrógenos se absorben tanto en el rumen como en el intestino delgado, ya que su administración, ya sea por vía intra-ruminal como intra-duodenal, incrementa significativamente su concentración plasmática total (Lundh et al., 1990; Gohlke et al., 2013). Por otro lado, aunque la población microbiana del rumen puede adaptarse a los efectos antinutricionales de los taninos, estos compuestos, a diferencia de los no tánicos, no pueden ser hidrolizados en el rumen (Makkar, 2003; Vasta y Luciano, 2011).

Si bien los carbohidratos y las fracciones nitrogenadas son los componentes principales de la dieta de los rumiantes, ciertos compuestos secundarios, como los polifenoles, pueden tener un impacto en la utilización de los nutrientes. Aunque no son esenciales para la vida, los polifenoles

pueden ejercer efectos específicos a nivel celular y tisular (Hashem et al., 2020; Serra et al., 2021). Numerosos estudios han informado que los compuestos fitoestrogénicos poseen la capacidad de modular el metabolismo en los rumiantes, actuando como promotores del crecimiento al estimular el aumento del tejido muscular a través de la síntesis de proteínas y aumentar la biodisponibilidad de los nutrientes (González-Ríos et al., 2016; Hashem et al., 2020; Serra et al., 2021; Wyse et al., 2022). En particular, se ha demostrado que la suplementación con fitoestrógenos en la dieta de novillos puede producir efectos similares a los de los agentes promotores de crecimiento utilizados en la terminación del ganado bovino, además de incrementar las ganancias de peso en ovinos (González-Ríos et al., 2016; Wyse et al., 2022).

La incorporación de antioxidantes naturales en la dieta de los animales permite introducir estos compuestos en el músculo, lo que no solo ayuda a disminuir la oxidación de la carne, sino que también mejora su calidad nutricional en comparación con dietas que carecen de antioxidantes (Falowo et al., 2014; Maggiolino et al., 2020). Los compuestos fenólicos presentes en plantas, frutas y sus extractos actúan como antioxidantes al inhibir o retrasar los procesos oxidativos del músculo, mientras ellos mismos se oxidan (Descalzo y Sancho, 2008; Daley et al., 2010; Falowo et al., 2014; Serra et al., 2021). Además, la inclusión de antioxidantes naturales en la alimentación de los rumiantes puede favorecer el crecimiento animal al mejorar su estado oxidativo, lo que a su vez está asociado con una mejor respuesta inmunológica y una reducción de la apoptosis en las células epiteliales intestinales (Shahidi y Ambigaipalan, 2018; Serra et al., 2021).

La suplementación con compuestos fenólicos puede reducir o modular la biohidrogenación de los PUFA en el rumen al alterar la composición y la actividad de los microorganismos, lo que podría aumentar la incorporación de estos ácidos grasos en la carne (Vasta et al., 2019; Correddu et al., 2020; Serra et al., 2021). Asimismo, la interacción de los taninos con los microorganismos ruminantes, o su efecto inhibitorio sobre la digestión de la fibra, reduce la producción de ácidos grasos volátiles, amoníaco y metano en el rumen (Vasta et al., 2019; Correddu et al., 2020). Sin embargo, esta disminución en la producción de metano suele estar acompañada por una menor digestibilidad de la materia orgánica, lo que puede tener un impacto negativo sobre la productividad animal (Vasta et al., 2019; Correddu et al., 2020).

El uso de grano entero de avena es particularmente prometedor en dietas con alta proporción de granos debido a su contenido de fibra, que estimula la masticación y la rumia. Esto facilita la adaptación de los animales al consumo de grano y reduce el riesgo de acidosis (Ørskov et al., 1974a; Offner et al., 2003; Humer y Zebeli, 2017). Además, su alta degradabilidad ruminal

favorece una sincronización eficiente entre el aporte de energía y proteína en el rumen, lo que optimiza el aprovechamiento de los nutrientes (Huntington, 1997; Offner et al., 2003). Asimismo, debido a su contenido de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, se espera que la inclusión del grano de avena en la dieta de los rumiantes contribuya a mejorar la estabilidad de los lípidos y proteínas en la carne (Karwowska y Dolatowski, 2007; Descalzo et al., 2008; Kuhnle et al., 2009b). Sin embargo, aún existe poca información sobre los efectos del grano de avena en el desempeño productivo y la calidad de la carne en animales terminados en confinamiento, siendo necesario profundizar en ello.

Por otro lado, las semillas de girasol y de lino son fuentes ricas en polifenoles con capacidad antioxidante. En particular, la capa externa de la semilla de lino destaca por su contenido de compuestos no flavonoides con notable actividad fitoestrogénica (Adlercreutz et al., 1987; Brito et al., 2015; Kuhnle et al., 2008, 2009a, 2009b). Además, la semilla de lino posee una abundante concentración de ácido α -linolénico que, al ser incluido en las dietas de rumiantes, podría contribuir a la producción de carne con un perfil lipídico más beneficioso para la salud humana (Brito et al., 2015; Wood y Enser, 2017; Facciolongo et al., 2018; Serra et al., 2021). El uso de subproductos agroindustriales ricos en polifenoles como aditivos naturales en las dietas de rumiantes representa una estrategia prometedora para mejorar el desempeño productivo, la calidad de la carne y la sostenibilidad de los sistemas productivos. Esta práctica no solo permitiría reducir los residuos agroindustriales y los costos de alimentación, sino también agregar valor a los productos animales (Cimmino et al., 2018; Correddu et al., 2020; Hashem et al., 2020).

HIPÓTESIS

En base al marco conceptual descripto, se formularon las siguientes hipótesis:

1. Por su mayor concentración de lípidos, el grano de avena puede reemplazar al grano de maíz como fuente energética en dietas de terminación para rumiantes, sin afectar negativamente el desempeño productivo.
2. La carne de rumiantes alimentados con dietas basadas en grano de avena o maíz presenta características tecnológicas y organolépticas similares en fresco y durante la maduración; no obstante, debido a la menor relación n6:n-3 del grano de avena, su carne tiene un perfil lipídico más equilibrado que la de aquellos alimentados con dietas basadas en grano de maíz.

3. Debido a su mayor contenido de PUFA y C18:3n-3, la inclusión de harina de lino como fuente proteica en dietas para rumiantes mejora el perfil lipídico de la carne, aunque incrementa la oxidación de lípidos y proteínas y reduce la estabilidad del color durante la maduración, en comparación con dietas que incluyen harina de girasol.
4. Debido a que los taninos limitan la degradación ruminal de la proteína y los compuestos no tánicos poseen actividad fitoestrogénica, una mayor concentración de compuestos fenólicos en la dieta de los rumiantes favorece el desarrollo del tejido muscular y reduce la acumulación de grasa en la carcasa.
5. Los rumiantes que consumen dietas con mayor concentración de compuestos fenólicos, presentan una mayor concentración de los mismos en la carne, los cuales, debido a sus propiedades antioxidantes, ejercen una acción preventiva antioxidant de lípidos y proteínas, mayor capacidad de retención de agua y estabilidad del color durante la maduración.

OBJETIVOS

En base a las hipótesis formuladas, los objetivos específicos del presente trabajo de tesis fueron:

1. Comparar el desempeño productivo (evolución de la ganancia de peso, ganancia diaria, consumo voluntario, conversión alimenticia, peso y rendimiento de carcasa, área de ojo de bife, espesor de grasa dorsal), los parámetros sanguíneos (glucosa, urea, nitrógeno ureico) y los parámetros ruminales (pH y nitrógeno amoniacial) de rumiantes alimentados con dietas basadas en grano de maíz o grano de avena; y basadas en grano de avena con harina de girasol o harina de lino como fuente proteica.
2. Evaluar el efecto de las dietas mencionadas en el objetivo 1 sobre el perfil de ácidos grasos de la carne y estudiar el efecto del período de maduración y su interacción con la dieta sobre las características tecnológicas (pH, capacidad de retención de agua) y organolépticas (oxidación de lípidos y proteínas, estabilidad del color).
3. Evaluar la concentración de compuestos fenólicos totales, tánicos y no tánicos en las dietas suministradas a los rumiantes, su relación con los parámetros productivos (evolución de la ganancia de peso, ganancia diaria, área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal), con su concentración en el líquido ruminal y en la carne, y con la oxidación de lípidos y proteínas y la estabilidad del color durante la maduración.

El objetivo 1 responde la hipótesis 1; el objetivo 2 responde las hipótesis 2 y 3; y el objetivo 3 responde las hipótesis 4 y 5. Para alcanzar estos objetivos, se llevaron a cabo cuatro experimentos que se desarrollarán en los capítulos 2, 3 y 4 de esta tesis. El capítulo 2 aborda parcialmente los objetivos 1 y 2 y responde de manera parcial a las hipótesis 1 y 2. El capítulo 3 aborda los objetivos 1, 2 y 3; y responde las hipótesis 1, 2 y 4. El capítulo 4 aborda los objetivos 2 y 3; y responde las hipótesis 2, 3 y 5.

CAPÍTULO 2

Desempeño productivo, características de la carcasa y calidad tecnológica de la carne de novillos en terminación alimentados con grano de avena o grano de maíz

Introducción

La producción de carne bovina en Argentina se basa en sistemas de bajos insumos donde novillos de razas británicas son alimentados sobre pasturas de calidad media-alta, alcanzando ganancias diarias de entre 600 y 700 g, durante aproximadamente dos años (Arelovich et al., 2011; Pighin et al., 2016). No obstante, en las últimas décadas, la ganadería argentina ha transitado hacia sistemas más intensivos que incluyen la recría y terminación de los terneros en pasturas suplementadas con granos o en confinamiento hasta el momento de la faena (Nardone et al., 2010; Pighin et al., 2016). Este cambio responde a factores como la expansión de la frontera agrícola, el aumento de los precios de los granos, el incremento del costo de la tierra, la mayor demanda de productos animales y la baja eficiencia relativa de los sistemas pastoriles (Guevara et al., 2009; Arelovich et al., 2011; Pighin et al., 2016; Gonzalez Fischer y Bilenca, 2020). En los sistemas de terminación en confinamiento, el grano de maíz es la principal fuente energética, pero su cultivo en regiones marginales enfrenta limitaciones y su transporte desde otras regiones incrementa considerablemente los costos de las raciones (Arelovich et al., 2011; Pighin et al., 2016; Villaverde et al., 2021). En este contexto, los cereales de invierno emergen como alternativa, ya que se adaptan mejor a las condiciones edafoclimáticas complejas (Dion y Seoane, 1992; Plascencia et al., 2018). Entre ellos, el grano de avena ofrece ventajas como facilidad de cultivo, versatilidad, adaptabilidad a climas adversos y alta palatabilidad (Martínez et al., 2010; Wang et al., 2023).

La carne roja es una fuente esencial de proteínas de alto valor biológico, energía y diversos micronutrientes como vitaminas A, B₆, B₁₂, D, E y minerales, incluyendo hierro, zinc y selenio, entre otros (Daley et al., 2010; Wood, 2017). Sin embargo, factores como las prácticas de manejo, la dieta suministrada y las condiciones de maduración, influyen significativamente en las propiedades nutricionales, organolépticas y tecnológicas de la carne (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Wood et al., 2008; Daley et al., 2010; Farouk et al., 2012; Kim et al., 2016; Pighin et al., 2016). En particular, la dieta afecta la tasa de deposición de proteínas y grasas, impactando en aspectos como el color, la capacidad de retención de agua y las propiedades de cocción de la carne. La maduración mejora la terneza y la jugosidad, además de mejorar otras

propiedades, como el color y la capacidad de retención de agua (Kim et al., 2018). Los períodos de maduración cortos favorecen el desarrollo de un color rojo brillante, más atractivo para los consumidores. Sin embargo, los períodos prolongados pueden mejorar la capacidad de retención de agua, aumentando la jugosidad de la carne (Kim et al., 2015; Ramanathan et al., 2020). No obstante, una maduración demasiado extendida puede resultar en una decoloración excesiva de la carne (Kim et al., 2018). Este aspecto resulta poco deseable en el mercado minorista, donde el color de la carne es un indicador de frescura y calidad (Ramanathan et al., 2020). Los consumidores argentinos tienen preferencia por la carne de color rojo brillante, por lo que un período de maduración prolongada podría mejorar no solo su color, sino también su capacidad de retención de agua, desarrollando una carne más jugosa (Farouk et al., 2012; Pighin et al., 2016; Kim et al., 2017).

Estudios previos han mostrado que terneros alimentados con dietas que incluyeron 60 % de grano pelletizado de maíz o de avena no presentaron diferencias significativas en su desempeño productivo (Arelovich et al., 2012). También, novillitos alimentados con dietas compuestas por 55 % de grano entero de avena mostraron una tasa de deposición muscular 40 % mayor y una tasa de deposición de grasa 38 % menor en comparación con aquellos alimentados con dietas que incluían 55 % de grano de maíz (Arelovich et al., 2013). El uso de grano entero de avena es particularmente prometedor en dietas con alta proporción de granos, ya que su mayor contenido de fibra estimula la masticación y la rumia, facilitando la adaptación de los animales al grano y reduciendo el riesgo de acidosis (Ørskov et al., 1974a; Offner et al., 2003; Humer y Zebeli, 2017). Sin embargo, existe poca información sobre los efectos del grano de avena en el desempeño productivo y la calidad de la carne en animales terminados en confinamiento, siendo necesario profundizar en ello.

Hipótesis

En este capítulo se plantearon las siguientes hipótesis:

1. Por su mayor concentración de lípidos, el grano de avena puede reemplazar al grano de maíz como fuente energética en dietas de terminación para novillos, sin afectar negativamente el desempeño productivo.
2. La carne de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena o maíz presenta características tecnológicas y organolépticas similares en fresco y durante la maduración.

Objetivos

En función de las hipótesis, los objetivos de este capítulo fueron:

1. Comparar el desempeño productivo (evolución de la ganancia de peso, ganancia diaria, conversión alimenticia, peso y rendimiento de carcasa, área de ojo de bife, espesor de grasa dorsal) de novillos alimentados con dietas basadas en grano de maíz o grano de avena.
2. Evaluar el efecto de las dietas mencionadas en el objetivo 1 sobre las características tecnológicas de la carne y estudiar el efecto de la maduración y su interacción la dieta sobre las características tecnológicas (pH, capacidad de retención de agua) y organolépticas (color) de la carne.

Materiales y métodos

Todos los procedimientos realizados en este capítulo contaron con la aprobación del Comité Institucional de Cuidado y Uso Animal del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (CICUAE INTA - CERBAS) y se llevaron a cabo en conformidad con el Manual de Bienestar Animal Argentino (SENASA, 2015).

Animales, dietas y manejo general

En el año 2019 se realizó un experimento en la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en Bordenave (INTA EEA Bordenave), provincia de Buenos Aires, Argentina. Dieciséis novillos Aberdeen Angus (327 ± 4 kg de peso vivo, PV; 14 meses de edad) fueron asignados al azar en dos grupos de ocho animales cada uno y distribuidos en un diseño completamente aleatorizado ($n=8$) a las siguientes dietas de terminación: (i) basada en grano entero de avena (A) y (ii) basada en grano entero de maíz (M). Ambas dietas fueron formuladas isoproteicas (14,62 % de proteína bruta, PB) y con un contenido similar de energía metabolizable (2,5 Mcal EM.kg⁻¹ de materia seca, MS), e incluyeron 6 % de una premezcla vitamínico-mineral (Raciones Argentinas S.A.). Todos los ingredientes, excepto los granos, fueron suministrados en forma de pellet (Tabla 2.1). La composición química de cada uno de los ingredientes de la dieta se encuentra detallada en la Tabla A2.1 del Anexo.

Los análisis de la dieta incluyeron la determinación de proteína bruta (PB = g de N cada 100 g de MS \times 6,25) mediante el método macro-Kjeldahl (AOAC, 2000); fibra en detergente neutra (FDN, %) y fibra en detergente ácido (FDA, %) utilizando un analizador de fibra ANKOM (Ankom Technology, Fairport, Nueva York, EE. UU.), siguiendo el procedimiento del sistema detergente

(Van Soest et al., 1991); extracto etéreo (EE, %) con un equipo de extracción Goldfish (AOAC, 2000) y cenizas utilizando por incineración en mufla a 550°C (AOAC, 2000). Los carbohidratos no estructurales (CNE, %) se calcularon por diferencia con las demás fracciones determinadas e incorporando el valor de nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA) obtenido de las tablas publicadas por el (NASEM, 2016), según la ecuación: CNE = 100 – PB – FDN – (PB * NIDA/100) – EE – cenizas (Henneberg y Stohmann, 1859). El NIDA representa la fracción de proteína ligada a la FDA que es insoluble y, por lo tanto, no puede ser utilizada por el animal ni está disponible para su digestión. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS, %) se estimó mediante la ecuación propuesta por Rohweder et al. (1978): DIVMS = 88,9 – (FDA*0,779). Por su parte, la energía metabolizable (EM, Mcal.kg⁻¹ MS) se calculó mediante la ecuación EM = 4,4 * DIVMS * 0,82 (NASEM, 2016). Todos los análisis se realizaron de forma individual para cada ingrediente. La composición de las dietas se detalla en la Tabla 2.1.

Los animales se alojaron individualmente en corrales de 30 m² con acceso continuo a agua y sombra, y fueron alimentados diariamente a las 10:00 a.m. (Figura 2.1). El período experimental incluyó 14 días de adaptación a las dietas y 61 días de experimentación. La fase de adaptación finalizó cuando la ingesta voluntaria alcanzó aproximadamente el 2 % del PV en ambas dietas. Este nivel de consumo (*i.e.*, 2 % PV) se mantuvo constante durante el experimento, ajustándose progresivamente según el aumento de peso de los novillos. Por lo tanto, el consumo diario de materia seca (CMS, kg.d⁻¹) promedio fue de 7,30 y 7,58 kg por animal por día para las dietas A y M, respectivamente, a lo largo del período experimental. Previo al inicio del experimento, todos los animales fueron desparasitados interna y externamente mediante la administración de 2 ml de ivermectina al 1% (Vermectín, Laboratorio Over, Argentina) cada 100 kg de PV y 20 ml de Cipermetrina (Fatro, Von Franken, Argentina) por animal, en formato *pour on*, respectivamente. También se les colocó la vacuna contra fiebre aftosa. El experimento concluyó cuando los animales alcanzaron un peso promedio de 380 kg. Por razones ajenas al experimento, uno de los novillos asignado al tratamiento A fue retirado, siendo siete los animales evaluados en dicho tratamiento (n=7).

Tabla 2.1. Ingredientes y composición química de las dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), suministradas a novillos en terminación durante el experimento de 2019.

Ingredientes, % MS	Tratamiento dietario	
	Avena	Maíz
Grano entero avena	86	-
Grano entero maíz	-	67
Harina de girasol	8	23
Afrechillo de trigo	-	4
Premezcla VMM ¹	6	6
Composición química²		
MS, %	90,08	88,17
PB, %	14,43	14,57
FDN, %	32,05	32,25
FDA, %	14,03	9,56
DIVMS, %	69,72	73,09
EE, %	6,72	3,78
Cenizas, %	5,55	4,70
CNE, %	40,52	43,81
EM, Mcal.kg ⁻¹ MS	2,45	2,58

¹Composición la premezcla vitamínico-mineral: 70% afrechillo de trigo (utilizado como elemento base de la mezcla), 23% CaCO₃, 2% NaCl y 5% mezcla comercial con monensina (Raciones Argentinas S.A.). La mezcla comercial por kg incluía: vitamina A 850,000 UI; vitamina D₃ 170.000 UI; vitamina E 1.500 UI; Ca 24,5 g; Mg 5 g; S 2 g; Fe 7,75 g; Co 36 mg; Cu 3,4 mg; I 180 mg; Se 34 mg; Mn 3 g; Zn 10,08 g y monensina de sodio 1 g.

²MS: materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; EE: extracto etéreo; CNE: carbohidratos no estructurales; EM: energía metabolizable.



Figura 2.1. Instalaciones utilizadas durante el experimento de 2019, pertenecientes a la Estación Experimental Agropecuaria INTA Bordenave.

Desempeño productivo y evaluación de la carcasa in vivo

Cada dos semanas, previo a la alimentación diaria, se registró el PV de los animales con el fin de monitorear la evolución del peso corporal y ajustar la cantidad de alimento ofrecido. La ganancia diaria de peso, la ganancia de peso acumulada y la conversión alimenticia se calcularon a partir de los incrementos de PV y el CMS.

Tanto al inicio como al final del período experimental, se determinaron las variaciones en el área del ojo de bife (AOB, cm²) y en el espesor de la grasa dorsal (EGD, mm) mediante ultrasonografía utilizando un escáner Aloka SSD 500 w/2x. Ambas evaluaciones (*i.e.* AOB y EGD) se realizaron a partir de la misma imagen, sobre el músculo *Longissimus lumborum*, entre las 12^a y 13^a vértebras torácicas. Para la captura de imágenes se empleó el software BioSoft Toolbox Model Pro 500 vers. 2.1 (Biotronics Inc., Ames, IA, EE. UU.) y las mismas fueron procesadas en el Centro de Interpretación de Imágenes de Ultrasonido (CIIE - INTA Castelar, Argentina).

Procedimiento de faena y evaluación de la carcasa

Al finalizar el experimento, los novillos fueron sacrificados en un frigorífico comercial (Frigorífico Sur S.A., habilitado por SENASA, matrícula 7932, ubicado en la localidad de Médanos, provincia de Buenos Aires), siguiendo los protocolos y disposiciones de seguridad reglamentados por SENASA. Inmediatamente después de la faena, se registró el peso de la carcasa caliente y, tras 24 horas de enfriamiento en cámara a 4 °C, se registró el peso de carcasa fría. Las pérdidas por refrigeración se calcularon como la diferencia porcentual entre el peso de carcasa caliente y fría, mientras que el rendimiento de carcasa se determinó en función del PV final en ayuno y el peso de carcasa caliente. Además, se registró el pH del músculo *Longissimus lumborum* entre las vértebras 10^a y 12^a de la mitad derecha de la carcasa a 1 y 24 horas *postmortem*, utilizando un medidor de pH portátil Altronix TPA IV con compensación automática de temperatura.

Luego de 24 horas *postmortem*, se extrajo una sección del músculo *Longissimus lumborum* entre las vértebras 10^a y 12^a de la mitad izquierda de la carcasa. Las muestras de carne se transportaron refrigeradas al Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional del Sur, donde se separó el músculo, descartando el hueso. El bife correspondiente a la vértebra 10^a se empleó para evaluar las propiedades de retención de agua de la carne fresca (Figura 2.2). Se midieron las pérdidas por goteo, las pérdidas por cocción y las pérdidas por jugo exprimible, siguiendo las metodologías de Grau y Hamm, (1953), Honikel, (1998) y Cañeque y Sañudo (2000), con modificaciones de Choe et al. (2016) y Obeidat et al. (2016).

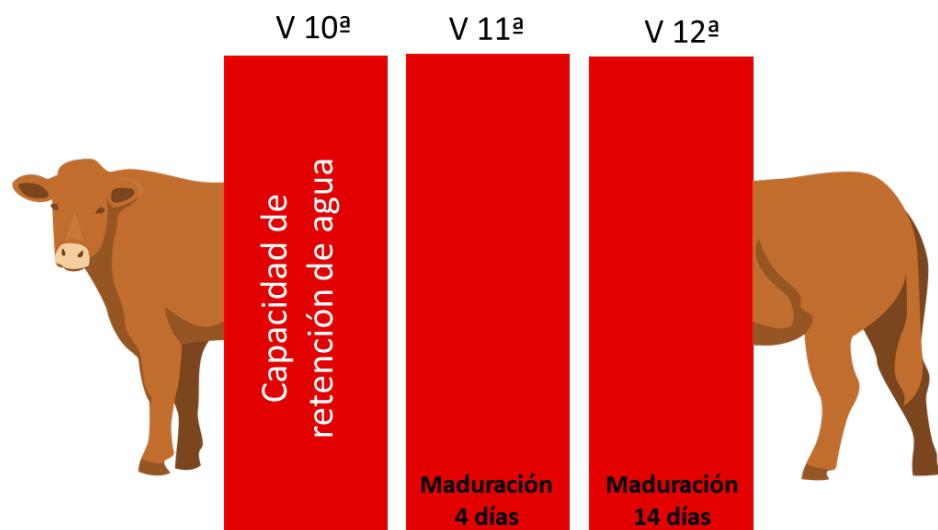


Figura 2.2. Esquema del corte del músculo *Longissimus lumborum* y su utilización para los distintos análisis durante el experimento de 2019. El bovino indica la posición de la cabeza del animal y V indica el número de vértebra correspondiente a cada bife. Los análisis de capacidad de retención de agua incluyeron pérdidas por goteo, pérdidas por cocción y pérdidas por jugo exprimible.

Para la evaluación de las pérdidas por goteo, se pesó un trozo de carne libre de grasa de 10 a 15 g. Este fue colgado por un extremo utilizando un gancho de alambre y colocado dentro de una bolsa plástica con cierre hermético, asegurando que no tocara el fondo. Cada muestra se suspendió en heladera a 4 °C y después de 24 horas fue extraída, pesada y colocada nuevamente dentro de la misma bolsa para ser pesada nuevamente a las 48 horas (Figura 2.3 A). La pérdida por goteo se determinó como la relación entre el peso de la muestra a las 24 y 48 horas y el peso inicial del trozo de carne. Para la evaluación de las pérdidas por cocción, se utilizó un trozo de carne libre de grasa de 5 a 10 g, que fue colocado dentro de una bolsa plástica con cierre hermético y sumergido un baño de agua caliente a 75 °C durante 15 minutos. Durante la inmersión, las bolsas se colocaron de tal manera que el agua no pudiera ingresar en ellas (Figura 2.3 B). Al finalizar el tiempo de cocción, las bolsas fueron retiradas del baño y colocadas inmediatamente en agua fría durante 5 minutos para detener el proceso de cocción. Posteriormente, cada trozo de carne fue extraído, secado con una toalla de papel y pesado. La pérdida por cocción se calculó como la relación entre el peso de la muestra cocida y el peso de la muestra cruda. Para la evaluación de pérdidas por jugo exprimible, se utilizó un trozo de carne libre de grasa de aproximadamente 0,5 g, que fue colocado en el centro de un papel de filtro doblado por la mitad e introducido entre dos placas de vidrio. La muestra fue prensada colocando una pesa de 2,5 kg sobre la placa de vidrio superior durante 5 minutos (Figura 2.3 C-E). Antes de ser utilizado, el papel de filtro fue previamente secado en estufa a 60 °C durante 24

horas. Al finalizar el tiempo de prensado, la muestra de carne fue retirada y pesada nuevamente. La pérdida por jugo exprimible se determinó como la relación entre el peso de la muestra prensada y el peso inicial. Las evaluaciones se realizaron por duplicado para las tres determinaciones.



Figura 2.3. Pruebas de capacidad de retención de agua. A: Muestras de carne suspendidas en bolsas dentro de una heladera a 4 °C para evaluar las pérdidas por goteo. B: Muestras de carne en bolsas, sumergidas en un baño a 75 °C para determinar las pérdidas por cocción. C: Muestra de carne colocada entre papel de filtro y dos placas de vidrio, antes del prensado, para medir pérdidas de jugo exprimible. D: Prensa de 2,5 kg utilizada para determinar pérdidas de jugo exprimible. E: Muestra de carne tras el prensado.

Evaluación de la carne madurada

Los bifes correspondientes a las vértebras 11^a y 12^a fueron pesados, envasados al vacío de forma individual y asignados a cuatro tratamientos, que resultaron de la combinación de los dos tratamientos dietarios (A y M) con dos períodos de maduración húmeda de la carne a 4 °C (4 y 14 días), configurando así un experimento factorial 2x2 (Figuras 2.2 y 2.4 A). Al finalizar cada período de maduración, las muestras de bifes se congelaron a -20 °C para su posterior análisis.

Luego de descongelar las muestras durante 24 horas a 5 °C, los bifes fueron secados con toallas de papel y pesados para determinar la pérdida por purga y descongelado, calculada a partir de la diferencia entre el peso inicial de la muestra y luego de la descongelación. El pH se midió en tres puntos aleatorios de las muestras de carne, utilizando un medidor de pH portátil Altronix TPA-IV con compensación automática de temperatura. Cada muestra fue seccionada transversalmente y la nueva superficie fue expuesta al aire durante 1 hora a 5 °C para permitir el desarrollo del color (*blooming*). El color de la carne se midió en cinco puntos aleatorios de cada muestra, con un colorímetro CR-400 Minolta (Konica Minolta Sensing Americas Inc., Ramsey, NJ, EE. UU.), utilizando el iluminante D65, un ángulo de observador de 2° y calibrado con una placa blanca (Figura 2.4 B). Se determinaron las variables CIE; luminosidad (L^*), color rojo (a^*) y color amarillo (b^*) y se calcularon la tonalidad (H^* ; Ecuación 2.1) y la saturación (C^* ; Ecuación 2.2). Adicionalmente, se calculó la diferencia total de color (ΔE ; Ecuación 2.3) entre las muestras de carne maduradas por 4 y 14 días de los novillos alimentados con A o M, lo que permitió evaluar el nivel de decoloración experimentado por la carne en cada tratamiento dietario durante el período de maduración. La distancia perceptual del color entre la carne de los tratamientos A y M, así como entre la carne madurada por 4 y 14 días, se midió utilizando la métrica CIEDE₂₀₀₀ (ΔE_{00} ; Ecuación 2.4), la cual estima las diferencias de color percibidas por el ojo humano. Esta fórmula no solo considera las diferencias entre L^* , C^* y H^* , sino que también aplica pesos específicos (S_L , S_C y S_H) y factores de corrección (K_L , K_C y K_H), además de contemplar la interacción entre saturación y tonalidad (R_T) en la porción azul del espacio de color. Los cálculos se realizaron usando la herramienta informática online CIE₂₀₀₀ Calculator de Colormine, aplicando los valores promedio de L^* , a^* y b^* obtenidos para cada tratamiento y período de maduración. Este análisis, junto con la representación tridimensional del color de cada muestra, proporciona un enfoque cuantitativo para evaluar la percepción visual de la carne y su potencial aceptación por el consumidor.

Por último, se determinó el contenido de materia seca de la carne. Para ello, se pesó un trozo de aproximadamente 5 g, que fue colocado en una estufa a 105 °C hasta alcanzar peso constante. Este procedimiento se realizó por duplicado para cada bife.

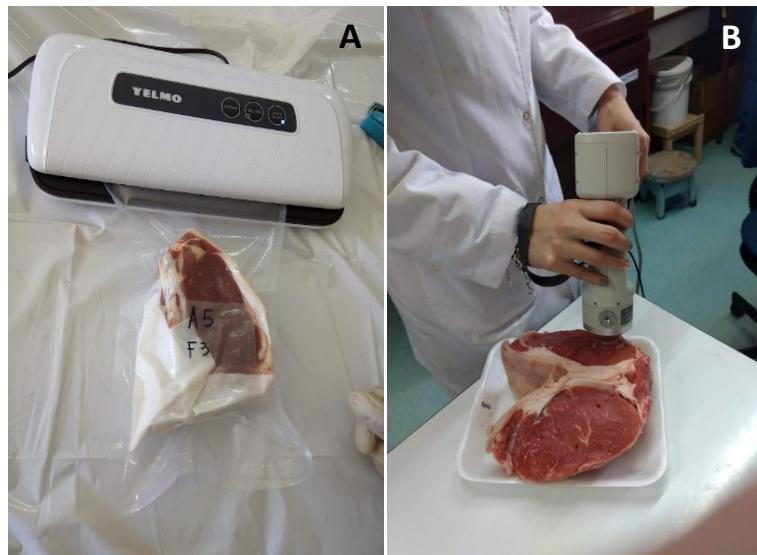


Figura 2.4. A: Proceso de envasado de la carne al vacío. B: Medición del color de la carne utilizando un colorímetro Minolta CR-400.

$$\text{Tonalidad} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$\text{Saturación} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H}\right)} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Análisis estadísticos

Todas las variables fueron analizadas mediante modelos lineales mixtos, utilizando PROC MIXED del software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE.UU.), y considerando a los animales anidados dentro del tratamiento dietario como efecto aleatorio. Para las variables ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, tasa de crecimiento de los tejidos, rendimiento de carcasa y pérdidas de agua por refrigeración, cocción y jugo exprimible, y diferencia total de color, el tratamiento dietario (A o M) se incluyó como efecto fijo. En el caso de las variables pérdida por purga y descongelado, pH, luminosidad (L^*), color rojo (a^*), color amarillo (b^*), tonalidad, saturación y materia seca de la carne, se consideraron como efectos fijos tanto el tratamiento dietario (A o M) como el tiempo de maduración (4 o 14 días) y su interacción. Para las variables evolución del peso vivo, evolución de la ganancia acumulada, peso de carcasa, área de ojo de bife, espesor de grasa dorsal, pH de la carcasa y pérdidas por goteo, se incluyeron como efectos fijos el tratamiento dietario (A o M), el tiempo, considerado como medida repetida, y su

interacción. En los casos en que se detectaron interacciones significativas, estas fueron exploradas individualmente para cada variable. Las comparaciones entre medias se realizaron mediante el test de Tukey-Kramer, estableciendo un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Resultados

Desempeño productivo

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la evolución del peso vivo (PV), la ganancia de peso acumulada, la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia (Figura 2.5 A-D; Tablas 2.2 y 2.4). El PV final fue de 382,72 kg para ambos tratamientos, con una ganancia promedio acumulada de 55,97 kg y diaria de $0,93 \text{ kg.d}^{-1}$. La conversión alimenticia fue 8,35 en promedio para ambos tratamientos.

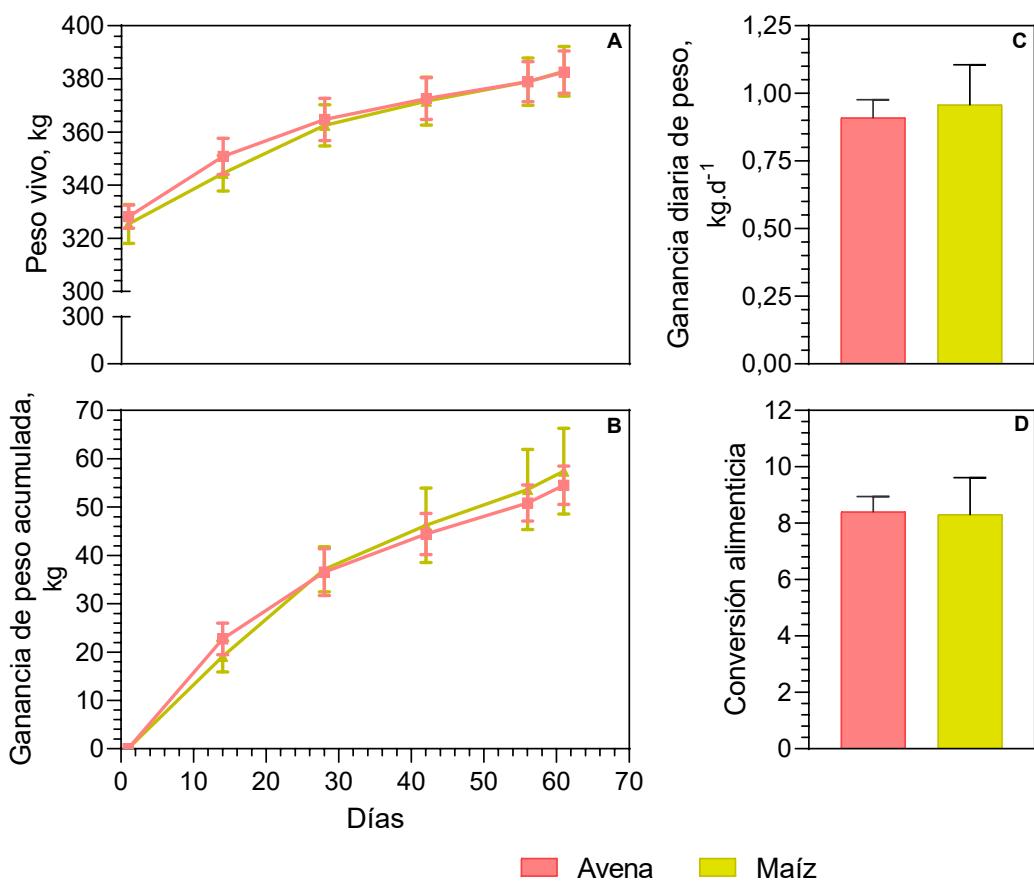


Figura 2.5. A: Evolución del peso vivo; B: evolución de la ganancia de peso acumulada; C: ganancia diaria de peso; D: conversión alimenticia; de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.

No se encontraron diferencias significativas en el área de ojo de bife ni en el espesor de grasa dorsal entre los tratamientos (Figura 2.6 A y B; Tabla 2.3) Durante el experimento, el área de ojo de bife aumentó 8,14 y 7,09 cm², mientras que el espesor de grasa dorsal creció 2,37 y 3,27 mm para los novillos alimentados con A y M, respectivamente. Al final del experimento, el área de ojo de bife fue de 62,30 cm², y el espesor de grasa dorsal de 5,97 mm en promedio para ambos tratamientos. La tasa de crecimiento promedio de los tejidos fue de 0,13 cm².d⁻¹ para el área de ojo de bife y 0,05 mm.d⁻¹ para el espesor de grasa dorsal (Figura 2.6 C y D, Tabla 2.4).

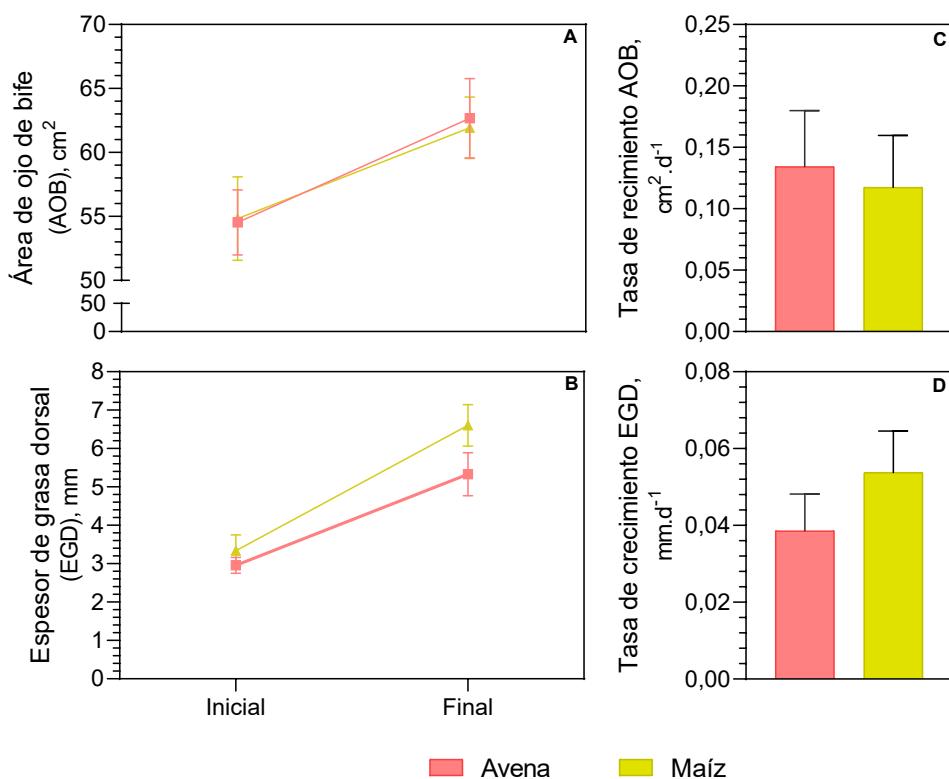


Figura 2.6. A: Evolución del área de ojo de bife (AOB); B: evolución del espesor de grasa dorsal (EGD); C: tasa de crecimiento del AOB; D: tasa de crecimiento del EGD; de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.

Tabla 2.2. Máxima verosimilitud restringida para la evolución del peso vivo y la ganancia de peso acumulada de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza autorregresiva.

Efectos fijos	gl _{n/d}	Evolución del peso vivo (kg)		Ganancia de peso acumulada (kg)	
		F	P	F	P
Dieta (D)	1/13	0,04	0,8468	0,01	0,9077
Tiempo (T)	5/65	40,22	<0,0001	46,29	<0,0001
D x T	5/65	0,35	0,8822	0,34	0,8856
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		-	-	-	-
AR(1)		33,27	<0,0001	16,67	<0,0001
Residuo		3,04	0,0012	3,55	0,0002

Tabla 2.3. Máxima verosimilitud restringida para área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.

Efectos fijos	gl _{n/d}	Área de ojo de bife (cm ²)		Espesor de grasa dorsal (mm)	
		F	P	F	P
Dieta (D)	1/13	0,00	0,9523	2,83	0,1163
Tiempo (T)	1/13	16,73	0,0013	44,21	<0,0001
D x T	1/13	0,08	0,7808	1,11	0,3102
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		1,81	0,0354	0,53	0,2991
CS		-	-	-	-
Residuo		2,55	0,0054	2,55	0,0054

Tabla 2.4. Máxima verosimilitud restringida para ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, tasa de crecimiento del área de ojo de bife (AOB) y tasa de crecimiento del espesor de grasa dorsal (EGD) de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz).

Efectos fijos	gl _{n/d}	Ganancia diaria de peso (kg.d ⁻¹)		Conversión alimenticia		Tasa de crecimiento AOB (cm ² .d ⁻¹)		Tasa de crecimiento EGD (mm.d ⁻¹)	
		F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/13	0,08	0,7855	0,00	0,9457	0,07	0,7911	1,07	0,3203
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,25	0,4010	2,14	0,0160	0,04	0,4856	0,00	0,4992
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-

Características de la carcasa y calidad de la carne

Los pesos de carcasa caliente y fría fueron de 209,29 y 202,83 kg para los novillos alimentados con A y de 223,25 y 215,79 kg para los de M, respectivamente (Figura 2.7 A, Tabla 2.5). A pesar de que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas, las carcasas caliente y fría de los novillos del tratamiento M tendieron a ser superiores en 6,67 % y 6,39 % que las del tratamiento A, respectivamente. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de carcasa, con valores de 61,40 % para M y 57,55 % para A, lo que representa una diferencia de 6,68 % (Figura 2.7 C, Tabla 2.6). Las pérdidas de agua por refrigeración no mostraron diferencias significativas, con un promedio de 3,22 % en ambos tratamientos (Figura 2.7 B, Tabla 2.6).

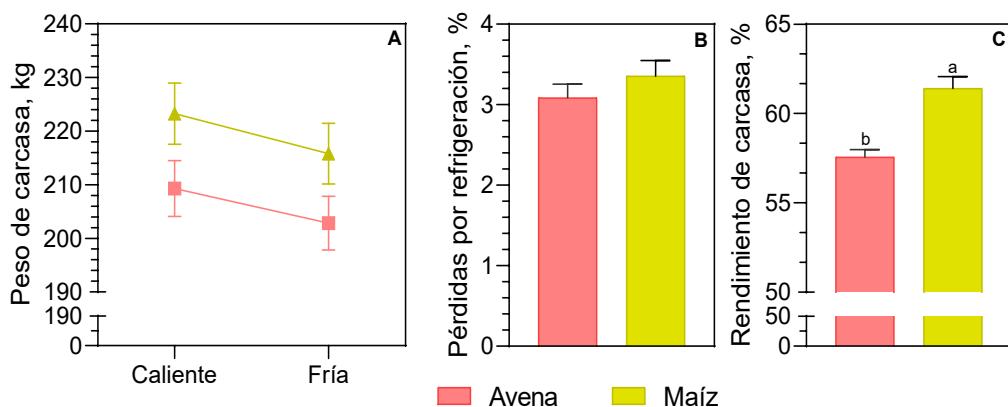


Figura 2.7. A: Peso de carcasa caliente y fría; B: pérdidas de agua por refrigeración de la carcasa; C: rendimiento de carcasa; de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.

La carne de ambos tratamientos mostró valores similares de pH tanto a 1 hora como a 24 horas *postmortem*, con promedios de 6,71 y 5,52, respectivamente (Figura 2.8, Tabla 2.5). No se observaron diferencias significativas en las pérdidas por goteo ni en las pérdidas por jugo exprimible (Tablas 2.5 y 2.6). Los valores promedio de pérdida por goteo fueron 0,81 % a las 24 horas, 1,45 % a las 48 horas, mientras que las pérdidas por jugo exprimible alcanzaron un promedio de 23,72 % (Figura 2.9 A y C). Por otro lado, la carne del tratamiento A tuvo una pérdida por cocción de 28,95 %, mientras que la del tratamiento M alcanzó 33,36 %, lo que representa una pérdida 15,14 % mayor en el tratamiento M en comparación con el tratamiento A (Figura 2.9 B, Tabla 2.6).

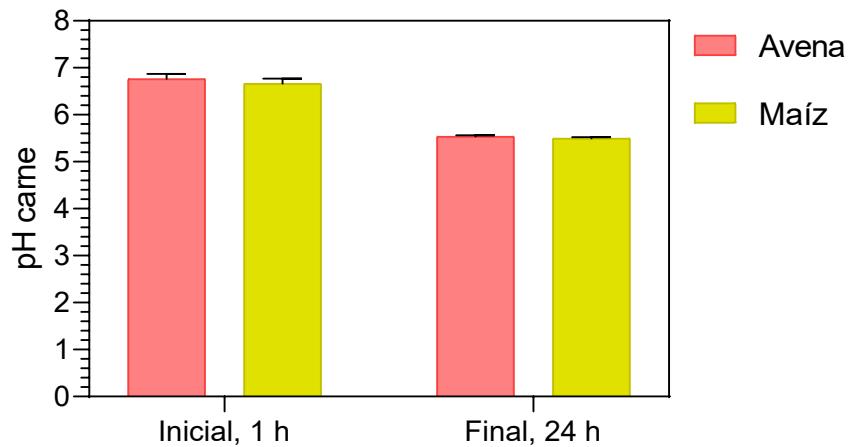


Figura 2.8. pH inicial y final (1 y 24 horas *postmortem*) de la carne de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.

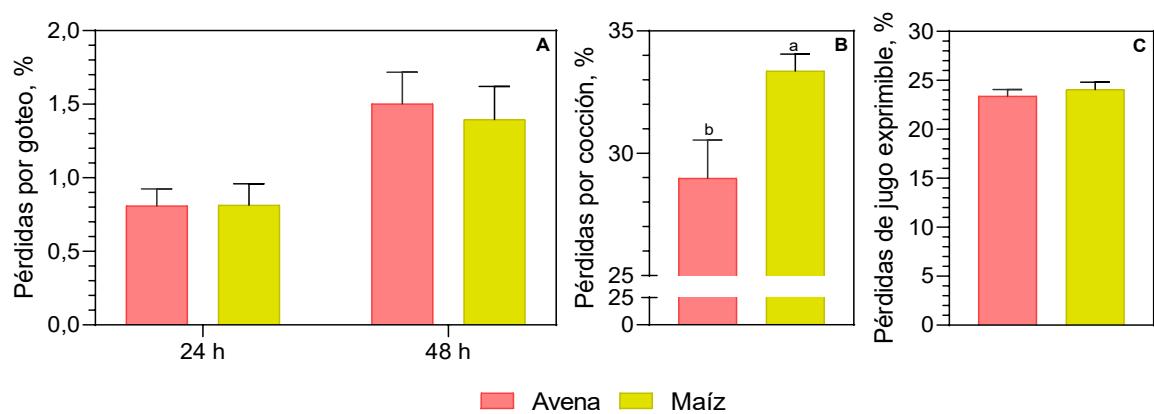


Figura 2.9. Pérdidas por goteo a 24 y 48 horas; B: pérdidas por cocción; C: pérdidas de jugo exprimible, correspondientes a la carne de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), pertenecientes al experimento de 2019.

Tabla 2.5. Máxima verosimilitud restringida para peso de carcasa, pH y pérdidas por goteo de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo e incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.

Efectos fijos	gl _{n/d}	Peso de carcasa (kg)		pH		Pérdidas por goteo (%)	
		F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/13	3,01	0,1062	0,91	0,3580	0,05	0,8347
Tiempo (T)	1/13	576,35	<0,0001	222,1	<0,0001	55,01	<0,0001
D x T	1/13	3,01	0,1066	0,15	0,7049	0,42	0,5288
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		2,55	0,0054	0,04	0,4822	2,12	0,0169
CS		-	-	-2,55	0,0108	-	-
Residuo		2,55	0,0054	2,55	0,0054	2,45	0,0072

Tabla 2.6. Máxima verosimilitud restringida para pérdidas por refrigeración, rendimiento de carcasa, pérdidas por cocción y pérdidas por jugo exprimible de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz).

Efectos fijos	gl _{n/d}	Pérdidas por refrigeración (%)		Rendimiento de carcasa (%)		Pérdidas por cocción (%)		Pérdidas de jugo exprimible (%)	
		F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/13	1,08	0,3167	21,89	0,0004	7,18	0,0189	0,42	0,5281
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,51	0,3037	1,83	0,0340	2,32	0,0102	2,04	0,0208
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-

Características de la carne madurada

No se encontraron interacciones significativas entre los tratamientos dietarios (A y M) y los tiempos de maduración (4 y 14 días) para las variables pH, luminosidad (L*), color rojo (a*), color amarillo (b*) y saturación. Por el contrario, se hallaron interacciones significativas en las variables tonalidad y pérdidas por purga y descongelado (Tabla 2.9). Por lo tanto, todas las variables se describirán en función del tipo de dieta y del período de maduración por separado.

En función del tipo de dieta

No se observaron diferencias significativas en el pH de la carne entre los tratamientos (Tablas 2.7 y 2.9). La carne de M presentó una luminosidad 5,23 % superior en comparación con la carne de A. No se encontraron diferencias en la intensidad del color rojo, del color amarillo, ni en la saturación; sin embargo, la tonalidad de la carne de M fue 2,52 % mayor que la de la carne de A. Tampoco se detectaron diferencias significativas en la magnitud de la variación total del color

(ΔE), lo que indica que la carne de ambos tratamientos dietarios sufrió cambios de color similares entre 4 y 14 días de maduración (Tablas 2.7 y 2.11).

El resultado de la ecuación CIEDE₂₀₀₀, que evalúa la percepción del color de la carne por el ojo humano, fue de 1,66 para las diferencias entre los valores promedio de la carne de A y M, quedando por debajo del umbral de diferenciación del color (valor 3). Esto sugiere que las diferencias en el color de la carne entre los tratamientos no fueron perceptibles a simple vista por el ojo humano. La Figura 2.10 muestra la representación tridimensional del color de cada una de las muestras de carne evaluadas, las cuales se distribuyen de forma uniforme en el espacio.

Tabla 2.7. pH y variables de color de la carne de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), perteneciente al experimento de 2019, luego de ser madurada, congelada y descongelada.

Variable ¹	Avena		Maíz	
	Media	EE ²	Media	EE
pH	5,54	0,02	5,53	0,02
L*	37,33	0,47	39,28	0,73
a*	24,09	0,52	24,31	0,63
b*	13,41	0,33	13,93	0,36
Tonalidad	29,08	0,25	29,82	0,17
Saturación	27,58	0,60	28,02	0,72
ΔE 4-14 días	4,02	0,62	4,91	0,91

¹L*: luminosidad; a*: color rojo; b*: color amarillo; ΔE : diferencia total del color.

²EE: error estándar de la media

No se registraron diferencias entre los tratamientos en las pérdidas por purga y descongelado ni en el contenido de materia seca de la carne. Los valores promedio obtenidos fueron 3,35 % y para las pérdidas por purga y descongelado y 25,61 % para el contenido de materia seca de la carne (Figura 2.11 A y B, Tabla 2.10 y 2.11).

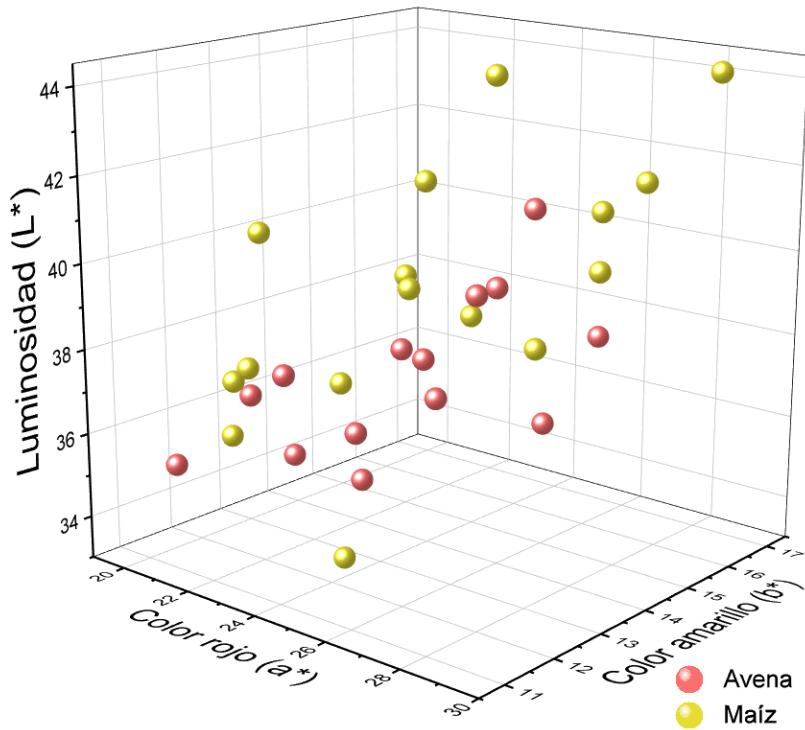


Figura 2.10. Representación tridimensional del color de la carne de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), luego de ser madurada, congelada y descongelada, pertenecientes al experimento de 2019. Cada punto representa una muestra de carne en función del tratamiento dietario: N = 2 períodos de maduración x 15 individuos (7 A y 8 M).

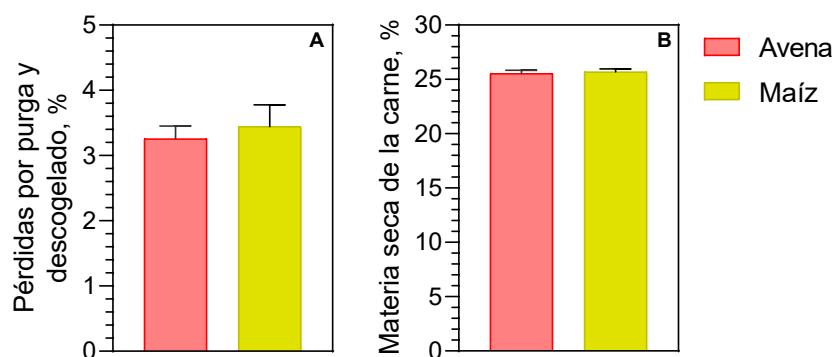


Figura 2.11. A: Pérdidas por purga y descongelado; B: materia seca de la carne, de novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M) pertenecientes al experimento de 2019.

En función del período de maduración

El pH y la tonalidad de la carne no mostraron diferencias significativas entre los diferentes períodos de maduración. No obstante, la carne madurada por 14 días presentó aumentos del 7,40 % en la luminosidad, 9,35 % en la intensidad del color rojo, 7,16 % en la intensidad del color

amarillo y 8,83 % en la saturación, respecto de la carne madurada por 4 días, independientemente del tipo de dieta consumida por los animales (Tablas 2.8 y 2.11).

Tabla 2.8. pH y variables de color de la carne de novillos madurada en húmedo por 4 o 14 días y evaluada luego del proceso de congelado y descongelado, perteneciente al experimento de 2019.

Variable ¹	4 días		14 días	
	Media	EE ²	Media	EE
pH	5,52	0,02	5,55	0,02
L*	37,00	0,56	39,74	0,60
a*	23,13	0,60	25,29	0,40
b*	13,21	0,36	14,16	0,31
Tonalidad	29,73	0,19	29,21	0,25
Saturación	26,64	0,70	28,99	0,49

¹L*: luminosidad; a*: color rojo; b*: color amarillo.

²EE: error estándar de la media

El valor correspondiente a la métrica CIEDE₂₀₀₀ para los valores promedio de la carne madurada por 4 y 14 días fue de 2,471. Este valor está por debajo de 3, indicando que las variaciones en el color de la carne debidas al período de maduración no son perceptibles a simple vista por el ojo humano. La Figura 2.12 indica la distribución tridimensional de cada una de las muestras de carne evaluadas en el espacio del color Lab*.

La carne madurada durante 14 días presentó pérdidas por purga y descongelado 49,73 % más elevadas en comparación con la carne madurada por 4 días, con valores de 4,02 % y 2,69 %, respectivamente (Figura 2.13 A, Tabla 2.10 y 2.11). Asimismo, el contenido de materia seca de la carne fue 25,01 % para la madurada durante 4 días y 26,22 % para la madurada por 14 días, representando un 4,84 % más en esta última (Figura 2.13 B, Tabla 2.10).

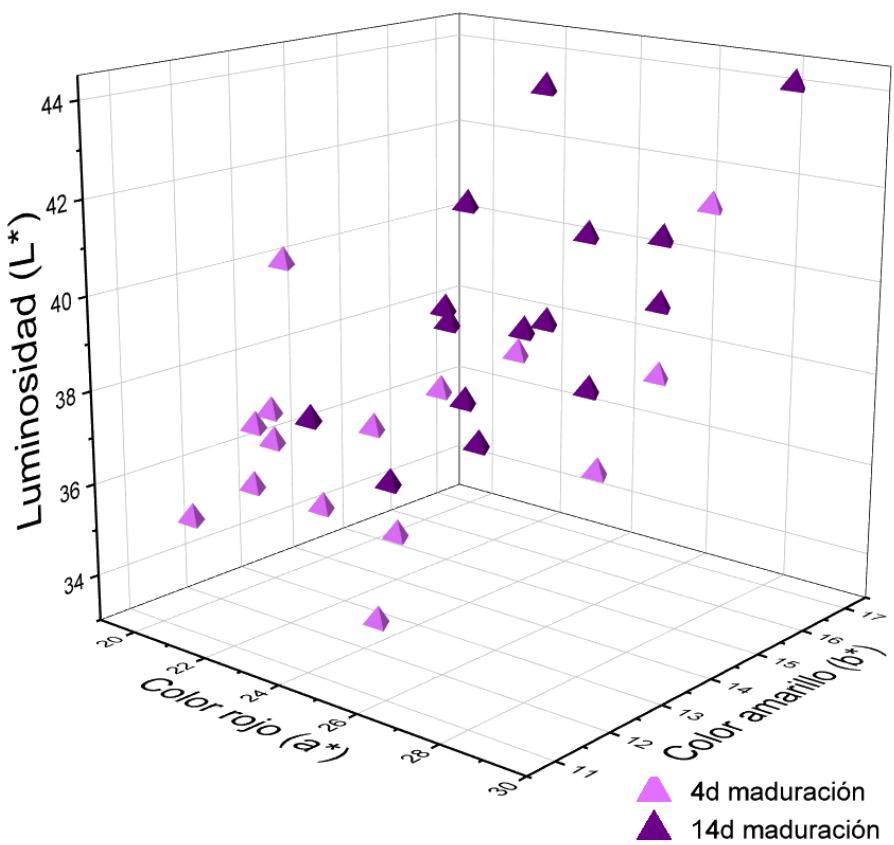


Figura 2.12. Representación tridimensional del color de la carne de novillos madurada en húmedo por 4 y 14 días y evaluada luego del proceso de congelado y descongelado, pertenecientes al experimento de 2019. Cada punto representa una muestra de carne en función del tiempo de maduración: N = 2 períodos de maduración x 17 individuos (7 A y 8 M).

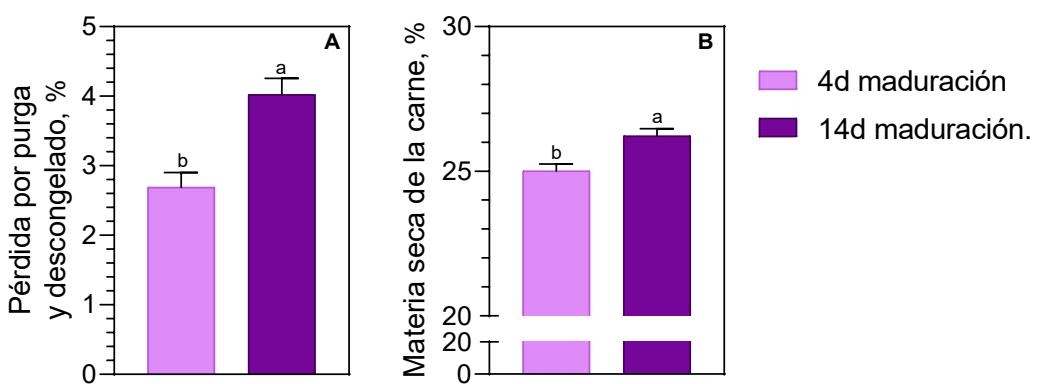


Figura 2.13. A: Pérdidas por purga y descongelado; B: materia seca, de la carne de novillos madurada en húmedo por 4 o 14 días, congelada y evaluada luego del proceso de descongelado, correspondiente al experimento de 2019.

Tabla 2.9. Máxima verosimilitud restringida para pH, L*, a*, b*, tonalidad y saturación de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz) y madurada durante dos períodos (4 y 14 días).

Efectos fijos	gl _{n/d}	pH		L*		a*		b*		Tonalidad		Saturación	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/13	0,01	0,9218	4,60	0,0515	0,06	0,8040	0,99	0,3383	5,23	0,0397	0,20	0,6647
Maduración (M)	1/13	2,5	0,1378	23,51	0,0003	14,04	0,0024	5,42	0,0367	6,51	0,0242	11,48	0,0049
D x M	1/13	3,21	0,0965	1,23	0,2875	0,81	0,2013	3,77	0,0742	6,13	0,0278	2,32	0,1518
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		1,35	0,089	1,50	0,067	1,38	0,0842	1,04	0,1493	1,25	0,1049	1,29	0,0986
Residuo		2,55	0,0054	2,55	0,0054	2,55	0,0054	2,55	0,0054	2,55	0,0054	2,55	0,0054

Tabla 2.10. Máxima verosimilitud restringida para pérdida por purga y descongelado y materia seca de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz) y madurada durante dos períodos (4 y 14 días).

Efectos fijos	gl _{n/d}	Pérdida por purga y descongelado (%)		Materia seca de la carne (%)	
		F	P	F	P
Dieta (D)	1/13	0,27	0,6141	0,13	0,7244
Maduración (M)	1/13	31,02	<0,0001	37,61	<0,0001
D x M	1/13	6,30	0,0261	0,85	0,3737
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		1,38	0,0833	2,03	0,0213
Residuo		2,55	0,0054	2,55	0,0054

Tabla 2.11. Máxima verosimilitud restringida para pérdida por purga y descongelado, tonalidad y diferencia total del color de la carne de novillos alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz) o madurada durante dos períodos (4 y 14 días).

Efectos fijos	gl _{n/d}	Pérdida por purga y descongelado (%)		Tonalidad		Diferencia total del color	
		F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/13	0,22	0,6499	5,23	0,0397	0,60	0,4517
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		-	-	0,5	0,3088	2,11	0,0173
Residuo		3,74	<0,0001	2,74	0,0031	-	-
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P		
Maduración (M)	1/13	18,00	0,0002	4,18	0,0601		
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P		
Animal (Dieta)		0,91	0,1826	1,24	0,1083		
Residuo		2,65	0,0041	2,65	0,0041		

Discusión

Los principales resultados de este capítulo indican que no se encontraron diferencias significativas en el peso vivo final, la ganancia de peso, la conversión alimenticia, el área de ojo de bife y el espesor de grasa dorsal entre los novillos alimentados con dietas basadas en grano entero de avena (A) o grano entero de maíz (M). Sin embargo, el rendimiento de carcasa fue menor en los novillos alimentados con grano de avena, mientras que la carne de los animales alimentados con grano de maíz presentó mayores pérdidas por cocción. Las diferencias de color observadas, tanto entre los tratamientos dietarios como entre los períodos de maduración, no serían perceptibles a simple vista. Por otro lado, las pérdidas por purga y descongelado, así como el contenido de materia seca de la carne, fueron afectados por el período de maduración, con valores menores en la carne madurada por 4 días en comparación con la madurada por 14 días.

Composición del grano de avena y desempeño productivo

En regiones semiáridas marginales, las restricciones climáticas y los altos costos limitan el uso del grano de maíz como fuente de energía en dietas de alta concentración energética. La avena, en cambio, es un cultivo versátil, adecuado para pastoreo o para cosecha como heno o grano y se adapta bien a estos ambientes. Los genotipos de avena disponibles en el mercado presentan contenidos variables de fibra, proteína y aceite, así como de su perfil lipídico (Martínez et al., 2010). Análisis realizados entre 15 variedades argentinas de avena mostraron rangos de extracto etéreo (EE) entre 4,87 % y 6,92 %, proteína bruta (PB) entre 8,46 % y 13,80 % y fibra en

detergente neutro (FDN) entre 32,50 % y 38,40 % (Martínez et al., 2010). Dada esta variabilidad, es importante conocer la composición nutricional del grano de avena al emplearlo en la formulación de una dieta, para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales y lograr una mejor predicción del desempeño productivo. En este experimento, el grano de avena utilizado mostró 7,33 % de EE, 13,60 % de PB y 30,78 % de FDN (Tabla A2.1 del Anexo), con valores de EE mayores y de FDN menores que los reportados previamente. El elevado contenido de aceite del grano de avena es relevante, ya que la dieta A tuvo un 77,85 % más de EE que la dieta M. Aunque los carbohidratos no estructurales de la dieta M fueron 8,12 % más altos que los de la dieta A, se espera que el mayor contenido de aceite en esta última aumente el consumo de energía del ganado, equilibrando la concentración energética de ambas dietas. Esto se refleja en los valores de EM estimados mediante el software BCNRM 2016 (NASEM, 2016b), que considera múltiples variables, incluido el contenido de aceite de los ingredientes, a diferencia de la ecuación de Rohweder et al. (1978), que estima la DIVMS únicamente a partir del contenido de FDA. Según las estimaciones de este software, las dietas A y M tendrían una concentración de 2,70 y 2,60 Mcal EM.kg⁻¹, respectivamente, lo que indicaría un consumo energético similar entre ambas dietas.

Las dietas formuladas en este experimento no contuvieron forraje y, en consecuencia, fueron deficitarias en fibra en detergente neutro efectiva (FDNe). Por este motivo, se decidió utilizar granos enteros no procesados, con el fin de evitar un aumento excesivo de la degradabilidad ruminal del almidón que desencadene episodios de acidosis. Aunque en el ganado bovino el grano de avena entero resulta menos dañado durante la masticación y, por ende, sería aprovechado menos eficientemente que el grano entero de maíz (Beauchemin et al., 1994), no se observaron diferencias en el peso vivo, la ganancia diaria de peso, la conversión alimenticia, el área de ojo de bife, el espesor de grasa dorsal y peso de las carcasas entre los tratamientos. Además, las dietas se formularon isoproteicas y similares en contenido de energía, por lo que presentaron diferencias en su composición. La dieta A incluyó un 29 % más de grano que la dieta M, mientras que esta última contenía una mayor proporción de harina de girasol y afrechillo de trigo, debido al mayor contenido de PB del grano de avena respecto del maíz (Tabla A2.1 del Anexo). Estas diferencias en los niveles de grano y harina de girasol pueden causar un efecto difícil de interpretar, por lo que la influencia de la dieta sobre las variables medidas no podría atribuirse exclusivamente al tipo de grano utilizado. No obstante, el contenido de FDN de ambas dietas fue del 32 %, lo que pudo influir de manera similar en su eficiencia de utilización (Arelovaich et al., 2008). Además, dado que la energía y la proteína son requerimientos nutricionales clave, era esperable obtener una respuesta productiva similar en ambos tratamientos.

En un estudio previo con novillos alimentados con dietas que incluían proporciones iguales de grano entero de avena o maíz, ajustadas únicamente en el nivel de PB, no se observaron diferencias en el desempeño productivo (peso vivo final, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia; Arelovich et al., 2013). Aunque la información sobre dietas formuladas con grano entero de avena o de maíz es limitada, ambos granos han sido comparados utilizando distintos métodos de procesamiento y niveles de inclusión. Por ejemplo, no se encontraron diferencias en la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia de los animales al comparar dietas con iguales proporciones de avena en copos o de maíz partido; o dietas que incluían ambos granos procesados por diferentes métodos (Dion y Seoane, 1992; Owens et al., 1997). De igual manera, la inclusión de 56 % de grano de avena o de maíz, en forma pelletizada, en dietas para terneros, resultó en una conversión alimenticia similar (Marcenac et al., 2009). Estos resultados sugieren que el grano de avena podría reemplazar al grano de maíz en dietas destinadas a ganado bovino, sin afectar de manera significativa los parámetros productivos.

Los valores de área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal obtenidos en este experimento fueron más bajos que los reportados por Pordomingo et al. (2012), pero similares a los informados por Pouzo et al. (2015) y Santin Jr et al. (2021) para novillos alimentados con cantidades variables de grano de maíz. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para estas variables, el incremento en el área de ojo de bife fue 14,93 % mayor en los novillos alimentados con A respecto a los alimentados con M, mientras que el aumento en el espesor de grasa dorsal fue 37,36 % mayor para los novillos alimentados con M respecto a los alimentados con A. De manera similar, Arelovich et al. (2013) observaron resultados comparables al evaluar dietas basadas en grano de entero de maíz o de avena en recría bovina, reportando una tasa de crecimiento del área de ojo de bife 66 % mayor en los novillos alimentados con grano de avena en comparación con los alimentados con maíz. La causa de esta diferencia aún no se ha esclarecido, pero podría estar relacionada con compuestos secundarios presentes en el grano de avena, como polifenoles y antioxidantes, que podrían actuar como promotores del crecimiento (Peterson, 2001; Serra et al., 2021). La mayor edad de los novillos utilizados en el presente experimento, en etapa de terminación (14 meses vs. 6 meses en Arelovich et al., 2013), podría explicar el menor aumento en el crecimiento del área de ojo de bife, ya que los animales tenían una menor tasa de crecimiento muscular al momento de realizar las mediciones (Lawrence et al., 2012). Sin embargo, futuros estudios utilizando animales más jóvenes deberían ser realizados para confirmar esta hipótesis, además de estudiar los compuestos secundarios del grano de avena y su posible influencia en el crecimiento animal y la composición nutricional de la carne.

Características de la carcasa y calidad de la carne

El peso de la carcasa es uno de los principales indicadores comerciales y económicos, ya que está directamente relacionado con los ingresos percibidos por el productor. En este experimento se observó una tendencia ($p = 0,0978$) hacia un mayor peso de las carcasas de los novillos alimentados con la dieta M, en comparación con aquellos alimentados con la dieta A. En consecuencia, el rendimiento de carcasa de los animales alimentados con grano de maíz fue 6,68 % superior. Este resultado podría ser relevante desde un punto de vista económico si el costo del grano de maíz resultara menor que el del grano de avena, considerando que la conversión alimenticia fue similar en ambas dietas. Además, coincide con los resultados reportados por Cattelam et al. (2018b), quienes no encontraron diferencias en el peso vivo final, peso de carcasa, ni en el área de ojo de bife, pero si observaron un rendimiento de carcasa aproximadamente 6 % menor en novillos y vaquillonas alimentados con dietas ricas en grano entero de avena, en comparación con aquellas basadas en grano entero de maíz. De manera similar, Fruet et al. (2016) observaron diferencias significativas en el rendimiento de carcasa en ovejas, donde los animales alimentados con grano entero de avena presentaron un rendimiento aproximadamente 13 % menor respecto a los alimentados con grano entero de maíz, aunque no se registraron diferencias el peso de las carcasas ni en los cortes de carne minorista. Ambos estudios atribuyen estas diferencias a un mayor contenido gastrointestinal al momento de la faena en los animales alimentados con grano de avena, en comparación con los que consumieron grano de maíz. En los estudios de Cattelam et al. (2018a) y Fruet et al., (2016), los animales alimentados con grano de avena presentaron entre 40 % y 55 % más contenido gastrointestinal respecto a los alimentados con maíz, aunque en ambos casos no se detectaron diferencias en el peso de las vísceras.

Los rendimientos de carcasa obtenidos en el presente experimento fueron superiores a los reportados en otros estudios donde se emplearon diferentes estrategias de alimentación (Chambaz et al., 2003; Pouzo et al., 2015; Cattelam et al., 2018b). Sin embargo, el peso final de los novillos utilizados en esos estudios fue considerablemente mayor que el alcanzado en este experimento (entre 424,10 y 506,44 kg, frente a 382,75 kg). Este mayor peso final podría estar asociado a un mayor nivel de engrasamiento de la carcasa, lo que implicaría que durante el proceso de faena se removiera mayor cantidad de grasa visceral en los animales más pesados y se obtuvieran menores rendimientos (Lawrence et al., 2012).

Los valores de pH a 1 y 24 horas *postmortem* no mostraron diferencias entre los tratamientos y, tras 24 horas de enfriamiento, se mantuvieron dentro del rango 5,5 – 5,8, considerado adecuado

para la carne bovina (Puolanne, 2017). Consistente con los hallazgos de Muela et al. (2010), no se observaron diferencias en las pérdidas por refrigeración, ya que ambos tratamientos mostraron valores similares de espesor de grasa dorsal, lo que resultó en un aislamiento térmico comparable entre las carcasas.

Los valores de pérdida por goteo fueron similares entre los tratamientos y menores a los reportados por Chambaz et al. (2003) para novillos. Este es un resultado favorable, ya que una mayor capacidad de retención agua dentro de la matriz proteica contribuye directamente a la jugosidad de la carne (Frank et al., 2017). La jugosidad de la carne también se ve afectada por la pérdida de líquido durante la cocción, dado que mayores pérdidas se asocian con una menor jugosidad, afectando la calidad percibida por el consumidor (Kim et al., 2018). Por este motivo, la pérdida por cocción constituye una variable de gran interés tanto desde el punto de vista sensorial como económico (Aaslyng et al., 2003). En este experimento, las diferencias observadas en las pérdidas por cocción entre los tratamientos sugieren que la carne de novillos alimentados con la dieta M podría ser menos jugosa que la de aquellos alimentados con la dieta A. Sin embargo, Cattelam et al. (2018b) no encontraron diferencias en las pérdidas por cocción entre la carne de bovinos alimentados con grano de avena o maíz. La magnitud de las pérdidas reportadas por Chambaz et al. (2003) y Cattelam et al. (2018b) fueron inferiores a las obtenidas en este experimento, mientras que Pordomingo et al. (2012) informaron valores similares a los aquí registrados. No obstante, de acuerdo con la tabla de rendimientos de cocción para carnes del USDA (Showell et al., 2012), pérdidas de agua entre 10 % y 34 % son aceptables para el corte evaluado, lo que indica que los valores obtenidos en este experimento (28,98 % para la dieta A y 33,36 % para la dieta M) se encuentran dentro del rango esperado.

Maduración de la carne

No se encontraron interacciones entre las dietas y el período de maduración, lo que indica que el tipo de grano empleado en la alimentación de los novillos no afectó el proceso de maduración de la carne. Esto se observa en la similitud de los valores de la diferencia total del color (ΔE) entre la carne de los tratamientos A y M a los 4 y 14 días de maduración. No obstante, las variables de luminosidad y tonalidad presentaron diferencias entre las dietas, siendo la carne de los animales alimentados con A más oscura y con menor tonalidad en comparación con la carne de los alimentados con M. Este resultado concuerda con Saeed et al. (2019), quienes observaron que la inclusión de grano de maíz en la dieta de corderos incrementó la luminosidad de la carne. Por otro lado, Fruet et al. (2016) no encontraron diferencias en las variables de color para ovinos alimentados con grano de avena o grano de maíz.

Las diferencias observadas en la luminosidad, color rojo, color amarillo y saturación entre los períodos de maduración indican que la carne madurada durante 14 días fue más luminosa, roja, amarilla y saturada que la madurada durante 4 días. Este comportamiento coincide con estudios previos que reportaron un aumento en los valores de luminosidad a medida que se extiende el tiempo de maduración (Kim et al., 2011; Rivaroli et al., 2020). De manera similar, otros autores han registrado incrementos en los valores de los colores rojo y amarillo con el avance del proceso de maduración (Farouk et al., 2009; Kim et al., 2015; Kim et al., 2011). El aumento en la luminosidad podría atribuirse a las modificaciones estructurales en las proteínas musculares durante la maduración, que interrumpen los canales de pérdida de humedad y atrapan físicamente el agua libre en la carne (Jayasooriya et al., 2007; Farouk et al., 2012). Esta mayor retención de agua podría afectar la dispersión de la luz, resultando en un color superficial más claro (Kim et al., 2011). Además, durante la maduración de la carne, la reducción de la actividad mitocondrial disminuye la tasa de consumo de oxígeno, lo que incrementa su disponibilidad para la mioglobina. Esta situación favorece el desarrollo del color mediante el proceso de *blooming*, generando una coloración más roja y luminosa en los cortes de carne madurados (Y.H.B. Kim et al., 2011; H.W. Kim et al., 2011).

El color, la terneza, la jugosidad y el sabor de la carne son características fundamentales que influyen en la decisión de compra de los consumidores. Dado que solo el color es perceptible a simple vista, el grado de decoloración de la carne es un indicador clave de frescura, higiene y aceptabilidad, siendo el principal determinante en la intención de compra (Mancini y Hunt, 2005). Según Holman et al. (2017), para que la carne bovina sea aceptada por el 95 % de los consumidores, debe presentar un valor de color rojo superior a 12,77 y de saturación mayor a 18. En este experimento, los valores de color obtenidos, tanto en función de los tratamientos dietarios como del período de maduración, estuvieron muy por encima de dichos umbrales, lo que sugiere un alto grado de aceptabilidad. Además, los cálculos realizados con la métrica CIEDE₂₀₀₀, que cuantifica las diferencias entre colores y las relaciona con la percepción humana, indicaron que no hubo diferencias visuales entre la carne de A y M, ni entre los períodos de maduración de 4 y 14 días (Luo et al., 2001). En ambos casos, los valores obtenidos se mantuvieron por debajo del umbral de 3, límite a partir del cual el ojo humano podría percibir diferencias entre dos colores (Pereira et al., 2020). Estos resultados también fueron respaldados por la distribución del color observada en las representaciones tridimensionales de las muestras de carne. En conjunto, pese a las diferencias estadísticas observadas en las variables de color, la carne de este experimento tendría una alta aceptabilidad y una apariencia visual similar, indetectable al ojo humano.

La carne madurada durante 14 días mostró mayores pérdidas por purga y descongelado que la madurada por 4 días. Estos resultados coinciden con lo informado por Vieira et al. (2009), quienes observaron que, en períodos de maduración entre 3 y 10 días, las pérdidas de agua por purga y descongelado aumentan conforme se prolonga el tiempo de maduración. Sin embargo, un estudio que evaluó períodos de maduración más extensos (3 a 4 semanas), reportó una mayor retención de agua con el avance del tiempo de maduración (Kim et al., 2015). Asimismo, la carne madurada durante 14 días mostró un mayor contenido de materia seca en comparación con carne madurada por 4 días. Esto era esperable, dado que la maduración durante 14 días estuvo asociada con mayores pérdidas de agua durante la descongelación, incrementando la concentración de los componentes sólidos en la carne.

Conclusión

Los resultados de este experimento permitieron evaluar el efecto de la dieta sobre el desempeño productivo y las características tecnológicas de la carne, así como el efecto del período de maduración en dichas características. De acuerdo a los resultados obtenidos, se aceptó que el grano de avena pudo reemplazar al grano de maíz en dietas de terminación sin afectar el desempeño productivo de los novillos. Tal como fue discutido, las variables de desempeño productivo no presentaron diferencias significativas, excepto por un menor rendimiento de la carcasa en los animales alimentados con grano de avena en comparación con los alimentados con maíz. Asimismo, se aceptó parcialmente que la carne de los novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena o maíz presenta características tecnológicas y organolépticas similares en fresco y durante la maduración. El pH, el color, las pérdidas de agua por goteo, jugo exponible y purga y descongelado no fueron afectados por el reemplazo de grano de maíz por grano de avena en la dieta. Sin embargo, las pérdidas por cocción fueron superiores en la carne de los novillos alimentados con dietas basadas en grano de maíz, indicando que dicha carne podría ser menos jugosa que la proveniente de animales alimentados con dietas basadas en grano de avena. Por otro lado, a medida que aumentó el tiempo de maduración, la carne madurada por 14 días tuvo un color más intenso y mayores pérdidas por purga y descongelado que la madurada por 4 días, aunque no se encontraron diferencias visualmente perceptibles entre ellas.

CAPÍTULO 3

Desempeño productivo y características de la carcasa de ovinos alimentados con dietas formuladas con diferentes fuentes energéticas y proteicas

Introducción

En Argentina, la producción tradicional de corderos se lleva a cabo predominantemente en sistemas pastoriles. Sin embargo, el engorde a corral ha ganado relevancia como una estrategia para garantizar la oferta de carne ovina en épocas de baja disponibilidad, aliviar a las madres en períodos de escasez de forraje o tras partos múltiples, y acortar el tiempo de permanencia de los animales en el campo (Ceballos, 2011; Giraudo et al., 2014). En estos sistemas intensivos, la alimentación representa entre 70 % y 80 % de los costos totales de producción (Pighin et al., 2016). Por ello, la selección de ingredientes para formular dietas de alta densidad energética en la fase de terminación, depende en gran medida de su costo y disponibilidad. Estas dietas suelen incluir una proporción significativa de granos, los cuales aportan cantidades variables de almidón y proteína degradables en el rumen (Ørskov, 1986; Humer y Zebeli, 2017).

Cuando se utilizan granos y concentrados proteicos de alta degradabilidad ruminal, como el grano de avena y la harina de girasol o de lino, el suministro de nitrógeno y energía está sincronizado. En estas condiciones, el amoníaco generado por la hidrólisis de las proteínas ingeridas se utiliza eficientemente en la síntesis de proteína microbiana, en lugar de acumularse en el rumen y ser absorbido a través de sus paredes (Huntington, 1997; Offner et al., 2003; Herzog et al., 2021). Por el contrario, al emplear granos de baja degradabilidad ruminal, como el grano de maíz, una proporción significativa de almidón escapa a la fermentación, lo que interrumpe la sincronización con la producción del amoníaco (Offner et al., 2003). En consecuencia, el amoníaco es absorbido a través de las paredes ruminales, lo que reduce la producción de proteína microbiana y disminuye la cantidad que llega al intestino delgado (Ørskov et al., 1974b; Huntington, 1997). Esto es importante, ya que una mayor cantidad de proteína disponible en el duodeno estimula la secreción de enzimas amilolíticas, lo que mejora la digestibilidad del almidón y aumenta la concentración de glucosa en la vena porta (Ørskov et al., 1970; Huntington, 1997). Por otra parte, cuando una cantidad excesiva de almidón escapa a la fermentación ruminal, la capacidad digestiva del intestino delgado puede verse superada debido a una insuficiente secreción de amilasa pancreática (Dion y Seoane, 1992; Huntington, 1997).

Durante la terminación de rumiantes en confinamiento, las dietas con alta concentración energética pueden producir carcasas con una elevada proporción de grasa, una característica poco deseable para los consumidores (Ponnampalam et al., 2004; Giraudo et al., 2014; Pighin et al., 2016). Aunque un mayor espesor de grasa dorsal ayuda a reducir la contracción de las carcasas durante la refrigeración al actuar como barrera contra la evaporación del agua contenida en los músculos, en ovinos, espesores superiores a 0,38 cm no generan una disminución adicional significativa en estas pérdidas (Smith y Carpenter, 1973; Muela et al., 2010; Pinto et al., 2011). Superar este umbral de engrasamiento no solo implica un mayor costo energético y económico, sino que también reduce la aceptación del producto por parte de los consumidores (Smith y Carpenter, 1973; Muela et al., 2010).

Por otra parte, los compuestos fenólicos, o polifenoles, presentes en la dieta pueden mejorar el desempeño animal, regular el metabolismo ruminal, mejorar el estatus sanitario y aumentar la calidad de productos derivados como carne y leche (González-Ríos et al., 2016; Cimmino et al., 2018; Vasta et al., 2019). Estos compuestos son metabolitos secundarios de las plantas y se clasifican en tres grandes grupos: flavonoides, no flavonoides y taninos (Falowo et al., 2014; Correddu et al., 2020; Hashem et al., 2020; Serra et al., 2021). Los flavonoides y no flavonoides poseen propiedades fitoestrogénicas y pueden modular el metabolismo de los rumiantes, promoviendo el crecimiento mediante la estimulación el aumento del tejido muscular a través de la síntesis de proteínas y la biodisponibilidad de los nutrientes (González-Ríos et al., 2016; Hashem et al., 2020; Serra et al., 2021; Wyse et al., 2022). La suplementación con fitoestrógenos ha mostrado efectos comparables a los de los agentes promotores de crecimiento utilizados en la terminación del ganado bovino y ha incrementado las ganancias de peso en ovinos (González-Ríos et al., 2016; Wyse et al., 2022). Por su parte, los taninos, aunque poseen un efecto astringente que puede reducir la ingesta del alimento y la digestibilidad de los nutrientes, también mejoran la eficiencia en el uso de las proteínas al unirse a ellas, disminuyendo su degradabilidad ruminal y favoreciendo un mayor flujo de aminoácidos hacia el intestino delgado (Correddu et al., 2020; Serra et al., 2021).

La mayor concentración de compuestos fenólicos se encuentra en las capas externas de los granos y semillas (Lachman et al., 1998; Serra et al., 2021). Así, al suministrar granos enteros o subproductos de la molienda y de la extracción de aceite como parte de la dieta de rumiantes, estos compuestos pueden ser aprovechados por los animales (Martín-Diana et al., 2021). La capa externa de la semilla de lino es una de las principales fuentes de compuestos no flavonoides de notable actividad fitoestrogénica y promotora del crecimiento (Adlercreutz et al., 1987; Brito

et al., 2015; Kuhnle et al., 2008, 2009a, 2009b). El uso de subproductos agroindustriales ricos en polifenoles como aditivos naturales en las dietas de rumiantes podría representar una alternativa para mejorar el desempeño productivo, la calidad de la carne y la sostenibilidad del sistema productivo al reducir la cantidad de residuos, los costos de alimentación y agregar valor a los productos animales (Cimmino et al., 2018; Correddu et al., 2020; Hashem et al., 2020).

Hipótesis

En este capítulo se plantearon las siguientes hipótesis:

1. Por su mayor concentración de lípidos, el grano de avena puede reemplazar al grano de maíz como fuente energética en dietas de terminación para corderos, sin afectar negativamente el desempeño productivo.
2. Debido a que los taninos limitan la degradación ruminal de la proteína y los compuestos no tánicos poseen actividad fitoestrogénica, una mayor concentración de compuestos fenólicos en la dieta de los corderos favorece el desarrollo del tejido muscular y reduce la acumulación de grasa en la carcasa.

Objetivos

En función de las hipótesis, los objetivos de este capítulo fueron:

1. Comparar el desempeño productivo (evolución de la ganancia de peso, ganancia diaria, consumo voluntario, conversión alimenticia, peso y rendimiento de carcasa, área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal), los parámetros sanguíneos (glucosa, urea, nitrógeno ureico) y los parámetros ruminales (pH y nitrógeno amoniacial) de corderos alimentados con dietas basadas en grano de maíz o grano de avena; y basadas en grano de avena con harina de girasol o harina de lino como fuente proteica.
2. Evaluar la concentración de compuestos fenólicos totales, tánicos y no tánicos en las dietas suministradas, su relación con los parámetros productivos (evolución de la ganancia de peso, ganancia diaria, área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal) y con su concentración en el líquido ruminal.

Materiales y métodos

Durante los años 2021, 2022 y 2023 se llevaron a cabo tres experimentos utilizando ovinos en sistemas de terminación a corral. Aunque cada experimento fue analizado en forma independiente; las dietas experimentales se fundamentaron en razonamientos basados en los

resultados de los experimentos previos. La metodología de trabajo empleada fue similar en los tres experimentos, con algunas variaciones. Por lo tanto, se presentará una descripción general del enfoque metodológico, resaltando las diferencias específicas para cada uno en particular. Todos los procedimientos experimentales se ajustaron a las normativas del Manual de Bienestar Animal de SENASA (2015) y fueron aprobados por el Comité Institucional para el Uso y Cuidado de Animales de Experimentación (CICUAE) del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

Sitio experimental

Los experimentos se llevaron a cabo en el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (DA-UNS), situado en el Campus Palihue, en la ciudad de Bahía Blanca. El predio cuenta con 20 corrales semi-techados de 3 x 3 m, cada uno equipado con su respectivo comedero y bebedero, así como con una manga, una balanza para pesar animales y corrales de trabajo (Figura 3.1 A y B). Además, las instalaciones incluyen un galpón destinado al almacenamiento de los ingredientes de las dietas, equipado con balanzas, un mixer y otros elementos necesarios para su preparación.



Figura 3.1. Instalaciones utilizadas durante los experimentos de los años 2021, 2022 y 2023, pertenecientes al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. A: Vista general; B: Detalle del interior de un corral.

Manejo general, tratamientos dietarios y características de los animales

Durante los tres experimentos se utilizaron ovinos machos castrados de aproximadamente 6 meses de edad, pertenecientes a la raza Merino Dohne y provenientes de la majada de la Chacra Experimental Napostá, bajo convenio MDA-UNS. Antes de iniciar cada experimento, los animales fueron vacunados contra *Clostridium* con dos dosis de 3 ml por individuo, administradas con un intervalo de 15 días entre ambas (Clostridial 8, Laboratorio Providean). Asimismo, fueron desparasitados internamente con Ivermectina al 3,15 % p/v, usando una dosis de 1 ml por cada 50 kg de peso vivo (Vermectín L.A., Laboratorio Over). Para el control de parásitos externos, se aplicó un antiparasitario, piojicida y repelente de insectos de formulación oleosa a base de Cipermetrina al 5 % y Carbaril al 2 %, en una dosis de 5 ml por animal (Super Synect pour-on, Laboratorio Over).

Los animales fueron alojados individualmente en corrales y, antes de iniciar los experimentos, se sometieron a un período de adaptación al ambiente, manejo y dietas. Durante este tiempo, las proporciones de los ingredientes en las dietas se ajustaron de forma progresiva hasta alcanzar los niveles objetivo de cada una de ellas. El período de adaptación fue de 26 días en el experimento 2021 y de 21 días en los experimentos de 2022 y 2023.

Los ovinos fueron alimentados todos los días, una vez al día, a las 12 p.m. Antes de ofrecer la nueva ración, se recolectó y pesó el alimento no consumido del día anterior (rechazo) de cada individuo, registrando los datos para ajustar la cantidad de alimento a ofrecer a cada animal. El ajuste se realizó de la siguiente manera: (a) si el rechazo era menor o igual a 100 g, la ración aumentaba en 100 g; (b) si el rechazo estaba entre 151 y 250 g, la ración se mantenía constante; y (c) si el rechazo superaba los 251 g durante tres días consecutivos, la ración ofrecida se reducía en 100 g.

Las raciones diarias se prepararon individualmente para cada animal. En todos los experimentos, el heno se picó para facilitar el mezclado y suministro, los granos se ofrecieron enteros, la harina de girasol se suministró en forma de pellet, y la harina de lino como expeller. Además, se añadió un suplemento vitamínico-mineral con monensina, en forma de sal (Lanares Extra, Biotécnicas S.A.) al 4 % de la ración diaria, para prevenir deficiencias y la posibilidad de urolitiasis. La composición del suplemento se detalla en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Composición del suplemento vitamínico-mineral utilizado en la formulación de las dietas durante los experimentos de 2021, 2022 y 2023.

Ingrediente	Contenido por kg
Calcio, g	264,00
Cloruro de amonio, g	175,00
Cloro, g	60,00
Sodio, g	40,00
Zinc, mg	452,00
Hierro, mg	407,00
Manganoso, mg	363,00
Cobre, mg	61,25
Yodo, mg	6,30
Selenio, mg	1,93
Cobalto, mg	0,87
Vitamina A, UI	52500,00
Vitamina D3, UI	10500,00
Vitamina E, UI	175,00
Monensina sódica, mg	740,00
Excipientes c.s.p., g	10000,00

Para garantizar el consumo uniforme del suplemento vitamínico-mineral y evitar su acumulación en el fondo del comedero, en el Laboratorio de Nutrición Animal de la UNS se preparó un jarabe azucarado con una concentración de 1 kg de azúcar comercial por litro de agua. Diariamente, y de forma separada para cada tratamiento dietario, se mezclaron en un mixer los siguientes componentes: la cantidad de heno requerida para preparar todas las raciones, el jarabe azucarado (al 1,2 % de la dieta), agua adicional según la cantidad de jarabe añadido y el suplemento vitamínico-mineral. El humedecimiento del heno con el agua y el jarabe azucarado permitió que las partículas del suplemento se adhirieran uniformemente, facilitando su distribución y asegurando un consumo homogéneo junto con el resto de la dieta. Posteriormente, las raciones individuales para cada ovino se prepararon utilizando este heno tratado. El aporte de energía metabolizable (EM, $\text{Mcal} \cdot \text{kg}^{-1}$) del jarabe azucarado fue considerado en el cálculo de la concentración energética de cada dieta, como se detalla en las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Caracterización de las dietas

El análisis de la composición química de todas las dietas se realizó siguiendo los procedimientos descriptos en el Capítulo 2, sección “*Animales, dietas y manejo general*”. La concentración de compuestos fenólicos totales, compuestos fenólicos no tánicos y tánicos se determinaron utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu (RFC) de acuerdo con la metodología de Singleton et al.

(1999) y Makkar (2003), con modificaciones. Para la extracción de los compuestos fenólicos totales, se pesaron 0,5 g de muestra seca y molida de cada ingrediente en tubos Falcon de 15 ml con tapa, a los que se les añadieron 6 ml de una solución acuosa de metanol al 50 % (v/v). Los tubos se agitaron con vórtex, se colocaron en un baño de ultrasonido durante 20 minutos y se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante fue recuperado en un matraz y llevado a un volumen final de 10 ml con solución acuosa de metanol al 50 %. Para la determinación de compuestos fenólicos totales, se tomó una alícuota de 0,20 ml de cada extracto, que se mezcló con 0,15 ml de RFC, 0,75 ml de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y agua desionizada hasta completar un volumen final de 3 ml. Los tubos se incubaron en oscuridad durante 2 horas para permitir el desarrollo del color azul, y la concentración de compuestos fenólicos totales se cuantificó mediante la medición de la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 265 (PDA UV/VIS).

Para determinar la concentración de compuestos fenólicos no tánicos, se tomó 1 ml de cada extracto original, se mezcló con 1 ml de agua desionizada y 100 mg de polivinilpolipirrolidona (PVPP) en tubos Falcon de 15 ml con tapa. Los tubos se incubaron a 5 °C durante 15 minutos, tras lo cual se añadió 0,5 ml de ácido tricloroacético (TCA) al 50 % para precipitar los compuestos tánicos junto con el PVPP. Luego de 10 minutos, los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. Una alícuota de 0,4 ml de este sobrenadante se usó para medir los compuestos fenólicos no tánicos usando el RFC, de la misma manera que se hizo para los compuestos fenólicos totales. La curva de calibración se realizó con una solución de ácido gálico (AG) de 100 mg.l^{-1} y los contenidos de compuestos fenólicos totales y no tánicos se expresaron como mg AG.g^{-1} de carne. Los compuestos fenólicos tánicos se calcularon como la diferencia entre los compuestos fenólicos totales y los no tánicos. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados se presentan para cada dieta en las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Los ácidos grasos totales de cada uno de los ingredientes se extrajeron mediante metilación, siguiendo el procedimiento descripto por O'Fallon et al. (2007). Brevemente, 0,5 g de muestra seca y molida se colocaron en tubos Falcon de 15 ml con tapa, a los que se añadió 0,7 ml de hidróxido de potasio (KOH) 10 N en agua y 5,3 ml de metanol para liberar los ácidos grasos. Los tubos se incubaron en un baño a 55 °C durante 1,5 horas, con agitación manual cada 20 minutos. Después de enfriarlos a temperatura ambiente, se añadieron 0,58 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 24 N en agua, se mezclaron por inversión y se incubaron nuevamente a 55°C por 1,5 horas con agitación manual cada 20 minutos. Luego, se enfriaron a temperatura ambiente, se añadieron 3 ml de hexano y se agitaron vigorosamente durante 5 minutos para separar los ácidos grasos metilados. Los tubos se centrifugaron a 2000 rpm durante 5 minutos y la capa de hexano que

contenía los ácidos grasos metilados se recolectó en viales para cromatografía de gases y se mantuvieron refrigerados a -20 °C hasta su análisis. Las fracciones de ácidos grasos se cuantificaron mediante cromatografía de gases, sistema Agilent 7820^a, equipado con una columna capilar Supelco 2380 de 30 m x 0,25 mm, 0,2 µm (Supelco INC., Bellefonte, PA, USA) y un detector de ionización en llama. Las temperaturas del inyector y del detector se programaron a 220 °C; se inyectaron 0,8 µl de cada muestra con una relación de split de 50:1, a una temperatura inicial de 170°C sostenida durante 15 minutos, aumentando a 210 °C a una tasa de 4 °C por minuto y sostenida durante 10 minutos. Se utilizó hidrógeno como portador a un flujo de 18,4 cm³.s⁻¹. La proporción de los ácidos grasos de cada dieta se detalla en las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

A continuación, se detallan las características particulares de cada uno de los tres experimentos:

Experimento 2021

En el experimento de 2021, se utilizaron 18 ovinos con un peso promedio inicial de $40,09 \pm 2,64$ kg. Los animales fueron asignados aleatoriamente a tres grupos ($n = 6$), cada uno de los cuales recibió una de las siguientes dietas: (i) control, basada en heno (H); (ii) basada en grano entero de avena (A) y (iii) basada en grano entero de maíz (M). Las dietas se formularon en dos etapas consecutivas con diferentes niveles de inclusión de grano: Etapa 1, con 45 % de grano y 15,5 % de proteína bruta (PB), y Etapa 2, con 60 % de grano y 13 % de PB. La dieta H no incluyó grano, pero se ajustó para alcanzar niveles de PB equivalentes a los de las dietas A y M (Tabla 3.2). La Etapa 1 tuvo una duración de 21 días, tras los cuales los ovinos pasaron por un segundo período de adaptación de 10 días para realizar la transición a las dietas de la Etapa 2. Esta segunda etapa se extendió durante 39 días. Desde el inicio de la Etapa 1 hasta su finalización, el experimento tuvo una duración de 70 días.

La composición química y el perfil de los ácidos grasos de los ingredientes que conformaron las dietas se presentan en las Tablas A3.2 y A3.3 del Anexo, respectivamente. Por motivos ajenos al experimento, uno de los ovinos asignados al tratamiento M tuvo que ser retirado, por lo que los análisis estadísticos de ese tratamiento se realizaron con cinco animales.

Experimento 2022

En el experimento de 2022 se utilizaron 20 ovinos con un peso promedio inicial de $42,93 \pm 3,90$ kg. Los animales fueron asignados aleatoriamente a dos grupos ($n = 10$), cada uno de los cuales recibió una de las siguientes dietas: (i) basada en grano entero de avena (A) y (ii) basada en grano entero de maíz (M). Ambas dietas fueron formuladas para incluir 60 % de grano y 11 % de

PB. La composición de las dietas detalla en la Tabla 3.3, mientras que la composición química y el perfil de los ácidos grasos de los ingredientes utilizados se encuentran en las Tablas A3.4 y A3.5 del Anexo, respectivamente. El experimento tuvo una duración total de 54 días.

Experimento 2023

En el experimento 2023 se utilizaron 20 ovinos con un peso promedio inicial de $44,07 \pm 6,16$ kg. Los animales fueron asignados aleatoriamente a dos grupos ($n = 10$), cada uno de los cuales recibió una de las siguientes dietas: (i) basada en harina de girasol (G) y (ii) basada en harina de lino (L). Ambas dietas fueron formuladas con 60 % de grano entero de avena y 13,5 % de PB. La composición de las dietas se presenta en la Tabla 3.4, mientras que la composición química y el perfil de los ácidos grasos de los ingredientes utilizados se detallan en las Tablas A3.6 y A3.7 del Anexo, respectivamente. El período experimental tuvo una duración de 55 días.

Finalización de los experimentos

Los tres experimentos concluyeron cuando los ovinos alcanzaron un peso vivo promedio de aproximadamente 50 kg. Posteriormente, los animales fueron trasladados a un frigorífico comercial (Frigorífico Sur S.A., habilitado por SENASA, matrícula 7932, ubicado en la localidad de Médanos, provincia de Buenos Aires) para su sacrificio. El procedimiento se llevó a cabo por parte del personal del frigorífico, cumpliendo con los protocolos y normativas de seguridad establecidos por SENASA, tras un período de ayuno de 16 horas.

Tabla 3.2. Ingredientes, composición química y proporción de los ácidos grasos de dietas basadas en heno (H), grano de avena (A) o grano de maíz (M), suministradas a ovinos durante el experimento de 2021.

Ingredientes, % MS	Etapa 1			Etapa 2		
	Heno	Avena	Maíz	Heno	Avena	Maíz
Grano entero de avena	-	45	-	-	60	-
Grano entero de maíz	-	-	45	-	-	60
Heno de pastura polifítica*	89	38	37	99	32	30
Harina de girasol	11	17	18	1	8	10
Suplemento vitamínico-mineral	Al 4 % de la ración diaria					
Composición química¹						
MS, %	92,14	91,23	89,41	92,41	91,21	88,77
PB, %	15,50	15,50	15,50	13,00	13,00	13,00
FDN, %	59,39	49,42	47,76	61,34	48,04	45,83
FDA, %	43,29	31,64	24,82	44,89	29,35	20,27
DIVMS, %	55,18	64,26	69,56	53,93	66,93	73,11
EE, %	2,16	3,84	3,11	2,24	4,48	3,52
Cenizas, %	6,12	4,86	3,77	6,12	4,45	2,98
EM, Mcal.kg ⁻¹ MS	1,99	2,32	2,51	1,95	2,38	2,64
Compuestos fenólicos totales, mg.g ⁻¹	4,41	3,44	3,47	3,83	2,54	2,57
Compuestos fenólicos no tánicos, mg.g ⁻¹	2,50	2,15	2,20	2,06	1,60	1,66
Compuestos fenólicos tánicos, mg.g ⁻¹	1,91	1,29	1,27	1,76	0,93	0,90
Composición de los ácidos grasos, %						
C16:0 palmítico	28,52	23,55	19,37	30,04	23,42	17,84
C18:0 esteárico	7,37	5,51	4,90	7,46	4,98	4,17
C18:1n-9 oleico	9,18	25,16	18,73	8,05	29,35	20,78
C18:2n-6 linoleico	15,85	24,44	36,84	12,10	23,56	40,09
C18:3-n 3 α-linolénico	9,27	4,29	4,57	10,29	3,65	4,02
No definidos	9,43	5,91	5,15	9,95	5,26	4,25
Sumas parciales de ácidos grasos², %						
SFA	47,43	34,97	30,09	50,04	33,42	26,91
UFA	43,14	59,11	64,76	40,02	61,32	68,84
MUFA	16,69	29,07	22,73	16,20	32,70	24,25
PUFA	26,45	30,04	42,03	23,82	28,61	44,59
PUFA:SFA	0,64	1,01	2,12	0,48	0,98	2,46
n-3	9,27	4,29	4,57	10,29	3,65	4,02
n-6	16,58	24,77	37,16	12,91	23,83	40,35
n-6:n-3	1,79	5,77	8,13	1,25	6,53	10,04

*Pastura conformada por 60% de alfalfa y 40% de gramíneas

¹MS: materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; EE: extracto etéreo; EM: energía metabolizable.

²SFA: ácidos grasos saturados; UFA: ácidos grasos insaturados; MUFA: ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: ácidos grasos poliinsaturados; n-3: ácidos grasos omega 3; n-6: ácidos grasos omega 6.

Tabla 3.3. Ingredientes, composición química y proporción de los ácidos grasos de dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), suministradas a ovinos durante el experimento de 2022.

Ingredientes, % MS	Avena	Maíz
Grano entero de avena	60	-
Grano entero de maíz	-	60
Heno de agropiro	36	27
Harina de girasol	4	13
Suplemento vitamínico-mineral	Al 4 % de la ración diaria	
Composición química¹		
MS, %	90,31	87,63
PB, %	11,00	11,00
FDN, %	43,02	31,89
FDA, %	22,56	13,99
DIVMS, %	71,33	78,00
EE, %	4,82	3,47
Cenizas, %	4,58	3,19
EM, Mcal.kg ⁻¹ MS	2,62	2,86
Compuestos fenólicos totales, mg.g ⁻¹	1,70	2,37
Compuestos fenólicos no tánicos, mg.g ⁻¹	1,28	1,64
Compuestos fenólicos tánicos, mg.g ⁻¹	0,42	0,73
Composición de los ácidos grasos, %		
C16:0 palmítico	20,21	15,05
C18:0 esteárico	5,10	4,27
C18:1n-9 oleico	29,08	21,84
C18:2n-6 linoleico	22,37	40,87
C18:3n-3 α-linolénico	3,92	3,60
No definidos	6,81	4,74
Sumas parciales de ácidos grasos², %		
SFA	33,16	25,62
UFA	60,04	69,64
MUFA	32,81	24,80
PUFA	27,23	44,84
PUFA:SFA	0,95	2,44
n-3	4,09	3,73
n-6	22,80	41,20
n-6:n-3	5,57	11,04

¹MS: materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; DIVMS: digestibilidad in vitro de la materia seca; EE: extracto etéreo; EM: energía metabolizable.

²SFA: ácidos grasos saturados; UFA: ácidos grasos insaturados; MUFA: ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: ácidos grasos poliinsaturados; n-3: ácidos grasos omega 3; n-6: ácidos grasos omega 6.

Tabla 3.4. Ingredientes, composición química y proporción de los ácidos grasos de dietas basadas en grano de avena con harina de girasol (G) o harina de lino (L) como suplemento proteico, suministradas a ovinos durante el experimento de 2023.

Ingredientes, % MS	Girasol	Lino
Grano Avena	60	60
Heno de avena	30	30
Harina girasol	10	-
Harina lino	-	10
Suplemento vitamínico-mineral	Al 4 % de la ración diaria	
Composición química¹		
MS, %	92,54	93,15
PB, %	13,50	13,50
FDN, %	42,94	42,85
FDA, %	22,70	22,23
DIVMS, %	71,21	71,58
EE, %	4,74	4,33
Cenizas, %	4,42	5,32
EM, Mcal.kg ⁻¹ MS	2,61	2,63
Compuestos fenólicos totales, mg.g ⁻¹	2,29	1,72
Compuestos fenólicos no tánicos, mg.g ⁻¹	1,65	1,25
Compuestos fenólicos tánicos, mg.g ⁻¹	0,64	0,47
Composición de los ácidos grasos, %		
C16:0 palmítico	20,69	20,00
C18:0 esteárico	2,97	2,78
C18:1n-9 oleico	30,86	31,12
C18:2n-6 linoleico	27,72	24,52
C18:3-n 3 α-linolénico	3,25	7,79
No definidos	6,98	6,55
Sumas parciales de ácidos grasos², %		
SFA	27,86	26,84
UFA	65,17	66,61
MUFA	33,58	33,71
PUFA	31,59	32,90
PUFA:SFA	1,32	1,55
n-3	3,41	7,95
n-6	27,91	24,71
n-6:n-3	8,19	3,11

¹MS: materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; DIVMS: digestibilidad in vitro de la materia seca; EE: extracto etéreo; EM: energía metabolizable.

²SFA: ácidos grasos saturados; UFA: ácidos grasos insaturados; MUFA: ácidos grasos monoinsaturados; PUFA: ácidos grasos poliinsaturados; n-3: ácidos grasos omega 3; n-6: ácidos grasos omega 6.

Evaluación del desempeño productivo

In vivo

El peso vivo (PV, kg) de los animales se registró durante todo el experimento, una vez por semana, antes del suministro de la ración diaria. Además de realizar un seguimiento de la evolución del PV, se calculó la ganancia de peso acumulada y la ganancia diaria de peso. Todos los días se registró la cantidad de alimento ofrecido y rechazado para determinar el consumo de materia seca (MS, kg) diario y acumulado. Además, durante cinco días consecutivos, se recolectaron, pesaron y conservaron los rechazos individuales de cada animal para su posterior análisis de la composición química, lo que permitió calcular el consumo diario y acumulado de fibra en detergente neutro (FDN, kg), fibra en detergente ácido (FDA, kg), proteína bruta (PB, kg) y energía metabolizable (EM, Mcal). También se calculó la conversión alimenticia como kg de MS consumidos por kg de ganancia de peso y se determinó la cantidad de PB y de EM consumidas por kg de ganancia de peso.

Durante la última semana de los experimentos de 2021 y 2023, se tomaron muestras de sangre mediante venopunción yugular, las cuales se enviaron a un laboratorio comercial para analizar los niveles de glucosa (g.l^{-1}), urea (g.l^{-1}) y nitrógeno ureico (BUN, g.l^{-1}). Este procedimiento no se pudo realizar en el experimento de 2022.

Líquido ruminal

Inmediatamente después del sacrificio, se recolectó una porción del contenido ruminal de cada animal en frascos identificados para medir su pH (Herzog et al., 2021). Los frascos fueron enfriados rápidamente y trasladados al Laboratorio de Nutrición Animal de la UNS. Allí el contenido fue filtrado a través de cuatro capas de tela de pañal para obtener el líquido ruminal. Una alícuota del líquido filtrado se trató con 1 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 7,2 N por cada 100 ml y se congeló para su posterior análisis de nitrógeno amoniacial (N-NH_3 , mg.dl^{-1}), utilizando óxido de magnesio (MgO) según el método descripto por AOAC (2000).

Por otro lado, otra alícuota del líquido ruminal se liofilizó para realizar posteriores análisis de compuestos fenólicos totales, no tánicos y tánicos (mg.ml^{-1}). Para ello, se siguieron los mismos procedimientos descriptos en la sección “*Caracterización de las dietas*” de este Capítulo, con algunas modificaciones en la extracción. Se pesaron 0,15 g de líquido ruminal liofilizado (equivalentes a 5 ml de líquido ruminal filtrado) en un tubo Falcon de 15 ml con tapa, al que se le añadieron 5 ml de agua desionizada, dejándolo en reposo durante 1 hora a temperatura ambiente. Posteriormente, los tubos se sometieron a ultrasonido durante 20 minutos y se les

añadieron 1,25 ml de TCA al 50 % para precipitar las proteínas que pudieran interferir en la determinación de los compuestos fenólicos. Los tubos se agitaron con vórtex y se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante se recuperó en un matraz y se llevó a un volumen final de 10 ml con agua desionizada. El resto del procedimiento se realizó siguiendo los mismos procedimientos descriptos previamente en este Capítulo.

Carcasa

Luego del sacrificio de los ovinos, se registraron los pesos de las carcasas en caliente y en frío (kg). Los cálculos de pérdidas por refrigeración (%) y rendimiento de carcasa (%) se realizaron siguiendo el mismo procedimiento descripto en el Capítulo 2, sección “*Procedimiento de faena y evaluación de la carcasa*”. Luego de 24 horas *postmortem*, se recolectó una porción del músculo *Longissimus lumborum* del lado izquierdo de cada carcasa entre las vértebras 9^a y 13^a (Figura 3.2). En todos los casos, la muestra de músculo también incluyó el hueso de las vértebras. Las muestras de carne se transportaron en hielo hasta el Laboratorio de Nutrición Animal de la UNS para su procesamiento.

La superficie del bife entre las vértebras 12^a y 13^a de cada ovino, se fotografió con un teléfono Samsung Galaxy S20 FE equipado con una cámara triple (lentes ultra gran angular de 12 MP, gran angular de 12 MP y teleobjetivo de 8 MP), desde una altura fija de 40 cm y sin flash (Figura 3.2, línea azul). Las muestras se colocaron sobre una superficie blanca junto una regla, utilizada para establecer la relación pixels:mm durante el análisis de las imágenes. El área de ojo de bife (AOB, cm²) y el espesor de grasa dorsal (EGD, cm) se determinaron utilizando el software libre ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA), siguiendo el procedimiento descripto por Masouras et al. (2022).

Tras completar las mediciones, el bife correspondiente a la vértebra 13^a se deshuesó y liofilizó para análisis posteriores, los cuales se desarrollarán en el Capítulo 4. El destino de los demás bifes también se detalla en dicho capítulo.

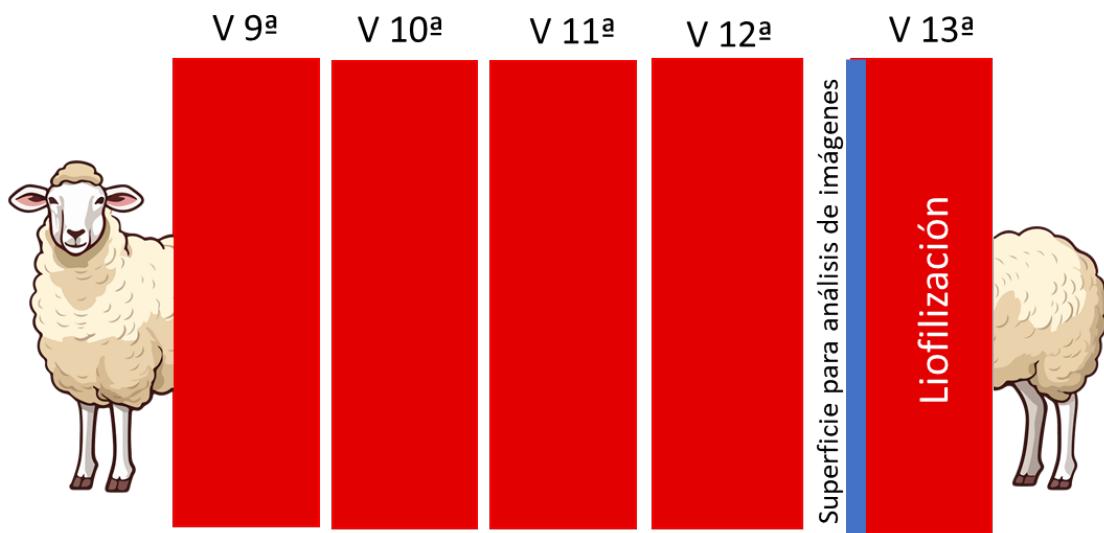


Figura 3.2. Esquema del corte del músculo *Longissimus lumborum* y su utilización para los distintos análisis durante los experimentos de 2021, 2022 y 2023. El ovino indica la posición de la cabeza del animal, V indica el número de la vértebra correspondiente a cada bife y la línea azul señala la cara sobre la que fue tomada la fotografía para realizar el análisis de imágenes.

Análisis estadísticos

Todas las variables fueron analizadas mediante modelos lineales mixtos, utilizando PROC MIXED del software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE.UU.), y considerando a los animales anidados dentro del tratamiento dietario como efecto aleatorio. Para las variables ganancia diaria de peso, consumo diario y acumulado de MS, FDN, FDA, PB y EM, conversión alimenticia, consumo de PB por kg de ganancia, consumo de EM por kg de ganancia, glucosa, urea y nitrógeno ureico en sangre, pH, nitrógeno amoniacal y concentración de compuestos fenólicos totales, tánicos y no tánicos en el líquido ruminal, pérdidas por refrigeración, rendimiento de carcasa, AOB y EGD, el tratamiento dietario (2021: H, A o M; 2022: A o M; 2023 G o L) se incluyó como efecto fijo. Para las variables evolución del peso vivo, evolución de la ganancia acumulada, peso de carcasa y evolución del consumo diario, se incluyeron como efectos fijos el tratamiento dietario (2021: H, A o M; 2022: A o M; 2023 G o L), el tiempo, considerado como medida repetida, y su interacción. En los casos en que se detectaron interacciones significativas, estas fueron exploradas individualmente para cada variable. La variabilidad del consumo diario fue evaluada mediante la prueba de Levene y las comparaciones entre medias se realizaron mediante el test de Tukey-Kramer, estableciendo un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Resultados

Los resultados fueron analizados por separado para cada experimento, sin embargo, en esta sección se presentarán agrupados por variables para facilitar la lectura e interpretación de los mismos.

Evolución y ganancia de peso

Durante la Etapa 1 del experimento 2021, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos dietarios. Sin embargo, en las últimas cuatro mediciones de la Etapa 2, los ovinos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o maíz (M) presentaron pesos vivos entre 8,05 % y 12,27 % mayores en comparación con aquellos alimentados con heno (H), respectivamente (Figura 3.3 A; Tabla 3.5). Al finalizar el experimento, los ovinos de los tratamientos A y M alcanzaron pesos de 51,24 y 52,37 kg, respectivamente, lo que representó incrementos de 9,85 % y 12,27 %, respecto al peso del tratamiento H, que fue 46,65 kg. En cuanto a las ganancias de peso acumuladas, los tratamientos M y A alcanzaron 13,23 y 10,78 kg, lo que representó incrementos del 115,53 % y 75,62 %, respectivamente, en comparación con los 6,14 kg acumulados en el tratamiento H (Figura 3.3 B; Tabla 3.5). Durante la Etapa 1, las ganancias acumuladas fueron de 5,12 kg para M, 4,59 kg para A y 2,53 kg para H, mientras que en la Etapa 2 estas alcanzaron 6,11, 5,27 y 2,84 kg, respectivamente. La ganancia diaria de peso promedio durante todo el experimento fue de $0,19 \text{ kg.d}^{-1}$ para M, $0,16 \text{ kg.d}^{-1}$ para A y $0,09 \text{ kg.d}^{-1}$ para H (Figura 3.3 C; Tabla 3.6). Las ganancias diarias de peso de los tratamientos M y A superaron en 119,23 % y 80,77 % a las del tratamiento H, respectivamente. Durante la Etapa 1, las ganancias diarias de peso fueron de 0,24, 0,22 y $0,12 \text{ kg.d}^{-1}$, mientras que en la Etapa 2 disminuyeron a 0,16, 0,13 y $0,07 \text{ kg.d}^{-1}$ para M, A y H, respectivamente.

En el experimento de 2022 no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en relación con el peso vivo ni con la ganancia de peso acumulada. Los pesos finales fueron de 50,57 kg para los ovinos alimentados con grano de avena y 47,87 kg para los alimentados con grano de maíz, mientras que las ganancias acumuladas fueron 7,14 y 5,44 kg respectivamente (Figura 3.3 D y E; Tabla 3.5). De manera similar, las ganancias diarias de peso no presentaron diferencias significativas, con valores de $0,13 \text{ kg.d}^{-1}$ para A y $0,10 \text{ kg.d}^{-1}$ para M (Figura 3.3 F; Tabla 3.6).

En el experimento de 2023 tampoco se encontraron diferencias significativas en los pesos finales de los ovinos alimentados con harina de girasol (G) o harina de lino (L), que fueron de 53,52 y 52,91 kg, respectivamente (Figura 3.3 G; Tabla 3.5). De igual forma, la ganancia de peso acumulada y la ganancia diaria de peso no mostraron diferencias significativas, con promedios

de 9,15 kg y 0,17 kg.d⁻¹ para ambos tratamientos, respectivamente (Figura 3.3 H e I; Tabla 3.6).

Consumo voluntario

Durante el experimento de 2021, no se observaron diferencias significativas en el consumo diario de materia seca (MS) entre los tratamientos a lo largo de todo el experimento, con valores de 1,34, 1,33 y 1,13 kg.d⁻¹ para los tratamientos basados en grano de maíz, grano de avena y heno, respectivamente (Figura 3.4 A; Tabla 3.8). Sin embargo, durante la Etapa 1, los consumos diarios de MS en los tratamientos A y M tendieron a ser superiores que en el tratamiento H. El consumo diario de fibra en detergente neutro (FDN) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, con un promedio general de 0,67 kg.d⁻¹ durante todo el experimento (Figura 3.4 B; Tabla 3.8). Por el contrario, el consumo diario de fibra en detergente ácido (FDA) fue 33,20 % mayor en los ovinos alimentados con heno en comparación con los alimentados con grano de avena, mientras que estos últimos consumieron 37,22 % más que los alimentados con grano de maíz (Figura 3.4 C; Tabla 3.8). Durante todo el experimento, los consumos diarios de FDA fueron 0,55, 0,41 y 0,30 kg.d⁻¹ para H, A y M, respectivamente. En la Etapa 1, los consumos diarios fueron 0,51, 0,45 y 0,33 kg.d⁻¹, mientras que en la Etapa 2 alcanzaron 0,57, 0,39 y 0,28 kg.d⁻¹ para H, A y M, respectivamente. El consumo diario de proteína bruta (PB) no mostró diferencias durante todo el experimento ni en la Etapa 2, con promedios de 0,18 y 0,16 kg.d⁻¹, respectivamente (Figura 3.4 D; Tabla 3.8). Sin embargo, en la Etapa 1, los ovinos alimentados con grano de avena presentaron un consumo diario de PB 30,48 % mayor que los alimentados con heno, registrando valores de 0,23, 0,20 y 0,18 kg.d⁻¹ para A, M y H, respectivamente. En cuanto al consumo diario de energía metabolizable (EM), los valores registrados fueron 3,50, 3,14 y 2,16 Mcal.d⁻¹ para M, A y H, respectivamente, con consumos 62,07 % y 45,64 % mayores en los tratamientos basados en grano de maíz y avena, en comparación con el basado en heno, respectivamente (Figura 3.4 E; Tabla 3.8). Durante la Etapa 1, los consumos diarios de EM fueron 3,39, 3,22 y 2,13 Mcal.d⁻¹, mientras que en la Etapa 2 alcanzaron y 3,53, 3,09 y 2,16 Mcal.d⁻¹ para M, A y H, respectivamente.

Durante el experimento 2022 no se encontraron diferencias significativas en el consumo diario de MS entre los tratamientos, con un valor promedio de 0,79 kg.d⁻¹ (Figura 3.4 F; Tabla 3.8). Sin embargo, el consumo diario de FDN en la dieta A fue 62,98 % superior al de la dieta M, con valores de 0,30 y 0,18 kg.d⁻¹, respectivamente (Figura 3.4 G; Tabla 3.8). Asimismo, el consumo diario de FDA del tratamiento A superó en 146,67 % al tratamiento M, con valores de 0,15 y 0,06 kg.d⁻¹, respectivamente (Figura 3.4 H; Tabla 3.8). Por otro lado, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en el consumo diario de PB ni de EM (Figura 3.4 I y J; Tabla

3.8). El consumo promedio de PB fue $0,10 \text{ kg.d}^{-1}$, mientras que el consumo promedio de EM promedio alcanzó $2,29 \text{ Mcal.d}^{-1}$.

En el experimento de 2023, no se observaron diferencias significativas en las variables de consumo entre los tratamientos basados en harina de girasol y harina de lino. Los valores promedio de consumo diario fueron $1,00 \text{ kg.d}^{-1}$ para MS, $0,41 \text{ kg.d}^{-1}$ para FDN, $0,22 \text{ kg.d}^{-1}$ para FDA, $0,13 \text{ kg.d}^{-1}$ para PB y $2,81 \text{ Mcal.d}^{-1}$ para EM (Figura 3.4 K-O; Tabla 3.8).

En cuanto a la evolución del consumo de materia seca, se encontraron interacciones entre el tipo de dieta y el tiempo en los tres experimentos, indicando que las dietas no se comportaron de la misma manera a medida que transcurrió el tiempo (Figura 3.5 A-C; Tabla 3.9). Asimismo, la prueba de Levene realizada para comparar la variabilidad del consumo entre los diferentes tratamientos dietarios fue significativa en los tres experimentos (Tabla 3.9). Esto indica que los corderos alimentados con un tipo de dieta mostraron diferente dispersión en el consumo diario, en comparación con los alimentados con otro tipo de dieta. En el experimento de 2021, los consumos diarios de MS oscilaron entre $0,96$ y $1,53 \text{ kg.d}^{-1}$ para los tres tratamientos (Figura 3.5 A), sin embargo, el desvío estándar de la media, fue significativamente mayor en el tratamiento M ($0,291 \text{ kg.d}^{-1}$), siendo 65,34 % y 70,18 % superior en comparación con H ($0,176 \text{ kg.d}^{-1}$) y A ($0,171 \text{ kg.d}^{-1}$), respectivamente. En el experimento de 2022, los niveles de consumo de MS fluctuaron entre $0,52$ y $1,01 \text{ kg.d}^{-1}$ para los dos tratamientos (Figura 3.5 B) y el desvío estándar de la media fue 63,93 % mayor en M ($0,300 \text{ kg.d}^{-1}$) en comparación con A ($0,183 \text{ kg.d}^{-1}$). En el experimento de 2023 los consumos de MS oscilaron entre $0,85$ y $1,20 \text{ kg.d}^{-1}$ para ambos tratamientos (Figura 3.5 C), siendo el desvío estándar de la media 41,78 % mayor en L ($0,224 \text{ kg.d}^{-1}$) en comparación con G ($0,158 \text{ kg.d}^{-1}$). Los consumos diarios individuales registrados durante todo el período experimental para cada experimento se encuentran representados en la Figura A3.2 del Anexo.

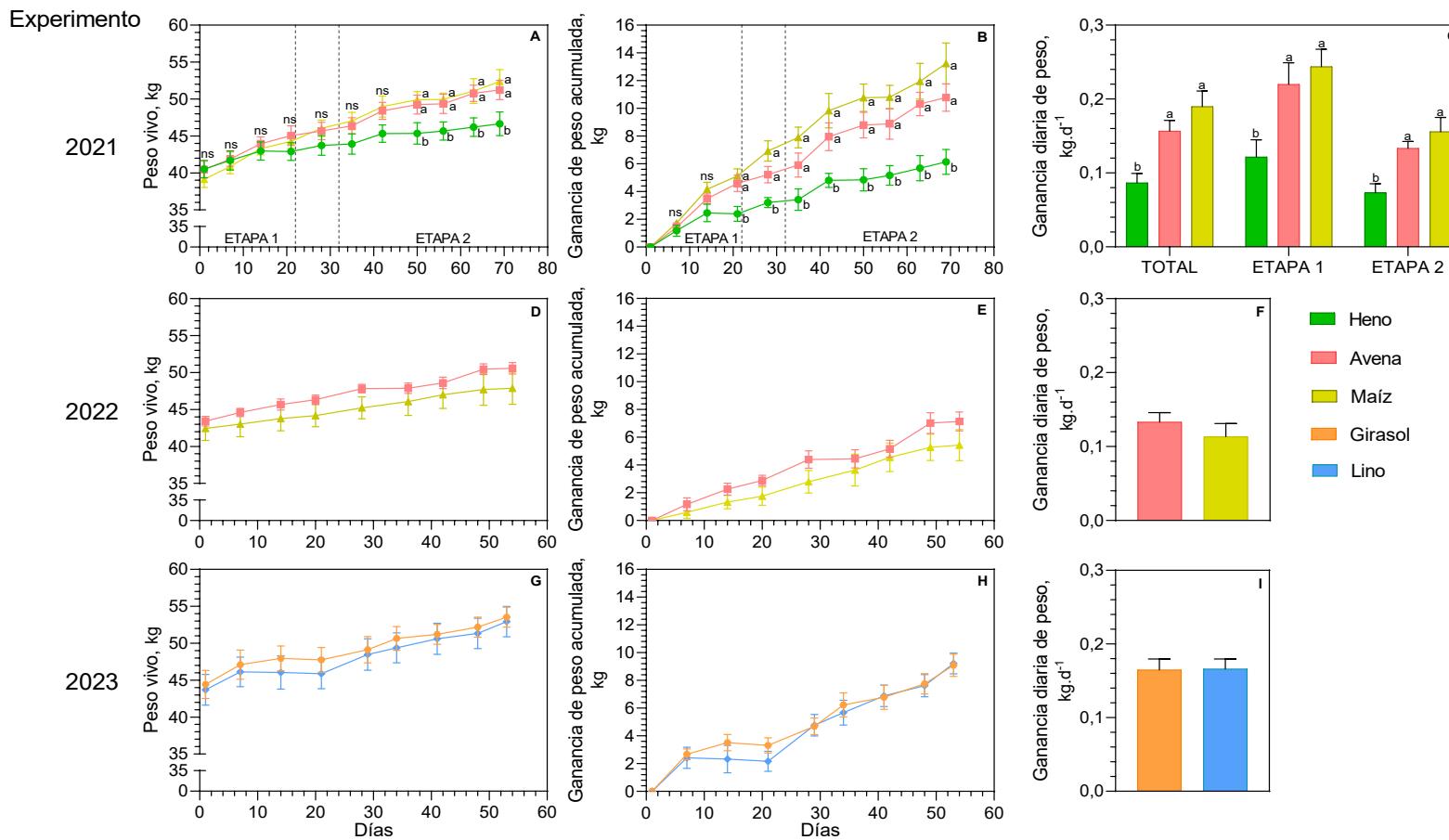


Figura 3.3. Evolución del peso vivo, evolución de la ganancia de peso acumulada y ganancia diaria de peso promedio de corderos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-C: experimento 2021 (las líneas punteadas indican el inicio y la finalización del período de acostumbramiento entre la Etapa 1 y la Etapa 2); D-F: experimento 2022; G-I: experimento 2023. ns: diferencias no significativas ($p > 0,05$); *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

Tabla 3.5. Máxima verosimilitud restringida para la evolución del peso vivo y la evolución de la ganancia de peso acumulada de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza autorregresiva.

Año	2021								2022								2023							
	Efectos fijos	gl _{n/d}	Evolución del peso vivo (kg)		Evolución ganancia de peso acumulada (kg)		gl _{n/d}	Evolución del peso vivo (kg)		Evolución ganancia de peso acumulada (kg)		gl _{n/d}	Evolución del peso vivo (kg)		Evolución ganancia de peso acumulada (kg)		gl _{n/d}	Evolución del peso vivo (kg)		gl _{n/d}	Evolución ganancia de peso acumulada (kg)			
			F	P	F	P		F	P	F	P		F	P	F	P		Z	P		Z	P		
Dieta (D)	2/14		1,58	0,2396	9,39	0,0026	1/18	1,3	0,2696	2,99	0,1009	1/18	0,16	0,6917	0,21	0,6524								
Tiempo (T)	10/140		171,1	<0,0001	170,84	<0,0001	8/144	22,71	<0,0001	23,2	<0,0001	8/144	57,1	<0,0001	52,6	<0,0001								
D x T	20/140		8,05	<0,0001	8,04	<0,0001	8/144	0,77	0,63	0,79	0,6098	8/144	0,80	0,6037	0,83	0,5733								
Efectos aleatorios			Z	P	Z	P		Z	P	Z	P		Z	P	Z	P		Z	P		Z	P		
Animal (Dieta)			2,61	0,0046	2,51	0,0060		2,68	0,0037	-	-		2,95	0,0016	1,64	0,0509								
AR(1)			0,8	0,4227	0,86	0,3892		8,01	<0,0001	13,5	<0,0001		4,61	<0,0001	4,56	<0,0001								
Residuo			7,96	<0,0001	7,9	<0,0001		4,21	<0,0001	6,65	<0,0001		5,69	<0,0001	4,05	<0,0001								

Tabla 3.6. Máxima verosimilitud restringida para la ganancia diaria de peso de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).

Año	Efectos fijos	gl _{n/d}	Ganancia diaria de peso																	
			2021						2022						2023					
			Total		Etapa 1		Etapa 2		gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P			
			F	P	F	P	F	P												
Dieta (D)	2/14		10,88	0,0014	6,37	0,0108	10,16	0,0019	1/18	1,82	0,1939	1/18	0,00	0,9608						
Efectos aleatorios			Z	P	Z	P	Z	P		Z	P		Z	P		Z	P			
Animal (Dieta)			0,00	0,4985	0,01	0,50	0,00	0,4989		0,01	0,4964		0,01	0,4976						
Residuo			-	-	-	-	-	-		-	-		-	-		-	-			

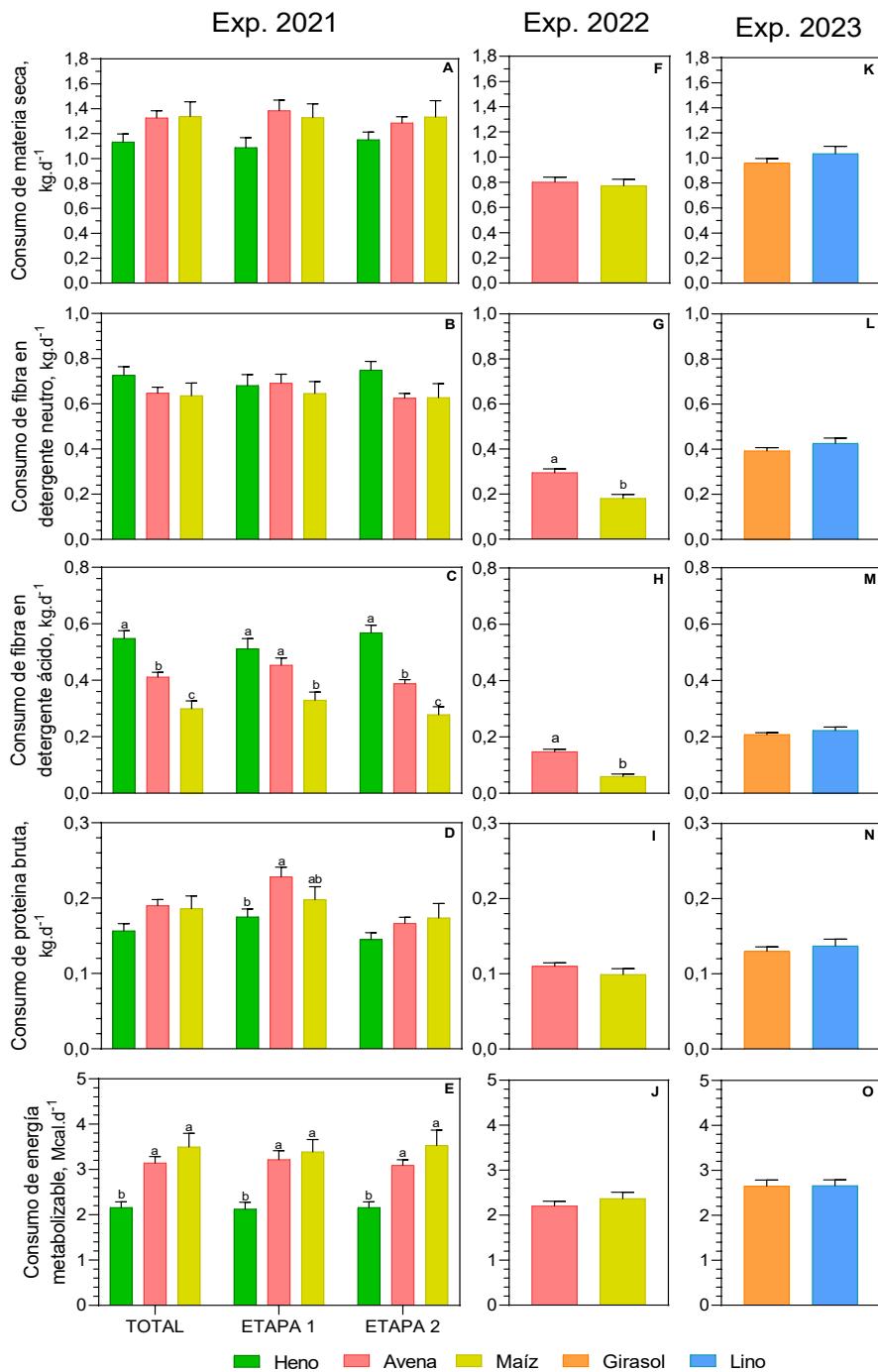


Figura 3.4. Consumo diario de materia seca (MS), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) y energía metabolizable (EM) de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-E: experimento 2021; F-J: experimento 2022; K-O: experimento 2023.

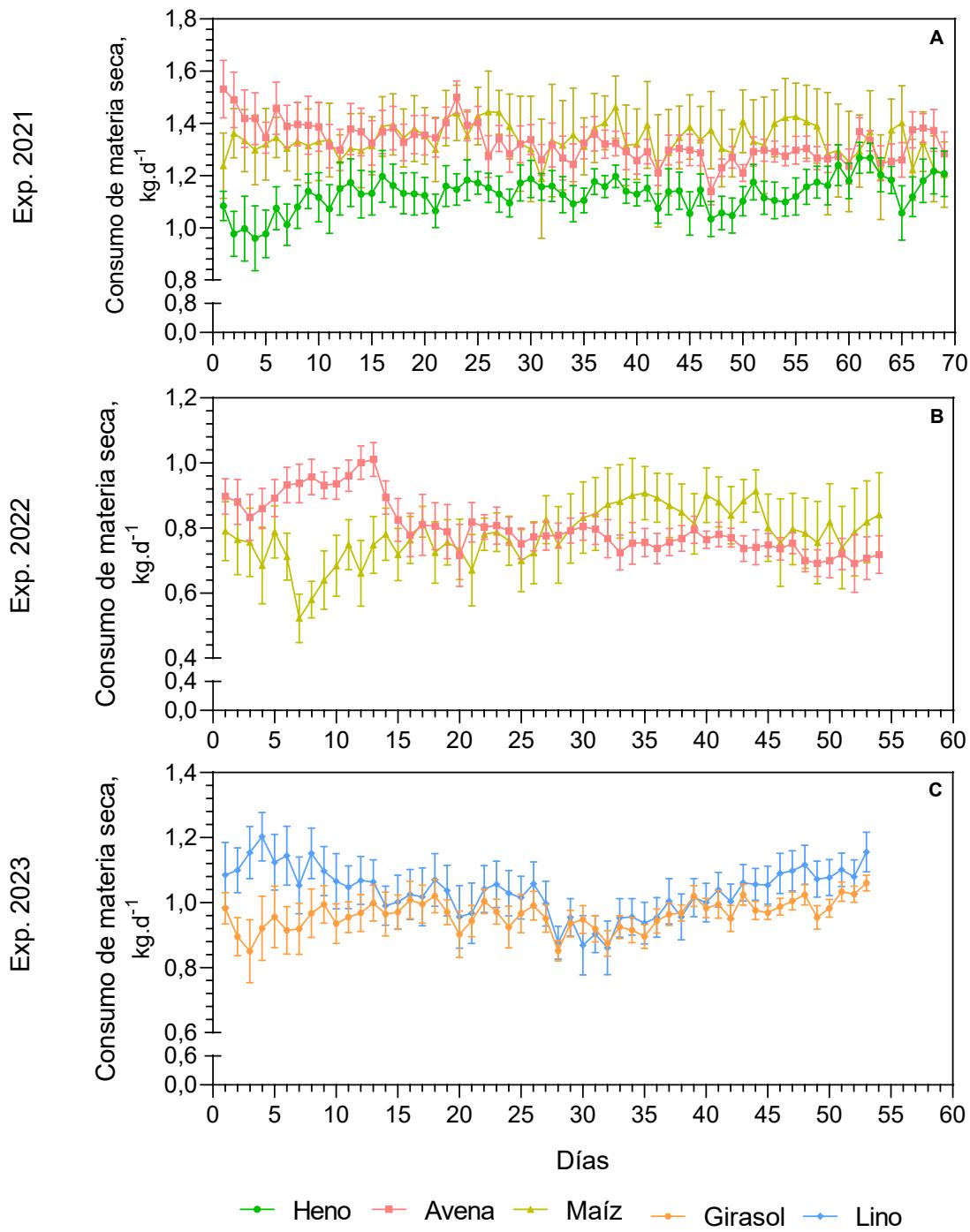


Figura 3.5. Evolución del consumo diario de materia seca (MS) y su variabilidad en ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A: experimento 2021, B: experimento 2022 y C: experimento 2023. El análisis estadístico evalúa la variabilidad del consumo voluntario de materia seca en función de los tratamientos dietarios (T), los días de experimentación (D) y su interacción (T x D).

Durante el experimento de 2021, no se observaron diferencias significativas en el consumo acumulado de MS ni de FDN entre los tratamientos (Tablas 3.7 y 3.10). En contraste, el consumo acumulado de FDA fue 32,44 % mayor en los ovinos alimentados con heno en comparación con aquellos alimentados con grano de avena, mientras que estos últimos consumieron 37,73 % más que los alimentados con grano de maíz. No se detectaron diferencias significativas en el consumo acumulado de PB entre los tratamientos. Por otro lado, el consumo acumulado de EM fue 58,42 % y 42, 11% más alto en los tratamientos M y A, en comparación con el tratamiento H, respectivamente. Durante el experimento de 2022 no se observaron diferencias significativas en el consumo acumulado de MS, PB y EM entre los tratamientos (Tablas 3.7 y 3.10). Sin embargo, el consumo acumulado de FDN en la dieta basada en grano de avena fue 62,04 % superior al de la dieta basada en grano de maíz y el consumo acumulado de FDA del tratamiento A superó en 143,97 % al tratamiento M. En el experimento de 2023, no se observaron diferencias significativas en las variables de consumo acumulado entre los tratamientos G y L (Tablas 3.7 y 3.10).

Tabla 3.7. Consumo acumulado de los diferentes nutrientes en ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) y harina de lino (L), correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.

Experimento	Variable ¹	Heno		Avena		Maíz	
		Media	EE ²	Media	EE	Media	EE
2021	Consumo MS, kg	77,84	4,34	91,48	4,04	92,31	8,10
	Consumo FDN, kg	49,96	2,64	44,85	1,80	43,99	3,86
	Consumo FDA, kg	37,73 a	1,93	28,49 b	1,11	20,69 c	1,84
	Consumo PB, kg	10,78	0,64	13,11	0,62	12,73	1,21
	Consumo EM, Mcal	160,71 b	8,57	228,39 a	10,38	254,60 a	19,99
2022		Avena		Maíz			
		Media	EE	Media	EE		
	Consumo MS, kg	43,32	2,12	42,00	2,67		
	Consumo FDN, kg	15,99 a	0,90	9,87 b	0,90		
	Consumo FDA, kg	7,99 a	0,44	3,28 b	0,43		
2023	Consumo PB, kg	5,98	0,25	5,41	0,42		
	Consumo EM, Mcal	119,23	5,74	131,87	6,92		
		Girasol		Lino			
		Media	EE	Media	EE		
	Consumo MS, kg	50,95	1,79	54,84	3,08		

¹MS: materia seca; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; PB: proteína bruta; EM: energía metabolizable.

²EE: error estándar de la media.

Tabla 3.8. Máxima verosimilitud restringida para el consumo diario de materia seca (MS), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) y energía metabolizable (EM) de corderos correspondientes a los experimentos 2021 (total, etapa 1 y etapa 2), 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).

Variable		Consumo diario MS ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$)		Consumo diario FDN ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$)		Consumo diario FDA ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$)		Consumo diario PB ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$)		Consumo diario EM ($\text{Mcal} \cdot \text{d}^{-1}$)	
2021 - Total											
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	2/14	3,22	0,0707	0,25	0,7836	8,61	0,0036	4,26	0,0360	11,3	0,0012
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,12	0,4539	0,03	0,4871	0,01	0,4944	0,00	0,4989	-	-
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	2,65	0,0041
2021 - Etapa 1											
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	2/14	3,22	0,0707	0,25	0,7836	8,61	0,0036	4,26	0,0360	11,30	0,0012
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,12	0,4539	0,03	0,4871	0,01	0,4944	0,00	0,4989	-	-
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	2,65	0,0041
2021- Etapa 2											
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	2/14	1,35	0,2919	2,57	0,1121	38,84	<0,0001	1,55	0,2461	12	0,0009
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,1	0,4618	0,03	0,4894	0,01	0,4968	0	0,4991	0,49	0,3116
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022											
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	0,20	0,6576	21,76	0,0002	55,49	<0,0001	1,45	0,2435	0,84	0,3705
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,06	0,4757	0,01	0,4964	0,00	0,4992	0,00	0,4995	0,41	0,3416
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2023											
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	1,18	0,2920	1,16	0,2396	1,13	0,3025	0,42	0,5272	0,15	0,7027
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,07	0,4736	0,01	0,496	0,00	0,4988	0,00	0,4993	0,99	0,1603
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3.9. Máxima verosimilitud restringida para la evolución del consumo diario de materia seca de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza autorregresiva. Prueba de Levene para la varianza de la evolución del consumo diario de materia seca correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.

Variable	Evolución del consumo diario de materia seca (kg.d^{-1})			Prueba de Levene	
	gl _{n/d}	F	P	F	P
2021					
Efectos fijos	gl _{n/d}				
Dieta (D)	2/14	0,21	0,1463	65,23	<0,0001
Tiempo (T)	68/952	1,59	0,0023		
D x T	136/952	1,88	<0,0001		
Efectos aleatorios		Z	P		
Animal (Dieta)		2,61	0,0046		
AR(1)		13,7	<0,0001		
Residuo		17,85	<0,0001		
2022					
Efectos fijos	gl _{n/d}				
Dieta (D)	1/18	0,13	0,7217	94,86	<0,0001
Tiempo (T)	53/954	1,99	0,1303		
D x T	53/954	2,00	<0,0001		
Efectos aleatorios		Z	P		
Animal (Dieta)		2,43	0,0075		
AR(1)		23,85	<0,0001		
Residuo		13,28	<0,0001		
2023					
Efectos fijos	gl _{n/d}				
Dieta (D)	1/18	1,17	0,2928	46,96	<0,0001
Tiempo (T)	52/936	2,69	<0,0001		
D x T	52/936	2,27	<0,0001		
Efectos aleatorios		Z	P		
Animal (Dieta)		2,89	0,0019		
AR(1)		14,58	<0,0001		
Residuo		17,08	<0,0001		

Tabla 3.10. Máxima verosimilitud restringida para el consumo acumulado de materia seca (MS), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) y energía metabolizable (EM)de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).

Variable		Consumo acumulado MS (kg)		Consumo acumulado FDN (kg)		Consumo acumulado FDA (kg)		Consumo acumulado PB (kg)		Consumo acumulado EM (Mcal)	
2021 - Total											
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	2/14	2,26	0,141	1,39	0,2815	25,98	<0,0001	2,43	0,1246	13,8	0,0005
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,6	0,0041	-	-	-	-	2,1	0,0182	2,6	0,0041
Residuo		-	-	2,65	0,0041	2,65	0,0041	-	-	-	-
2022											
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,15	0,7025	23,18	0,0001	58,9	<0,0001	1,4	0,2579	2	0,1768
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,95	0,0016	2,67	0,0038	1,96	0,0250	1,6	0,0521	3	0,0014
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2023											
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	1,26	0,276	1,68	0,2117	1,38	0,2554	0,35	0,5611	1,2	0,2917
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		3,00	0,0013	2,73	0,0031	2,24	0,0125	1,88	0,0304	3,00	0,0013
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Eficiencia

Durante el experimento de 2021, la conversión alimenticia fue significativamente mayor en el tratamiento H (14,27) en comparación con los tratamientos A (8,71) y M (7,13), que resultaron ser 50,03 % y 38,99 % más eficientes que H, respectivamente (Figura 3.6 A; Tabla 3.11). En la Etapa 1 los valores de conversión alimenticia fueron 10,74, 6,78 y 5,60, mientras que en la Etapa 2 alcanzaron 19,02, 9,42 y 8,53 para H, A y M, respectivamente. El consumo de PB por kg de ganancia de peso durante todo el experimento también fue mayor en el tratamiento H (1,97) en comparación con A (1,25) y M (0,98), siendo estos últimos 36,69 % y 50,27 % más eficientes que H, respectivamente (Figura 3.6 B; Tabla 3.11). En la Etapa 1, los consumos de PB por kg de ganancia fueron 1,76, 1,11 y 0,83, mientras que en la Etapa 2 fueron 2,31, 1,23 y 1,11 para H, A y M, respectivamente. Además, se observó una tendencia hacia un mayor consumo de EM por kg de ganancia de peso en el tratamiento H, con valores 29,56, 21,72 y 19,78 Mcal.kg⁻¹ para H, A y M, respectivamente, durante todo el experimento (Figura 3.6 C; Tabla 3.11). En el experimento de 2022, se observó una diferencia significativa en la conversión alimenticia entre el tratamiento M (8,47) y el tratamiento A (6,40), siendo este último 24,48 % más eficiente (Figura 3.6 D; Tabla 3.11). Respecto al consumo de PB por kg de ganancia, no se encontraron diferencias significativas, con un valor promedio de 0,99 para ambos tratamientos (Figura 3.6 E; Tabla 3.11). Por otro lado, se detectó una tendencia hacia un menor consumo de EM por kg de ganancia de peso en el tratamiento A (17,21 Mcal.kg⁻¹), en comparación con el tratamiento M (25,45 Mcal.kg⁻¹, Figura 3.6 F; Tabla 3.11).

En el experimento de 2023, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en la conversión alimenticia, el consumo de PB ni el consumo de EM, ambos expresados por kg de ganancia de peso. Los valores promedio para ambos tratamientos fueron 6,13 para conversión alimenticia, 0,82 para consumo de PB por kg de ganancia de peso y 16,30 Mcal.kg⁻¹ para el consumo de EM por kg de ganancia de peso (Figura 3.6 G-I; Tabla 3.11).

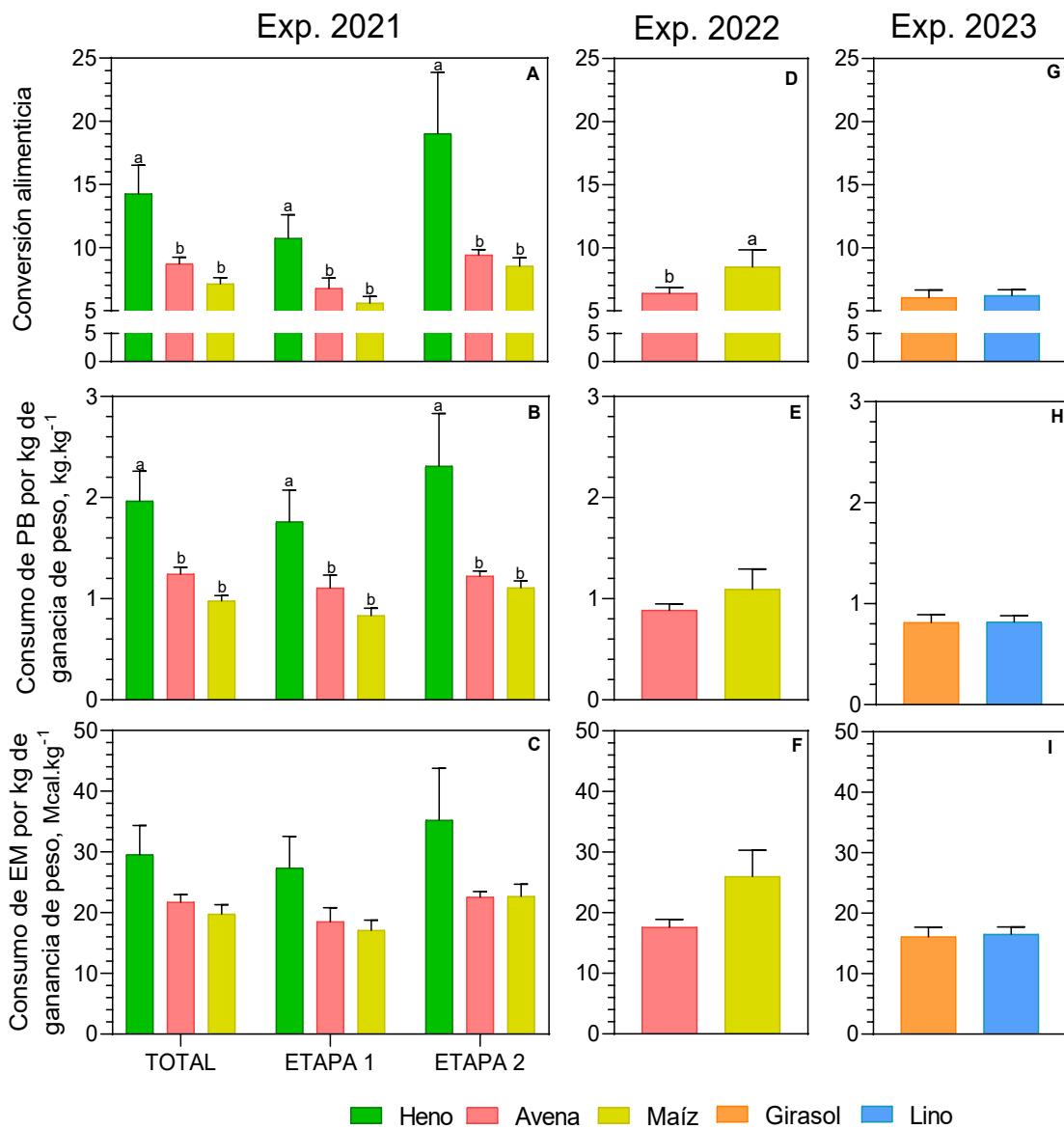


Figura 3.6. Conversión alimenticia, consumo de proteína bruta (PB) por kilogramo de ganancia de peso y consumo de energía metabolizable (EM) por kilogramo de ganancia de peso en ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano entero de avena (A), grano entero de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino(L). A-C: experimento 2021; D-F: experimento 2022; G-I: experimento 2023.

Tabla 3.11. Máxima verosimilitud restringida para conversión alimenticia, consumo de proteína bruta (PB) por kg de ganancia y consumo de energía metabolizable (EM) por kg de ganancia de corderos correspondientes a los experimentos 2021 (total, etapa 1 y etapa 2), 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).

Variable		Conversión alimenticia		Consumo PB por kg de ganancia ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)		Consumo EM por kg de ganancia ($\text{Mcal} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
2021 - Total							
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	2/14	6,78	0,0087	7,43	0,0063	2,74	0,0989
2021 - Etapa 1							
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	2/14	4,51	0,0307	5,01	0,0229	2,42	0,1252
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,44	0,0074	0,44	0,3304	2,6	0,0047
Residuo		-	-	-	-	-	-
2021- Etapa 2							
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	2/14	3,78	0,0487	4,32	0,0345	1,90	0,1865
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,60	0,0047	0,98	0,1637	2,63	0,0043
Residuo		-	-	-	-	-	-
2022							
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	2,62	0,0044	0,08	0,3136	3,77	0,0690
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,27	0,1499	0,47	0,3203	2,88	0,0020
Residuo		-	-	-	-	-	-
2023							
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,04	0,8402	0,00	0,9686	0,04	0,8401
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,22	0,0131	0,14	0,4429	2,86	0,0021
Residuo		-	-	-	-	-	-

Parámetros sanguíneos

En los experimentos realizados en 2021 y 2023, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en los parámetros sanguíneos analizados (Tabla 3.11). En el experimento de 2021, los valores promedio registrados fueron de $0,66 \text{ g.l}^{-1}$ para glucosa, $0,88 \text{ g.l}^{-1}$ para urea y $0,41 \text{ g.l}^{-1}$ para nitrógeno ureico en sangre (Figura 3.7 A-C). Por su parte, para el experimento de 2023, los valores promedio obtenidos en ambos grupos fueron $0,73 \text{ g.l}^{-1}$ para glucosa, $0,37 \text{ g.l}^{-1}$

para urea y $0,17 \text{ g.l}^{-1}$ para nitrógeno ureico en sangre (Figura 3.7 D-F). Cabe destacar que en el experimento de 2022 no fue posible realizar las extracciones sanguíneas.

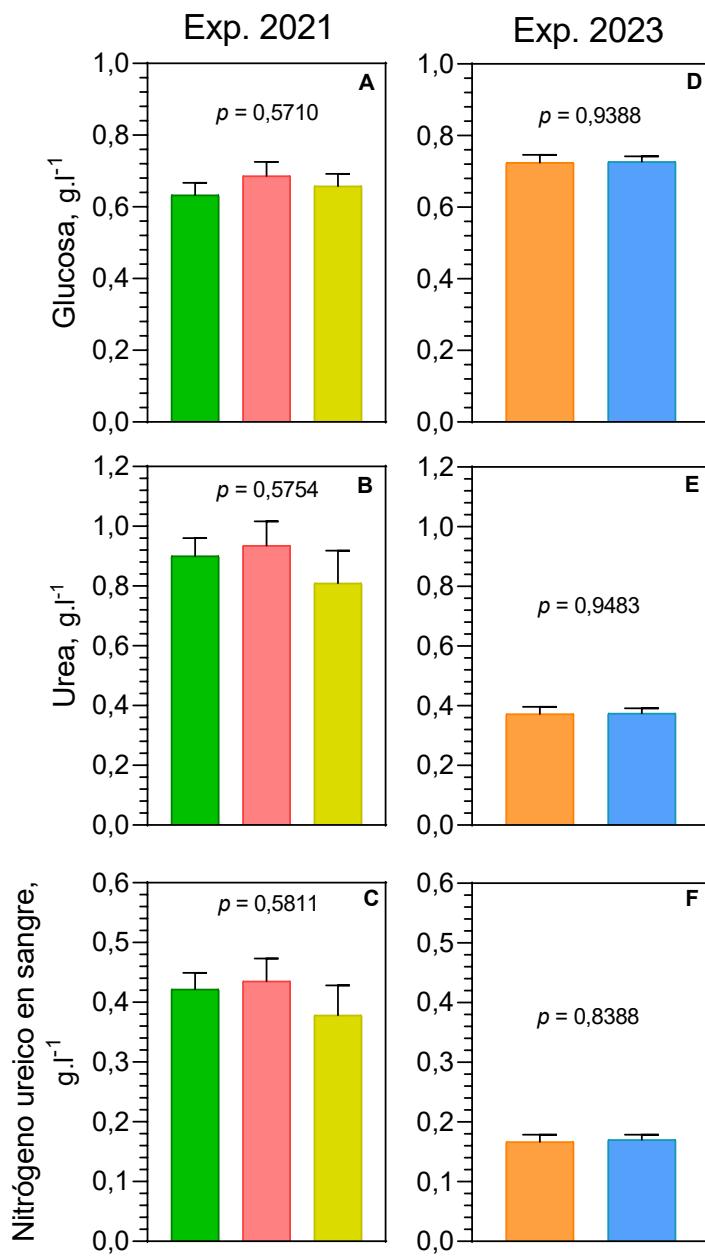


Figura 3.7. Concentración sanguínea de glucosa, urea y nitrógeno ureico en ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano entero de avena (A), grano entero de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-C: experimento 2021; D-F: experimento 2023.

Tabla 3.12. Máxima verosimilitud restringida para la concentración sanguínea de glucosa, urea y nitrógeno ureico correspondiente a los ovinos de los experimentos 2021 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).

Variable		Glucosa (g.l ⁻¹)		Urea (g.l ⁻¹)		Nitrógeno ureico en sangre (g.l ⁻¹)	
2021							
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	2/14	0,58	0,5710	0,58	0,5754	0,56	0,5811
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		0,02	0,4923	0,10	0,4608	0,02	0,4912
Residuo		-	-	-	-	-	-
2023							
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,01	0,9388	0,00	0,9483	0,04	0,8388
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		0,01	0,4961	0,01	0,4945	0,00	0,4987
Residuo		-	-	-	-	-	-

Líquido ruminal

En el experimento de 2021 no se encontraron diferencias significativas entre los valores de pH del líquido ruminal luego del sacrificio. No obstante, se detectó una tendencia hacia un valor de pH más bajo en el tratamiento M (Figura 3.8 A; Tabla 3.13). Los valores de pH fueron 6,92, 6,51 y 6,32 para los tratamientos H, A y M, respectivamente. En cuanto a la concentración de nitrógeno amoniacial, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos; aunque, la concentración en los ovinos alimentados con la dieta A fue 22,80 % y 27,70 % menor que H y M, respectivamente (Figura 3.8 B; Tabla 3.13). Los valores reportados fueron 22,24, 20,83 y 16,08 mg N.dL⁻¹ de líquido ruminal para M, H y A, respectivamente. En relación con los compuestos fenólicos totales, se observó una concentración 51,00 % mayor en el tratamiento M (5,97 mg.ml⁻¹) en comparación con H (3,96 mg.ml⁻¹), siendo el valor de A intermedio (4,90 mg.ml⁻¹, Figura 3.8 C; Tabla 3.13). Además, los ovinos alimentados con M presentaron una mayor concentración de compuestos fenólicos tánicos (2,15 mg.ml⁻¹) en comparación con A (1,46 mg.ml⁻¹) y H (1,44 mg.ml⁻¹), con incrementos del 47,49 % y 49,20 %, respectivamente. También se observó una tendencia hacia mayores concentraciones de compuestos fenólicos no tánicos en los tratamientos M (3,83 mg.ml⁻¹) y A (3,45 mg.ml⁻¹), en comparación con H (2,42 mg.ml⁻¹).

En el experimento de 2022 no se encontraron diferencias significativas en el pH del líquido ruminal, con un valor promedio de 6,21 para ambos tratamientos (Figura 3.8 D; Tabla 3.13). Sin embargo, la concentración de nitrógeno amoniacal fue 59,45 % mayor en los ovinos alimentados con M ($16,46 \text{ mg N.}100 \text{ ml}^{-1}$) en comparación con aquellos alimentados con A ($10,32 \text{ mg N.dL}^{-1}$, Figura 3.8 E; Tabla 3.13). No se observaron diferencias en la concentración de compuestos fenólicos totales, no tánicos y tánicos, cuyos valores promedio fueron $6,01$, $3,92$ y $2,10 \text{ mg.ml}^{-1}$, respectivamente, para ambos tratamientos (Figura 3.8 F; Tabla 3.13).

En el experimento de 2023, no se hallaron diferencias en el pH del líquido ruminal cuyo valor promedio fue 7,01 para ambos tratamientos, ni en la concentración de nitrógeno amoniacal, con un promedio de $15,03 \text{ mg N.dL}^{-1}$ (Figura 3.8 G y H; Tabla 3.13). Tampoco se observaron diferencias en la concentración de compuestos fenólicos totales, no tánicos y tánicos en el líquido ruminal (Figura 3.8 I; Tabla 3.13), con valores promedio de $6,68$, $4,19$ Y $2,49 \text{ mg.ml}^{-1}$, respectivamente.

A lo largo de los tres experimentos, las proporciones de compuestos fenólicos no tánicos y tánicos en el líquido ruminal se mantuvieron consistentes con las proporciones suministradas en las dietas. La proporción de compuestos no tánicos varió entre 60,81 % y 70,33 %, mientras que la de compuestos tánicos fluctuó entre 29,67 % y 39,19 %.

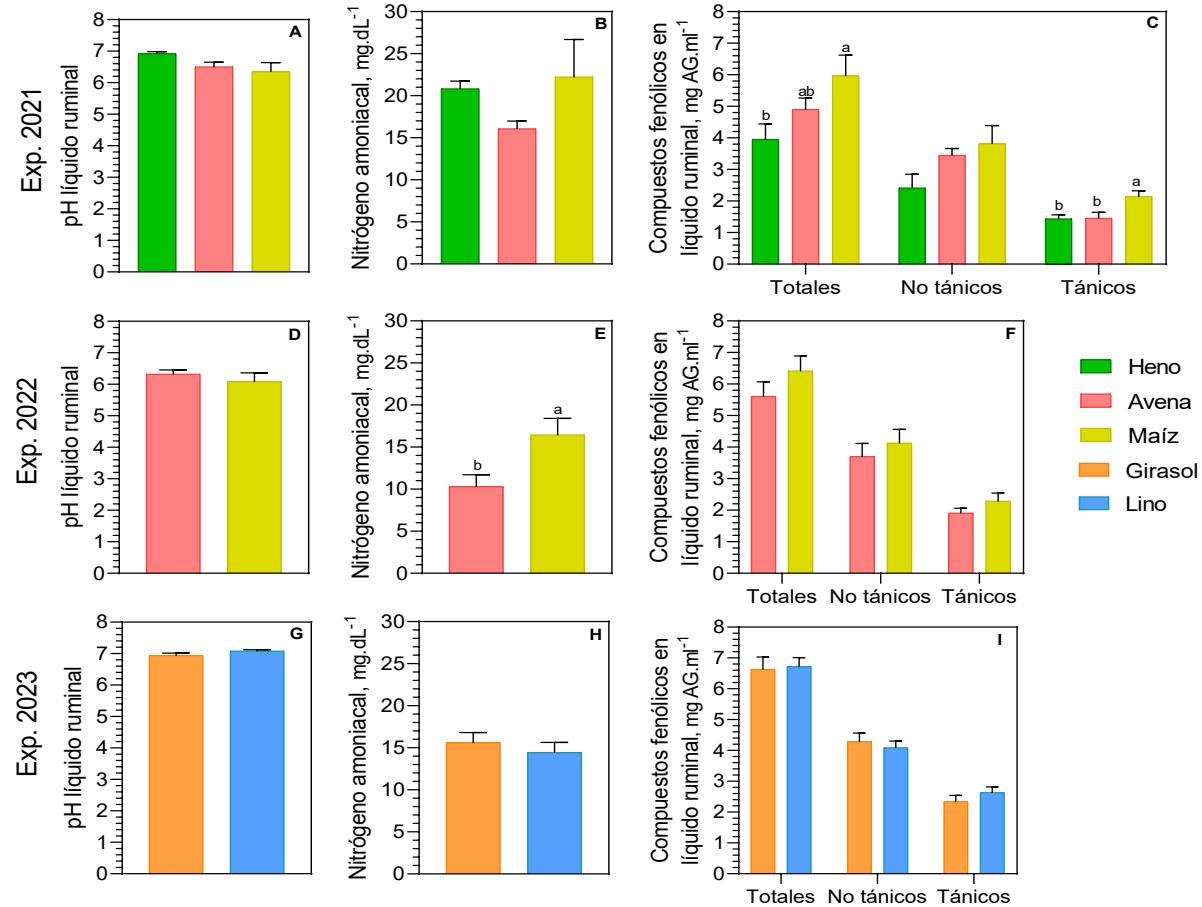


Figura 3.8. Valores de pH, concentración de nitrógeno amoniacal y concentración de compuestos fenólicos totales, no tánicos y tánicos en el líquido ruminal de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano entero de avena (A) o grano entero de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-C: experimento 2021; D-F: experimento 2022; G-I: experimento 2023.

Tabla 3.13. Máxima verosimilitud restringida para pH, concentración de nitrógeno amoniacal y concentración de compuestos fenólicos totales, no tánicos y tánicos en el líquido ruminal de ovinos alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), pertenecientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.

Variable		pH		Nitrógeno amoniacal (mg.dL ⁻¹)		Compuestos fenólicos totales (mg.ml ⁻¹)		Compuestos fenólicos no tánicos (mg.ml ⁻¹)		Compuestos fenólicos tánicos (mg.ml ⁻¹)	
2021											
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	2/14	2,91	0,0880	0,08	0,9215	3,99	0,0426	3,16	0,0738	5,5	0,0172
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,38	0,3524	2,61	0,0046	1,54	0,0618	1,29	0,0982	0,36	0,3598
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022											
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	0,58	0,4580	4,67	0,0443	1,51	0,2345	0,51	0,4864	1,66	0,2144
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,96	0,1695	2,97	0,0015	2,06	0,0199	1,92	0,0272	0,92	0,1795
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2023											
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	2,77	0,1135	1,51	0,2354	0,04	0,8473	0,31	0,5822	1,17	0,2942
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,10	0,4614	-	-	1,63	0,0521	1,15	0,1259	0,80	0,2112
Residuo		-	-	3,00	0,0013	-	-	-	-	-	-

Características de la carcasa

En el experimento de 2021, los pesos de las carcasas calientes y frías del tratamiento M (25,40 y 24,44 kg, respectivamente) fueron 19,76 % mayores que los observados en las carcasas del tratamiento H (21,20 y 20,42 kg, respectivamente). Las carcasas del tratamiento A mostraron valores intermedios (23,57 y 22,57 kg, respectivamente, Figura 3.9 A; Tabla 3.14). No se detectaron diferencias significativas en las pérdidas por refrigeración, cuyo promedio fue de 3,90 %, ni en el rendimiento de carcasa, que promedió 46,68 % para los tres tratamientos (Figura 3.9 B y C; Tabla 3.15). Asimismo, no se encontraron diferencias significativas en el espesor de grasa dorsal ni en el área de ojo de bife, con promedios de 0,32 cm y 19,41 cm², respectivamente (Figura 3.9 D y E; Tabla 3.15).

En el experimento de 2022, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en los pesos de las carcasas calientes y frías, con promedios de 22,85 y 22,38 kg, respectivamente (Figura 3.9 F; Tabla 3.14). Tampoco se observaron diferencias en las pérdidas por refrigeración, cuyo promedio fue 2,04 % para ambos tratamientos (Figura 3.9 G; Tabla 3.15). Sin embargo, el rendimiento de carcasa fue 11 % mayor en el tratamiento M (48,72 %) en comparación con el tratamiento A (44,04 %, Figura 3.9 H; Tabla 3.15). No se detectaron diferencias en el espesor de grasa dorsal ni en el área de ojo de bife, con promedios de 0,19 cm y 14,99 cm² para ambos tratamientos, respectivamente (Figura 3.9 I y J; Tabla 3.15).

En el experimento de 2023, no se observaron diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas. Los pesos promedio de las carcasas calientes y frías fueron 25,48 y 24,33 kg, respectivamente (Figura 3.9 K; Tabla 3.14). Las pérdidas por refrigeración y el rendimiento de carcasa presentaron valores promedio de 4,57 % y 47,87 %, respectivamente (Figura 3.9 L y M; Tabla 3.15). Del mismo modo, el espesor de grasa dorsal y el área de ojo de bife promediaron 0,36 cm y 17,01 cm², respectivamente (Figura 3.9 N y O; Tabla 3.15).

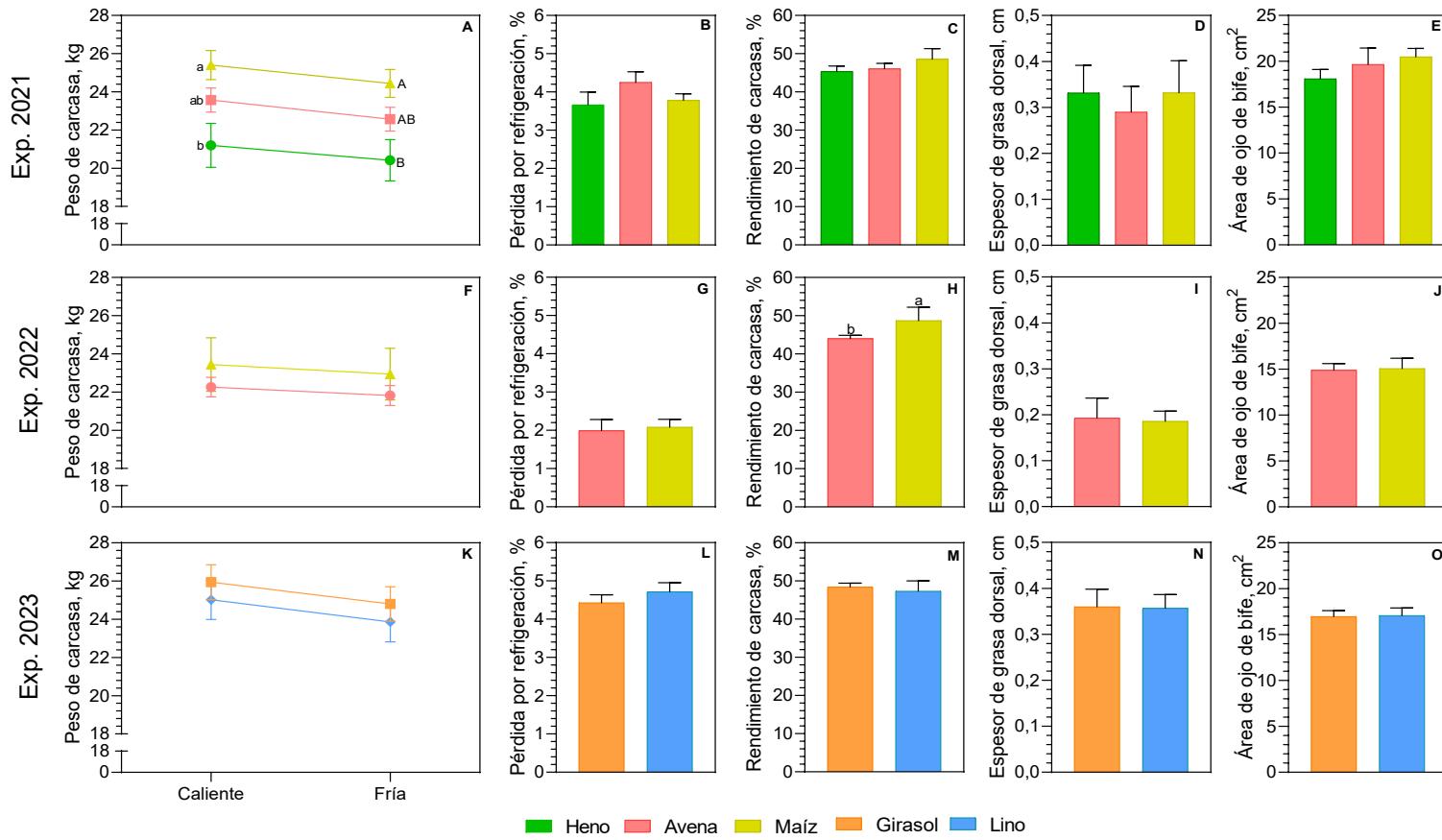


Figura 3.9. Peso de carcasa caliente y fría, pérdidas por refrigeración, rendimiento de carcasa, espesor de grasa dorsal y área de ojo de bife de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz, harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-E: experimento 2021; F-J: experimento 2022; K-O: experimento 2023.

Tabla 3.14. Máxima verosimilitud restringida para el peso de carcasa de los corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.

Variable		Pérdida por refrigeración (%)		Rendimiento de carcasa (%)		Espesor de grasa dorsal (mm)		Área de ojo de bife (cm ²)	
2021									
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	2/14	1,30	0,3023	1,43	0,2723	0,16	0,8537	0,82	0,4603
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		0,81	0,2089	2,41	0,0079	0,05	0,4781	2,41	0,0080
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-
2022									
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,07	0,7950	11,21	0,0036	0,02	0,887	0,01	0,9123
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		1,15	0,1250	-	-	0,04	0,4860	2,69	0,0035
Residuo		-	-	3,00	0,0013	-	-	-	-
2023									
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,83	0,3731	0,73	0,4051	0,00	0,9512	0,01	0,9225
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		1,00	0,1596	2,69	0,0036	0,03	0,4862	3,00	0,0013
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3.15. Máxima verosimilitud restringida para pérdida por refrigeración, rendimiento de carcasa, espesor de grasa dorsal y área de ojo de bife de ovinos alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), pertenecientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.

Año	Efectos fijos	Peso de carcasa (kg)						
		2021		2022		2023		
		gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	gl _{n/d}	<i>F</i>	
	Dieta (D)	2/14	5,40	0,0182		1/18	0,61	0,4440
	Tiempo (T)	1/14	448,65	<0,0001		1/18	109,84	<0,0001
	D x T	2/14	2,50	0,1179		1/18	0,45	0,5120
	Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>		<i>Z</i>	<i>P</i>	
	Animal (Dieta)		2,64	0,0041		3,00	0,0014	
	CS		-	-		-	-	
	Residuo		2,65	0,0041		3,00	0,0013	

Discusión

Los principales resultados de este capítulo muestran que los ovinos alimentados con dietas que incluían grano de avena o maíz como fuente energética presentaron mayores ganancias de peso y fueron más eficientes en comparación con aquellos que consumieron la dieta basada en heno. En cuanto al contraste entre grano de maíz y de avena, no se observaron diferencias significativas en las variables productivas, excepto en el rendimiento de carcasa, que fue menor en los ovinos alimentados con grano de avena. No obstante, las dietas basadas en grano de maíz presentaron una mayor variabilidad en el consumo de materia seca en comparación con las basadas en grano de avena. Por otro lado, el contraste entre la harina de girasol y la harina de lino, empleadas como fuentes proteicas, no mostró diferencias significativas en las variables productivas. Tampoco se encontró una relación clara entre la cantidad de compuestos fenólicos consumidos a través de la dieta y su concentración en el líquido ruminal, ni se observó evidencia de que estos compuestos hayan promovido un mayor desarrollo muscular en los ovinos que los consumieron en mayor cantidad.

Las ganancias diarias de peso de los ovinos del experimento de 2021 fueron mayores durante la Etapa 1 en comparación con la Etapa 2, indicando que los animales aumentaron más peso al inicio del experimento, pero en un menor período de tiempo. Esto podría estar asociado a que, previo al ingreso al experimento, los ovinos se encontraban en un sistema pastoril consumiendo forrajes de baja disponibilidad y calidad nutricional, generándose un período de crecimiento compensatorio durante la Etapa 1 (Dougherty et al., 2022). Aunque entre las Etapas 1 y 2 la proporción de grano en las dietas A y M se incrementó en 15 %, esto resultó en un aumento de entre 2,77 % y 5,10 % de la energía metabolizable (EM), respectivamente. Sin embargo, el consumo de los diferentes nutrientes se mantuvo en valores similares durante todo el experimento. Según Owens et al. (1997), un aumento en la densidad energética de una dieta no necesariamente resulta en un incremento de la ingesta de energía por parte de los animales. Esto sugiere que el ajuste en la proporción de grano, realizado entre la Etapa 1 y la 2, no fue suficiente para inducir un mayor consumo diario de EM ni para favorecer una mayor tasa de crecimiento durante la Etapa 2.

Dietas basadas en heno vs. granos

Al comparar el desempeño de los ovinos alimentados con una dieta basada en heno (H) o con altas proporciones de granos (A y M), no se observaron diferencias significativas en el consumo diario de materia seca (MS). Sin embargo, en los animales alimentados con el tratamiento H, éste tendió a ser, en promedio, 14,94 % menor en comparación con los tratamientos A y M.

Dado que la digestibilidad promedio de la dieta H fue del 54,55 %, es probable que la regulación del consumo en este tratamiento haya estado asociada a mecanismos físicos (Mertens, 1994; Van Soest, 1994). En contraste, en las dietas que incluyeron grano, tanto en el experimento 2021 como 2022 y 2023, la digestibilidad de los diferentes tratamientos osciló entre 66,93 % y 78,00 %, sugiriendo que la regulación del consumo en estos casos se habría producido a través de mecanismos químicos (Van Soest, 1994; Fisher, 2002; Allen, 2014).

Por otra parte, la ausencia de diferencias significativas en el consumo de MS entre los tratamientos del experimento 2021 indica que los ovinos que consumieron A y M pudieron haber sustituido parte del heno de la dieta H por grano. Esto concuerda con lo observado por Alvarez et al. (2010) en corderos pesados alimentados con dietas de solamente heno de alfalfa, o mitad heno de alfalfa y mitad de grano de maíz o de avena. En general, el efecto de sustitución de un ingrediente por grano ocurre cuando las proporciones de grano superan el 30 % en la ración, tal como sucedió en el experimento de 2021 (Ørskov 1986).

El consumo diario de EM fue menor en la dieta H en comparación con las dietas A y M, mostrando una relación inversa con el consumo de fibra en detergente ácido (FDA). Esto era esperable, ya que la concentración de EM en un alimento es inversamente proporcional a su contenido de FDA (Mertens, 1994). Como consecuencia, el menor consumo de EM en el tratamiento basado en heno se tradujo en menores ganancias de peso, menores pesos finales y menores pesos de carcasa en comparación con los animales que consumieron dietas con grano. A pesar de esto, la ausencia de diferencias en el consumo de proteína bruta (PB) a lo largo del experimento sugiere que, a diferencia de la EM, la PB no fue un factor limitante para la ganancia de peso. Esto se reflejó en la ausencia de diferencias en el desarrollo muscular de las carcasas, evaluado a través del área de ojo de bife. Asimismo, tampoco se encontraron diferencias en el espesor de grasa dorsal entre los tratamientos basados en heno o granos, sugiriendo que todos los tratamientos alcanzaron un nivel de engrasamiento similar. Estos resultados coinciden con Ponnampalam et al. (2004), quienes observaron que ovinos consumiendo dietas con alta proporción de grano no mejoraron significativamente el nivel de engrasamiento ni el desarrollo muscular de las carcasas, comparados con ovinos alimentados exclusivamente con pasturas. A su vez, los valores de espesor de grasa dorsal obtenidos aquí fueron comparables a los informados por De Brito et al. (2016) en ovinos de características similares alimentados con diferentes consociaciones de pasturas.

Cañeque et al. (2004) y Muela et al. (2010) demostraron que las carcasas más livianas tienden a experimentar mayores pérdidas por refrigeración en comparación con las más pesadas. Sin

embargo, a pesar de que las carcasas del tratamiento basado en heno fueron más livianas que las de los tratamientos basados en granos, no se observaron diferencias significativas en cuanto a las pérdidas por refrigeración. Smith y Carpenter (1973) indicaron que 0,25 cm es el espesor mínimo de grasa dorsal necesario para reducir dichas pérdidas y, en este experimento, no solo todos los tratamientos superaron ese umbral (0,32 cm el promedio), sino que tampoco se encontraron diferencias significativas en el espesor de grasa dorsal entre los tratamientos, explicando la ausencia de diferencias en las pérdidas por refrigeración.

El peso de las carcasas de los ovinos alimentados con H fue 16,54 % y 10,00 % menor en comparación con las de aquellos alimentados con M y A, respectivamente. Sin embargo, no se encontraron diferencias en su rendimiento. Además, los ovinos que consumieron H mostraron una conversión alimenticia menos eficiente, ya que necesitaron consumir en promedio 82,01 % más MS, 79,53 % más PB y 42,75 % más EM que los que consumieron las dietas A y M, para ganar un kg de peso. Estos resultados destacan la importancia de realizar suplementaciones con concentrados energéticos. No obstante, la alimentación de rumiantes a pasto suele ser más económica que con dietas de altos insumos y podría garantizar niveles similares de desarrollo muscular. Sin embargo, los mayores requerimientos de energía para el mantenimiento de los animales en pastoreo no garantizarían alcanzar los mismos niveles de engrasamiento observados en este experimento, que se realizó bajo condiciones de confinamiento.

Dietas basadas en grano de maíz vs. grano de avena

Aunque el grano de avena tiene una menor concentración de almidón en comparación con el grano de maíz, su mayor degradabilidad ruminal podría favorecer un mayor flujo de proteína microbiana al duodeno. Esto, a su vez, mejoraría la eficiencia en la absorción de glucosa debido a un incremento en la secreción de enzimas pancreáticas. Por el contrario, el grano de maíz, con una mayor proporción de almidón, pero de menor degradabilidad ruminal, podría generar un flujo reducido de proteína microbiana al duodeno, lo que resultaría en una menor absorción de glucosa y una mayor fermentación del almidón en el intestino grueso (Owens et al., 1986; Huntington, 1997; Offner et al., 2003). La mayor concentración de nitrógeno amoniacoal observada en el líquido ruminal de los ovinos alimentados con maíz, tras 16 h de ayuno, sugiere una posible falta de sincronización entre la energía suministrada por el almidón y la proteína degradable en el rumen (proveniente de la harina de girasol). Esta falta de sincronización podría haber limitado la síntesis de proteína microbiana y haber reducido la absorción de glucosa en el duodeno (Huntington, 1997; Herzog et al., 2021). La combinación de las distintas características de degradabilidad ruminal y digestibilidad de ambos granos podrían explicar la ausencia de

diferencias significativas en el peso vivo y en las ganancias de peso entre los ovinos alimentados con grano de avena o de maíz (Owens et al., 1986; Offner et al., 2003). De todas formas, a pesar de las diferencias mencionadas entre ambos granos, su digestibilidad aparente suele alcanzar valores de 92 % y 97 % en bovinos y ovinos, respectivamente (Owens et al., 1986; Dion y Seoane, 1992).

Asimismo, es fundamental considerar el aporte energético del contenido de aceite en los granos, ya que este es 2,25 veces mayor que el de los carbohidratos (Van Soest, 1994). En los experimentos realizados, los granos de avena utilizados mostraron mayores proporciones de extracto etéreo (EE) en comparación con los granos de maíz (Tablas A3.2 y A3.4 del Anexo). Como resultado, en conjunto con los restantes ingredientes, las dietas basadas en grano de avena aportaron entre 27,54 % y 38,87 % más EE que las dietas basadas en grano de maíz. Sin embargo, en ningún caso la concentración de aceite en las dietas excedió el 8 %, límite por encima del cual la digestibilidad de la MS, particularmente de la fibra, podría verse afectada, dificultando el aprovechamiento de la dieta (Doreau y Chilliard, 1997; Alba et al., 2024). Bajo estas condiciones, la energía aportada por ambos granos podría haberse equilibrado, lo que también contribuye a explicar la similitud en el desempeño productivo en los ovinos alimentados con ambas dietas.

No se encontraron diferencias en el consumo de MS entre los tratamientos basados en grano de avena o grano de maíz. Sin embargo, se observó un mayor consumo de FDN y FDA en los ovinos alimentados con la dieta A, lo cual es previsible debido al mayor contenido de fibra en la dieta total. A pesar de ello, los consumos diarios de PB y EM fueron similares entre los tratamientos. Sin embargo, la variabilidad del consumo diario de MS fue mayor en los tratamientos basados en grano de maíz en comparación con los basados en grano de avena. Esto podría atribuirse a episodios de acidosis ruminal subaguda sufridos por los ovinos alimentados con maíz. A pesar de que los granos se suministraron enteros, la alta capacidad de masticación de los ovinos permite que estos rompan los granos, exponiendo los gránulos de almidón a la fermentación ruminal y provocando la disminución temporal del pH (Humer y Zebeli, 2017). El restablecimiento del pH a niveles normales ocurre mediante respuestas fisiológicas del animal, como la selección de partículas de forraje más largas y la diminución o interrupción temporal del consumo (Commun et al., 2012; Lorenz, 2022; Zhang et al., 2023). Es probable que esto haya ocurrido en forma cíclica en los animales que consumieron grano de maíz, lo que explicaría la mayor variabilidad observada en el consumo diario de MS. Por otro lado, el grano de avena, tiene mayor proporción de fibra debido a la presencia de las glumas, lo que estabiliza la fermentación ruminal del almidón (Ørskov, 1986). Esto reduce el riesgo de

acidosis y, por lo tanto, la variabilidad en el consumo de MS (Dion y Seoane, 1992). Esta hipótesis concuerda con los patrones de consumo individuales observados en los ovinos durante los experimentos (Figura A3.2 B-E del Anexo).

En el experimento de 2022, la conversión alimenticia del tratamiento A fue menor en un 24,48 %, y por ende más eficiente, que la del tratamiento M. Estos resultados coinciden con Sormunen-Cristian (2013), quién indicó que las dietas basadas en grano de avena tienden a ser utilizadas en forma más eficiente que aquellas basadas en otros granos. Además, la cantidad de PB y EM consumidas por kg de ganancia de peso en el tratamiento A tendieron a ser 19,05 % y 32,18 % menores, respectivamente, en comparación con el tratamiento M. Esta situación probablemente no se reflejó en el experimento de 2021 debido a la menor cantidad de ovinos involucrados y al menor tiempo de exposición de los animales a dietas con alta proporción de granos.

Las ganancias diarias de peso fueron similares entre los ovinos alimentados con dietas basadas en grano de avena o maíz, coincidiendo con los valores reportados por Fruet et al. (2016) para ovejas alimentadas con dietas que contenían entre 65 % y 90 % de estos granos. En ambos experimentos, el desarrollo muscular y la terminación de las carcasas de los ovinos fueron similares. Sin embargo, contrario a lo sugerido por Pinto et al. (2011) y Smith y Carpenter (1973) para una óptima reducción de las pérdidas por refrigeración, el espesor de grasa dorsal de las carcasas en el experimento 2022 fue inferior al mínimo de 0,25 cm. Si bien no se halló una explicación para estos resultados, en este experimento las pérdidas por refrigeración fueron menores en comparación con los experimentos de 2021 y 2023, así como con otros estudios que informaron mayores espesores de grasa dorsal (Cañeque et al., 2004; Fruet et al., 2016).

Por otra parte, las carcasas de los ovinos alimentados con grano de avena mostraron un rendimiento 9,60 % menor en comparación con las de los alimentados con grano de maíz. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en bovinos durante el experimento 2019 (Capítulo 2, Villaverde et al., 2023), así como con los hallazgos de Sormunen-Cristian (2013), Fruet et al. (2016) y Cattelam et al. (2018b, 2018a) quienes evaluaron corderos machos y hembras, ovejas, novillos y vaquillonas alimentados con dietas con altas proporciones de grano de avena, cebada o maíz. Estos estudios indicaron que, aunque el peso de las vísceras del tracto gastrointestinal no difería significativamente, el mayor peso del contenido de las vísceras en los animales alimentados con dietas basadas en grano de avena podría haber sido la causa del menor rendimiento.

A los niveles de inclusión en las dietas suministradas en este experimento, el grano de avena se

presenta como una alternativa viable para reemplazar al grano de maíz, sobre todo en regiones marginales donde el cultivo de este último enfrenta limitaciones. Su uso no solo asegura ganancias de peso, desarrollo muscular y grados de terminación similares a los logrados con el grano de maíz, sino que también promueve una mayor estabilidad ruminal y uniformidad en la ingesta de MS. Además, debido a sus características agronómicas y su versatilidad en el cultivo, el grano de avena podría posicionarse como una opción económicamente más ventajosa, consolidándose como una opción alternativa apropiada para la alimentación de ovinos en sistemas de engorde a corral. Si bien los animales alimentados con avena presentan una ligera reducción en el rendimiento de carcasa, este aspecto podría considerarse de menor relevancia frente a los beneficios asociados con la potencial estabilidad ruminal que proporciona esta dieta.

Dietas basadas en harina de girasol vs. harina de lino

Las dietas elaboradas con grano de avena y harina de girasol (G) o harina de lino (L) como concentrado proteico, mostraron composiciones químicas muy similares entre sí. Zagorakis et al. (2018) no encontraron diferencias en la digestibilidad de la MS, la materia orgánica o la PB en dietas formuladas con harina de girasol o semillas enteras de lino. Por su parte, Schroeder et al. (2014) informaron que el procesado de la semilla de lino no afecta el nivel de consumo en raciones que contienen hasta 10 % de lino en su formulación. En este experimento, los consumos de MS y de cada uno de los nutrientes, así como las ganancias de peso fueron muy similares entre los ovinos que recibieron las diferentes dietas. Estos resultados coinciden con Brito et al. (2015), quienes reportaron similares niveles de consumo en vacas lecheras alimentadas con grano de maíz como concentrado energético y harina de lino o una mezcla de harina de soja y girasol. Por otro lado, la diferencia en la variabilidad del consumo de MS entre los tratamientos fue aproximadamente 55 % superior en la dieta L en comparación con la dieta G. Sin embargo, esta diferencia no tendría un impacto relevante en términos prácticos, ya que representa una variación de solo 60 g de MS por día (170 g en la dieta L, frente a 110 g en la dieta G). Además, se observó que la variabilidad del consumo de MS entre los días fue mayor al inicio del experimento y disminuyó con el transcurso del mismo, lo que podría estar relacionado con la fase final de acostumbramiento de los ovinos a las dietas (Figura A3.2 F y G del Anexo).

La conversión alimenticia, así como el consumo de PB y de EM por cada kg de ganancia de peso, fueron muy similares entre los tratamientos. Tampoco se encontraron diferencias en el peso de las carcasas, las pérdidas por refrigeración, el rendimiento de carcasa, el desarrollo muscular ni la terminación (Realini et al., 2017) reportaron pesos y rendimientos de carcasa similares en ovinos cuyas dietas reemplazaron parcialmente la harina de girasol por harina de lino. Por su

parte, Facciolongo et al. (2018) encontraron que las carcasas de ovinos alimentados con semillas de lino tuvieron mayor enrasamiento, aunque igual rendimiento que las carcasas de ovinos alimentados con porotos de soja. Dados estos resultados, la harina de lino podría sustituir a la harina de girasol sin alterar sustancialmente el desempeño productivo de los animales.

Compuestos fenólicos

La harina de girasol presentó las mayores concentraciones de compuestos fenólicos entre los ingredientes evaluados, seguida por la harina de lino y los diferentes tipos de heno utilizados en las dietas de este capítulo. Por su parte, los granos de avena y maíz mostraron concentraciones de compuestos fenólicos similares entre sí (Tablas A3.2, A3.4 y A3.6 del Anexo). Como resultado de las combinaciones de ingredientes, la dieta H tuvo una concentración de compuestos fenólicos 49,92 % superior en promedio a las dietas A y M en el experimento de 2021. En el experimento de 2022, la dieta M presentó 39,37 % más compuestos fenólicos que la dieta A, mientras que, en el experimento de 2023, el tratamiento G mostró 33,31 % más que el tratamiento L.

Los estudios sobre el comportamiento de los compuestos fenólicos en el rumen de ovinos son escasos. Algunas investigaciones llevadas a cabo en cabras hallaron que los individuos que consumieron mayores cantidades de compuestos fenólicos presentaron una mayor concentración de polifenoles en el líquido ruminal, incrementos en la proteína microbiana, pH más bajo y menor concentración de nitrógeno amoniacal. Estos resultados sugieren que los compuestos fenólicos inducen una mejor utilización del nitrógeno no proteico a nivel ruminal (Zhou et al., 2009a, 2009b). Sin embargo, en los experimentos realizados, a pesar de que el consumo de MS fue similar entre los tratamientos, no se observó una relación directa entre la concentración de compuestos fenólicos en el líquido ruminal y su suministro a través de las dietas. De hecho, los ovinos que consumieron dietas con mayor concentración de compuestos fenólicos tendieron a presentar una mayor concentración de nitrógeno amoniacal y un pH ruminal más elevado, en contraste con lo reportado por Zhou et al. (2009a, 2009b). Estas discrepancias podrían deberse a las diferencias en los horarios de alimentación y de extracción del líquido ruminal entre los estudios, así como también a la ausencia de diferencias en la concentración de polifenoles en el líquido ruminal de los ovinos. Adicionalmente, no se encontraron diferencias en los parámetros productivos que, en alguna medida, pudieran atribuirse a la concentración de compuestos fenólicos en las dietas o en el líquido ruminal. Esto concuerda con los hallazgos de Cimmino et al. (2018) y Maggiolino et al. (2020), quienes no observaron diferencias en la ganancia diaria de peso, el peso final ni el peso de las carcasas de

cabras y novillos alimentados con dietas ricas en compuestos fenólicos en comparación con dietas tradicionales. Futuros estudios que logren distinguir el efecto específico de los compuestos fenólicos del impacto global de la dieta, así como su interacción con los distintos ingredientes, podrían aportar información más detallada sobre de su influencia sobre el desempeño productivo de los rumiantes.

Parámetros sanguíneos y ruminiales

Los parámetros sanguíneos y ruminiales de los ovinos participantes en los experimentos de 2021 y 2023 también se utilizaron como evaluación parcial del estado de salud de los animales durante el desarrollo de los experimentos. Los parámetros sanguíneos se mantuvieron dentro de los valores normales reportados para la especie y las concentraciones plasmáticas de glucosa se situaron en el rango esperado para ovinos adultos en ayuno ($0,5 - 0,8 \text{ g.l}^{-1}$, Kaneko, 2008). Asimismo, la ausencia de diferencias significativas en las concentraciones de urea y nitrógeno ureico entre los tratamientos sugiere que el metabolismo proteico, incluyendo la deposición de nitrógeno y la utilización de los aminoácidos, fue similar en todos los animales (Kaneko et al., 2008).

Si bien se observó una tendencia ($p = 0,0880$) hacia valores de pH más elevados en los ovinos que consumieron la dieta basada en heno, en comparación con aquellos que recibieron dietas con alta proporción de grano, los valores de pH del líquido ruminal medidos durante el sacrificio, 16 horas después de la última alimentación, se encontraron dentro del rango fisiológico considerado normal (6 – 7; Ørskov, 1986) en todos los experimentos. Esto sugiere que ninguno de los ovinos habría presentado alteraciones ruminiales significativas durante el desarrollo de los mismos. No obstante, la mayor variabilidad observada en el consumo diario de MS en los ovinos alimentados con grano de maíz, en comparación con aquellos que recibieron dietas basadas en grano de avena o heno, podría estar asociada con episodios cíclicos de acidosis ruminal subaguda, los cuales habrían sido estabilizados antes de las 16 horas post ingesta (Figura A3.2 A-E del Anexo; Ørskov, 1986; Commun et al., 2012; Lorenz, 2022; Zhang et al., 2023). Los patrones de consumo observados en estos ovinos, caracterizados por una disminución transitoria del consumo voluntario seguida de una recuperación progresiva, sugieren que los animales habrían desarrollado esta estrategia como un mecanismo de autorregulación para mitigar la acidosis (Commun et al., 2012; Lorenz, 2022; Zhang et al., 2023). En el experimento de 2019 (Capítulo 2), no se realizaron mediciones directas o indirectas que permitieran indicar la presencia de acidosis subaguda en los bovinos. Sin embargo, el oscurecimiento más pronunciado del tejido ruminal observado en los animales alimentados con grano de maíz, en

comparación con aquellos que consumieron grano de avena, sugiere que podrían haber experimentado condiciones similares a las observadas en los ovinos (Figura A2.1 del Anexo). Por otro lado, los valores de nitrógeno amoniacial en el líquido ruminal de los ovinos de todos los experimentos se mantuvieron dentro del rango considerado normal para rumiantes, entre 8,5 y 30 mg.dL⁻¹ (McDonald et al., 2013).

Conclusión

Los resultados obtenidos en este capítulo permitieron evaluar el impacto de las dietas sobre los parámetros productivos de los ovinos. Respecto de las hipótesis planteadas y bajo las condiciones experimentales establecidas, se aceptó parcialmente que el grano de avena puede reemplazar al grano de maíz como fuente energética en dietas de terminación. Si bien las dietas utilizadas no afectaron el desempeño productivo, se encontró un menor rendimiento de carcasa en los ovinos alimentados con la dieta basada en grano de avena. Sin embargo, este tratamiento también presentó una mayor estabilidad del consumo y una mejor conversión alimenticia. Por otra parte, el reemplazo de harina de girasol por harina de lino no afectó el desempeño productivo de los corderos. Por último, se rechazó que una mayor concentración de compuestos fenólicos en la dieta de los corderos favorece el desarrollo del tejido muscular y reduce la acumulación de grasa en la carcasa, ya que no se encontró una relación entre la cantidad de compuestos fenólicos consumidos y el desarrollo muscular, la acumulación de grasa y su concentración en el líquido ruminal.

CAPÍTULO 4

Calidad nutricional, organoléptica y tecnológica de la carne de ovinos alimentados con dietas formuladas con diferentes fuentes energéticas y proteicas

Introducción

La calidad organoléptica, tecnológica y nutricional de la carne está influenciada por múltiples factores relacionados tanto con el sistema de producción animal, como con los tratamientos *postmortem* aplicados sobre la carcasa o los cortes de carne. Por ejemplo, es esperable que la carne de rumiantes alimentados con dietas basadas en pasturas presente un color más oscuro en comparación con la de animales alimentados con dietas concentradas (Mancini y Hunt, 2005; Matarneh et al., 2017; Lonergan et al., 2019b). Asimismo, el color y la capacidad de retención de agua de la carne están determinados por variables como el tipo de músculo, el nivel de estrés previo al sacrificio, el método de sacrificio, la magnitud y velocidad del descenso del pH, así como la velocidad de enfriamiento de la carcasa. Un descenso lento o limitado del pH se asocia con un color más oscuro y mayor capacidad retención de agua, mientras que un descenso rápido favorece un color más claro y reduce esta capacidad (Pearce et al., 2011; Honikel, 2014a; 2014b; Matarneh et al., 2017; Lonergan et al., 2019b). Por otra parte, el período de maduración de la carne también impacta en estas propiedades. A medida que el proceso de maduración avanza, se observa un aumento progresivo en la capacidad de retención de agua y un color rojo más intenso (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Farouk et al., 2012). Sin embargo, también se observa un aumento en la decoloración de la carne y en la oxidación de lípidos y proteínas (Y.H.B. Kim et al., 2011; Kim et al., 2017).

La dieta de los animales influye directamente en la composición nutricional de la carne, permitiendo modificar la proporción de ácidos grasos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFA; Scollan et al., 2006; Bas et al., 2007; Wood et al., 2008; Daley et al., 2010). A medida que incrementa la proporción de tejido graso en el animal, la relación PUFA:SFA disminuye, ya que los niveles de SFA y MUFA aumentan más rápidamente que los de PUFA (Scollan et al., 2006). En rumiantes, factores como la proporción de forrajes y concentrados en la dieta, el tipo y nivel de suplementación lipídica, el tiempo de permanencia de los alimentos en el rumen, el pH ruminal y el uso de ionóforos determinan la cantidad de PUFA ingeridos que logran escapar a la biohidrogenación ruminal y pueden incorporarse en los tejidos (Scollan et al., 2006; Daley et al., 2010; Facciolongo et al., 2018). Warren et al. (2008)

señalaron que dietas concentradas, ricas en ácido linoleico (C18:2n-6) y dietas basadas en pasturas, ricas ácido α -linolénico (C18:3n-3), promueven la incorporación de estos ácidos grasos en el músculo, en lugar de almacenarlos en el tejido adiposo. Además, en los rumiantes, una mayor tasa de pasaje ruminal, promovida por un tamaño más pequeño de las partículas de la ración, reduce el tiempo de exposición de los ácidos grasos de la dieta a la biohidrogenación, por lo que una mayor proporción de PUFA logra escapar (Scollan et al., 2006; Wood et al., 2008).

La alimentación basada en pasturas, así como el uso de semillas de lino y sus subproductos han demostrado elevar los niveles de ácido α -linolénico y sus ácidos grasos derivados de cadena larga en el músculo (Scollan et al., 2006; Scollan et al., 2014; Wood y Enser, 2017). Sin embargo, las dietas basadas en pasturas han mostrado ser más efectivas para incrementar los niveles de ácido α -linolénico y DHA (C22:6n-3). Por otro lado, la alimentación con granos tiende a elevar los niveles de ácido linoleico y sus derivados de cadena larga (Scollan et al., 2006; Scollan et al., 2014; Wood, 2017). El tipo de dieta también influye en la susceptibilidad de la carne a la oxidación lipídica y proteica (Daley et al., 2010; Falowo et al., 2014). Aunque la carne con mayor contenido de PUFA es más propensa a la oxidación, los ácidos grasos provenientes de dietas basadas en pasturas están asociados con un mayor contenido de antioxidantes naturales que estabilizan los lípidos y retrasan el enranciamiento (Scollan et al., 2006; Daley et al., 2010; Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018). La estabilidad del color de la carne está determinada por la interacción entre la oxidación lipídica, los pigmentos, el contenido de antioxidantes y la inestabilidad de los PUFA. Un mayor consumo de antioxidantes por parte del animal no solo mejora la estabilidad lipídica, sino que también podría prolongar la estabilidad del color de la carne (Mancini, 2009b; Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018).

Los compuestos fenólicos presentes en los alimentos de origen vegetal actúan como antioxidantes y contribuyen a mejorar la fermentación ruminal, además de favorecer el crecimiento muscular (Vasta y Luciano, 2011; Falowo et al., 2014; Vasta et al., 2019; Hashem et al., 2020; Serra et al., 2021). En granos y semillas, la mayor concentración de compuestos fenólicos se encuentra en las capas externas. Sin embargo, los niveles de polifenoles detectados en los tejidos animales que los consumen no guardan una correlación directa con la cantidad de estos compuestos ingeridos (Serra et al., 2021). Los estudios sobre el contenido de compuestos fenólicos en productos de origen animal indican que los fitoestrógenos presentes en la carne derivan casi exclusivamente de precursores vegetales no metabolizados, mientras que la contribución de fitoestrógenos de origen mamífero es insignificante (Kuhnle et al., 2008).

Karwowska y Dolatowski (2007) evaluaron el efecto antioxidante del grano de avena como aditivo en la carne. Para ello, tostaron y molieron los granos e incorporaron el polvo resultante en una mezcla de carne picada bovina y porcina. Luego de 30 días de almacenamiento, observaron que la oxidación de lípidos y proteínas fue menor y que la estabilidad del color fue mayor en comparación con la adición de ascorbato de sodio, un antioxidante comercial. Por otro lado, Descalzo y Sancho (2008) sostienen que la incorporación de antioxidantes a través de la alimentación animal es más efectiva que su aplicación directa sobre la carne, ya que estos compuestos se integran en las membranas celulares, brindando una protección más eficiente contra la oxidación. En este sentido, la inclusión de grano de avena en la dieta de los rumiantes podría contribuir a reducir la oxidación en la carne de los rumiantes, mejorando su estabilidad y vida útil. Además del grano de avena, tanto las semillas de girasol como las de lino son fuentes ricas en compuestos fenólicos con capacidad antioxidante (Kuhnle et al., 2008, 2009b). En particular, la capa externa de la semilla de lino es una fuente destacada de compuestos no flavonoides con notable actividad fitoestrogénica y contiene elevadas concentraciones de ácido α -linolénico. Por lo tanto, su inclusión en la dieta de rumiantes podría favorecer la producción de carne con un perfil lipídico más saludable y nutricionalmente beneficioso (Brito et al., 2015; Wood y Enser, 2017; Facciolongo et al., 2018; Serra et al., 2021).

Hipótesis

En este capítulo, se plantearon las siguientes hipótesis:

1. La carne de corderos alimentados con dietas basadas en grano de avena o maíz presenta características tecnológicas y organolépticas similares en fresco y durante la maduración; no obstante, debido a la menor relación n6:n-3 del grano de avena, su carne tiene un perfil lipídico más equilibrado que la de aquellos alimentados con dietas basadas en grano de maíz.
2. Debido a su mayor contenido de PUFA y C18:3n-3, la inclusión de harina de lino como fuente proteica en dietas para ovinos mejora el perfil lipídico de la carne, aunque incrementa la oxidación de lípidos y proteínas y reduce la estabilidad del color durante la maduración, en comparación con dietas que incluyen harina de girasol.
3. Los ovinos que consumen dietas con mayor concentración de compuestos fenólicos, presentan una mayor concentración de los mismos en la carne, los cuales, debido a sus propiedades antioxidantes, ejercen una acción preventiva antioxidante de lípidos y

proteínas, mayor capacidad de retención de agua y estabilidad del color durante la maduración.

Objetivos

1. Evaluar el efecto de las dietas mencionadas en el Capítulo 3 sobre el perfil de ácidos grasos de la carne y estudiar el efecto del período de maduración y su interacción con la dieta sobre las características tecnológicas (pH, capacidad de retención de agua) y organolépticas (oxidación de lípidos y proteínas, estabilidad del color).
2. Evaluar la concentración de compuestos fenólicos totales, tánicos y no tánicos en las dietas suministradas a los rumiantes, su concentración en la carne, la oxidación de lípidos y proteínas y la estabilidad del color durante la maduración.

Materiales y métodos

Las muestras de carne analizadas en este capítulo provienen de los ovinos utilizados en los experimentos realizados en 2021, 2022 y 2023, descriptos en el Capítulo 3. En el experimento de 2021 las dietas estuvieron basadas en heno (H), grano de avena (A) o grano de maíz (M). En 2022, las dietas incluyeron grano de avena (A) o grano de maíz (M), mientras que en 2023 se utilizaron dietas basadas en grano de avena con harina de girasol (G) o harina de lino (L) como suplementos proteicos. La composición detallada de cada dieta se describe en el Capítulo 3, sección “Manejo general, tratamientos dietarios y características de los animales”.

Características de la carne fresca

Obtención de las muestras y medición de las características físicas

Se midió el pH de la carne de todos los ovinos luego de 1 y 24 horas del sacrificio, utilizando un medidor de pH portátil Altronix TPA IV con compensación automática de temperatura. Además, 24 horas después del sacrificio, se extrajo una porción del músculo *Longissimus lumborum* de cada una de las carcasas, del lado izquierdo del animal. En todos los casos, la porción de músculo también incluyó el hueso de las vértebras (Figura 4.1). Las muestras fueron transportadas refrigeradas al Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional del Sur, donde fueron procesadas.

Para las muestras correspondientes a los años 2022 y 2023, se midió el color de la carne fresca (24 horas *postmortem*) en las caras adyacentes de los bifes de las vértebras 9°, 10°, 11° y 12° (Figura 4.1), utilizando un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing Americas Inc., Ramsey, NJ, EE. UU.), tras permitir 30 minutos de exposición de la superficie de la carne al aire a temperatura ambiente (*blooming*). El equipo fue calibrado con una placa blanca, utilizando el iluminante D65 y un ángulo de observación de 2°. Se realizaron ocho disparos por medición (dos en cada cara) para determinar las variables de color CIE: luminosidad (L^*), rojo (a^*) y amarillo (b^*). Además, se calcularon la tonalidad (Hue), la saturación (Croma) y la métrica de diferencia de color CIEDE₂₀₀₀ (ΔE_{00}), como se describe en el Capítulo 2, sección “32Evaluación de la carne madurada”.

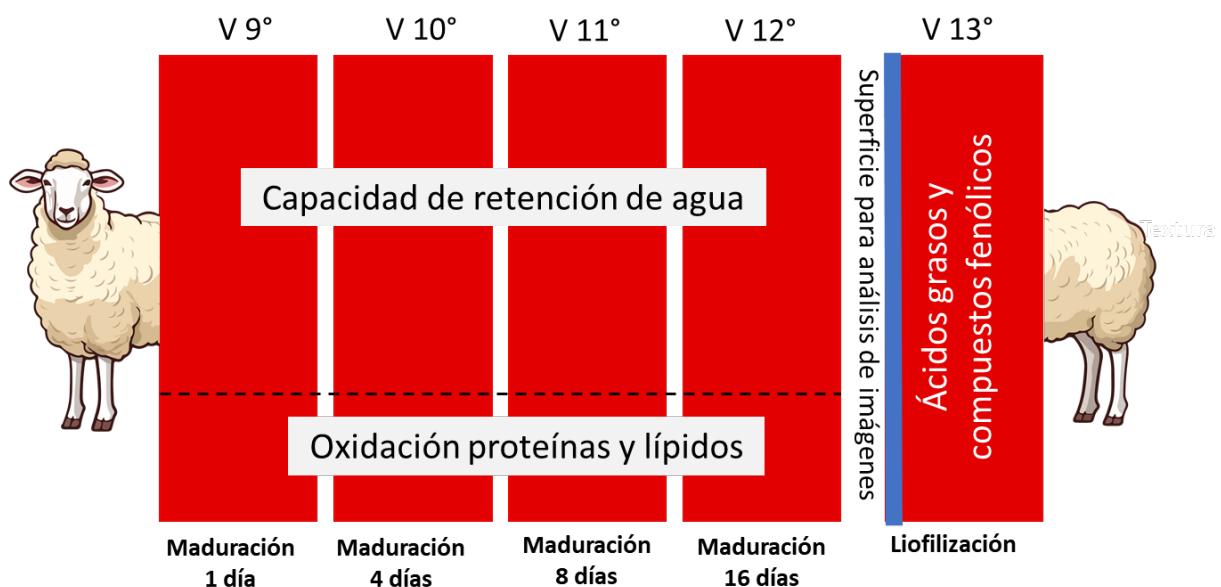


Figura 4.1. Esquema del corte del músculo *Longissimus lumborum* y su distribución para los distintos análisis. El esquema del ovino indica la posición de la cabeza del animal. La letra “V” señala de la vértebra correspondiente a cada bife, la línea punteada representa un corte, y la línea azul identifica la cara utilizada para tomar la fotografía destinada al análisis de imágenes. Los análisis de capacidad de retención de agua abarcan pérdidas por purga y descongelado, goteo, cocción y jugo exprimible.

Medición de las características nutricionales

Después de 24 h *postmortem* y tras la captura de imágenes para análisis de área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal (Capítulo 3, sección “Evaluación del desempeño productivo”), el bife correspondiente a la vértebra 13° de cada animal fue deshuesado, envasado al vacío, congelado y posteriormente liofilizado. La carne liofilizada se trituró en un molinillo de cocina para su empleo en los análisis de composición de ácidos grasos y compuestos fenólicos totales. La cuantificación de los ácidos grasos se realizó mediante cromatografía de gases, siguiendo el

procedimiento detallado en el Capítulo 3, sección “Caracterización de las dietas”, con la modificación de únicamente la relación de split a 100:1. Con los resultados obtenidos, se calcularon las sumas parciales de los ácidos grasos saturados (SFA, %), insaturados (UFA, %), monoinsaturados (MUFA, %), poliinsaturados (PUFA, %), omega 3 (n-3, %) y omega 6 (n-6, %). También se determinaron las relaciones PUFA:SFA y n-6:n-3 y así como los índices aterogénico (IA, Ecuación 4.1) y trombogénico (IT, Ecuación 4.2), considerando todos los ácidos grasos identificados en el perfil (Ulbricht y Southgate, 1991).

$$IA = \frac{C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0}{\sum MUFA + \sum n-6 + \sum n-3} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$IT = \frac{C14:0 + C16:0 + C18:0}{0,5 \times \sum MUFA + 0,5 \times \sum n-6 + 3 \times \sum n-3 + \frac{\sum n-3}{\sum n-6}} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Para determinar los compuestos fenólicos totales en la carne de los ovinos, se emplearon los procedimientos descriptos en el Capítulo 3, sección “Caracterización de las dietas”, utilizados previamente para su análisis en los ingredientes de las dietas, realizando algunas modificaciones en la etapa de extracción. Se pesaron 0,5 g de carne liofilizada y desmenuzada en un tubo Falcon de 15 ml con tapa, se añadieron 6 ml de agua desionizada y se dejó reposar durante 1 hora a temperatura ambiente. Luego, los tubos se sometieron a ultrasonido por 20 minutos y se añadieron 1,5 ml de ácido tricloroacético (TCA) al 50% para precipitar las proteínas que pudieran interferir en la determinación. Después de agitar con vórtex, los tubos fueron centrifugados a 3000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante se recuperó en un matraz y se ajustó a un volumen final de 10 ml con agua desionizada. El resto del procedimiento para la determinación de compuestos fenólicos totales se realizó conforme a lo descripto previamente.

Características de la carne madurada

Proceso de maduración

Los bifes correspondientes las vértebras 9°, 10°, 11° y 12° fueron deshuesados y divididos en dos porciones mediante un corte (línea punteada, Figura 4.1), obteniendo una porción más grande y otra más pequeña. Las porciones más grandes se pesaron y posteriormente todas las porciones (grandes y pequeñas) fueron envasadas al vacío y asignadas a uno de cuatro tratamientos de maduración en húmedo: 1 (24 horas), 4, 8 y 16 días *postmortem* (Figura 4.1). Durante el proceso de maduración, las porciones de carne selladas al vacío se mantuvieron a 4 °C por el tiempo

correspondiente y luego fueron congeladas a -20 °C para análisis posteriores. Las porciones más grandes se destinaron al análisis de las características físicas de la carne, mientras que las porciones pequeñas se utilizaron para la cuantificación de la oxidación de lípidos y proteínas.

Medición de las características físicas

Las muestras de carne madurada correspondientes a las porciones más grandes de los bifes de las vértebras 9°, 10°, 11° y 12° se descongelaron durante 24 h a 5°C. Posteriormente, fueron secadas con toallas de papel y pesadas para calcular las pérdidas por purga y descongelado mediante la diferencia entre el peso inicial y el peso descongelado. El pH de la carne se midió en cuatro puntos diferentes con un medidor portátil Altronix TPA IV, equipado con compensación automática de temperatura, siguiendo el procedimiento detallado en la sección “*Obtención de las muestras y medición de las características físicas*” de este Capítulo.

Cada porción de carne fue seccionada transversalmente y se midió el color sobre la nueva superficie, siguiendo el procedimiento descripto en la sección “*Obtención de las muestras y medición de las características físicas*” de este Capítulo. Para esta evaluación, se realizaron ocho disparos (cuatro en cada superficie), determinándose las variables de color CIE: L*, a* y b* y se calcularon la tonalidad, la saturación, la diferencia total de color (ΔE) y la diferencia de color CIEDE₂₀₀₀ (ΔE_{00}). La diferencia total de color se calculó comparando la carne madurada durante 1 y 16 días para los distintos tratamientos dietarios, mientras que la diferencia de color CIEDE₂₀₀₀ se evaluó tanto entre tratamientos dietarios como entre períodos de maduración.

Luego, las porciones de carne maduradas fueron utilizadas para evaluar la capacidad de retención de agua siguiendo las técnicas detalladas en el Capítulo 2, sección “*Procedimiento de faena y evaluación de la carcasa*”. Las variables evaluadas incluyeron pérdidas por goteo, pérdidas por cocción y pérdidas por jugo exprimible. Todas las determinaciones se realizaron por duplicado.

Oxidación de lípidos y proteínas

Las determinaciones de oxidación de lípidos y proteínas se realizaron mediante las pruebas de TBARS y carbonilos, respectivamente, siguiendo el protocolo de Terevinto et al. (2010) con modificaciones. Para estos análisis se utilizaron las porciones más pequeñas de carne madurada provenientes de los bifes de las vértebras 9°, 10°, 11° y 12° (Figura 4.1). Se tomaron 2 g de carne congelada y se homogeneizaron con 40 ml de una solución buffer compuesta por cloruro de potasio (KCl) 0,15 M, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) 0,02 M y butilhidroxitolueno (BHT) 0,03 M, manteniendo la mezcla a 4°C. El homogeneizado obtenido se dividió en dos partes: una

para la prueba de TBARS (oxidación de lípidos), y la otra para la prueba de carbonilos (oxidación de proteínas), que se congeló a -20°C para su posterior análisis.

Para evaluar la oxidación de lípidos mediante TBARS, los homogeneizados fueron centrifugados a 2000 g durante 10 minutos. Luego, se extrajo 1 ml del sobrenadante y se incubó con 1 ml de una solución de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) y TCA (35 mM TBA y 10% TCA en 125 mM de ácido clorhídrico, HCl) en tubos Falcon de 15 ml con tapa. Estos tubos se colocaron en un baño de agua en ebullición durante 30 minutos, se enfriaron en un baño de hielo por 5 minutos y se dejaron reposar a temperatura ambiente durante 45 minutos. Posteriormente, el cromógeno rosa formado se extrajo con 3 ml de n-butanol y se separó mediante centrifugación a 2000 g durante 10 minutos. La absorbancia del sobrenadante se midió a 535 nm utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 265 (PDA UV/VIS). La concentración de malondialdehído (MDA) se calculó utilizando el coeficiente de extinción molar del MDA (156000/M.cm), y los resultados se expresaron como mg de MDA por kg de carne fresca.

Para la determinación de la oxidación de proteínas, los homogeneizados fueron descongelados a temperatura ambiente, agitados con vórtex y centrifugados a 3000 rpm durante 10 minutos. Dos alícuotas de 0,6 ml de cada muestra se colocaron en tubos Eppendorf: una se incubó con 0,6 ml de HCl 2 M (blanco) y la otra con 0,6 ml de dinitrofenilhidrazina (DNPH) 0,02 M en HCl 2 M, durante 1 hora a temperatura ambiente con agitación regular. Después, se añadió 0,6 ml de TCA al 20%, dejándolas reposar a temperatura ambiente por 15 minutos con agitación regular. Los tubos fueron centrifugados a 2000 g durante 10 minutos y los sobrenadantes fueron descartados. Los precipitados se lavaron tres veces con 1,2 ml de una mezcla de etanol y acetato de etilo (1:1) y se centrifugaron después de cada lavado para eliminar restos de DNPH. Posteriormente, los precipitados se disolvieron en 1,8 ml de guanidina hidroclórica 6 M disuelta en fosfato de potasio monobásico (KH_2PO_4) 0,02 M y se incubaron a temperatura ambiente con agitación regular hasta que se disolvieron por completo. Finalmente, se centrifugaron a 2400g durante 10 minutos y la absorbancia del sobrenadante se midió a 370 nm. La concentración de DNPH se calculó usando el coeficiente de extinción molar de DNPH (22000/M.cm) y los resultados se expresaron como nM de DNPH por mg de proteína. El contenido de proteínas fue determinado a 280 nm en el homogeneizado, usando albúmina de suero bovino (Sigma Chemicals Co, St. Louis, USA) como estándar.

Análisis estadísticos

Todas las variables fueron analizadas mediante modelos lineales mixtos, utilizando PROC MIXED del software SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE.UU.) considerando a los animales anidados

dentro del tratamiento dietario como efecto aleatorio. Para las concentraciones ácidos grasos individuales y sus sumas parciales, los índices aterogénico y trombogénico, y la concentración de compuestos fenólicos totales en la carne, se incluyó como efecto fijo el tratamiento dietario (2021: H, A o M; 2022: A o M; 2023 G o L). Para la evolución del descenso de pH, se consideraron como efectos fijos el tratamiento dietario (según el año correspondiente), el tiempo, considerado como medida repetida, y su interacción. Para las variables de color, pérdidas por purga y descongelado, cocción y jugo exprimible, y así como la oxidación lipídica y proteica, se incluyeron como efectos fijos el tratamiento dietario (según el año correspondiente), el período de maduración (1, 4, 8 y 16 días) y su interacción. Para las pérdidas por goteo, se consideraron como factores fijos el tratamiento dietario (según el año correspondiente), el período de maduración (1, 4, 8 y 16 días), el tiempo, considerado como medida repetida, y la interacción entre ellos. Cuando se detectaron interacciones significativas, estas fueron exploradas individualmente para cada variable. Las comparaciones entre medias se realizaron mediante el test de Tukey-Kramer, con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Resultados

Los resultados fueron analizados por separado para cada experimento, sin embargo, en esta sección se presentarán agrupados por variables para facilitar la lectura.

Características de la carne fresca

pH

No se encontraron diferencias significativas en el pH inicial (1 hora) y final (24 horas) de la carne entre los tratamientos dietarios en ninguno de los experimentos (Figura 4.2; Tabla 4.1). Los valores promedio de pH inicial y final para los tres tratamientos del experimento de 2021 fueron 6,47 y 5,52, respectivamente; para los dos tratamientos del experimento de 2022 fueron 6,71 y 5,43, respectivamente; y para los dos tratamientos del experimento de 2023 fueron 6,72 y 6,03, respectivamente.

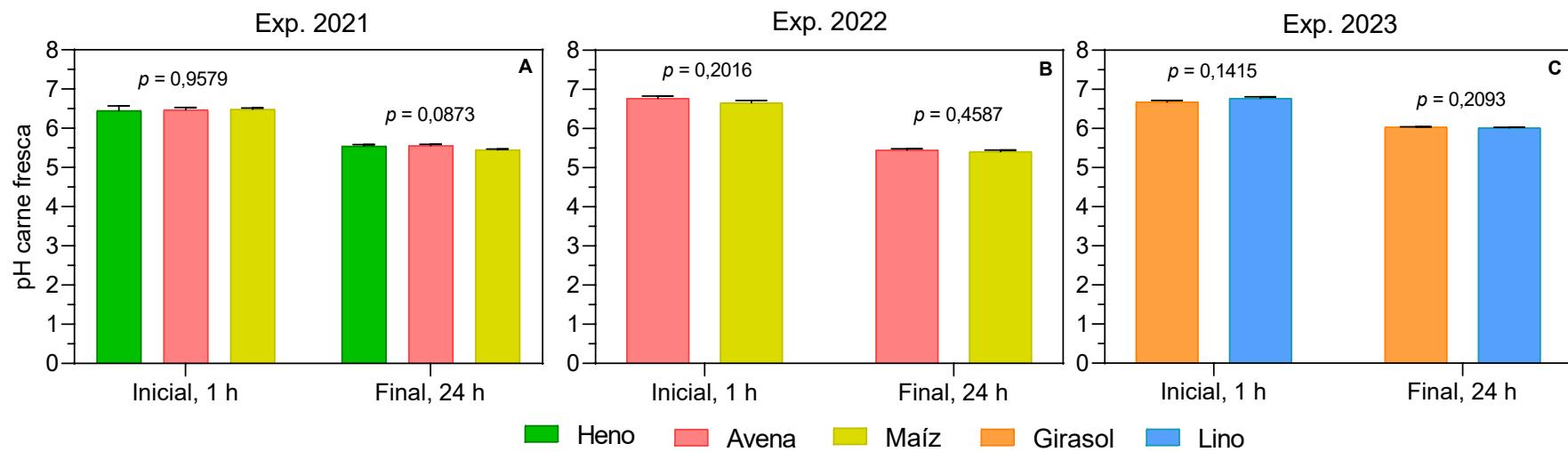


Figura 4.2. Valores de pH inicial y final (1 y 24 horas postmortem, respectivamente) de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) y harina de lino (L), correspondientes a los experimentos A: 2021; B:2022 y C: 2023.

Tabla 4.1. Máxima verosimilitud restringida para el pH de la carne de los corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.

Año	pH									
	2021			2022			2023			
	Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P
Dieta (D)	2/14	0,27	0,7696		1/18	2,70	0,1175	1/18	1,71	0,2071
Tiempo (T)	1/14	305,80	<0,0001		1/18	602,57	<0,0001	1/18	451,14	<0,0001
D x T	2/14	0,57	0,5784		1/18	0,46	0,5045	1/18	2,78	0,1129
Efectos aleatorios		Z	P		Z	P		Z	P	
Animal (Dieta)		0,01	0,4958		0,22	0,4112		0,00	0,4986	
CS		-2,65	0,0082		0,22	0,4112		-3,00	0,0027	
Residuo		2,65	0,0041		3,00	0,0013		3,00	0,0013	

Color

Las variables de color medidas en la carne fresca no pudieron ser evaluadas en el experimento de 2021. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos tanto en el experimento de 2022 como en el de 2023 (Tablas 4.2 y 4.3). En el experimento de 2022 se observó una tendencia hacia valores ligeramente superiores en las variables b* y tonalidad en el tratamiento M en comparación con A. El valor de la métrica CIEDE₂₀₀₀, que se utiliza para evaluar la percepción del color por el ojo humano entre dos muestras, fue de 0,83 para la comparación Avena vs. Maíz, y de 0,71 para la comparación Girasol vs. Lino, situándose ambos valores por debajo del umbral de diferenciación perceptible del color (valor 3). La representación tridimensional del color de las muestras de carne evaluadas indica que la distribución de los puntos es uniforme para ambos experimentos (2022 y 2023, Figura 4.3).

Tabla 4.2. Variables de color de la carne fresca de ovinos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L), evaluadas en los experimentos realizados durante 2022 y 2023.

Año	2022				2023				
	Avena		Maíz		Girasol		Lino		
	Variable ¹	Media	EE ²	Media	EE	Media	EE	Media	EE
L*	36,54	0,57		37,19	0,56	34,11	0,87	33,63	0,81
a*	20,99	0,32		21,70	0,45	18,20	0,55	18,40	0,55
b*	6,84	0,19		7,46	0,29	7,66	0,49	6,80	0,48
Tonalidad	18,01	0,25		18,91	0,41	22,72	1,09	20,14	1,11
Saturación	22,08	0,36		22,95	0,51	19,78	0,64	19,64	0,62

¹L*: luminosidad; a*: color rojo, b*: color amarillo.

²EE: error estándar de la media

Tabla 4.3. Máxima verosimilitud restringida para las variables de color (L^* , a^* , b^* , tonalidad y saturación) correspondientes a la carne de ovinos de los experimentos 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).

Variable		L^*		a^*		b^*		Tonalidad		Saturación	
2022											
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,67	0,4248	1,66	0,2133	3,21	0,0900	3,48	0,0783	1,96	0,1783
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,28	0,0112	1,82	0,0345	1,13	0,1287	1,61	0,0538	1,99	0,0233
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2023											
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,16	0,6905	0,06	0,8044	1,60	0,2220	2,78	0,1128	0,02	0,8794
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,63	0,0043	2,25	0,0122	2,10	0,0177	-	-	2,40	0,0083
Residuo		-	-	-	-	-	-	3,0	0,0013	-	-

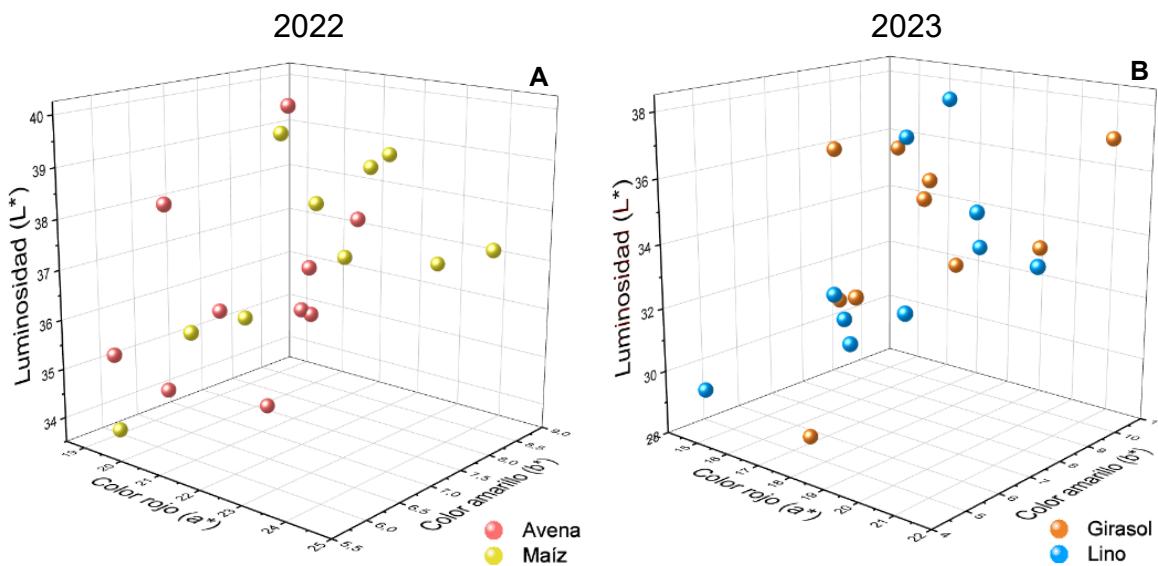


Figura 4.3. Representación tridimensional del color de la carne fresca de ovinos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). Cada punto representa una muestra de carne en función del tratamiento dietario. A: experimento 2022, 10 A y 10 M; B: experimento 2023, 10 G y 10 L.

Perfil de ácidos grasos

Los ácidos grasos palmítico (C:16), esteárico (C:18) y oleico (C18:1n-9) fueron predominantes en el perfil lipídico de la carne de los ovinos de los tres experimentos, representando entre el 71,89 % y 77,38 % del total de ácidos grasos (Tabla 4.4). En el experimento 2021, la carne de los ovinos del tratamiento H presentó concentraciones de ácido palmitoleico (C16:1) entre 16,88 % y 25,54 % superiores en comparación con los tratamientos A y M. Además, las concentraciones de los ácidos grasos láurico (C12:0) y mirístico (C14:0) en la carne del tratamiento H fueron entre 62,22 % y 122,22 % más altas que en los tratamientos A y M. En cuanto al ácido α -linolénico (C18:3n-3), se encontró que su concentración en la carne de los ovinos H fue entre 71,23 % y 107,87 % superior a la de los tratamientos A y M. El ácido margárico (C17:0) mostró una concentración 39,43 % mayor en el tratamiento H en comparación con M, y 74,09 % más alta en comparación con A. Por otro lado, la carne de los ovinos del tratamiento M presentó 18,19 % más de ácido oleico (C18:1) en comparación con el tratamiento H. Finalmente, se observó una tendencia hacia una mayor proporción de ácido esteárico en el tratamiento A en comparación con H y M (Tablas 4.4 y 4.5). El perfil completo de ácidos grasos de la carne perteneciente a los ovinos del experimento 2021 se encuentra detallado en la Tabla A4.8 del Anexo.

En el experimento de 2022, la proporción de ácido esteárico fue 19,41 % superior en la carne de los ovinos pertenecientes al tratamiento A en comparación con la de M. En contraste, la concentración de ácido oleico fue 10,17 % mayor en la carne del tratamiento M respecto al tratamiento A (Tablas 4.4 y 4.6). El perfil completo de ácidos grasos de la carne perteneciente a los ovinos del experimento 2022 se encuentra detallado en la Tabla A4.9 del Anexo.

En el experimento de 2023 solamente se observaron diferencias significativas en la concentración del ácido graso α -linolénico, la cual fue 38,24 % mayor en la carne del tratamiento L en comparación con la del tratamiento G (Tablas 4.4 y 4.7). El perfil completo de ácidos grasos de la carne perteneciente a los ovinos del experimento 2023 se encuentra detallado en la Tabla A4.10 del Anexo.

En los tres experimentos, los ácidos grasos saturados (SFA) representaron entre el 44,46 % y 48,73 %, mientras que los ácidos grasos insaturados (UFA) representaron entre 49,91 % y 54,37 % del perfil lipídico. Del total de UFA, los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) representaron entre 79,62 % y 83,13 %, mientras que los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) representaron entre 16,86 % y 20,38 % (Figura 4.4 A, F, K).

Tabla 4.4. Composición de los ácidos grasos de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L) correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.

Composición de los ácidos grasos ¹ , %	Año		2021				2022				2023				
			Heno		Avena		Maíz		Avena		Maíz		Girasol		
		Media	EE ²	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
C12:0	Láurico	0,47 a	0,07	0,22 b	0,04	0,21 b	0,06	0,29	0,05	0,27	0,02	0,25	0,02	0,21	0,02
C14:0	Mirístico	4,56 a	0,59	2,64 b	0,26	2,81 b	0,45	3,40	0,40	3,44	0,21	3,41	0,20	2,95	0,23
C16:0	Palmítico	23,59	0,50	22,70	0,57	23,99	0,49	22,71	0,34	22,70	0,36	22,10	0,43	21,27	0,39
C16:1	Palmitoleico	2,61 a	0,11	2,08 b	0,08	2,24 b	0,15	2,56	0,13	2,74	0,11	2,55	0,12	2,38	0,08
C17:0	Margárico	1,43 a	0,04	0,82 c	0,06	1,03 b	0,09	1,17	0,05	1,25	0,05	1,07	0,05	1,08	0,08
C18:0	Esteárico	17,19	1,30	20,44	1,38	16,62	0,52	19,78	0,72	16,57	0,70	18,53	1,59	17,85	0,72
C18:1n-9	Oleico	31,11 b	0,66	33,38 ab	0,92	36,77 a	2,41	31,26	0,48	34,44	0,66	33,38	1,08	34,13	0,81
C18:2n-6	Linoleico	5,49	0,31	5,95	0,64	5,49	0,52	5,78	0,43	5,39	0,33	5,28	0,42	5,86	0,62
C20:0	Araquídico	0,14	0,04	0,20	0,01	0,13	0,04	0,14	0,03	0,08	0,03	0,13	0,03	0,11	0,02
C18:3n-3	α-linolénico	1,19 a	0,15	0,57 b	0,09	0,69 b	0,22	0,81	0,05	0,82	0,04	0,84	0,05	1,16	0,06
C20:4n-6	ARA	1,44	0,10	1,67	0,21	1,41	0,17	1,50	0,15	1,51	0,15	1,25	0,17	1,30	0,21
C20:5n-3	EPA	0,45	0,05	0,39	0,06	0,31	0,06	0,43	0,04	0,49	0,04	0,54	0,04	0,67	0,10
C22:6n-3	DHA	0,22	0,02	0,26	0,03	0,17	0,03	0,31	0,04	0,31	0,04	0,32	0,03	0,38	0,05
ND		1,26	0,34	1,79	0,55	0,96	0,12	1,41	0,30	1,25	0,09	1,13	0,18	1,24	0,19

¹ARA: ácido araquidónico; EPA: ácido eicosapentanoico; DHA: ácido docosahexanoico; ND: no definidos.

²EE: error estándar de la media.

Tabla 4.5. Máxima verosimilitud restringida para la concentración de ácidos grasos de la carne de los ovinos del experimento 2021, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena o grano de maíz).

Variable	gl _{n/d}	C12:0		C14:0		C16:0		C16:1		C17:0		C18:0		C18:1n-9	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Efectos fijos															
Dieta (D)	2/14	6,40	0,0106	5,55	0,017	1,58	0,2409	6,27	0,0114	25,55	<0,0001	3,01	0,0819	3,98	0,0428
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,05	0,4799	1,44	0,0754	-	-	0,18	0,4302	0,06	0,4767	-	-	-	-
Residuo		-	-	-	-	2,65	0,0041	-	-	-	-	2,65	0,0041	2,65	0,0041

Variable	gl _{n/d}	C18:2n-6		C20:0		C18:3n-3		C20:4n-6		C20:5n-3		C22:6n-3		ND	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Efectos fijos															
Dieta (D)	2/14	0,27	0,7661	1,81	0,2028	4,72	0,0271	0,71	0,5067	1,38	0,2844	2,46	0,1242	1,06	0,3729
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		1,58	0,0570	0,01	0,4949	0,31	0,3774	0,37	0,3543	0,05	0,4792	0,01	0,4954	1,27	0,1019
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.6. Máxima verosimilitud restringida para la concentración de ácidos grasos de la carne de los ovinos del experimento 2022, alimentados con diferentes dietas (basadas engrano de avena o grano de maíz).

Variable		C12:0		C14:0		C16:0		C16:1		C17:0		C18:0		C18:1n-9	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	0,20	0,6608	0,01	0,9187	0,00	0,9777	1,19	0,29	1,47	0,2417	10,17	0,0051	15,1	0,0011
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,05	0,4815	1,52	0,0639	-	-	0,36	0,3581	0,07	0,4738	2,51	0,0061	2,31	0,0105
Residuo		-	-	-	3,00	0,0013	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Variable		C18:2n-6		C20:0		C18:3n-3		C20:4n-6		C20:5n-3		C22:6n-3		ND	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	0,51	0,4843	2,7	0,1169	0,02	0,8831	0,00	0,9459	1,03	0,3237	0,00	0,9867	0,24	0,6295
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		1,79	0,0369	0,02	0,4916	0,07	0,4737	0,50	0,3096	0,05	0,4801	0,05	0,4793	1,00	0,1590
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.7. Máxima verosimilitud restringida para la concentración de ácidos grasos de la carne de los ovinos del experimento 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas engrano de avena con harina de girasol o harina de lino como suplemento proteico).

Variable		C12:0		C14:0		C16:0		C16:1		C17:0		C18:0		C18:1n-9	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	1,80	0,1967	2,26	0,1503	2,00	0,1741	1,32	0,2657	0,01	0,9334	0,15	0,7035	0,30	0,5887
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		0,01	0,4947	0,97	0,1670	1,89	0,0296	0,28	0,3883	0,13	0,4492	2,82	0,0024	3,00	0,0013
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Variable		C18:2n-6		C20:0		C18:3n-3		C20:4n-6		C20:5n-3		C22:6n-3		ND	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	0,60	0,4470	0,29	0,5949	15,37	0,0010	0,03	0,8587	1,52	0,2330	0,68	0,4206	0,17	0,6807
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		2,21	0,0135	0,02	0,4927	0,10	0,4610	0,78	0,2169	0,17	0,4309	0,06	0,4767	0,75	0,2266
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

En el experimento de 2021 no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para la concentración de SFA, UFA y PUFA, así como tampoco en la relación PUFA:SFA, ni en el valor del índice trombogénico (Figura 4.4 A, B y E; Tabla 4.8). Sin embargo, se observó una tendencia hacia una mayor proporción de MUFA en el tratamiento M, en comparación con los tratamientos H y A. Se detectaron diferencias significativas en la relación n-6:n-3, donde la carne de los ovinos alimentados con las dietas A y M mostraron relaciones 49,55 % y 58,18 % mayores en comparación con la carne de los animales alimentados con la dieta H, respectivamente (Figura 4.4 C; Tabla 4.8). Asimismo, el valor del índice aterogénico fue, en promedio, 25,93 % superior en el tratamiento H en comparación con los demás tratamientos (Figura 4.4 D; Tabla 4.8).

En el experimento de 2022, la carne del tratamiento A mostró un valor de SFA 7,21 % superior al de la carne del tratamiento M, mientras que la carne del tratamiento M presentó valores de UFA y MUFA 6,39 % y 9,02 % superiores a la carne de A, respectivamente (Figura 4.4 F; Tabla 4.8). No se encontraron diferencias entre los tratamientos en la proporción de PUFA, en la relación PUFA:SFA, en la relación n-6:n-3, ni en el índice aterogénico (Figura 4.4 F-I; Tabla 4.8) . Sin embargo, el índice trombogénico de la carne de A fue 14,39 % superior al de la carne de M (Figura 4.4 J; Tabla 4.8).

En el experimento de 2023, no se detectaron diferencias en las sumas parciales de los ácidos grasos SFA, UFA, MUFA y PUFA, en la relación PUFA:SFA, ni en el índice trombogénico entre los tratamientos (Figura 4.4 L y O; Tabla 4.8). Sin embargo, se encontró una tendencia hacia un mayor valor de índice aterogénico en la carne de G (Figura 4.4 N; Tabla 4.8). A su vez, la carne de G mostró una relación n-6:n-3 21,59 % mayor que la del tratamiento L (Figura 4.4 M; Tabla 4.8).

Compuestos fenólicos

No se encontraron diferencias significativas en la concentración de compuestos fenólicos totales entre los tratamientos para la carne de los ovinos pertenecientes los experimentos 2021 y 2023 (Figura 4.5 A y C; Tabla 4.9). El valor promedio para los tres tratamientos del experimento 2021 fue de 1,32 mg.g⁻¹ de carne y para los dos tratamientos del experimento 2023 fue de 0,77 mg.g⁻¹ de carne. Sin embargo, en el experimento 2022 se observó una tendencia hacia una mayor concentración de compuestos fenólicos en el tratamiento M en comparación con A (Figura 4.5 B; Tabla 4.9). Los valores obtenidos fueron 0,73 mg.g⁻¹ de carne para M y 0,63 mg.g⁻¹ de carne para A.

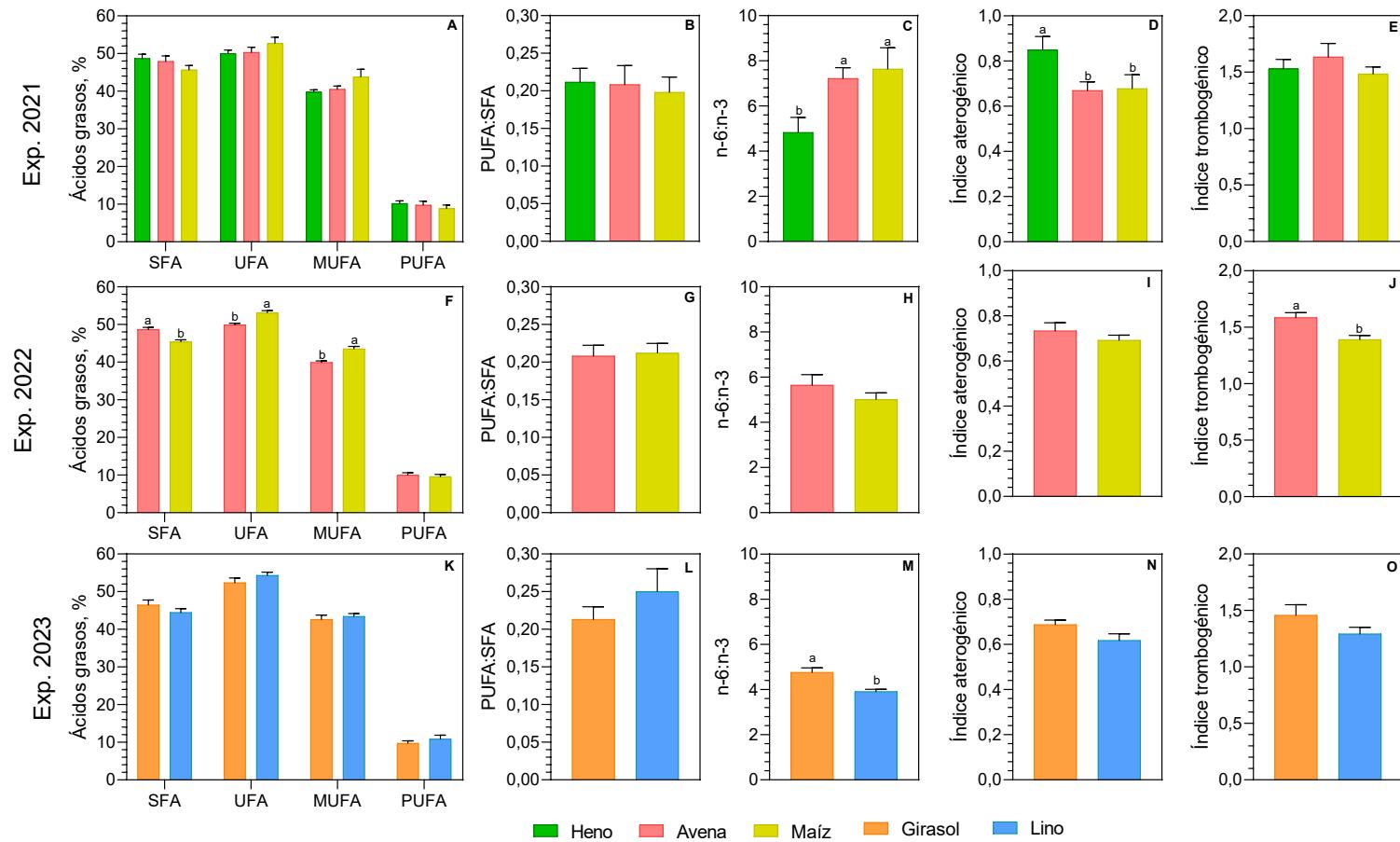


Figura 4.4. Sumas parciales de ácidos grasos saturados (SFA), insaturados (UFA), monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFA), relación PUFA: SFA, relación n-6:n-3, índice aterogénico e índice trombogénico de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). A-E: experimento 2021; F-J: experimento 2022; K-O: experimento 2023.

Tabla 4.8. Máxima verosimilitud restringida para las sumas parciales de ácidos grasos saturados (SFA), insaturados (UFA), monoinsaturados (MUFA), poliinsaturados (PUFA), relación PUFA:SFA, relación n-6:n-3, índice aterogénico e índice trombogénico de la carne de los ovinos correspondiente a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).

Variables		SFA (%)		UFA (%)		MUFA (%)		PUFA (%)		PUFA:SFA		n-6:n-3		Índice aterogénico		Índice trombogénico	
2021																	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	2/14	1,49	0,2597	1,23	0,3231	3,12	0,0755	0,54	0,5923	0,1	0,9044	4,90	0,0244	3,77	0,0489	0,67	0,5273
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		2,65	0,0041	2,40	0,0083	2,65	0,0041	2,15	0,0158	0,01	0,4972	1,93	0,0268	0,04	0,4834	0,13	0,4497
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022																	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	18,67	0,0004	19,4	0,0004	22,5	0,0002	0,24	0,6283	0,04	0,8381	1,29	0,2716	0,99	0,3318	11,9	0,0028
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		2,23	0,0130	2,17	0,0149	3,00	0,0014	2,33	0,0099	0,01	0,4978	1,82	0,0345	0,03	0,4895	0,05	0,4812
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2023																	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	1,53	0,2318	1,61	0,2208	0,36	0,5539	0,86	0,3651	1,13	0,3009	14,3	0,0014	3,88	0,0643	2,30	0,1470
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		3,00	0,0014	2,76	0,0029	2,69	0,0035	2,64	0,0042	0,02	0,4928	0,60	0,2749	0,02	0,4925	0,17	0,4326
Residuo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

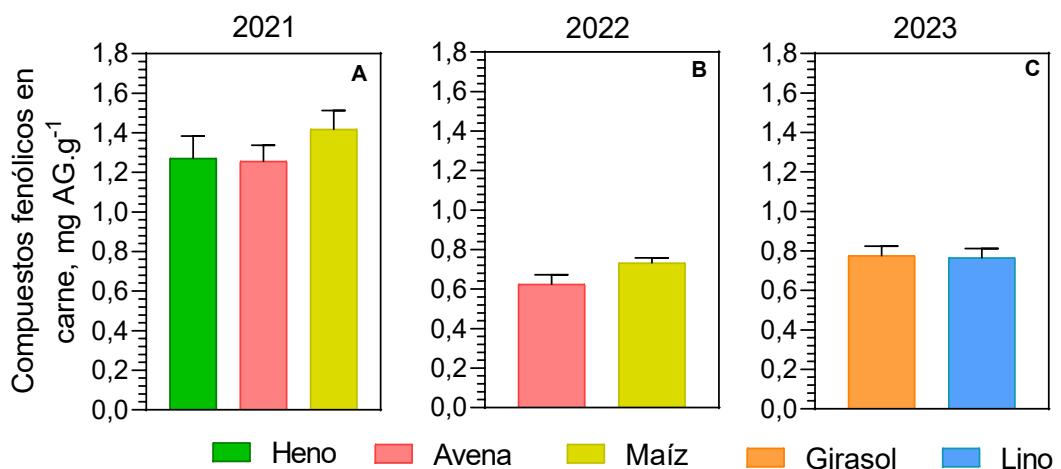


Figura 4.5. Concentración de compuestos fenólicos totales en la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) y harina de lino (L). Los datos corresponden a los experimentos A: 2021; B:2022 y C: 2023.

Tabla 4.9. Máxima verosimilitud restringida para la concentración de compuestos fenólicos en la carne de los corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), evaluadas como medidas repetidas en el tiempo, incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.

Año	Compuestos fenólicos (mg.g⁻¹)								
	2021		2022		2023				
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P
Dieta (D)	2/14	0,78	0,4763	1/18	3,83	0,0660	1/18	0,03	0,8714
Efectos aleatorios									
Animal (Dieta)	0,14	0,4463		0,04	0,4824		0,07	0,4738	
Residuo	-	-		-	-		-	-	

Características de la carne madurada

No se encontraron interacciones significativas entre los tratamientos dietarios y los tiempos de maduración en la mayoría de las variables estudiadas sobre la carne de los experimentos 2021, 2022 y 2023. Para las variables donde se halló interacción, la misma fue estudiada por separado. Por lo tanto, todas las variables evaluadas se describirán en función del tipo de dieta y del período de maduración por separado.

En función del tipo de dieta

pH y color

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en el pH de la carne en ninguno de los tres experimentos (Tablas 4.10 y 4.14). En cuanto a las variables de color, en el experimento 2021, la carne del tratamiento M presentó un valor de color amarillo (b^*) 14,09 % superior al del tratamiento A, mientras que el tratamiento H mostró un valor intermedio, sin diferencias significativas respecto de los anteriores. En los experimentos 2022 y 2023, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna de las variables de color evaluadas (Tablas 4.10, 4.14 y 4.15). Por otra parte, la diferencia total del color (ΔE) entre la carne madurada por 1 y 16 días no mostró diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los tres experimentos (Tablas 4.10 y 4.16). Esto sugiere que los cambios de color ocurridos durante el período de maduración fueron de similar magnitud entre los tratamientos dentro de cada experimento.

Tabla 4.10. Valores de pH y variables de color de la carne madurada de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L), evaluados en los experimentos realizados durante 2021, 2022 y 2023.

Año	2021						2022						2023			
	Heno		Avena		Maíz		Avena		Maíz		Girasol		Lino			
	Media	EE ²	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
pH	5,73	0,01	5,73	0,02	5,68	0,02	5,48	0,02	5,46	0,01	5,82	0,02	5,84	0,02		
L*	36,54	0,42	36,82	0,39	38,12	0,35	37,12	0,35	36,83	0,33	36,11	0,24	36,69	0,31		
a*	21,19	0,39	19,83	0,34	21,14	0,28	23,01	0,27	22,97	0,24	22,85	0,19	23,04	0,25		
b*	8,99 ab	0,23	8,32 b	0,24	9,49 a	0,25	11,25	0,25	11,69	0,19	10,68	0,14	10,67	0,20		
Tonalidad	22,94	0,26	22,70	0,39	24,11	0,44	25,91	0,31	26,92	0,22	25,03	0,18	24,77	0,22		
Saturación	23,03	0,44	21,51	0,39	23,18	0,34	25,63	0,34	25,79	0,29	25,23	0,23	25,39	0,30		
ΔE 1 vs. 16 días	3,56	1,21	3,84	1,05	2,28	0,46	2,75	0,42	1,91	0,28	2,28	0,52	2,07	0,39		

¹L*: luminosidad; a*: color rojo; b*: color amarillo; ΔE: diferencia total del color.

²EE: error estándar de la media.

Los valores obtenidos mediante la ecuación CIEDE₂₀₀₀ (ΔE_{00}), que mide la percepción del color de la carne por el ojo humano, se presentan en la Tabla 4.11. Estos valores fueron inferiores al umbral de diferenciación del color (valor 3) en los tres experimentos, lo que sugiere que las diferencias en el color de la carne entre los tratamientos no serían perceptibles a simple vista. La representación tridimensional del color de la carne, en función de los diferentes tratamientos dietarios en cada experimento, muestra una distribución uniforme, tal como se observa en la Figura 4.6.

Tabla 4.11. Resultados de la métrica CIEDE₂₀₀₀ correspondientes a las comparaciones de color de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) y harina de lino (L). Los datos corresponden a los experimentos realizados en 2021, 2022 y 2023.

Experiemento	Comparación entre tratamientos	Valor CIEDE ₂₀₀₀
2021	Heno vs. Avena	0,84
	Heno vs. Maíz	1,39
	Avena vs. Maíz	1,08
2022	Avena vs. Maíz	0,44
2023	Girasol vs. Lino	0,50

Capacidad de retención de agua

No se observó efecto del tratamiento dietario sobre ninguna de las variables relacionadas con la capacidad de retención de agua, en ninguno de los tres experimentos (Figura 4.7; Tablas 4.17, 4.18 y 4.19). En el experimento 2021, los valores promedio de pérdida de agua fueron 6,41 % para purga y descongelado, 1,38 %, 2,27 % para goteo a 24 h y 48 h, respectivamente, 29,40 % para cocción y 30,46 % para jugo exprimible. En el experimento 2022, las pérdidas promedio fueron 7,75 % (purga y descongelado), 1,24 % (goteo 24 h), 2,04 % (goteo 48 h), 27,66 % (cocción) y 22,25 % (jugo exprimible). Por último, en 2023 se observaron pérdidas promedio de 11,32 % (purga y descongelado), 1,24 % y 2,21 % (goteo a 24 y 48 h, respectivamente), 27,06 % (cocción) y 20,45 % (jugo exprimible).

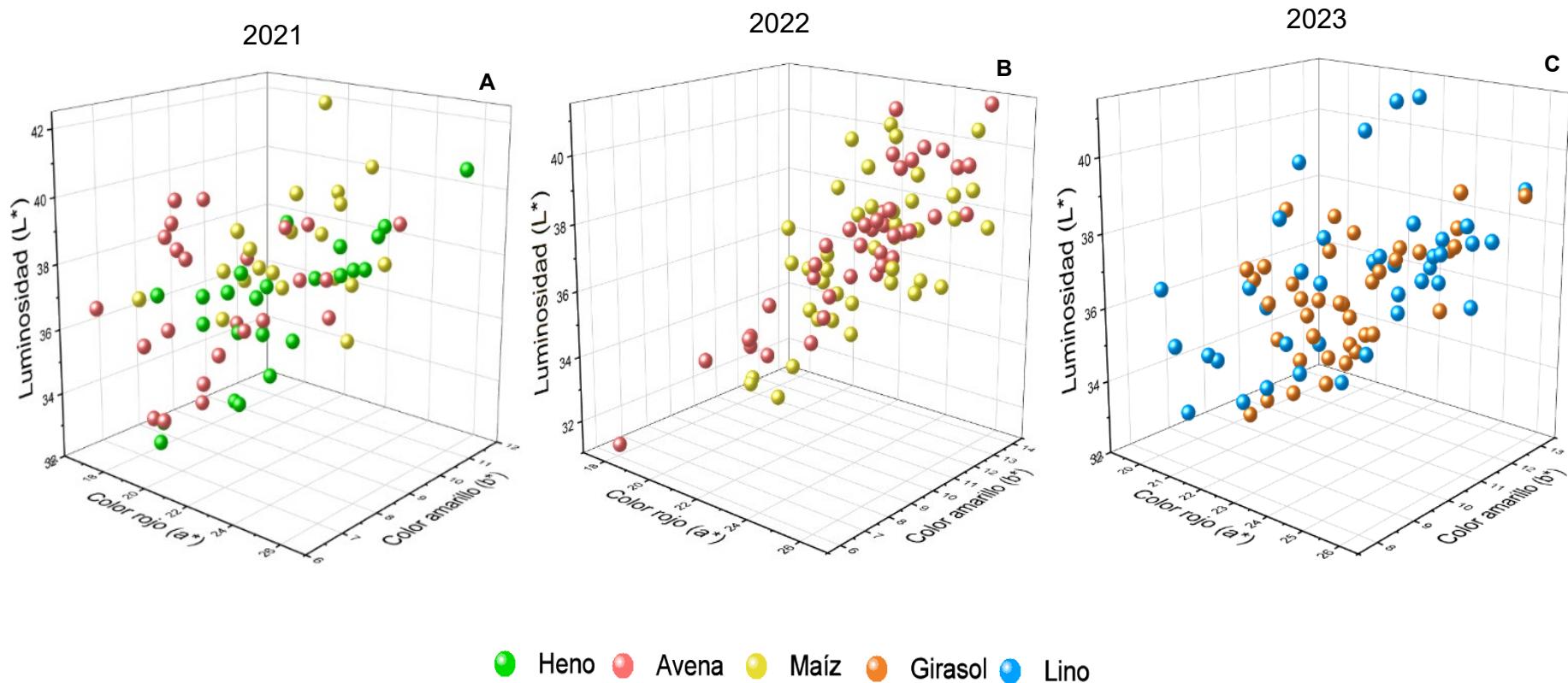


Figura 4.6. Representación tridimensional del color de la carne de ovinos, alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L), luego de ser madurada, congelada y descongelada. Cada punto representa una muestra de carne en función del tratamiento dietario. A: experimento 2021, N = 4 períodos de maduración x 17 individuos (6 H, 6 A, 5 M); B: experimento 2022, N = 4 períodos de maduración x 20 individuos (10 A y 10 M); C: experimento 2023 N = 4 períodos de maduración x 20 individuos (10 G y 10 L).

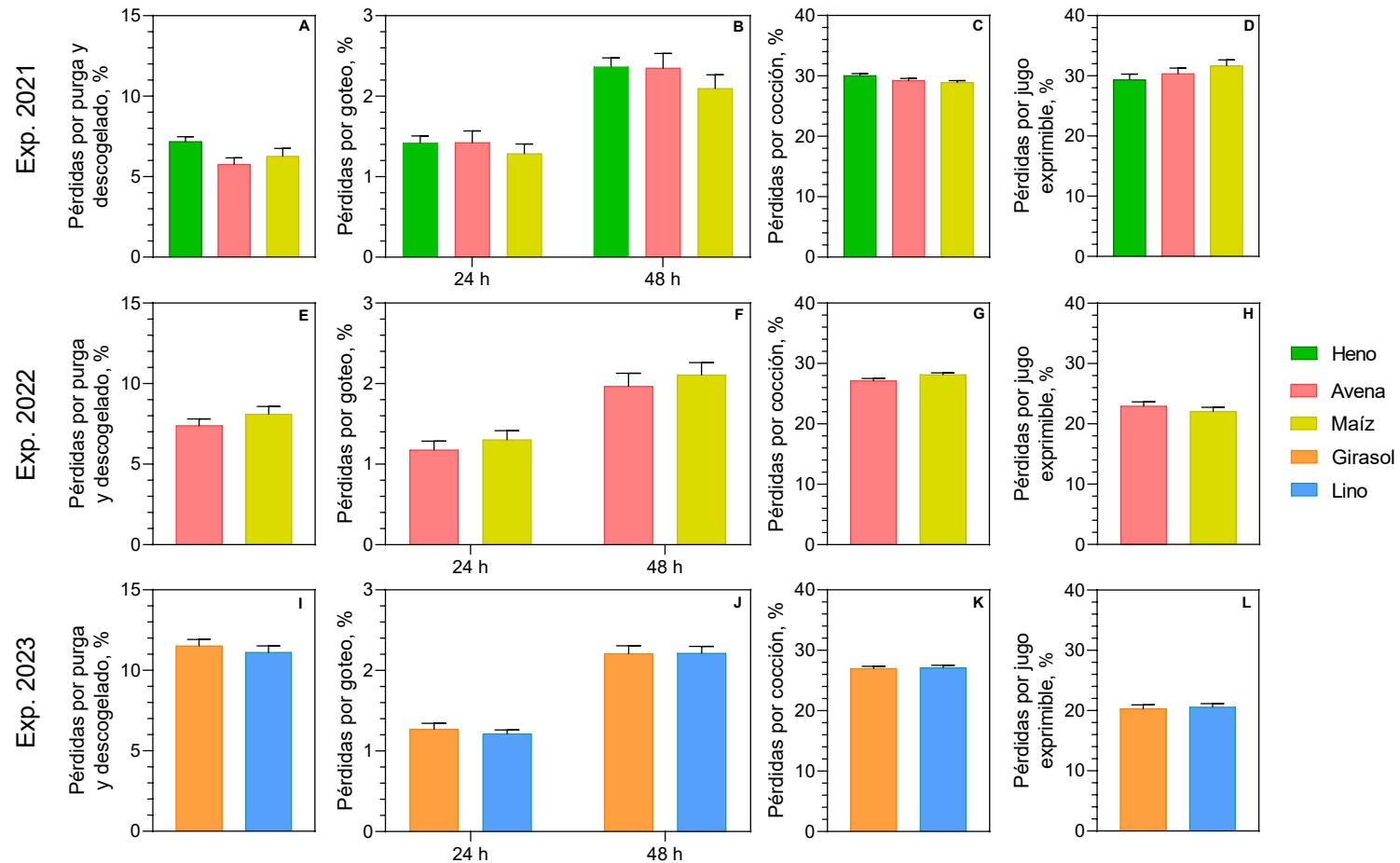


Figura 4.7. Pérdidas por purga y descongelado, goteo, cocción y jugo exprimible de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L), evaluada después de ser madurada, congelada y descongelada. A-D: experimento 2021; E-H: experimento 2022; I-L: experimento 2023.

Oxidación lipídica y proteica

No se observó ningún efecto del tipo de dieta sobre la oxidación lipídica (TBARS) ni sobre la oxidación proteica (carbonilos) en la carne de los corderos, en ninguno de los tres experimentos realizados. (Figura 4.8; Tabla 4.17). Los valores promedio de oxidación lipídica fueron 0,76 mg MDA.kg⁻¹ de carne en el experimento 2021, 0,71 mg MDA.kg⁻¹ en 2022 y 0,70 mg MDA.kg⁻¹ en 2023. En cuanto a la oxidación proteica, los valores promedio fueron 0,31 nM DNPH.mg⁻¹ de proteína en 2021 y 0,20 nM DNPH.mg⁻¹ en 2022 y 0,16 nM DNPH.mg⁻¹ en 2023.

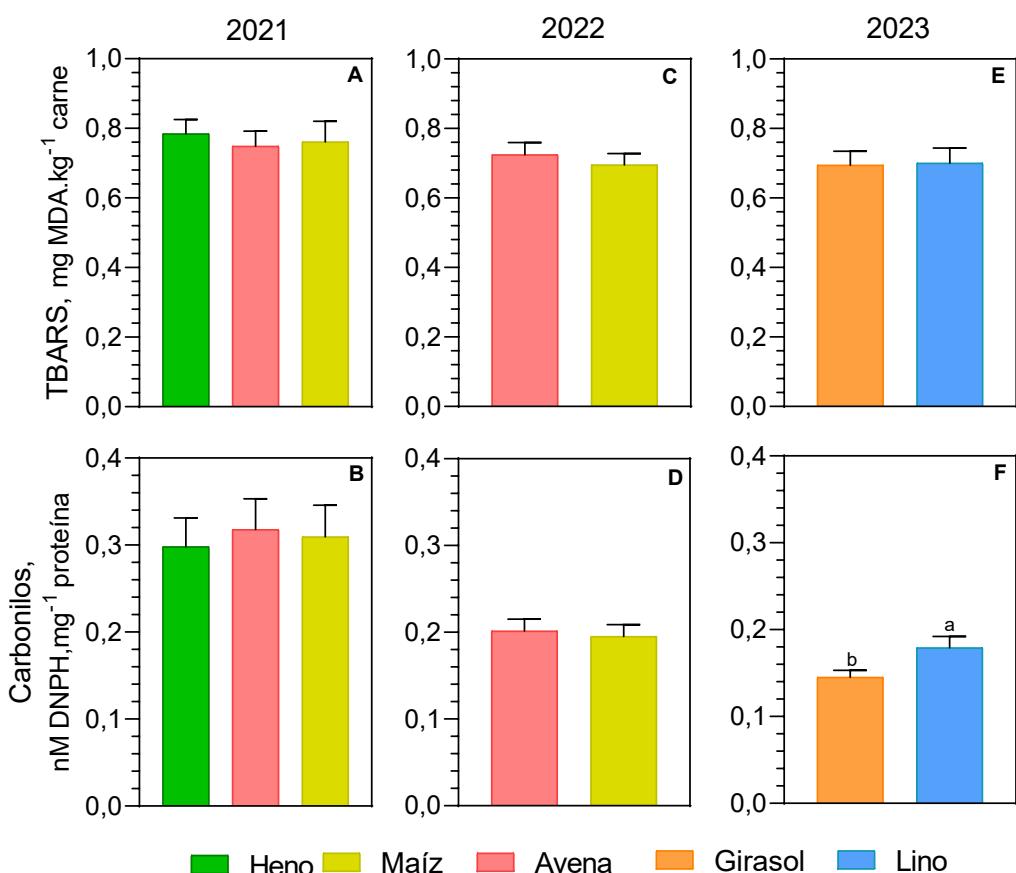


Figura 4.8. Oxidación lipídica (TBARS) y proteica (carbonilos) de la carne de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de maíz (M), grano de avena (A), harina de girasol (G) o harina de lino (L), evaluada luego de ser madurada, congelada y descongelada. A-B: experimento 2021; C-D: experimento 2022; E-F: experimento 2023.

En función del período de maduración

pH y color

No se encontraron diferencias significativas entre los diferentes períodos de maduración para el pH de la carne, ni para las variables de color evaluadas en los experimentos 2021 y 2023 (Tablas 4.12, 4.14 y 4.15). En el experimento 2022, el análisis del efecto de la maduración sobre el color rojo y la tonalidad mostraron diferencias globales significativas (Tabla 4.14). Sin embargo, en el caso de la tonalidad, las comparaciones por pares mediante el test de Tukey-Kramer no revelaron diferencias significativas entre los distintos tiempos de maduración. Esto sugiere que, si bien el efecto de la maduración sobre la tonalidad fue globalmente significativo, las diferencias específicas entre los tiempos evaluados fueron sutiles y no suficientemente amplias como para alcanzar significancia estadística luego del ajuste por comparaciones múltiples. Por otra parte, el color rojo de la carne madurada durante 16 días fue más intenso que el de la carne madurada por 1 o 4 días.

Todos los valores de la métrica CIEDE₂₀₀₀, correspondientes a las comparaciones entre la carne madurada durante diferentes períodos en los tres experimentos, se encontraron por debajo del umbral de diferenciación perceptible del color (valor 3; Tabla 4.13). Esto sugiere que las variaciones en el color de la carne no serían percibidas a simple vista por el ojo humano. Asimismo, la distribución tridimensional del color de las muestras correspondientes en cada uno de los períodos de maduración es uniforme en los tres experimentos (Figura 4.9 A-C).

Tabla 4.12. Valores de pH y variables de color de la carne de ovinos madurada en húmedo durante 1, 4, 8 y 16 días, evaluada luego del proceso de congelado y descongelado; correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023.

Año	Variable ¹	Media	EE ²	Media	EE	Media	EE	Media	EE
		1 día		4 días		8 días		16 días	
2021	pH	5,69	0,02	5,71	0,02	5,73	0,02	5,72	0,02
	L*	36,53	0,48	37,56	0,54	36,96	0,42	37,36	0,46
	a*	20,23	0,34	20,98	0,38	20,33	0,44	21,23	0,51
	b*	8,89	0,25	9,18	0,28	8,64	0,31	8,89	0,35
	Tonalidad	23,69	0,48	23,59	0,48	22,92	0,35	22,59	0,40
	Saturación	22,11	0,38	22,92	0,44	22,09	0,52	23,02	0,60
2022	pH	5,46	0,02	5,46	0,02	5,47	0,02	5,50	0,02
	L*	36,54	0,42	37,05	0,51	37,33	0,51	37,00	0,48
	a*	22,74 b	0,38	22,69 b	0,32	23,02 ab	0,39	23,53 a	0,33
	b*	11,25	0,35	11,46	0,33	11,64	0,32	11,53	0,28
	Tonalidad	26,20	0,45	26,69	0,40	26,74	0,37	26,03	0,32
	Saturación	25,38	0,48	25,43	0,42	25,80	0,47	26,21	0,41
2023	pH	5,81	0,03	5,84	0,03	5,84	0,02	5,85	0,02
	L*	36,25	0,40	36,56	0,40	36,56	0,43	36,23	0,40
	a*	22,51	0,28	23,23	0,30	23,14	0,36	22,89	0,30
	b*	10,58	0,26	10,84	0,22	10,83	0,28	10,44	0,21
	Tonalidad	25,11	0,33	24,99	0,26	25,00	0,31	24,48	0,24
	Saturación	24,88	0,36	25,64	0,35	25,56	0,43	25,16	0,35

¹L*: luminosidad; a*: color rojo, b*: color amarillo.

²EE: Error estándar de la media.

Tabla 4.13. Resultados de la métrica CIEDE₂₀₀₀, correspondientes a las comparaciones del color de la carne de ovinos de los experimentos 2021, 2022 y 2023, madurada en húmedo durante 1, 4, 8 y 16 días y evaluada luego del proceso de congelado y descongelado.

Comparación entre períodos de maduración	Valor CIEDE ₂₀₀₀		
	Experimento 2021	Experimento 2022	Experimento 2023
1 día vs. 4 días	0,97	0,46	0,53
1 día vs. 8 días	0,40	0,73	0,38
1 día vs. 16 días	1,12	0,64	0,22
4 días vs. 8 días	0,83	0,31	0,05
4 días vs. 16 días	0,17	0,33	0,52
8 días vs. 16 días	0,66	0,58	0,31

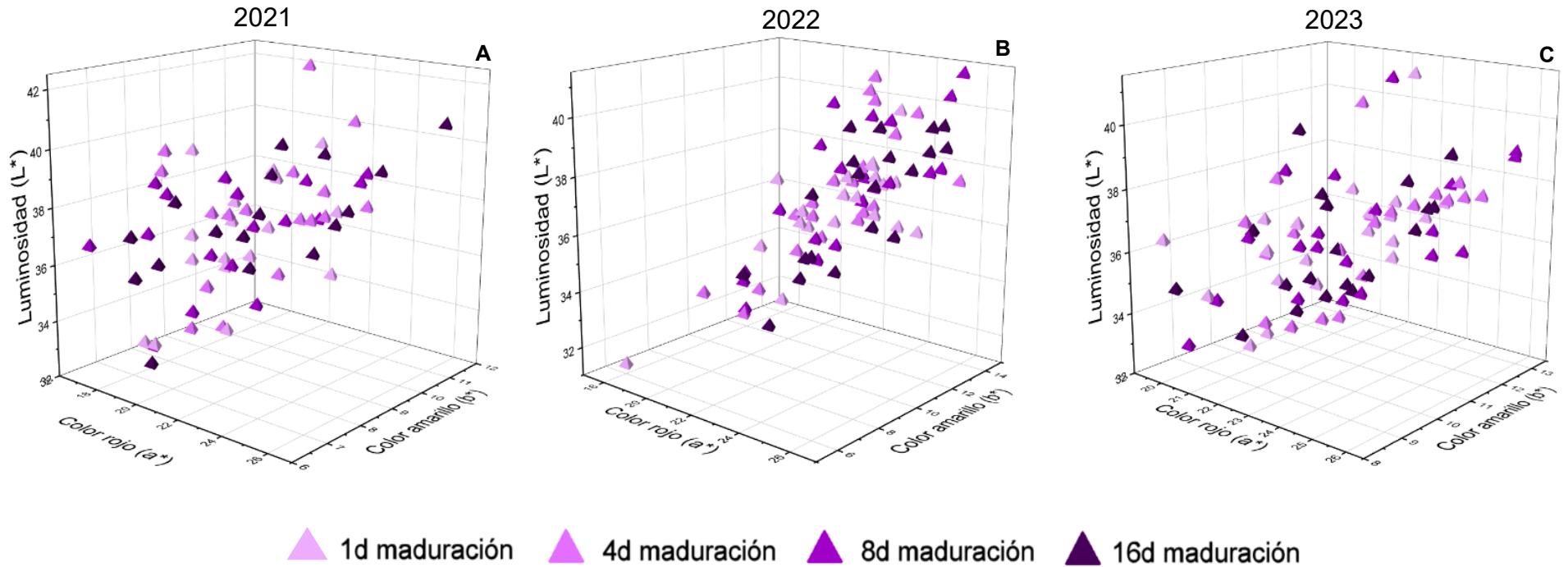


Figura 4.9. Representación tridimensional del color de la carne de ovinos, madurada en húmedo por 1, 4, 8 y 16 días y evaluada luego del proceso de congelado y descongelado. Cada punto representa una muestra de carne en función del tiempo de maduración. A: experimento 2021, N = 4 períodos de maduración x 17 individuos (6 H, 6 A y 5 M); B: experimento 2022, N = 4 períodos de maduración x 20 individuos (10 A y 10 M); C: experimento 2023 N = 4 períodos de maduración x 20 individuos (10 G y 10 L).

Capacidad de retención de agua

En el experimento de 2021, las pérdidas por purga y descongelado fueron, en promedio, 35,12 % mayores en la carne madurada durante 16 días en comparación con la madurada por 1 y 4 días, mientras que la carne madurada por 8 días presentó valores intermedios. Los valores observados fueron 5,65 %, 5,75 %, 6,57 % y 7,70 % para períodos de maduración de 1, 4, 8 y 16 días, respectivamente (Figura 4.10 A; Tabla 4.17). En cuanto a las pérdidas por goteo, a las 24 horas, la carne madurada por 1 día presentó pérdidas entre 45,86 % y 68,37 % superiores respecto a los demás períodos de maduración, mientras que a las 48 horas estas fueron entre 27,82 % y 58,20 % más elevadas. Los valores registrados para pérdidas por goteo a las 24 horas fueron 1,92 %, 1,32 %, 1,14 % y 1,15 % para 1, 4, 8 y 16 días de maduración, respectivamente, y a las 48 horas, 2,98 %, 2,33 %, 1,91 % y 1,89 %, en ese mismo orden (Figura 4.10 B; Tablas 4.19 y 4.20). Las pérdidas por cocción en la carne madurada por 1 día fueron entre 3,50 % y 6,98 % más altas que en la carne madurada por 4, 8 y 16 días. Los valores reportados fueron 30,67 %, 29,63 %, 28,67 % y 28,75 % para 1, 4, 8 y 16 días de maduración, respectivamente (Figura 4.10 C; Tabla 4.17). No se observaron diferencias en las pérdidas por jugo exprimible entre los diferentes períodos de maduración, con un valor promedio de 30,39 % (Figura 4.10 D; Tabla 4.17).

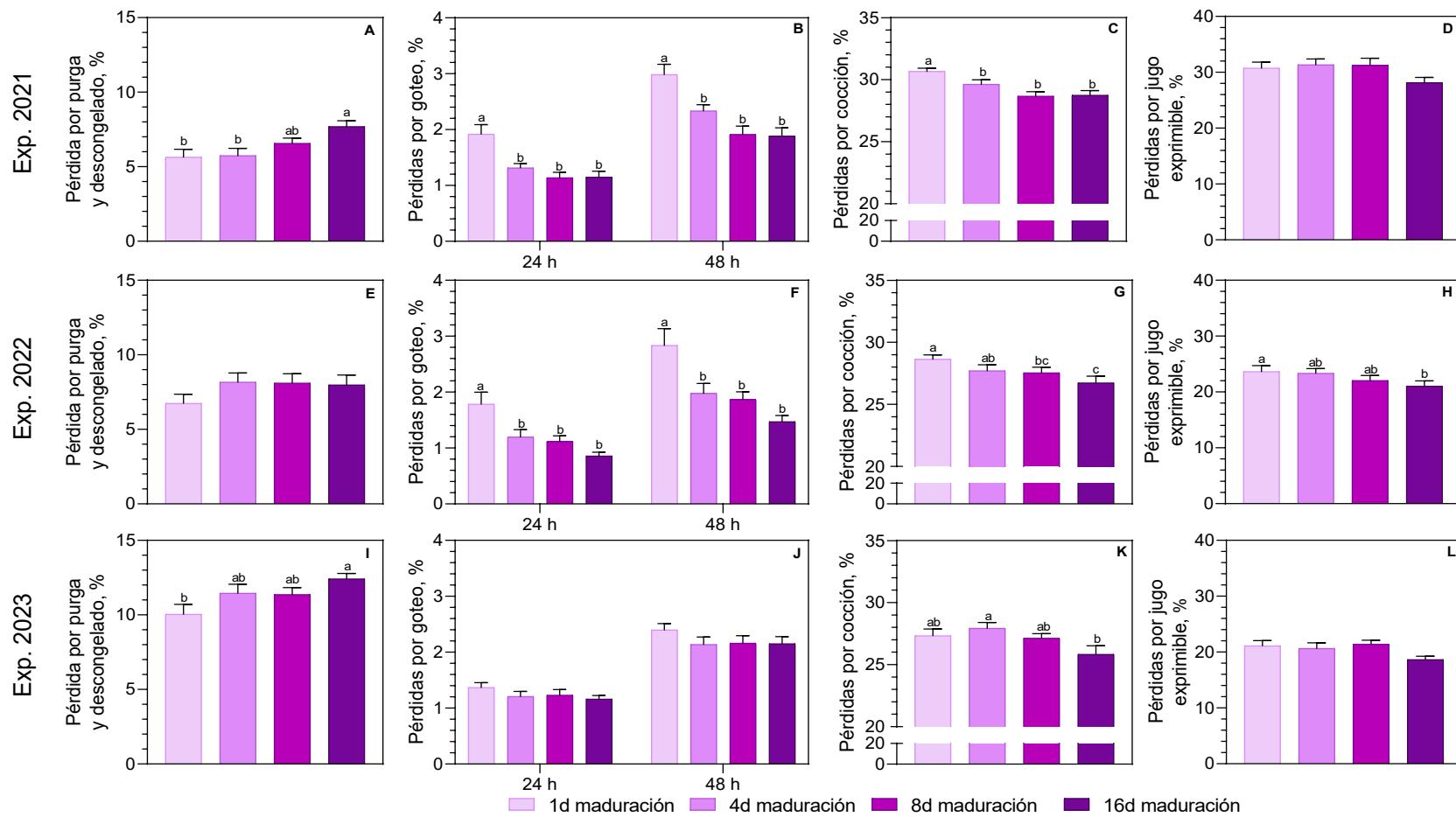
En el experimento realizado en 2022, no se encontraron diferencias significativas en las pérdidas por purga y descongelado entre los distintos períodos de maduración. El valor promedio para esta variable fue 7,75 % (Figura 4.10 E y H; Tabla 4.17). En cuanto a las pérdidas por goteo a las 24 horas, la carne madurada por 1 día presentó pérdidas entre 48,88 % y 108,34 % superiores en comparación con la carne madurada durante 4, 8 y 16 días, mientras que, a las 48 horas las pérdidas de la carne madurada por 1 día fueron entre 43,31 % y 92,59 % más altas. Los valores de pérdidas por goteo a 24 horas fueron 1,79 %, 1,20 %, 1,12 % y 0,86 %, y a las 48 horas, 2,83 %, 1,98 %, 1,87 % y 1,47 % para 1, 4, 8 y 16 días de maduración, respectivamente (Figura 4.10 F; Tablas 4.19). En cuanto a las pérdidas por cocción, estas fueron 7,15 % más altas en la carne madurada por 1 día respecto de la carne madurada durante 16 días, mientras que la carne madurada por 4 y 8 días mostró valores intermedios. Los valores hallados fueron 28,65 %, 27,72 %, 27,55 % y 26,54 % para 1, 4, 8 y 16 días de maduración, respectivamente (Figura 4.10 G; Tabla 4.17). Las pérdidas por jugo exprimible fueron 12,31 % más altas en la carne madurada por 1 día respecto de la madurada por 16 días, mientras que la carne madurada por 4 y 8 días presentó valores intermedios. Las pérdidas por jugo exprimible fueron 23,65 %, 23,34 %, 22,04 % y 21,06 % para 1, 4, 8 y 16 días de maduración, respectivamente (Figura 4.10 H; Tabla 4.17).

En el experimento 2023, la carne madurada por 16 días perdió 23,69 % más agua por purga y descongelado en comparación con la carne madurada durante 1 día, mientras que las carnes maduradas por los períodos de 4 y 8 días presentaron valores intermedios. Las pérdidas registradas fueron 10,04 %, 11,46 %, 11,37 % y 12,42 % para 1, 4, 8 y 16 días de maduración, respectivamente (Figura 4.10 I; Tablas 4.17 y 4.18). No se encontraron diferencias entre los tratamientos para las pérdidas por goteo a 24 y 48 horas, cuyos valores promedio fueron 1,24 % y 2,21 %, respectivamente (Figura 4.10 J; Tabla 4.19); sin embargo, las pérdidas por cocción fueron 8,12 % mayores en la carne madurada por 4 días, respecto de la madurada por 16 días, sin diferencias entre los demás períodos de maduración. Los valores hallados para este experimento fueron 27,33 %, 27,93 %, 27,14 % y 25,83 % para 1, 4, 8 y 16 días de maduración, respectivamente (Figura 4.10 K; Tabla 4.17). A pesar de que se hallaron diferencias significativas entre los períodos de maduración para las pérdidas por jugo exprimible, las comparaciones por pares mediante el test de Tukey-Kramer no revelaron diferencias significativas. Esto sugiere que, si bien el efecto de la maduración fue globalmente significativo, las diferencias específicas entre los tiempos evaluados no fueron suficientemente amplias como para alcanzar significancia estadística luego del ajuste por comparaciones múltiples (Figura 4.10 L; Tabla 4.17).

Oxidación lipídica y proteica

No se observaron diferencias entre los tiempos de maduración en la oxidación lipídica (TBARS) de la carne en el experimento 2021, con un valor promedio de 0,77 mg MDA. kg^{-1} de carne (Figura 4.11 A; Tabla 4.17). En el experimento 2022, la carne madurada por 1 día presentó una oxidación lipídica 23,34 % mayor que la madurada por 8 días, mientras que los demás períodos mostraron valores intermedios. Los valores observados fueron 0,81, 0,68, 0,65 y 0,70 mg MDA. kg^{-1} de carne para 1, 4, 8 y 16 días de maduración, respectivamente (Figura 4.11 C; Tabla 4.17). En el experimento 2023, la carne madurada durante 16 días mostró una oxidación lipídica 23,34 % superior a la carne madurada por 4 días, con valores intermedios en los demás períodos. En este caso, los valores registrados fueron 0,71, 0,61, 0,68 y 0,75 mg MDA. kg^{-1} de carne para 1, 4, 8 y 16 días de maduración, respectivamente (Figura 4.11 E; Tabla 4.17).

En cuanto a la oxidación proteica (carbonilos), no se detectaron diferencias significativas entre los tiempos de maduración en ninguno de los tres experimentos. Los valores promedio fueron 0,31 nM DNPH. mg^{-1} de proteína para 2021, ,20 nM DNPH. mg^{-1} de proteína para 2022 y 0,16 nM DNPH. mg^{-1} de proteína para 2023 (Figura 4.11 B, D y F; Tabla 4.17).



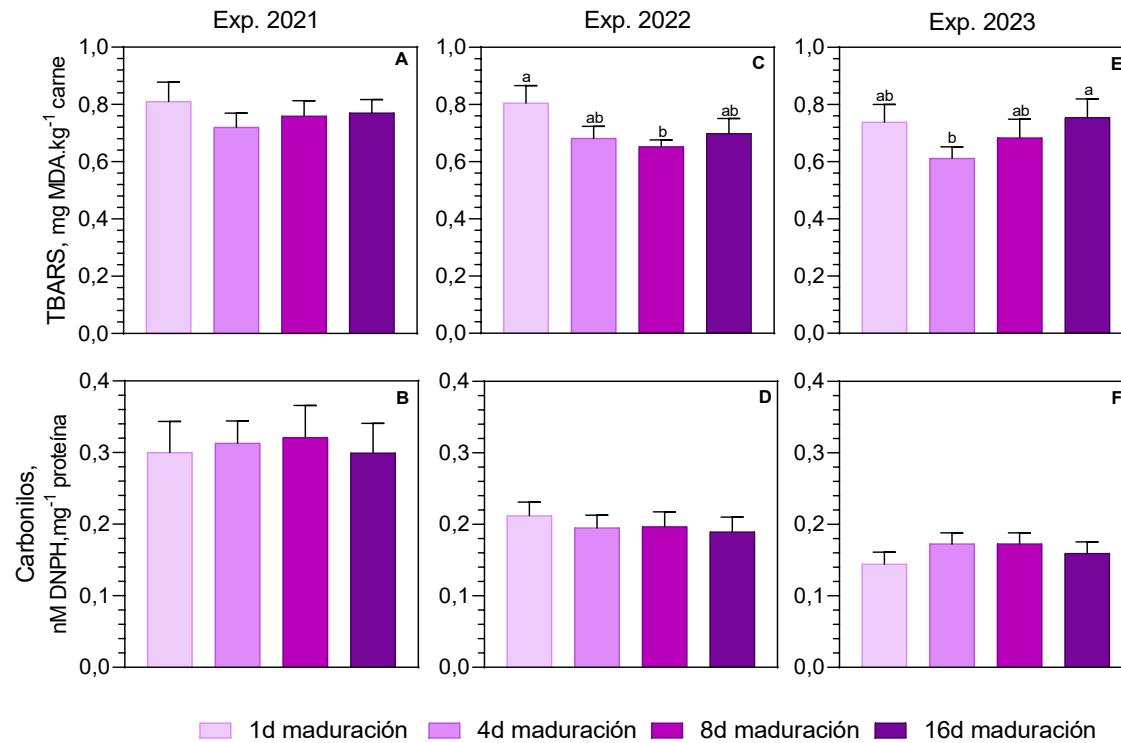


Figura 4.11. Oxidación lipídica (TBARS) y proteica (carbonilos) de la carne de ovinos evaluada luego de ser madurada en húmedo por 1, 4, 8 y 16 días, congelada y descongelada. A-B: experimento 2021; C-D: experimento 2022; E-F: experimento 2023.

Tabla 4.14. Máxima verosimilitud restringida para pH, luminosidad (L^*), color rojo (a^*), color amarillo (b^*), tonalidad y saturación de la carne de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino) y madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días).

Variables		pH		L^*		a^*		b^*		Tonalidad		Saturación	
2021													
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	2/14	0,74	0,4956	1,48	0,2611	2,33	0,1340	3,74	0,0498	2,72	0,1005	2,67	0,1041
Maduración (M)	3/42	4,78	0,0059	2,21	0,1006	1,99	0,1303	0,73	0,5413	1,99	0,1302	1,45	0,2411
DxM	6/42	1,89	0,1049	0,43	0,8556	0,33	0,9152	0,38	0,8875	0,40	0,8734	0,33	0,9162
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,53	0,0057	2,21	0,0136	1,79	0,0369	0,99	0,162	1,06	0,1445	Z	0,0518
Residuo		4,58	<0,0001	4,58	<0,0001	4,58	<,0001	4,58	<0,0001	4,58	<0,0001	1,63	<0,0001
2022													
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,39	0,5424	0,1	0,7533	0,00	0,9491	0,55	0,4671	2,16	0,159	0,04	0,8476
Maduración (M)	3/54	11,36	<0,0001	2,2	0,0991	3,62	0,0188	1,41	0,2504	3,31	0,0268	2,81	0,0481
DxM	3/54	2,13	0,1071	0,34	0,7977	2,81	0,0479	2,05	0,1172	0,35	0,7860	2,86	0,0451
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,91	0,0018	2,82	0,0024	2,68	0,0037	2,84	0,0022	2,76	0,0029	2,76	0,0029
Residuo		5,20	<0,0001	5,20	<0,0001	5,20	<0,0001	5,20	<0,0001	5,20	<0,0001	5,20	<0,0001
2023													
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,18	0,6785	0,62	0,4417	0,1	0,7608	0,01	0,9424	0,27	0,6098	0,04	0,8364
Maduración (M)	3/54	0,66	0,5804	0,53	0,6637	2,09	0,1121	1,31	0,2808	2,52	0,0682	1,76	0,1660
DxM	3/54	1,76	0,1653	1,14	0,3422	1,07	0,3698	0,53	0,6635	1,73	0,1711	0,84	0,4797
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		1,67	0,0479	2,67	0,0038	2,39	0,0084	2,57	0,0051	2,67	0,0038	2,44	0,0073
Residuo		5,15	<0,0001	5,15	<0,0001	5,15	<0,0001	5,15	<0,0001	5,15	<0,0001	5,15	<0,0001

Tabla 4.15. Máxima verosimilitud restringida para color rojo (a^*) y saturación de la carne de corderos correspondientes al experimento 2022, alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena o maíz) o madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días).

Año 2022		a*		Saturación	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P
Dieta (D)	1/18	0,00	0,9491	0,04	0,8476
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		2,61	0,0045	2,72	0,0033
Residuo		5,48	<0,0001	5,48	<0,0001
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	F	P
Maduración (M)	3/57	3,3	0,0266	2,56	0,0640
Efectos aleatorios		Z	P	Z	P
Animal (Dieta)		2,7	0,0034	2,80	0,0026
Residuo		5,34	<0,0001	5,34	<0,0001

Tabla 4.16. Máxima verosimilitud restringida para diferencia total del color de la carne de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino).

Año	Diferencia total del color								
	2021			2022			2023		
	gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P
Efectos fijos									
Dieta (D)	2/14	0,64	0,5430	1/18	2,72	0,1166	1/18	0,11	0,7428
Efectos aleatorios		Z	P		Z	P		Z	P
Animal (Dieta)	2,25	0,0121		1,70	0,0446		1,91	0,0277	
Residuo	-	-		-	-		-	-	

Tabla 4.17. Máxima verosimilitud restringida para pérdidas por purga y descongelado, cocción y jugo exprimible, y oxidación lipídica (TBARS) y proteica (carbonilos) de la carne de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino) y madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días).

Variables		Pérdida por purga y descongelado (%)		Pérdida por cocción (%)		Pérdida por jugo exprimible (%)		TBARS (mg.kg ⁻¹)		Carbonilos (nM.mg ⁻¹)	
2021											
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	2/14	2,90	0,0886	1,72	0,2149	0,88	0,4374	0,07	0,9313	0,03	0,9701
Maduración (M)	3/42	5,33	0,0033	12,9	<0,0001	2,34	0,0875	0,82	0,4909	0,10	0,9582
DxM	6/42	0,83	0,5544	0,40	0,8731	0,51	0,7985	1,08	0,3911	1,09	0,3853
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		0,92	0,1780	1,95	0,0255	1,35	0,0891	1,78	0,0377	2,13	0,0166
Residuo		4,58	<0,0001	4,58	<0,0001	4,58	<0,0001	4,58	<0,0001	4,58	<0,0001
2022											
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,66	0,4267	1,65	0,2147	0,33	0,5742	0,17	0,6863	0,06	0,8051
Maduración (M)	3/54	1,69	0,1805	9,67	<0,0001	3,1	0,0343	3,31	0,0267	0,33	0,8060
DxM	3/54	1,02	0,3895	1,78	0,1619	1,55	0,2120	1,05	0,3780	1,61	0,1987
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		1,94	0,0265	2,68	0,0037	2,35	0,0094	2,16	0,0155	1,71	0,0434
Residuo		5,20	<0,0001	5,20	<0,0001	5,20	<0,0001	5,20	<0,0001	5,20	<0,0001
2023											
Efectos fijos	gl _{n/d}	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Dieta (D)	1/18	0,25	0,6266	0,03	0,8671	0,06	0,8127	0,00	0,9521	2,51	0,1309
Maduración (M)	3/54	6,24	0,0010	3,95	0,0128	2,78	0,0496	3,47	0,0222	1,06	0,3728
DxM	3/54	3,48	0,0220	0,64	0,5932	0,15	0,9304	0,80	0,4999	1,01	0,3935
Efectos aleatorios		<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
Animal (Dieta)		2,29	0,0111	1,91	0,0281	1,58	0,0575	2,66	0,0039	1,89	0,0294
Residuo		5,20	<0,0001	5,20	<0,0001	5,20	<0,0001	5,2	<0,0001	5,2	<0,0001

Tabla 4.18. Máxima verosimilitud restringida para pérdida por purga y descongelado de la carne de corderos correspondientes al experimento 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en grano de avena con harina de girasol o harina de lino) o madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días).

Año 2023		Pérdida por purga y descongelado (%)	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P
Dieta (D)	1/18	0,25	0,6266
Efectos aleatorios		Z	P
Animal (Dieta)		2,01	0,0224
Residual		5,48	<0,0001
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P
Maduración (M)	3/57	5,52	0,0021
Efectos aleatorios		Z	P
Animal (Dieta)		2,22	0,0134
Residual		5,34	<0,0001

Tabla 4.19. Máxima verosimilitud restringida para pérdidas por goteo a 24 y 48 horas de la carne de corderos correspondientes al experimento 2021, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena o grano de maíz), evaluada como medidas repetidas en el tiempo e incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.

Año 2021		Pérdidas por goteo (%)	
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P
Dieta (D)	2/14	0,62	0,5535
Efectos aleatorios		Z	P
Animal (Dieta)		0,21	0,4170
CS		1,97	0,0491
Residual		5,83	<,0001
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P
Maduración (M)	3/116	14,15	<0,0001
Efectos aleatorios		Z	P
Animal (Dieta)		1,24	0,1072
CS		-0,01	0,9887
Residual		5,83	<0,0001

Tabla 4.20. Máxima verosimilitud restringida para pérdidas por goteo a 24 y 48 horas de la carne de corderos correspondientes a los experimentos 2021, 2022 y 2023, alimentados con diferentes dietas (basadas en heno, grano de avena, grano de maíz, harina de girasol o harina de lino), madurada durante cuatro períodos (1, 4, 8 y 16 días), evaluada como medidas repetidas en el tiempo e incorporando una estructura de covarianza de simetría compuesta.

Variable	Pérdidas por goteo (%)								
	Año		2021		2022		2023		
Efectos fijos	gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P	gl _{n/d}	F	P
Dieta (D)	2/14	0,62	0,5535	1/18	0,30	0,5900	1/18	0,05	0,8312
Maduración (M)	3/98	16,88	<0,0001	3/126	12,85	<0,0001	3/126	1,16	0,3274
D x M	6/98	2,37	0,0352	3/126	0,40	0,7568	3/126	0,36	0,7800
Tiempo (T)	1/98	482,24	<0,0001	1/126	513,6	<0,0001	1/126	823,21	<0,0001
DxT	2/98	0,98	0,3780	1/126	0,05	0,8315	1/126	0,87	0,3528
MxT	3/98	4,39	0,0061	3/126	6,65	0,0003	3/126	0,52	0,6690
DxMxT	6/98	0,31	0,9284	3/126	0,20	0,8991	3/126	0,19	0,9002
Efectos aleatorios	Z	P		Z	P		Z	P	
Animal (Dieta)	1,44	0,0752		2,06	0,0197		1,16	0,1229	
CS	3,90	<0,0001		4,83	<0,0001		4,55	<0,0001	
Residual	5,29	<0,0001		6,00	<0,0001		6,00	<0,0001	

Discusión

Los principales resultados de este capítulo muestran que no se encontraron diferencias en el pH ni en el color de la carne fresca entre los diferentes tratamientos, en ninguno de los experimentos. En cuanto a la composición de ácidos grasos, las principales diferencias se encontraron entre la carne de los ovinos alimentados con heno y aquellos que recibieron dietas basadas en granos. Asimismo, no se detectaron diferencias en la concentración de compuestos fenólicos en la carne entre los tratamientos. Respecto a la carne tras el proceso de maduración, no se encontraron diferencias de color perceptibles por el ojo humano entre los tratamientos en ninguno de los experimentos. A diferencia de los tratamientos dietarios suministrados a los ovinos, el período de maduración de la carne tuvo impacto sobre la capacidad de retención de agua y la oxidación lipídica.

El descenso del pH durante el proceso de conversión de músculo a carne fue adecuado en todos los tratamientos evaluados, alcanzando valores normales para la carne ovina (Lonergan et al., 2019b). Ninguno de los tratamientos dietarios tuvo un efecto significativo sobre el pH ni el color de la carne fresca. Estos resultados coinciden con estudios previos donde tampoco se encontraron diferencias en el color de la carne fresca de ovinos alimentados con heno, grano de avena, maíz o cebada (Ponnampalam et al., 2004; Fruet et al., 2016). Asimismo, no se detectaron diferencias en el color de la carne fresca al reemplazar harina de girasol por harina de morula (*Sclerocarya birrea caffra*, 97,76 % MS, 11,24 % FDN, 6,35 % FDA, 35,76 % PB, 45,49 % EE y 7,07 Mcal.kg⁻¹, Malebana et al., 2017), ni al sustituir total o parcialmente harina de soja por harina de lino en dietas para ovinos (Realini et al., 2017; Facciolongo et al., 2018; Baleseng et al., 2023). Además, la distribución de las muestras de carne en la representación tridimensional del color fue homogénea y los resultados de la ecuación CIEDE₂₀₀₀ fueron menores a 3, valor considerado como el límite para la diferenciación visual del color (Pereira et al., 2022).

Luego del proceso de maduración, congelado y descongelado, el pH de la carne no fue afectado por la dieta consumida por los ovinos, ni por el período de maduración al cual fue sometida. Asimismo, las diferencias de color observadas en la carne madurada durante diferentes períodos de tiempo no serían lo suficientemente marcadas como para ser percibidas por el ojo humano ya que, en todos los casos, los resultados de la ecuación CIEDE₂₀₀₀ se mantuvieron por debajo del umbral de 3, y la representación tridimensional del color de las muestras de carne presentó una distribución homogénea (Pereira et al., 2022). Esto sugiere que un consumidor no podría distinguir visualmente entre las carnes de corderos alimentados con heno, grano de avena o grano de maíz, ni entre la carne madurada por 1, 4, 8 o 16 días. En todas las evaluaciones de

color, tanto en la carne fresca como tras el proceso de maduración, congelado y descongelado, los valores de luminosidad se mantuvieron cercanos o por encima de 34, considerado el umbral mínimo de aceptación de la media de los consumidores (Khlij et al., 2010). Además, los valores de color rojo estuvieron próximos o superiores a 21,7, nivel en el que el 95 % de los consumidores aceptarían la carne (Khlij et al., 2010). Estos resultados indican que, bajo las condiciones evaluadas, la carne de los experimentos presentaría un adecuado nivel de aceptación visual.

La relación entre los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y los ácidos grasos saturados (SFA) en la carne está influenciada principalmente por la genética del animal, lo que hace que su modificación mediante el suministro de dietas basadas en pasturas o concentrados sea compleja (Demirel et al., 2006; Scollan et al., 2014). En la carne ovina, se ha reportado que la cantidad total de PUFA varía entre 4,60 % y 12,50 % (Bas et al., 2007; Wood, 2017). Dichos valores coinciden con los obtenidos en los tres experimentos, donde se registraron rangos entre 9,74 % y 10,86 %. Además, no se observaron diferencias significativas en la relación PUFA:SFA entre los tratamientos. En todos los experimentos, esta relación se mantuvo por debajo de 0,45, el nivel mínimo recomendado por la Organización Mundial de la Salud para una dieta equilibrada (WHO, 2023).

Las pérdidas por cocción de la carne ovina suelen oscilar entre 12,00 % y 47,00 % (Showell et al., 2012). En los tres experimentos realizados, estas pérdidas se situaron entre 25,83 % y 30,67 %, ubicándose dentro de los rangos normales esperados. Asimismo, durante los tres experimentos, los valores de oxidación lipídica hallados en la carne ovina fueron inferiores a 2,3 mg de malondialdehído (MDA).kg⁻¹, nivel considerado como umbral a partir del cual los consumidores podrían percibir sabores rancios en la carne de rumiantes (Wood et al., 2008). Esto sugiere que, bajo las condiciones estudiadas, la maduración de la carne en húmedo por hasta 16 días no generaría sabores desagradables relacionados con el enranciamiento de los lípidos.

Dietas basadas en heno vs. granos

La carne de rumiantes alimentados a pasto tiende a presentar menor cantidad de grasa total y colesterol, menor concentración de SFA totales, pero mayor proporción de ácido esteárico (C18:0), cuyo impacto sobre el colesterol sérico es neutro, en comparación con la carne de animales alimentados con granos (Ulbricht y Southgate, 1991; Daley et al., 2010; Scollan et al., 2014). No obstante, en este estudio, la carne de ovinos alimentados con heno mostró mayores concentraciones de ácido láurico (C12:0) y mirístico (C14:0), ambos asociados con un incremento en los niveles de colesterol sérico y del índice aterogénico (Ulbricht y Southgate,

1991; Daley et al., 2010; Pretorius y Schönfeldt, 2021). Por otro lado, Realini et al. (2017) y Baldi et al. (2019) observaron una relación PUFA:SFA más alta en la carne de ovinos alimentados con granos en comparación con aquellos alimentados con heno de alfalfa. Sin embargo, los resultados de este estudio coinciden con los de Ponnampalam et al. (2017), quienes observaron una relación PUFA:SFA similar en corderos alimentados con heno y aquellos alimentados con granos o concentrados. Asimismo, en línea con lo señalado por varios autores, la relación n-6:n-3 fue menor en la carne de los ovinos alimentados con heno frente a aquellos alimentados con granos, lo cual se atribuye a una mayor concentración de ácido α -linolénico (C18:3n-3; Fruet et al., 2016; Ponnampalam et al., 2017; Realini et al., 2017; Baldi et al., 2019). La incorporación del ácido α -linolénico del forraje en la carne depende tanto de su concentración en el forraje como del grado de biohidrogenación ruminal al que es expuesto (Scollan et al., 2006). No obstante, en este experimento, al igual que en el estudio de Realini et al. (2017), la relación n-6:n-3 de la carne de todos los tratamientos superaron el límite máximo de 4 recomendado por la OMS para una dieta equilibrada (WHO, 2023). Contrariamente a lo esperado por la mayor concentración de ácido α -linolénico en los animales alimentados con heno, no se observaron diferencias en las concentraciones de sus ácidos grasos derivados de cadena larga DHA (C22:6n-3) ni EPA (C20:5n-3; Scollan et al., 2006).

No se observaron interacciones significativas entre las dietas suministradas y el tiempo de maduración de la carne en las variables de color evaluadas, lo que sugiere que todos los tratamientos se comportaron de manera similar durante el período de maduración. La carne de los ovinos alimentados con heno no presentó diferencias en el color con la carne de aquellos alimentados con grano de avena o grano de maíz. La carne de animales alimentados a pasto en sistemas extensivos suele presentar un color más oscuro que la de aquellos alimentados en sistemas intensivos, debido principalmente a un metabolismo más oxidativo, consecuencia tanto de la mayor actividad física asociada al desplazamiento en las pasturas, como del tipo de dieta en sí mismo (Scollan et al., 2014; Apaoblaza et al., 2020). Sin embargo, en este estudio, aunque los animales fueron alimentados con heno, estos se mantuvieron en confinamiento, lo que podría explicar la ausencia de diferencias observadas. Por otro lado, varios estudios también reportaron la ausencia de diferencias significativas en los parámetros de color de la carne de ovinos alimentados con pasturas o concentrados (Ponnampalam et al., 2004; Realini et al., 2017; Baldi et al., 2019; Francisco et al., 2020). Asimismo, y al igual que lo reportado por Francisco et al. (2020), no se observó un efecto de la dieta sobre la estabilidad del color de la carne durante el período de maduración, indicando que luego de 16 días, la carne de los ovinos alimentados

con heno, grano de avena o grano de maíz mantendría un color estable, sin evidencia de deterioro significativo.

Al igual que lo observado en este estudio, otros trabajos tampoco encontraron diferencias en las pérdidas por cocción de la carne de ovinos alimentados con pasturas o dietas que contenían hasta 64 % de grano de maíz (Realini et al., 2017; Saeed et al., 2019). Asimismo, en este estudio no se encontraron diferencias en las pérdidas por goteo entre los tratamientos dietarios, mientras que Saeed et al. (2019) informaron que la carne de los ovinos que recibieron 10 % de grano de maíz en la ración presentaron menores pérdidas por goteo en comparación con aquellos que no consumieron granos.

El tipo de dieta suministrada, ya fuera exclusivamente heno o con alta proporción de granos, no tuvo efecto sobre la estabilidad oxidativa de los lípidos y proteínas en la carne. Estos resultados coinciden con los informados por Francisco et al. (2020), quienes no observaron diferencias en la oxidación lipídica entre la carne de ovinos alimentados con alfalfa o con raciones que incluían hasta 33 % de grano de cebada. Por otro lado, Fruet et al. (2016) reportaron valores de oxidación lipídica más bajos en la carne de ovinos alimentados con pasturas, en comparación con aquellos alimentados con dietas que contenían altas proporciones de granos como maíz, avena o sorgo. Los valores de oxidación lipídica encontrados en este estudio se ubicaron en un rango intermedio respecto de los reportados por estos trabajos.

Dietas basadas en grano de avena vs. grano de maíz

La carne de los ovinos alimentados con la dieta M presentó una mayor proporción de ácidos grasos monoinsaturados en comparación con la de aquellos alimentados con la dieta A, debido a una mayor concentración de ácido oleico (C18:1n-9). Este ácido graso tiene un efecto reductor del colesterol, lo que sugiere que el consumo de carne de ovinos alimentados con grano de maíz podría contribuir a enlentecer la progresión de la aterosclerosis (Ulbricht y Southgate, 1991; Daley et al., 2010; Pretorius y Schönfeldt, 2021). Por su parte, la carne de los ovinos alimentados con grano de avena mostró una mayor proporción de ácidos grasos saturados, especialmente ácido esteárico, en comparación con la carne de los alimentados con grano de maíz. Si bien este ácido graso no eleva el colesterol sérico, está implicado en el aumento del riesgo de trombosis (Ulbricht y Southgate, 1991; Daley et al., 2010; Pretorius y Schönfeldt, 2021). Estos resultados explican tanto la ausencia de diferencias en el índice aterogénico entre los dos tipos de carne, como el mayor índice trombogénico observado en la carne de los ovinos alimentados con avena. Estos resultados coinciden con los reportados por Fruet et al. (2016) en ovejas alimentadas con dietas con altas proporciones de grano (entre 72 % y 90 % de la ración), donde aquellas

alimentadas con grano de avena también presentaron mayores niveles de ácido esteárico en la carne en comparación con las alimentadas con grano de maíz. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en la relación de ácidos grasos n-6:n-3. Sin embargo, esta relación superó el valor máximo de 4, recomendado por la OMS para una dieta equilibrada (OMS, 2023).

No se observó ningún efecto del tipo de grano utilizado en la dieta sobre la estabilidad del color durante el período de maduración. Esto sugiere que, incluso después de 16 días de maduración, la carne de los ovinos alimentados con grano de avena o maíz mantendría un color estable, sin evidencia de deterioro significativo.

El tipo de grano empleado en las dietas no afectó la capacidad de retención de agua de la carne, evaluada a través de las pérdidas por purga y descongelado, goteo y jugo exprimible. Estudios previos tampoco encontraron diferencias significativas en las pérdidas de cocción en la carne de rumiantes alimentados con dietas que incluían altas proporciones de grano de avena o maíz (Fruet et al., 2016; Cattelam et al., 2018b).

La estabilidad oxidativa de lípidos y proteínas de la carne no fue influenciada por el tipo de grano en la dieta. Estos resultados coinciden con los reportados por Fruet et al. (2016), quienes tampoco detectaron diferencias en los valores de oxidación lipídica de la carne de ovejas alimentadas con altas proporciones de grano de avena o de maíz.

Dietas basadas en harina de girasol vs. harina de lino

Se ha demostrado que la inclusión de harina de lino en dietas para rumiantes aumenta la concentración de ácido α -linolénico en la carne, así como de sus ácidos grasos derivados de cadena larga n-3, como EPA y DHA (Wood et al., 1999; Scollan et al., 2006; Bas et al., 2007). Por otro lado, se espera que la harina de girasol incremente el contenido de ácido linoleico y de sus derivados de cadena larga n-6, como DPA (C22:5n-6) y ARA (C20:4n-6), en la carne (Scollan et al., 2006). En este estudio, aunque se observó una mayor proporción de ácido α -linolénico en la carne de los ovinos alimentados con harina de lino en comparación con los alimentados con harina de girasol, no se detectaron diferencias significativas en las concentraciones de ácido linoleico ni de los derivados de cadena larga ARA, EPA y DHA en ninguno de los dos tratamientos. Resultados similares se reportaron en otros estudios, donde el incremento de ácido α -linolénico en la carne de ovinos alimentados con semillas o harina de lino, en comparación con o harina de soja, no se tradujo en un aumento de los ácidos grasos de cadena larga (Realini et al., 2017; Facciolongo et al., 2018).

La relación entre los ácidos grasos omega 6 y omega 3 (n-6:n-3) en la carne puede ser modificada significativamente por el tipo de alimentación (Demirel et al., 2006). Esto se reflejó en la carne de los ovinos alimentados con harina de lino, que presentó una relación n-6:n-3 menor en comparación con la carne de los ovinos alimentados con harina de girasol. Esta reducción se atribuyó a la mayor concentración de ácido α -linolénico en la carne de los animales alimentados con harina de lino. Además, la relación n-6:n-3 en la carne de estos ovinos fue inferior a 4, el umbral recomendado por la OMS para una dieta equilibrada, lo que sugiere que el consumo de esta carne podría ser más beneficioso para la salud humana (OMS, 2023). Estos resultados coinciden con los reportados por Realini et al. (2017) y Facciolongo et al. (2018), quienes también encontraron una relación n-6:n-3 por debajo de 4 en la carne de ovinos alimentados con lino. Adicionalmente, en este estudio se observó una tendencia ($p = 0,0597$) hacia un menor índice aterogénico en la carne de los ovinos alimentados con harina de lino, probablemente debido a la mayor proporción de ácidos grasos n-3 en su composición.

No se observaron efectos significativos del tipo de suplemento proteico utilizado en la dieta sobre la estabilidad del color durante el período de maduración. Esto sugiere que, incluso después de 16 días de maduración, la carne de los ovinos alimentados con harina de girasol o harina de lino mantendría un color estable, sin evidencia de deterioro significativo. Asimismo, el uso de harina de girasol o harina de lino en la dieta no afectó la capacidad de retención de agua de la carne. Resultados similares fueron reportados por Realini et al. (2017), quienes tampoco hallaron diferencias en las pérdidas por cocción en la carne de ovinos alimentados con harina de soja o de lino.

El tipo de dieta consumida por los animales durante la fase productiva influye considerablemente en la susceptibilidad a la oxidación de la carne tras el sacrificio (Falowo et al., 2014). La harina de lino contiene antioxidantes naturales y su inclusión en la dieta aumenta la concentración de compuestos que previenen la oxidación de los lípidos en el músculo (Álvarez-Rodríguez et al., 2022). Sin embargo, no se detectaron diferencias en la oxidación lipídica y proteica entre los tratamientos y ni la capacidad de retención de agua, ni la estabilidad del color de la carne se vieron afectadas (Leygonie et al., 2012; Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018).

Efecto del tiempo de maduración

Si bien no se encontraron diferencias significativas en las variables de color evaluadas en los experimentos 2021 y 2023, las diferencias halladas en el color rojo, la saturación y la tonalidad de la carne madurada por 1, 4, 8 o 16 días en el experimento 2022 fueron numéricamente no

importantes. Por lo tanto, sería posible afirmar que el color se mantuvo estable a lo largo del período evaluado. Estos resultados concuerdan con los reportados por Kim y Kim, (2017), quienes observaron que la maduración, independientemente del orden de la secuencia maduración-congelado y descongelado, no afectó la estabilidad del color de la carne vacuna. Sin embargo, otros estudios han señalado que la carne de bovinos u ovinos que fue madurada antes de ser congelada, como sucede en este estudio, mostró una mayor luminosidad e intensidad en el color rojo en comparación con la carne que se congeló inmediatamente sin pasar por el proceso de maduración (H.W. Kim et al., 2011; Y.H.B. Kim et al., 2011; Kim et al., 2015). Se ha sugerido que la maduración seguida por congelación podría mejorar el color de la carne y su estabilidad tras el descongelado, posiblemente debido a una reducción en la actividad respiratoria de las mitocondrias. Esta reducción incrementaría la disponibilidad de oxígeno para unirse a la mioglobina, formando una capa más gruesa de oximioglobina, lo que resultaría en un mejor proceso de *blooming* (Farouk et al., 2009b; Y.H.B. Kim et al., 2011; Kim et al., 2015; Kim y Kim, 2017).

En los resultados de este estudio se observó que, en general, las pérdidas por purga y descongelado aumentaron con el tiempo de maduración de la carne. Estos resultados contradicen los hallados en otros estudios, donde dichas pérdidas disminuyeron con el incremento del tiempo de maduración (Lagerstedt et al., 2008; Farouk et al., 2009a; Kim et al., 2015). Sin embargo, los resultados aquí obtenidos podrían explicarse debido a la presión negativa aplicada durante el envasado al vacío de la carne, en el proceso de maduración en húmedo, lo que provoca una mayor extracción de líquidos e incrementa las pérdidas por purga dentro del envase. Estas pérdidas tienden a intensificarse conforme se prolonga el tiempo de maduración bajo estas condiciones (Huff-Lonergan, 2009; Warner, 2017). Por otro lado, el proceso de congelado y descongelado también contribuye al aumento del agua exudada, ya que, la formación de cristales de hielo causa daños en la estructura de las células musculares (Leygonie et al., 2012; Xiong, 2017). En cuanto a las pérdidas por goteo y por cocción, tanto en los estudios previamente mencionados como en los resultados presentados aquí, se observó una disminución de estas pérdidas a medida que avanzó el tiempo de maduración (Lagerstedt et al., 2008; Farouk et al., 2009a; Kim et al., 2015). Otros autores también reportaron reducciones en las pérdidas por goteo, aunque sin observar cambios significativos en las pérdidas por cocción (H.W. Kim et al., 2011; Kim et al., 2013). Estos estudios sugieren que la maduración de la carne antes de la congelación podría mejorar su capacidad de retención de agua tras el descongelado. Esto no solo es beneficioso para los procesos industriales a los que es sometida la carne, sino que también está relacionado con la jugosidad, propiedad clave en la

percepción sensorial del consumidor (Warner, 2017). La jugosidad se define como la sensación de humedad y lubricación durante la masticación y, al inicio de la masticación, depende de la liberación rápida de los fluidos de la carne, lo cual está estrechamente vinculado a su capacidad de retención de agua (Warner, 2017).

Diversos modelos han intentado explicar cómo los cambios en la estructura muscular durante la maduración podrían afectar la capacidad de retención de agua de la carne. Huff-Lonergan y Lonergan (2005) propusieron que las miofibrillas de las células musculares están conectadas entre sí y a la membrana celular mediante conexiones proteicas. Durante las primeras 24 horas *postmortem*, las miofibrillas se contraen, reduciendo el tamaño de toda la célula muscular a través de estas conexiones proteicas. Sin embargo, durante el proceso de maduración las conexiones comienzan a degradarse, permitiendo que la célula recupere parte de su tamaño original y facilitando la reincorporación del agua expulsada previamente, evitando las pérdidas por goteo. Xiong (2014) señaló que las proteínas juegan un papel fundamental en la retención del agua y aunque inicialmente la proteólisis mejora la capacidad de retención, una proteólisis prolongada podría reducirla, aumentando las pérdidas por goteo. Por otro lado, la teoría del “efecto esponja”, propuesta por Farouk et al. (2012), sugiere que la degradación estructural de las miofibrillas durante la maduración interrumpe los canales de goteo, generando un efecto esponja que retiene el agua dentro del tejido muscular y minimiza su pérdida.

Respecto de la estabilidad oxidativa de la carne, los resultados aquí obtenidos coinciden con los reportados por Kim et al. (2011), quienes observaron un incremento en los niveles de MDA a medida que se prolongaba el período de maduración de la carne. Sin embargo, en este estudio, no se observó un efecto de la maduración sobre la oxidación proteica. Se desconoce si la oxidación de lípidos desencadena la oxidación de proteínas, si sucede a la inversa, o si ambos procesos ocurren en simultáneo (Shahidi y Ambigaipalan, 2018). Ambas reacciones son complejas y los productos de la oxidación de una pueden afectar a la otra (Leygonie et al., 2012; Falowo et al., 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2018).

Compuestos fenólicos

De acuerdo con las características de las dietas descriptas en el Capítulo 3, los tratamientos con mayor concentración de compuestos fenólicos en cada experimento fueron los siguientes: la dieta basada en heno en 2021 (49,92 % más alta que las dietas basadas en grano), la dieta basada en grano de maíz en 2022 (39,37 % más alta que la dieta basada en grano de avena) y la dieta basada en harina de girasol en 2023 (33,31 % más alta que la dieta basada en harina de lino). Aunque no se observaron diferencias significativas en la concentración de compuestos fenólicos

en la carne de los ovinos en ninguno de los tres experimentos, se detectó una tendencia hacia una mayor concentración en la carne de los animales alimentados con grano de maíz en comparación con los alimentados con grano de avena, en el experimento de 2022. Estos resultados coinciden con Serra et al. (2021), quienes expresaron que los niveles de polifenoles detectados en los tejidos animales no guardan una correlación directa con la cantidad ingerida.

Diversos estudios han evaluado el efecto de la suplementación de rumiantes con extractos de compuestos fenólicos sobre las características de calidad de la carne. Maggiolino et al. (2020) reportaron un aumento en la intensidad del color amarillo y de la tonalidad en la carne de toros que consumieron compuestos fenólicos, pero sin cambios en la intensidad del color rojo. Por su parte, Luciano et al. (2009) encontraron una mayor intensidad de color rojo y una menor variación en la tonalidad de la carne de los corderos alimentados con dietas enriquecidas con compuestos fenólicos. Sin embargo, en este estudio, donde se evaluó la concentración de compuestos fenólicos totales aportados por la dieta, no se observó un efecto sobre el color de la carne que pueda ser atribuido a los mismos.

En el experimento de 2022, la carne de los ovinos alimentados con dietas basadas en grano de maíz (con mayor concentración de compuestos fenólicos) mostró una menor proporción de SFA, una mayor proporción de MUFA y PUFA, así como un menor índice aterogénico, respecto de la carne de los ovinos alimentados con grano de avena (Fig. 4.4 F). Estos resultados son consistentes con los reportados por Maggiolino et al. (2020) en toros alimentados con dietas suplementadas con compuestos fenólicos y coinciden parcialmente con los de Cimmino et al. (2018), quienes observaron una reducción en la proporción de SFA y un aumento en la de MUFA, aunque sin cambios significativos en los PUFA, y un menor índice aterogénico en cabras alimentadas con dietas ricas en compuestos fenólicos. Por el contrario, estos resultados difieren con los de Muíño et al. (2014), quienes no encontraron efectos significativos de la suplementación con compuestos fenólicos sobre el perfil de ácidos grasos, ni sobre las proporciones de SFA, MUFA y PUFA de la carne de corderos. La inclusión de compuestos fenólicos en la dieta puede alterar la biohidrogenación ruminal de los PUFA, lo que disminuiría la concentración de ácido esteárico al reducir tanto la cantidad como la actividad de las bacterias involucradas en este proceso (Maggiolino et al., 2020). En coincidencia, en el presente estudio se observó una menor concentración de ácido esteárico en la carne de los ovinos alimentados con grano de maíz en el experimento de 2022. Asimismo, en los experimentos de 2021 y 2023, se observó una menor relación n-6:n-3 en los ovinos que consumieron las dietas basada en heno y en harina de lino, respectivamente. Sin embargo, este resultado no puede ser atribuido exclusivamente a la concentración de polifenoles en las dietas, ya que ambas

proporcionaron aportes de ácido α -linolénico 169,00 % y 139,95 % mayores, respectivamente, en comparación con las dietas con las que fueron contrastadas.

Contrariamente a lo reportado por Andrés et al. (2014) y Cimmino et al. (2018), pero en concordancia con lo informado por Muíño et al. (2014), en el presente estudio no se observó un efecto de la concentración de compuestos fenólicos de la dieta sobre la oxidación lipídica y proteica de la carne. Estudios previos han sugerido que los compuestos fenólicos suministrados en la dieta de los rumiantes podrían ejercer un efecto protector sobre la oxidación proteica (Vasta y Luciano, 2011; Maggiolino et al., 2020). Futuros estudios deberían enfocarse en diferenciar el efecto específico de los compuestos fenólicos del impacto global de la dieta, así como evaluar el efecto de diferentes concentraciones de estos compuestos sobre las características nutricionales y tecnológicas de la carne.

Conclusión

Los resultados de este capítulo permitieron evaluar el efecto de la dieta sobre características nutricionales, organolépticas y tecnológicas de la carne, así como su impacto sobre la maduración. Bajo las condiciones evaluadas, se aceptó que la carne de corderos alimentados con dietas basadas en grano de avena o maíz presenta características tecnológicas y organolépticas similares tanto en fresco como durante la maduración. El tipo de dieta no afectó el color, la capacidad de retención de agua, ni la oxidación de lípidos y proteínas de la carne. No obstante, se rechazó la hipótesis de que la carne de animales alimentados con dietas basadas en grano de avena tenga un perfil lipídico más equilibrado que la de aquellos alimentados con dietas basadas en grano de maíz, ya que ambas mostraron relaciones n-6:n-3 similares. Por otro lado, se aceptó que la inclusión de harina de lino como fuente proteica mejora el perfil lipídico de la carne, evidenciado por una menor relación n-6:n-3 y una mayor concentración de ácido α -linolénico, en comparación con la carne de los alimentados con harina de girasol. Sin embargo, la inclusión de harina de lino no tuvo impacto sobre la estabilidad oxidativa de la carne.

En cuanto a la maduración, esta no afectó el color de la carne en ninguno de los experimentos, pero se observó un incremento en la capacidad de retención de agua a medida que aumentó el tiempo. Asimismo, durante la maduración, no se observaron diferencias en la oxidación de las proteínas, aunque si en la oxidación de los lípidos. Se rechazó la hipótesis de que una mayor concentración de compuestos fenólicos en la dieta se traduzca en mayor concentración de estos en la carne y en un efecto antioxidante protector. En efecto, no se observaron diferencias

significativas en la concentración de compuestos fenólicos en la carne, ni en su estabilidad oxidativa, capacidad de retención de agua o color durante la maduración.

CONSIDERACIONES FINALES

La presente tesis se enfocó en abordar el uso del grano de avena como alternativa al grano de maíz en dietas de terminación de rumiantes en regiones marginales. El objetivo principal fue evaluar si el grano de avena puede sustituir al grano de maíz sin afectar el desempeño productivo de los animales ni comprometer la calidad organoléptica y tecnológica de la carne. Luego, bajo esta misma premisa, se buscó obtener una carne con un perfil de ácidos grasos más saludable, para lo cual se evaluó la utilización de harina de lino en reemplazo de la harina de girasol, típicamente utilizada como concentrado proteico en la formulación de raciones. Asimismo, se buscó establecer una relación entre los compuestos fenólicos presentes en los alimentos, el desarrollo muscular de las carcasas y las características de los ácidos grasos de la carne. También se evaluó la estabilidad oxidativa de la carne en función del tiempo de maduración.

Los rumiantes alimentados con dietas basadas en grano tuvieron mayores pesos vivos y carcasas más pesadas en comparación con aquellos alimentados con dietas basadas en heno. Sin embargo, alcanzaron similares rendimientos de carcasa y no hubo diferencias en los niveles de desarrollo muscular y terminación. Dado que la concentración proteica de las dietas fue la misma, era esperable que los animales alcanzaran similares áreas de ojo de bife entre los tratamientos. No obstante, a pesar de que la dieta basada en granos tuvo mayor densidad energética que las dietas basadas en heno, los ovinos alcanzaron un espesor de grasa dorsal similar. La ausencia de diferencias podría deberse al bajo número de animales utilizados en este experimento.

Los rumiantes alimentados con la dieta basada en grano produjeron carne con mayor relación de ácidos grasos n-6:n-3 y una menor proporción de ácido α -linolénico en comparación con aquellos alimentados con dietas basadas en heno. Esto sugiere que el consumo de carne de rumiantes alimentados con dietas basadas en forrajes conservados, en lugar de granos, podría ser más conveniente desde el punto de vista nutricional. No obstante, la relación n-6:n-3 de la carne de los ovinos alimentados con heno superó el valor recomendado por la OMS. Por ello su consumo debería complementarse con alimentos con bajo contenido de ácidos grasos n-6, permitiendo así equilibrar la dieta y alcanzar un perfil lipídico más adecuado. Por otro lado, el tipo de dieta no afectó la oxidación lipídica y proteica de la carne ni la estabilidad del color, por lo que es poco probable que el consumidor perciba diferencias asociadas a olor y sabor rancio, textura o color entre las distintas carnes.

En bovinos y ovinos alimentados con dietas basadas en grano de avena o grano de maíz, el desempeño productivo no mostró diferencias significativas en las variables evaluadas, excepto en el rendimiento de carcasa, que fue levemente menor en los animales alimentados con avena. No obstante, bajo las condiciones evaluadas en esta tesis, el reemplazo de grano de maíz por grano de avena podría contribuir a mejorar la estabilidad ruminal reduciendo el riesgo de episodios de acidosis. Esto facilitaría el manejo de los animales y brindaría mayor seguridad al productor. Además, las dietas basadas en grano de avena fueron más eficientes en comparación con las dietas basadas en grano de maíz. Por otra parte, el reemplazo del grano de maíz por grano de avena, no afectó el pH, el color y la capacidad de retención de agua de la carne, indicando que el suministro de dietas basadas en ambos granos podría generar carnes con características tecnológicas similares, cuya jugosidad luego de la cocción podría ser equivalente.

El uso de grano de avena o maíz en la dieta no tuvo un impacto significativo en la relación n-6:n-3, ni en la composición de los ácidos grasos de la carne, lo que implicaría que ambas carnes tendrían un perfil nutricional similar. No obstante, en ambos casos, la relación n-6:n-3 fue superior a la recomendada por la OMS, por lo que su consumo debería estar acompañado de alimentos con bajo contenido de ácidos n-6. Por otra parte, el tipo de grano utilizado en la alimentación no afectó la oxidación de lípidos y proteínas ni las características de color y su estabilidad. Esto sugiere que el consumidor no percibiría diferencias sensoriales entre ellas y que su vida útil sería comparable. Estos resultados respaldan el uso del grano de avena como una alternativa viable al maíz en dietas de terminación, alcanzando pesos de carcasa y niveles de desarrollo similares, sin comprometer la calidad nutricional ni la estabilidad de la carne durante el almacenamiento.

La harina de lino podría reemplazar a la harina de girasol en dietas de terminación de rumiantes ya que ambas mostraron un desempeño productivo similar, sin diferencias significativas en las variables evaluadas. Del mismo modo, el reemplazo de harina de girasol por harina de lino no afectó el pH, el color y la capacidad de retención de agua de la carne, indicando que sus características tecnológicas fueron equivalentes. Sin embargo, el uso de harina de lino en la dieta redujo la relación n-6:n-3 de la carne a niveles recomendados por la OMS y aumentó la concentración de ácido α -linolénico, aunque no se observaron incrementos en los ácidos grasos n-3 de cadena larga. Estos hallazgos sugieren que el consumo de carne de rumiantes alimentados con harina de lino podría ser más saludable que la de aquellos alimentados con harina de girasol.

La mayor concentración de compuestos fenólicos en las dietas basadas en heno, grano de maíz y harina de girasol (experimento 2021, 2022 y 2023, respectivamente) no favoreció el desarrollo muscular ni redujo la acumulación de grasa en los ovinos alimentados con estas dietas. No se detectaron diferencias significativas en el área de ojo de bife, ni en el espesor de grasa dorsal de estos animales en comparación con los que consumieron las dietas alternativas, que contenían menores concentraciones de polifenoles, en cada uno de los experimentos. Adicionalmente, no se observaron diferencias en la concentración de compuestos fenólicos en la carne de los rumiantes. Por lo tanto, no se pudo establecer una relación clara entre la cantidad de polifenoles consumidos a través de la dieta, su concentración en el líquido ruminal y en la carne de los animales, así como tampoco se logró establecer una conexión entre la concentración de compuestos fenólicos en la carne y la estabilidad oxidativa de la misma.

A medida que aumentó el tiempo de maduración de la carne, también incrementó la capacidad de retención de agua, lo que resulta beneficioso debido a su relación positiva con la jugosidad. Si bien se registraron mayores pérdidas por purga y descongelado con tiempos de maduración más prolongados, estas podrían ser atribuidas a la presión negativa a la que fueron sometidos los cortes de carne durante el envasado al vacío. Sin embargo, estas pérdidas no habrían afectado las evaluaciones de pérdida por goteo, pérdida por cocción y pérdida por jugo exprimible ya que se realizaron después de medir las pérdidas por purga y descongelado. Bajo las condiciones de este estudio, un tiempo de maduración de 16 días, seguido de congelado y descongelado no afectó la oxidación de proteínas ni la estabilidad del color de la carne, aunque la oxidación lipídica fue mayor. Sin embargo, la carne madurada durante 1 o 16 días presentaría características organolépticas similares, sin diferencias visuales perceptibles entre ambas y no sería posible diferenciarlas visualmente una de otra.

El grano de avena podría proporcionar un desarrollo muscular y terminación equiparables a los obtenidos con dietas basadas en grano de maíz, mientras que ofrece una mayor estabilidad ruminal y un menor riesgo de acidosis. Sin embargo, a pesar del mayor contenido de fibra del grano de avena, su inclusión en la dieta no modificó significativamente el perfil de ácidos grasos de la carne. Por otro lado, la incorporación de harina de lino en la dieta incrementó la concentración de ácidos grasos n-3, reconocidos por sus beneficios para la salud humana. En este sentido, la combinación de grano de avena y harina de lino en dietas de terminación podría no solo sostener un buen desempeño productivo, sino también favorecer la obtención de una carne con un mejor perfil nutricional. Además, sus características organolépticas y tecnológicas serían comparables a las de la carne obtenida con dietas basadas en heno, grano de maíz o harina de girasol.

Futuras investigaciones deberían enfocarse en diferenciar con mayor precisión los efectos específicos de los compuestos fenólicos de los atribuidos a la dieta en su conjunto, para poder identificar aquellos que tengan mayor impacto positivo sobre el desarrollo muscular, la biohidrogenación de los ácidos grasos y la reducción de la producción de metano entérico. El uso de subproductos agroindustriales, ricos en antioxidantes y metabolitos secundarios, también representa una alternativa a ser explorada, ya que no solo podría mejorar la calidad nutricional y tecnológica de la carne, sino que también contribuiría significativamente a la gestión de los residuos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aaslyng, M. D., C. Bejerholm, P. Ertbjerg, H. C. Bertram, y H. J. Andersen. 2003. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food Qual. Prefer.* 14:277-288. doi:10.1016/S0950-3293(02)00086-1. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950329302000861>
- Adlercreutz, H., K. Höckerstedt, C. Bannwart, S. Bloigu, E. Hääläinen, T. Fotsis, y A. Ollus. 1987. Effect of dietary components, including lignans and phytoestrogens, on enterohepatic circulation and liver metabolism of estrogens and on sex hormone binding globulin (SHBG). *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* 27:1135-1144. doi:10.1016/0022-4731(87)90200-7.
- Alba, H. D. R., J. E. de Freitas, L. C. Leite, J. A. G. Azevêdo, S. A. Santos, D. dos S. Pina, L. G. A. Cirne, C. S. Rodrigues, M. S. L. Tosto, S. C. Bento, A. B. Grimaldi, y G. G. P. de Carvalho. 2024. Intake, digestibility, serum metabolites, and growth performance of male feedlot lambs fed different fat sources. *Livest. Sci.* 286:105530. doi:10.1016/j.livsci.2024.105530. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871141324001367>
- Allen, M. S. 2014. Drives and limits to feed intake in ruminants. *Anim. Prod. Sci.* 54:1513-1524. doi:10.1071/AN14478.
- Álvarez-Rodríguez, J., O. Urrutia, S. Lobón, G. Ripoll, J. R. Bertolín, y M. Joy. 2022. Insights into the role of major bioactive dietary nutrients in lamb meat quality: a review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 13. doi:10.1186/s40104-021-00665-0.
- Alvarez, J., J. García Vinent, A. Mayo, M. Roa, H. Giorgetti, y G. Rodríguez. 2010. Producción de corderos pesados en confinamiento con dietas basadas en maíz y avena. *Rev. Argentina Prod. Anim.* 30:433-557.
- Andrés, S., L. Morán, N. Aldai, M. L. Tejido, N. Prieto, R. Bodas, y F. J. Giráldez. 2014. Effects of linseed and quercetin added to the diet of fattening lambs on the fatty acid profile and lipid antioxidant status of meat samples. *Meat Sci.* 97:156-163. doi:10.1016/j.meatsci.2014.02.001. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.02.001>
- Apaoblaza, A., S. D. Gerrard, S. K. Matarneh, J. C. Wicks, L. Kirkpatrick, E. M. England, T. L. Scheffler, S. K. Duckett, H. Shi, S. L. Silva, A. L. Grant, y D. E. Gerrard. 2020. Muscle from grass- and grain-fed cattle differs energetically. *Meat Sci.* 161. doi:10.1016/j.meatsci.2019.107996.
- Arelovich, H. M., C. S. Abney, J. A. Vizcarra, y M. L. Galyean. 2008. Effects of Dietary Neutral Detergent Fiber on Intakes of Dry Matter and Net Energy by Dairy and Beef Cattle: Analysis of Published Data. *Prof. Anim. Sci.* 24:375-383. doi:10.15232/S1080-7446(15)30882-2. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1080744615308822>
- Arelovich, H. M., R. D. Bravo, M. . Martínez, y M. I. Amela. 2012. Recría de bovinos de carne con dietas basadas en granos de maíz o avena pelletizados. *Rev. Argentina Prod. Anim.* 32:125-134.
- Arelovich, H. M., R. D. Bravo, y M. F. Martínez. 2011. Development, characteristics, and trends for beef cattle production in Argentina. *Anim. Front.* 1:37-45. doi:10.2527/af.2011-0021.
- Arelovich, H. M., R. D. Bravo, M. F. Martínez, P. L. Forgue, y S. O. Torquati. 2013. Performance and ultrasound measurements of beef cattle fed diets based on whole corn or oats grains. *Chil. J. Agric. Res.* 73:267-274. doi:10.4067/S0718-58392013000300009.
- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed.

Gaithersburg.

- Baldi, G., S. S. Chauhan, N. Linden, F. R. Dunshea, D. L. Hopkins, C. A. Sgoifo Rossi, V. Dell'Orto, y E. N. Ponnampalam. 2019. Comparison of a grain-based diet supplemented with synthetic vitamin E versus a lucerne (alfalfa) hay-based diet fed to lambs in terms of carcass traits, muscle vitamin E, fatty acid content, lipid oxidation, and retail colour of meat. *Meat Sci.* 148:105-112. doi:10.1016/j.meatsci.2018.10.013. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.013>
- Baleseng, L., O. Madibela, C. Tsopito, M. Mareko, W. Boitumelo, y M. Letso. 2023. Morula Kernel Cake (*Sclerocarya birrea*) as a Protein Source in Diets of Finishing Tswana Lambs: Effects on Nutrient Digestibility, Growth, Meat Quality, and Gross Margin. *Animals.* 13:1387. doi:10.3390/ani13081387.
- Balzarini, M. G., L. Gonzalez, M. Tablada, F. Casanoves, J. A. Di Rienzo, y C. W. Robledo. 2008. Manual del Usuario. Ediotrial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Bas, P., V. Berthelot, E. Pottier, y J. Normand. 2007. Effect of level of linseed on fatty acid composition of muscles and adipose tissues of lambs with emphasis on trans fatty acids. *Meat Sci.* 77:678-688. doi:10.1016/j.meatsci.2007.05.022.
- Beauchemin, K. A., T. A. McAllister, Y. Dong, B. I. Farr, y K. J. Cheng. 1994. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. *J. Anim. Sci.* 72:236-246. doi:10.2527/1994.721236x.
- Beltrán, J. A., y M. Bellés. 2018. Effect of freezing on quality of meat. En: *Encyclopedia of Food Security and Sustainability.* p. 493-497.
- Boggs, D. L., y R. A. Merkel. 1982. Live animal carcass evaluation and selection manual. 4th editio. (M. S. University, editor.). Kendall Hunt, Iowa.
- Brito, A. F., H. V. Petit, A. B. D. Pereira, K. J. Soder, y S. Ross. 2015. Interactions of corn meal or molasses with a soybean-sunflower meal mix or flaxseed meal on production, milk fatty acid composition, and nutrient utilization in dairy cows fed grass hay-based diets. *J. Dairy Sci.* 98:443-457. doi:10.3168/jds.2014-8353. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8353>
- De Brito, G. F., S. R. McGrath, B. W. B. Holman, M. A. Friend, S. M. Fowler, R. J. van de Ven, y D. L. Hopkins. 2016. The effect of forage type on lamb carcass traits, meat quality and sensory traits. *Meat Sci.* 119:95-101. doi:10.1016/j.meatsci.2016.04.030. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.030>
- Campo, A. M., M. B. Ramos, y P. A. Zapperi. 2009. Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el Suroeste Bonaerense, Argentina. XII Encuentro Geógrafos América Lat. 1-12.
- Cañeque, V., C. Pérez, S. Velasco, M. T. Díaz, S. Lauzurica, I. Alvarez, F. Ruiz De Huidobro, E. Onega, y J. De La Fuente. 2004. Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. *Meat Sci.* 67:595-605. doi:10.1016/j.meatsci.2004.01.002.
- Cañeque, V., y C. Sañudo. 2000. Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Ministerio. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Madrid.
- Cattelam, J., F. M. Argenta, D. Celestino, A. Filho, I. L. Brondani, D. S. Machado, L. B. Pereira, S. Cardoso, M. Ascoli, S. M. Adams, A. Fabielle, P. Viana, M. Burin, y C. C. Domingues. 2018a. Non-carcass components of cattle finished in feedlot with high grain diet. *Biosci. J.* 34:709-

718. doi:10.14393/BJ-v34n3a2018-37202.

- Cattelam, J., F. M. Argenta, D. C. A. Filho, I. L. Brondani, P. S. Pacheco, R. F. Pacheco, A. R. Mayer, L. Da Silva Rodrigues, P. M. Martini, y J. L. Klein. 2018b. Characteristics of the carcass and quality of meat of male and female calves with different high-grain diets in confinement. *Semin. Ciências Agrárias*. 39:667-682. doi:10.5433/1679-0359.2018v39n2p667.
- Ceballos, D. 2011. Engorde de corderos en condiciones de confinamiento. INTA Ganad. 183-186. Available from: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina_carne/35-engorde.pdf
- Chambaz, A., M. R. L. Scheeder, M. Kreuzer, y P. A. Dufey. 2003. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Sci.* 63:491-500. doi:10.1016/S0309-1740(02)00109-2.
- Choe, J. H., A. Stuart, y Y. H. B. Kim. 2016. Effect of different aging temperatures prior to freezing on meat quality attributes of frozen/thawed lamb loins. *Meat Sci.* 116:158-164. doi:10.1016/j.meatsci.2016.02.014. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.014>
- Cimmino, R., C. M. A. Barone, S. Claps, E. Varricchio, D. Rufrano, M. Caroprese, M. Albenzio, P. De Palo, G. Campanile, y G. Neglia. 2018. Effects of dietary supplementation with polyphenols on meat quality in Saanen goat kids. *BMC Vet. Res.* 14:181. doi:10.1186/s12917-018-1513-1.
- Colella, F., y D. L. Ortega. 2017. Where's the beef? Retail channel choice and beef preferences in Argentina. *Meat Sci.* 133:86-94. doi:10.1016/j.meatsci.2017.06.004. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.06.004>
- Commun, L., M. Silberberg, M. M. Mialon, C. Martin, y I. Veissier. 2012. Behavioural adaptations of sheep to repeated acidosis challenges and effect of yeast supplementation. *Animal*. 6:2011-2022. doi:10.1017/S1751731112001309. Available from: <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731112001309>
- Correddu, F., M. F. Lunesu, G. Buffa, A. S. Atzori, A. Nudda, G. Battaccone, y G. Pulina. 2020. Can agro-industrial by-products rich in polyphenols be advantageously used in the feeding and nutrition of dairy small ruminants? *Animals*. 10:131. doi:10.3390/ani10010131.
- Daley, C. A., A. Abbott, P. S. Doyle, G. A. Nader, y S. Larson. 2010. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutr. J.* 9:10. doi:10.1186/1475-2891-9-10. Available from: <http://nutritionj.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2891-9-10>
- Demirel, G., H. Ozpinar, B. Nazli, y O. Keser. 2006. Fatty acids of lamb meat from two breeds fed different forage: Concentrate ratio. *Meat Sci.* 72:229-235. doi:10.1016/j.meatsci.2005.07.006.
- Descalzo, A. M., L. Rossetti, A. M. Sancho, P. T. García, A. Biolatto, F. Carduza, y G. M. Grigioni. 2008. Antioxidant consumption and development of oxidation during ageing of buffalo meat produced in Argentina. *Meat Sci.* 79:582-588. doi:10.1016/j.meatsci.2007.10.020.
- Descalzo, A. M., y A. M. Sancho. 2008. A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina. *Meat Sci.* 79:423-436. doi:10.1016/j.meatsci.2007.12.006.
- Dion, S., y J. R. Seoane. 1992. Nutritive value of corn, barley, wheat and oats fed with medium quality hay to fattening steers. *Can. J. Anim. Sci.* 72:367-373. doi:10.4141/cjas92-044.

- Doreau, M., y Y. Chilliard. 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.* 78:S15-S35. doi:10.1079/bjn19970132.
- Dougherty, H. C., M. Ewered, J. W. Oltjen, R. S. Hegarty, S. A. Neutze, y V. H. Oddy. 2022. Effects of dietary energy density and supplemental rumen undegradable protein on intake, viscera, and carcass composition of lambs recovering from nutritional restriction. *J. Anim. Sci.* 100:1-16. doi:10.1093/jas/skac158.
- Facciolongo, A. M., A. Lestingi, M. A. Colonna, F. Nicastro, D. De Marzo, y F. Toteda. 2018. Effect of diet lipid source (linseed vs. soybean) and gender on performance, meat quality and intramuscular fatty acid composition in fattening lambs. *Small Rumin. Res.* 159:11-17. doi:10.1016/j.smallrumres.2017.11.015. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.11.015>
- Falowo, A. B., P. O. Fayemi, y V. Muchenje. 2014. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Res. Int.* 64:171-181. doi:10.1016/j.foodres.2014.06.022. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>
- Farouk, M. M., N. M. Mustafa, G. Wu, y G. Krsinic. 2012. The «sponge effect» hypothesis: An alternative explanation of the improvement in the waterholding capacity of meat with ageing. *Meat Sci.* 90:670-677. doi:10.1016/j.meatsci.2011.10.012.
- Farouk, M. M., E. Wiklund, A. Stuart, y P. Dobbie. 2009a. Ageing Prior to Freezing Improves Waterholding Capacity in Beef and Venison. En: 55th International Congress of Meat Science and Technology. p. 781-785. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/269873700>
- Farouk, M. M., E. Wiklund, A. Stuart, y P. Dobbie. 2009b. Ageing prior to freezing improves the colour of frozen-thawed beef and venison. En: 55th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), 16-21 August. p. 786-790.
- Faustman, C., y S. P. Suman. 2017. The Eating Quality of Meat: I-Color. Elsevier Ltd. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00011-X>
- Feuz, R., F. B. Norwood, y R. Ramanathan. 2020. Do consumers have an appetite for discolored beef? *Agribusiness.* 36:631-652. doi:10.1002/agr.21651.
- Fisher, D. S. 2002. A review of a few key factors regulating voluntary feed intake in ruminants. *Crop Sci.* 42:1651-1655. doi:10.2135/cropsci2002.1651.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. 2009. Cómo alimentar al mundo en 2050. Available from: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/synthesis_papers/C%C3%B3mo_alimentar_al_mundo_en_2050.pdf
- Food and Agriculture Organization [FAO]. 2024. FAOSTAT. Available from: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Francisco, A. E., M. Janíček, T. Dentinho, A. P. V. Portugal, J. M. Almeida, S. P. Alves, L. Fialho, E. Jerónimo, R. J. B. Bessa, y J. Santos-Silva. 2020. Effects of alfalfa particle size and starch content in diets on feeding behaviour, intake, rumen parameters, animal performance and meat quality of growing lambs. *Meat Sci.* 161:107964. doi:10.1016/j.meatsci.2019.107964.
- Frank, D., Y. Oytam, y J. Hughes. 2017. Sensory perceptions and new consumer attitudes to meat. En: P. P. Purslow, editor. *New Aspects of Meat Quality.* Elsevier Ltd. p. 667-698. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100593-4/00028-X>

- Fruet, A. P. B., F. S. Stefanello, A. G. Rosado Júnior, A. N. M. de Souza, C. J. Tonetto, y J. L. Nörnberg. 2016. Whole grains in the finishing of culled ewes in pasture or feedlot: Performance, carcass characteristics and meat quality. *Meat Sci.* 113:97-103. doi:10.1016/j.meatsci.2015.11.018. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.018>
- Gagnon, N., C. Côrtes, D. Da Silva, R. Kazama, C. Benchaar, G. Dos Santos, L. Zeoula, y H. V. Petit. 2009. Ruminal metabolism of flaxseed (*Linum usitatissimum*) lignans to the mammalian lignan enterolactone and its concentration in ruminal fluid, plasma, urine and milk of dairy cows. *Br. J. Nutr.* 102:1015-1023. doi:10.1017/S0007114509344104.
- Giraldo, C., M. L. Villar, y S. Villagra. 2014. Engorde de ovinos y caprinos a corral.
- Gohlke, A., C. J. Ingemann, G. Nürnberg, A. Starke, S. Wolffram, y C. C. Metges. 2013. Bioavailability of quercetin from its aglycone and its glucorhamnoside rutin in lactating dairy cows after intraduodenal administration. *J. Dairy Sci.* 96:2303-2313. doi:10.3168/jds.2012-6234.
- González-Ríos, H., J. L. Dávila-Ramírez, E. A. Peña-Ramos, M. Valenzuela-Melendres, L. Zamorano-García, T. Y. Islava-Lagarda, y N. V. Valenzuela-Grijalva. 2016. Dietary supplementation of ferulic acid to steers under commercial feedlot feeding conditions improves meat quality and shelf life. *Anim. Feed Sci. Technol.* 222:111-121. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.10.011.
- Gonzalez Fischer, C., y D. Bilenca. 2020. Can we produce more beef without increasing its environmental impact? Argentina as a case study. *Perspect. Ecol. Conserv.* 18:1-11. doi:10.1016/j.pecon.2019.12.002. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.12.002>
- Grau, R., y R. Hamm. 1953. Eine einfache Methode zur bestimmung der Wasserbindung in Muskel. *Naturwissenschaften*. 40:29–30.
- Grayson, A. L., D. A. King, S. D. Shackelford, M. Koochmaraei, y T. L. Wheeler. 2014. Freezing and thawing or freezing, thawing, and aging effects on beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 92:2735-2740. doi:10.2527/jas.2014-7613.
- Guevara, J. C., E. G. Grünwaldt, O. R. Estevez, A. J. Bisigato, L. J. Blanco, F. N. Biurrun, C. A. Ferrando, C. C. Chirino, E. Morici, B. Fernández, L. I. Allegretti, y C. B. Passera. 2009. Range and livestock production in the Monte Desert, Argentina. *J. Arid Environ.* 73:228-237. doi:10.1016/j.jaridenv.2008.02.001.
- Hashem, N. M., A. Gonzalez-Bulnes, y J. Simal-Gandara. 2020. Polyphenols in farm animals: Source of reproductive gain or waste? *Antioxidants*. 9:1023. doi:10.3390/antiox9101023.
- Hashem, N. M., y Y. A. Soltan. 2015. Impacts of phytoestrogens on livestock production: A review. *Egypt. J. Nutr. Feed.* 19:81-89. Available from: https://www.researchgate.net/publication/311793636_Impacts_of_phytoestrogens_on_livestock_production_A_review?focusFeedback=1
- Henneberg, W., y F. Stohmann. 1859. Über das Erhaltungsfutter volljährigen Rindviehs. *Jusutus Landwirtsch.* 3:485-551.
- Herzog, A. G. M., C. A. Bittencourt, B. R. F. Schuh, V. L. Daley, S. R. Fernandes, y J. A. de Freitas. 2021. Effects of dietary sucrose levels on the ingestive behavior, blood parameters, and performance of feedlot lambs. *Small Rumin. Res.* 194. doi:10.1016/j.smallrumres.2020.106281.

- Holman, B. W. B., R. J. van de Ven, Y. Mao, C. E. O. Coombs, y D. L. Hopkins. 2017. Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour. *Meat Sci.* 127:57-62. doi:10.1016/j.meatsci.2017.01.005. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.01.005>
- Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49:447-457. doi:10.1016/S0309-1740(98)00034-5.
- Honikel, K. O. 2014a. Rigor Mortis, Cold, and Rigor Shortening. Elsevier Ltd. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00096-9>
- Honikel, K. O. 2014b. Glycolysis. En: *Encyclopedia of Meat Sciences*. Vol. 1. p. 353-357.
- Hopkins, D. L. 1996. Assessment of lamb meat colour. En: *5º Meat Focus International*. p. 400-401.
- Huff-Lonergan, E. 2009. Fresh meat water-holding capacity. En: *Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat*. Woodhead Publishing Limited. p. 147-160. Available from: <http://dx.doi.org/10.1533/9781845695439.1.147>
- Huff-Lonergan, E., y S. M. Lonergan. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71:194-204. doi:10.1016/j.meatsci.2005.04.022.
- Humer, E., y Q. Zebeli. 2017. Grains in ruminant feeding and potentials to enhance their nutritive and health value by chemical processing. *Anim. Feed Sci. Technol.* 226:133-151. doi:10.1016/j.anifeedsci.2017.02.005. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.02.005>
- Hunt, M., y A. King. 2012. Meat color measurement guidelines. American Meat Science Association, Champaign.
- Huntington, G. B. 1997. Starch Utilization by Ruminants: From Basics to the Bunk. *J. Anim. Sci.* 75:852-867. Available from: <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/75/3/852/4637334>
- Jayasooriya, S. D., P. J. Torley, B. R. D'Arcy, y B. R. Bhandari. 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. *Meat Sci.* 75:628-639. doi:10.1016/j.meatsci.2006.09.010.
- Kaneko, J. J., J. W. Harvey, y M. L. Bruss. 2008. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. 6 th. (J. J. Kaneko, J. W. Harvey, y M. L. Bruss, editores.). Academic Press, Burlington.
- Karwowska, M., y Z. J. Dolatowski. 2007. Oxidation stability of comminuted meat products with oat addition. *Polish J. Food Nutr. Sci.* 57:55-57.
- Khan, M. I., S. Jung, K. C. Nam, y C. Jo. 2016. Postmortem aging of beef with a special reference to the dry aging. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 36:159-169. doi:10.5851/kosfa.2016.36.2.159.
- Khlijji, S., R. van de Ven, T. A. Lamb, M. Lanza, y D. L. Hopkins. 2010. Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Sci.* 85:224-229. doi:10.1016/j.meatsci.2010.01.002. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.01.002>
- Kim, H. W., y Y. H. B. Kim. 2017. Effects of aging and freezing/thawing sequence on quality attributes of bovine Mm. gluteus medius and biceps femoris. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 30:254-261. doi:10.5713/ajas.16.0279.

- Kim, H. W., E. S. Lee, Y. S. Choi, J. H. Choi, D. J. Han, H. Y. Kim, D. H. Song, S. G. Choi, y C. J. Kim. 2011. Effects of aging period prior to freezing on meat quality of hanwoo muscle (Longissimus dorsi). *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 31:799-806. doi:10.5851/kosfa.2011.31.6.799.
- Kim, J. H., D. H. Kim, D. S. Ji, H. J. Lee, D. K. Yoon, y C. H. Lee. 2017. Effect of aging process and time on physicochemical and sensory evaluation of raw beef top round and shank muscles using an electronic tongue. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 37:823-832. doi:10.5851/kosfa.2017.37.6.823.
- Kim, Y. H. B., M. Frandsen, y K. Rosenvold. 2011. Effect of ageing prior to freezing on colour stability of ovine longissimus muscle. *Meat Sci.* 88:332-337. doi:10.1016/j.meatsci.2010.12.020. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.020>
- Kim, Y. H. B., R. Kemp, y L. M. Samuelsson. 2016. Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat Sci.* 111:168-176. doi:10.1016/j.meatsci.2015.09.008.
- Kim, Y. H. B., C. Liesse, R. Kemp, y P. Balan. 2015. Evaluation of combined effects of ageing period and freezing rate on quality attributes of beef loins. *Meat Sci.* 110:40-45. doi:10.1016/j.meatsci.2015.06.015. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.06.015>
- Kim, Y. H. B., G. Luc, y K. Rosenvold. 2013. Pre rigor processing, ageing and freezing on tenderness and colour stability of lamb loins. *Meat Sci.* 95:412-418. doi:10.1016/j.meatsci.2013.05.017. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.017>
- Kim, Y. H. B., D. Ma, D. Setyabrata, M. M. Farouk, S. M. Lonergan, E. Huff-Lonergan, y M. C. Hunt. 2018. Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat Sci.* 144:74-90. doi:10.1016/j.meatsci.2018.04.031.
- Klurfeld, D. M. 2015. Research gaps in evaluating the relationship of meat and health. *Meat Sci.* 109:86-95. doi:10.1016/j.meatsci.2015.05.022. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.022>
- Kuhnle, G. G. C., C. Dell'Aquila, S. M. Aspinall, S. A. Runswick, A. M. C. P. Joosen, A. A. Mulligan, y S. A. Bingham. 2009a. Phytoestrogen content of fruits and vegetables commonly consumed in the UK based on LC-MS and ¹³C-labelled standards. *Food Chem.* 116:542-554. doi:10.1016/j.foodchem.2009.03.002. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.002>
- Kuhnle, Gunter G.C., C. Dell'Aquila, S. M. Aspinall, S. A. Runswick, A. A. Mulligan, y S. A. Bingham. 2008. Phytoestrogen content of beverages, nuts, seeds, and oils. *J. Agric. Food Chem.* 56:7311-7315. doi:10.1021/jf801534g.
- Kuhnle, Gunter G. C., C. Dell'Aquila, S. M. Aspinall, S. A. Runswick, A. A. Mulligan, y S. A. Bingham. 2008. Phytoestrogen content of foods of animal origin: Dairy products, eggs, meat, fish, and seafood. *J. Agric. Food Chem.* 56:10099-10104. doi:10.1021/jf801344x.
- Kuhnle, G. G. C., C. Dell'Aquila, S. M. Aspinall, S. A. Runswick, A. A. Mulligan, y S. A. Bingham. 2009b. Phytoestrogen content of cereals and cereal-based foods consumed in the UK. *Nutr. Cancer.* 61:302-309. doi:10.1080/01635580802567141.
- Lachman, J., V. Hosnedl, V. Pivec, y M. Orsák. 1998. Polyphenols in cereals and their positive and

- negative role in human and animal nutrition. *Cereal. Hum. Heal. Prev. Nutr.* . 7-11.
- Lagerstedt, Å., L. Enfält, L. Johansson, y K. Lundström. 2008. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef M. longissimus dorsi. *Meat Sci.* 80:457-461. doi:10.1016/j.meatsci.2008.01.009.
- Lawrence, T. L. J., V. R. Fowler, y J. E. Novakofski. 2012. *Growth of Farm Animals*. 3rd ed. (T. L. J. Lawrence, editor.). CABI Publishing, Malta.
- Leygonie, C., T. J. Britz, y L. C. Hoffman. 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Sci.* 91:93-98. doi:10.1016/j.meatsci.2012.01.013. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.013>
- Lonergan, S. M., D. G. Topel, y D. N. Marple. 2019a. Methods to measure body composition of domestic animals. En: *The Science of Animal Growth and Meat Technology*. p. 125-146.
- Lonergan, S. M., D. G. Topel, y D. N. Marple. 2019b. Conversion of muscle to meat. En: *The Science of Animal Growth and Meat Technology*. p. 163-174.
- Lonergan, S. M., D. G. Topel, y D. N. Marple. 2019c. Intrinsic cues of fresh meat quality. En: *The Science of Animal Growth and Meat Technology*. p. 147-162.
- Lorenz, I. 2022. Subacute Ruminal Acidosis in Cattle and Sheep. *MSD Vet. Man.* 6-11. Available from: <https://www.msdvetmanual.com/digestive-system/diseases-of-the-ruminant-forestomach/subacute-ruminal-acidosis-in-cattle-and-sheep>
- Luciano, G., F. J. Monahan, V. Vasta, L. Biondi, M. Lanza, y A. Priolo. 2009. Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Sci.* 81:120-125. doi:10.1016/j.meatsci.2008.07.006. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.006>
- Lundh, T. J. O., H. I. Pettersson, y K. A. Martinsson. 1990. Comparative Levels of Free and Conjugated Plant Estrogens in Blood Plasma of Sheep and Cattle Fed Estrogenic Silage. *J. Agric. Food Chem.* 38:1530-1534. doi:10.1021/jf00097a022.
- Luo, M. R., G. Cui, y B. Rigg. 2001. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Res. Appl.* 26:340-350. doi:10.1002/col.1049.
- Maggiolino, A., J. M. Lorenzo, A. Salzano, M. Faccia, F. Blando, M. P. Serrano, M. A. Latorre, J. Quiñones, y P. De Palo. 2020. Effects of aging and dietary supplementation with polyphenols from *Pinus taeda* hydrolysed lignin on quality parameters, fatty acid profile and oxidative stability of beef. *Anim. Prod. Sci.* 60:713-724. doi:10.1071/AN19215.
- Makkar, H. P. S. 2003. Measurement of total phenolics and tannins using Folin-Ciocalteu method. En: p. 49-51.
- Makkar, H. P. S. 2003. Treatment of Plant Material, Extraction of Tannins, and an Overview of Tannin Assays Presented in the Manual. En: *Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage*. p. 43-48.
- Malebana, I. M. M., B. D. Nkosi, K. H. Erlwanger, y E. Chivandi. 2017. A comparison of the proximate, fibre, mineral content, amino acid and the fatty acid profile of Marula (*Sclerocarya birrea caffra*) nut and Soyabean (*Glycine max*) meals. *J. Sci. Food Agric.* 98:1381–1387. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.8604>
- Mancini, R. A. 2009a. *Meat Color*. En: *Applied Muscle Biology and Meat Science*. CRC Press. p. 217-225. Available from: <http://www.crcnetbase.com/doi/10.1201/b15797-12>

- Mancini, R. A. 2009b. Meat color. En: Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat. Woodhead Publishing Limited. p. 89-110. Available from: <http://dx.doi.org/10.1533/9781845695439.1.89>
- Mancini, R. A., y M. C. Hunt. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.* 71:100-121. doi:10.1016/j.meatsci.2005.03.003.
- Marcenac, J. A., H. M. Arelovich, M. F. Martínez, M. I. Amela, y R. D. Bravo. 2009. Oats grain as an alternative to corn in beef cattle diets. *J. Anim. Sci.* 87:340-344.
- Martín-Diana, A. B., M. J. García-Casas, C. Martínez-Villaluenga, J. Frías, E. Peñas, y D. Rico. 2021. Wheat and oat brans as sources of polyphenol compounds for development of antioxidant nutraceutical ingredients. *Foods.* 10:115. doi:10.3390/foods10010115.
- Martínez, M. F., H. M. Arelovich, y L. N. Wehrhahne. 2010. Grain yield, nutrient content and lipid profile of oat genotypes grown in a semiarid environment. *F. Crop. Res.* 116:92-100. doi:10.1016/j.fcr.2009.11.018.
- Masouras, P. K., K. Nikolaou, G. P. Laliotis, P. Koutsouli, y I. Bizeis. 2022. Relationship Between Meat Quality Characteristics, Intramuscular Fat and Marbling in Greek Cattle Carcasses. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 10:506-513.
- Matarneh, S. K., E. M. England, T. L. Scheffler, y D. E. Gerrard. 2017. The Conversion of Muscle to Meat. En: Lawrie's Meat Science. p. 159-185.
- McDonald, P., R. Edwards, y J. F. D. Greenhalgh. 2013. Animal Nutrition. 7th ed. Acribia S.A., Mallorca.
- Mertens, D. R. 1994. Regulation of forage intake. En: G. C. Fahey, Jr., editor. Forage Quality, Evaluation and Utilization. p. 452-493.
- Mohan, K., R. Banerjee, y N. B. Maheswarappa. 2020. Recent developments in postmortem aging and evaluation methods. En: Meat Quality Analysis. Elsevier Inc. p. 81-99. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00006-9>
- Muela, E., C. Sañudo, M. M. Campo, I. Medel, y J. A. Beltrán. 2010. Effects of cooling temperature and hot carcass weight on the quality of lamb. *Meat Sci.* 84:101-107. doi:10.1016/j.meatsci.2009.08.020. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.020>
- Muíño, I., E. Apeleo, J. de la Fuente, C. Pérez-Santaescolástica, A. Rivas-Cañedo, C. Pérez, M. T. Díaz, V. Cañeque, y S. Lauzurica. 2014. Effect of dietary supplementation with red wine extract or vitamin E, in combination with linseed and fish oil, on lamb meat quality. *Meat Sci.* 98:116-123. doi:10.1016/j.meatsci.2014.05.009. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.009>
- Nardone, A., B. Ronchi, N. Lacetera, M. S. Ranieri, y U. Bernabucci. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.* 130:57-69. doi:10.1016/j.livsci.2010.02.011. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- National Academies of Sciences Engineering and Medicine [NASEM]. 2016a. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 8th ed. The National Academies Press.
- National Academies of Sciences Engineering and Medicine [NASEM]. 2016b. Beef Cattle Nutrient Requirements Model.
- O'Fallon, J. V., J. R. Busboom, M. L. Nelson, y C. T. Gaskins. 2007. A direct method for fatty acid

- methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. *J. Anim. Sci.* 85:1511-1521. doi:10.2527/jas.2006-491.
- O'Sullivan, M. G., y J. P. Kerry. 2009. Sensory and quality properties of packaged meat. En: *Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat*. Woodhead Publishing Limited. p. 585-604. Available from: <http://dx.doi.org/10.1533/9781845695439.4.585>
- Obeidat, B. S., K. Z. Mahmoud, J. A. Maswadeh, y E. Y. Bsoul. 2016. Effects of feeding *Atriplex halimus* L . on growth performance and carcass characteristics of fattening Awassi lambs. *Small Rumin. Res.* 137:65-70. doi:10.1016/j.smallrumres.2016.03.007. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.03.007>
- Offner, A., A. Bach, y D. Sauvant. 2003. Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106:81-93. doi:10.1016/S0377-8401(03)00038-5.
- Ørskov, E. R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1624-1633.
- Ørskov, E. R., C. Fraser, y J. G. Gordon. 1974a. Effect of processing of cereals on rumen fermentation, digestibility, rumination time, and firmness of subcutaneous fat in lambs. *Br. J. Nutr.* 32:59-69. doi:10.1079/BJN19740058.
- Ørskov, E. R., C. Fraser, V. C. Mason, y O. S. Mann. 1970. Influence of starch digestion in the large intestine of sheep on caecal fermentation, caecal microflora and faecal nitrogen excretion. *Br. J. Nutr.* 24:671-682.
- Ørskov, E. R., C. Fraser, I. McDonald, y R. I. Smart. 1974b. Digestion of concentrates in sheep. *Br. J. Nutr.* 31:89-98. doi:10.1079/bjn19740011.
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, y D. R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: A review. *J. Anim. Sci.* 75:868-879. doi:10.2527/1997.753868x.
- Owens, F. N., R. A. Zinn, y Y. K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.* 63:1634-1648. doi:10.2527/jas1986.6351634x.
- Pan, L., K. H. Huang, T. Middlebrook, D. Zhang, W. L. Bryden, y X. Li. 2021. Rumen degradability of barley, oats, sorghum, triticale, and wheat in situ and the effect of pelleting. *Agriculture.* 11:647. doi:10.3390/agriculture11070647.
- Pathare, P. B., U. L. Opara, y F. A. J. Al-Said. 2013. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food Bioprocess Technol.* 6:36-60. doi:10.1007/s11947-012-0867-9.
- Pearce, K. L., K. Rosenvold, H. J. Andersen, y D. L. Hopkins. 2011. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes - A review. *Meat Sci.* 89:111-124. doi:10.1016/j.meatsci.2011.04.007. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.007>
- Pereira, A., P. Carvalho, G. Coelho, y L. Corte-Real. 2020. Efficient CIEDE2000-Based Color Similarity Decision for Computer Vision. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* 30:2141-2154. doi:10.1109/TCSVT.2019.2914969.
- Pereira, A., P. Carvalho, y L. Corte-Real. 2022. Boosting color similarity decisions using the CIEDE2000_PF Metric. *Signal, Image Video Process.* 16:1877-1884. doi:10.1007/s11760-022-02147-w. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11760-022-02147-w>
- Peterson, D. M. 2001. Oat antioxidants. *J. Cereal Sci.* 33:115-129. doi:10.1006/jcrs.2000.0349.

- Pighin, D., A. Pazos, V. Chamorro, F. Paschetta, S. Cunzolo, F. Godoy, V. Messina, A. Pordomingo, y G. Grigioni. 2016. A Contribution of Beef to Human Health: A Review of the Role of the Animal Production Systems. *Sci. World J.* 2016:8681491. doi:10.1155/2016/8681491.
- Pinto, A. P. P., I. Ferreira Furusho-Garcia, I. Leopoldino Júnior, J. R. Olalquiaga Pérez, N. Gomes Alves, y I. Garcia Pereira. 2011. Revista Brasileira de Zootecnia Performance and carcass characteristics of lambs fed diets with fat and vitamin E 1. 2911-2921.
- Plascencia, A., V. M. González-Vizcarra, y R. A. Zinn. 2018. Comparative effects of grain source on digestion characteristics of finishing diets for feedlot cattle: steam-flaked corn, barley, wheat, and oats. *Can. J. Anim. Sci.* 98:794-800. doi:10.1139/cjas-2018-0018.
- Ponnampalam, E. N., R. M. Dixon, B. J. Hosking, y A. R. Egan. 2004. Intake, growth and carcass characteristics of lambs consuming low digestible hay and cereal grain. *Anim. Feed Sci. Technol.* 114:31-41. doi:10.1016/j.anifeedsci.2003.12.005.
- Ponnampalam, E. N., T. Plozza, M. G. Kerr, N. Linden, M. Mitchell, A. E. D. A. Bekhit, J. L. Jacobs, y D. L. Hopkins. 2017. Interaction of diet and long ageing period on lipid oxidation and colour stability of lamb meat. *Meat Sci.* 129:43-49. doi:10.1016/j.meatsci.2017.02.008. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.008>
- Pordomingo, A. J., G. Grigioni, F. Carduza, y G. Volpi Lagreca. 2012. Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality. *Meat Sci.* 90:939-946. doi:10.1016/j.meatsci.2011.11.036.
- Pouzo, L., N. Fanego, F. J. Santini, A. Descalzo, y E. Pavan. 2015. Animal performance, carcass characteristics and beef fatty acid profile of grazing steers supplemented with corn grain and increasing amounts of flaxseed at two animal weights during finishing. *Livest. Sci.* 178:140-149. doi:10.1016/j.livsci.2015.05.034. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.034>
- Prache, S., N. Schreurs, y L. Guillier. 2022. Review: Factors affecting sheep carcass and meat quality attributes. *Animal.* 16:100330. doi:10.1016/j.animal.2021.100330. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100330>
- Pretorius, B., y H. C. Schönfeldt. 2021. Cholesterol, fatty acids profile and the indices of atherogenicity and thrombogenicity of raw lamb and mutton offal. *Food Chem.* 345:128868. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128868.
- Puolanne, E. 2017. Developments in our understanding of water-holding capacity in meat. En: P. P. Purslow, editor. *New Aspects of Meat Quality*. Elsevier Ltd. p. 167-190. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100593-4/00009-6>
- Ramanathan, R., G. G. Mafi, L. Yoder, M. Perry, M. Pfeiffer, D. L. VanOverbeke, y N. B. Maheswarappa. 2020. Biochemical changes of postmortem meat during the aging process and strategies to improve the meat quality. En: A. K. Biswas y P. K. Mandal, editores. *Meat Quality Analysis*. Academic P. Elsevier Inc. p. 67-80. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00005-7>
- Ramanathan, R., y R. A. Mancini. 2018. Role of Mitochondria in Beef Color: A Review. *Meat Muscle Biol.* 2:309. doi:10.22175/mmb2018.05.0013.
- Realini, C. E., G. Bianchi, O. Bentancur, y G. Garibotto. 2017. Effect of supplementation with linseed or a blend of aromatic spices and time on feed on fatty acid composition, meat quality and consumer liking of meat from lambs fed dehydrated alfalfa or corn. *Meat Sci.* 127:21-29. doi:10.1016/j.meatsci.2016.12.013. Available from:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.12.013>

- Rivaroli, D. C., M. Del Mar Campo, C. Sañudo, A. Guerrero, A. M. Jorge, A. C. P. Vital, M. V. Valero, R. M. Do Prado, y I. N. Do Prado. 2020. Effect of an essential oils blend on meat characteristics of crossbred heifers finished on a high-grain diet in a feedlot. *Anim. Prod. Sci.* 60:595-602. doi:10.1071/AN18620.
- Rohweder, D. A., R. F. Barnes, y N. Jorgensen. 1978. Proposed Hay Grading Standards Based on Laboratory Analyses for Evaluating Quality. *J. Anim. Sci.* 47:747-759. doi:10.2527/jas1978.473747x.
- Saeed, O. A., A. Q. Sazili, H. Akit, M. Ebrahimi, A. R. Alimon, y A. A. Samsudin. 2019. Effects of corn supplementation on meat quality and fatty acid composition of Dorper lambs fed PKC-Urea treated rice straw. *BMC Vet. Res.* 15:233. doi:10.1186/s12917-019-1976-8.
- Santin Jr, I. A., H. L. Lima, K. A. Mateus, M. R. Santos, A. Zampar, y D. C. Cucco. 2021. Carcass and meat quality of young Angus steers with different growth potential finished exclusively grass - fed or corn supplemented. *Trop. Anim. Health Prod.* 53:521. doi:10.1007/s11250-021-02965-z. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02965-z>
- Schroeder, J. W., M. L. Bauer, y N. R. Bork. 2014. Effect of flaxseed physical form on digestibility of lactation diets fed to Holstein steers. *J. Dairy Sci.* 97:5718-5728. doi:10.3168/jds.2014-7911. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-7911>
- Scollan, N. D., D. Dannenberger, K. Nuernberg, I. Richardson, S. MacKintosh, J. F. Hocquette, y A. P. Moloney. 2014. Enhancing the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci.* 97:384-394. doi:10.1016/j.meatsci.2014.02.015. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.02.015>
- Scollan, N., J. F. Hocquette, K. Nuernberg, D. Dannenberger, I. Richardson, y A. Moloney. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci.* 74:17-33. doi:10.1016/j.meatsci.2006.05.002.
- Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca. 2024a. Stock Bovino por Departamento y Estratificación. Available from: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes/index.php
- Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca. 2024b. Existencias Ovinas por Departamento. Available from: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_ovinos/estadistica/existencias/index.php
- Serra, V., G. Salvatori, y G. Pastorelli. 2021. Dietary polyphenol supplementation in food producing animals: Effects on the quality of derived products. *Animals.* 11:401. doi:10.3390/ani11020401.
- Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. 2024. Estadísticas de Largo Plazo. Available from: <https://www.smn.gob.ar/estadisticas>
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria [SENASA]. 2015. Manual De Bienestar Animal. Buenos Aires. Available from: http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/bienestar_animal.pdf
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria [SENASA]. 2024. Situación de la Producción Orgánica en la Argentina durante el año 2023. Available from: <https://www.argentina.gob.ar/senasa/mercados-y-estadisticas/estadisticas/produccion-organica>

- Setyabrata, D., y Y. H. B. Kim. 2019. Impacts of aging/freezing sequence on microstructure, protein degradation and physico-chemical properties of beef muscles. *Meat Sci.* 151:64-74. doi:10.1016/j.meatsci.2019.01.007. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.01.007>
- Shahidi, F., y P. Ambigaipalan. 2018. Antioxidants in oxidation control. En: Measurement of Antioxidant Activity and Capacity: Recent Trends and Applications. p. 287-320.
- Showell, B. A., J. R. Williams, M. Duvall, J. C. Howe, K. Y. Patterson, J. M. Roseland, y J. M. Holden. 2012. USDA table of cooking yields for meat and poultry.
- Singleton, V. L., R. Orthofer, y R. M. Lamuela-Raventós. 1999. Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods Enzymol.* 299:152-178. doi:10.1007/BF02530903.
- Smith, G. C., y Z. L. Carpenter. 1973. Postmortem shrinkage of lamb carcasses. *J. Anim. Sci.* 36:862-867.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd ed. Cornell University Press.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, y B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Sormunen-Cristian, R. 2013. Effect of barley and oats on feed intake, live weight gain and some carcass characteristics of fattening lambs. *Small Rumin. Res.* 109:22-27. doi:10.1016/j.smallrumres.2012.07.009. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.07.009>
- Terevinto, A., A. Ramos, G. Castroman, M. C. Cabrera, y A. Saadoun. 2010. Oxidative status , in vitro iron-induced lipid oxidation and superoxide dismutase , catalase and glutathione peroxidase activities in rhea meat. *Meat Sci.* 84:706-710. doi:10.1016/j.meatsci.2009.11.007. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.11.007>
- Tornberg, E. 2005. Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products. *Meat Sci.* 70:493-508. doi:10.1016/j.meatsci.2004.11.021.
- Ulbricht, T. L. V., y D. A. T. Southgate. 1991. Review article - Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet.* 338:985-992.
- Vasta, V., M. Daghio, A. Cappucci, A. Buccioni, A. Serra, C. Viti, y M. Mele. 2019. Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *J. Dairy Sci.* 102:3781-3804. doi:10.3168/jds.2018-14985. Available from: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-14985>
- Vasta, V., y G. Luciano. 2011. The effects of dietary consumption of plants secondary compounds on small ruminants' products quality. *Small Rumin. Res.* 101:150-159. doi:10.1016/j.smallrumres.2011.09.035. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.035>
- Vieira, C., M. T. Diaz, B. Martínez, y M. D. García-Cachán. 2009. Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. *Meat Sci.* 83:398-404. doi:10.1016/j.meatsci.2009.06.013. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.013>

<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00088-X>

Xiong, Y. L. 2017. The Storage and Preservation of Meat: I-Thermal Technologies. En: Lawrie's Meat Science: Eighth Edition. Elsevier Ltd. p. 205-230. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00007-8>

Zagorakis, K., D. Liamadis, C. Milis, V. Dotas, y D. Dotas. 2018. Effects of replacing soybean meal with alternative sources of protein on nutrient digestibility and energy value of sheep diets. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 48:489-496. doi:10.4314/sajas.v48i3.9.

Zhang, Z. A., F. Li, Z. Y. Ma, F. D. Li, Z. L. Wang, S. R. Li, X. J. Wang, y K. D. Li. 2023. Variability in chewing, ruminal fermentation, digestibility and bacterial communities between subacute ruminal acidosis-susceptible and acidosis-tolerant sheep. *Animal.* 17:100902. doi:10.1016/j.animal.2023.100902.

Zhou, W., Z. K. Han, y W. Y. Zhu. 2009a. The metabolism of linseed lignans in rumen and its impact on ruminal metabolism in male goats. *J. Anim. Feed Sci.* 18:51-60. doi:10.22358/jafs/66367/2009.

Zhou, W., G. Wang, Z. Han, W. Yao, y W. Zhu. 2009b. Metabolism of flaxseed lignans in the rumen and its impact on ruminal metabolism and flora. *Anim. Feed Sci. Technol.* 150:18-26. doi:10.1016/j.anifeedsci.2008.07.006.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA GENERADA EN EL TRANSCURSO DE ESTA TESIS

1. Publicaciones en revistas científicas

Villaverde, M.S., Mayo, A., Arelovich, H.M., Bravo, R.D., Menghini, M., Martínez, M.F., 2023. Animal performance , carcass characteristics and beef quality of steers fed with a whole oat or maize grain-based diet. Spanish J. Agric. Res. 21. <https://doi.org/10.5424/sjar/2023214-20233>

2. Publicaciones en actas de congresos

a. Trabajos completos

Villaverde, M. S., Dalmaso, F. C., Piñeiro, V., Arelovich, H. M y Saldungaray, M. C. 2021. Evaluación económica de una fuente energética alternativa en dietas de terminación de bovinos a corral. 52° Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Río Cuarto, virtual.

b. Resúmenes nacionales

Villaverde, M. S., Ithurrart L. S., Fernández-Etchegaray V., Bravo R.D., Menghini M., Arelovich H. M., Chamadoira M. D., Martínez M. F. 2024. Uso de grano de avena como alternativa al grano de maíz en ovinos en terminación a corral. 47° Congreso Argentino de Producción Animal. Reconquista. Rev. Arg. Prod. Anim. 43 (Supl. 1): 234.

Villaverde, M.S., Fernández Etchegaray V., Ithurrart, L.S., de Abreu Rosas, C. Bravo, R.D., Pevsner, D., Fernández, H.T., Martínez, M.F. 2021. Evaluación de parámetros productivos en borregos alimentados con dietas basadas en grano de avena y maíz. 44° Congreso Argentino de Producción Animal. Virtual. Rev. Arg. Prod. Anim. 41 (Supl. 1):228.

Villaverde, M.S., Menghini, M., Bravo, R.D., Chamadoira, M.D., Mayo, A., Arelovich, H.M., Martínez, M.F. 2020. Pérdidas de exudado por descongelado, pH y color en carne de novillitos madurada en húmedo. 43° Congreso Argentino de Producción Animal. Virtual. Rev. Arg. Prod. Anim. 40 (Supl. 1):187.

Villaverde, M.S., Mayo, A., Moreyra, F., Arelovich, H.M., Menghini, M., Bravo, R.D. Dalmaso, F.C., Carricart, C.L., Martínez, M.F. 2019. Respuesta productiva de novillitos de terminación alimentados con grano de avena cv Elisabet o maíz en dieta sin fibra larga. 42° Congreso Argentino de Producción Animal. Bahía Blanca. Rev. Arg. Prod. Anim. 39 (Supl. 1): 75.

Villaverde, M.S., Martínez, M.F. García Torrontegui, P., Menghini, M., Bravo, R.D., Chamadoira, M.D., Mayo, A., Arelovich, H.M. 2019. Evaluación de parámetros de calidad tecnológica en carne de novillitos Aberdeen Angus terminados con dietas constituidas por dos fuentes diferentes de

energía. 42° Congreso Argentino de Producción Animal. Bahía Blanca. Rev. Arg. Prod. Anim. 39 (Supl. 1): 76.

c. Resúmenes internacionales

Villaverde, M. S., Menghini, M., Bravo, R. D., Chamadoira, M. D., Martínez, M. F., Arelovich, H. M. 2022. Effect of Grain Type and wet-aging time on lamb meat. ASAS-CSAS Annual Meeting. Oklahoma City. J. Anim. Sci., Vol. 100 (Issue Supplement 3), Pages 300–301, <https://doi.org/10.1093/jas/skac247.547>

3. Publicaciones de divulgación

Villaverde, M. S., Bravo, R. D. y Martínez, M. F. 2024. Uso de grano de avena como alternativa al grano de maíz en terminación de ovinos a corral: desempeño productivo y calidad de carne. Revista MDA, Vol. 5, Nro. 3, diciembre 2024. Páginas 56-60,

https://www.gba.gob.ar/desarrollo_agrario/revista_mda/volumen_5_n%C2%BA_3

ANEXO

Tabla A2.0.1. Composición química de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2019, basadas en grano entero de avena (A) o grano entero de maíz (M).

Composición química ¹	Grano de avena	Grano de maíz	Harina de girasol	Afrechillo de trigo	Premezcla VMM
MS, %	90,04	87,39	89,31	89,20	91,70
PB, %	13,06	8,63	33,06	12,83	9,38
FDN, %	30,78	26,41	47,01	46,48	30,34
FDA, %	13,60	4,72	23,02	13,44	8,28
DIVMS, %	69,36	75,14	63,97	78,43	82,45
EE, %	7,33	4,21	2,27	5,48	3,83
Cenizas, %	3,67	1,49	6,65	6,72	31,10
CNE, %	44,60	59,00	8,10	28,06	25,03
EM Mcal.kg ⁻¹ MS	2,50	2,71	2,31	2,83	1,98

¹MS: materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; EE: extracto etéreo; CNE: carbohidratos no estructurales; EM: energía metabolizable.



Figura A2.0.1. Rúmenes pertenecientes a novillos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) y grano de maíz (M), correspondientes al experimento de 2019. El rúmen de la izquierda pertenece a un individuo del tratamiento M y el de la derecha al tratamiento A.

Tabla A3.0.2. Composición química de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2021, basadas en heno (H) grano de avena (A) o grano de maíz (M).

Composición química ¹	Heno de pastura polifítica*	Grano de avena	Grano de maíz	Harina de girasol
MS, %	92,44	90,76	86,75	89,77
PB, %	12,74	9,73	9,29	37,05
FDN, %	61,54	41,72	38,39	42,60
FDA, %	45,06	21,09	6,23	29,48
DIVMS, %	53,80	72,47	84,05	65,94
EE, %	2,25	6,09	4,49	1,43
Cenizas, %	6,12	3,34	0,90	6,09
EM, Mcal.kg ⁻¹	1,94	2,61	3,03	2,38
Compuestos fenólicos totales, mg.g ⁻¹	3,76	0,91	0,86	9,47
Compuestos fenólicos no tánicos, mg.g ⁻¹	2,02	0,73	0,75	6,25
Compuestos fenólicos tánicos, mg.g ⁻¹	1,75	0,18	0,11	3,22

*Pastura compuesta por 60 % alfalfa y 40 % gramíneas.

¹MS: materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; DIVMS: digestibilidad in vitro de la materia seca; EE: extracto etéreo; EM: energía metabolizable.

Tabla A3.0.3. Composición de los ácidos grasos de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2021, basadas en heno (H) grano de avena (A) o grano de maíz (M).

Composición de los ácidos grasos, %	Heno de pastura polifítica*	Grano de avena	Grano de maíz	Harina de girasol
C8:0	1,33	0,22	0,21	0,27
C10:0	0,30	0,04	0,05	0,05
C11:0	0,84	0,14	0,17	0,13
C12:0	0,67	0,07	0,06	0,08
C13:0	2,23	-	0,07	0,04
C14:0	1,97	0,44	0,21	0,62
C14:1	0,28	-	-	0,10
C15:0	0,51	0,03	0,04	0,13
C15:1	3,60	-	0,04	0,07
C16:0	30,19	20,99	11,96	15,43
C16:1	2,19	0,17	0,18	0,32
C17:0	1,04	0,23	0,11	0,36
C17:1 c	1,03	0,14	0,28	0,50
C18:0	7,47	3,44	2,10	6,61
C18:1n-9 c	7,93	42,08	27,58	18,93
C18:2n-6 c	11,71	26,30	53,19	48,13
C20:0	1,34	0,15	0,32	0,45
C18:3n-3	10,39	0,55	1,34	0,53
C20:1	0,14	0,68	0,26	0,12
C20:2	0,63	1,52	-	0,31
C20:3n-6	0,38	-	-	-
C22:0	1,15	-	-	0,47
C20:4n-6	0,25	-	-	-
C23:0	0,36	-	-	0,13
C24:0	0,91	-	0,04	0,25
C24:1n-9	0,61	-	0,55	0,66
No definidos	10,00	2,82	1,22	4,93

*Pastura compuesta por 60 % alfalfa y 40 % gramíneas.

Tabla A3.0.4. Composición química de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2022, basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M).

Composición química ¹	Heno de agropiro	Grano de avena	Grano de maíz	Harina de girasol
MS, %	92,94	88,80	84,92	89,16
PB, %	4,35	13,35	8,27	37,18
FDN, %	61,46	32,31	17,63	36,49
FDA, %	35,42	14,91	2,87	20,88
DIVMS, %	61,31	77,29	86,66	72,63
EE, %	3,05	6,11	4,11	1,43
Cenizas, %	6,20	3,50	1,20	6,10
EM, Mcal.kg ⁻¹	2,21	2,79	3,13	2,62
Compuestos fenólicos totales, mg.g ⁻¹	2,21	0,90	0,90	9,47
Compuestos fenólicos no tánicos, mg.g ⁻¹	1,66	0,74	0,62	6,25
Compuestos fenólicos tánicos, mg.g ⁻¹	0,54	0,17	0,27	3,22

¹MS: materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; DIVMS: digestibilidad in vitro de la materia seca; EE: extracto etéreo; EM: energía metabolizable.

Tabla A3.0.5. Composición de los ácidos grasos de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2022, basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M).

Composición de los ácidos grasos, %	Heno de agropiro	Grano de avena	Grano de maíz	Harina de girasol
C8:0	5,44	0,34	0,33	0,27
C10:0	0,71	0,09	0,09	0,05
C11:0	1,33	0,16	0,14	0,13
C12:0	1,47	0,06	0,06	0,08
C13:0	1,04	0,03	0,06	0,04
C14:0	5,01	0,46	0,18	0,62
C14:1	0,39	-	-	0,10
C15:0	0,51	0,03	0,03	0,13
C15:1	2,67	-	-	0,07
C16:0	21,17	19,92	12,22	15,43
C16:1	1,55	0,16	0,20	0,32
C17:0	0,63	0,19	0,13	0,36
C17:1 c	3,27	0,20	0,26	0,50
C18:0	8,01	3,25	2,08	6,61
C18:1n-9 c	10,28	41,07	27,67	18,93
C18:2n-6 c	10,00	28,20	53,12	48,13
C20:0	0,94	0,16	0,29	0,45
C18:3n-3	9,72	0,63	1,53	0,53
C20:1	0,14	0,51	0,21	0,12
C20:2	-	0,83	-	0,31
C22:0	0,19	0,11	0,13	0,47
C20:4n-6	0,30	-	-	-
C22:1n-9	-	0,08	-	-
C23:0	0,41	0,05	-	0,13
C22:6n-3	0,48	-	-	-
C24:0	0,78	0,08	0,12	0,25
C24:1n-9	-	-	-	0,66
No definidos	12,66	3,39	1,15	4,93

Tabla A3.0.6. Composición química de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2023, basadas en harina de girasol (G) o harina de lino (L).

Composición química ¹	Heno de avena	Grano de avena	Harina de girasol	Harina de lino
MS, %	89,73	93,99	92,10	98,17
PB, %	9,90	11,82	33,27	33,76
FDN, %	56,36	36,72	40,79	39,53
FDA, %	32,40	17,96	22,55	17,75
DIVMS, %	63,66	74,91	71,33	75,08
EE, %	2,66	6,34	1,43	7,00
Cenizas, %	6,81	2,96	6,09	5,21
EM, Mcal.kg ⁻¹	2,30	2,70	2,57	2,71
Compuestos fenólicos totales, mg.g ⁻¹	2,55	0,91	9,47	4,04
Compuestos fenólicos no tánicos, mg.g ⁻¹	1,91	0,71	6,25	2,43
Compuestos fenólicos tánicos, mg.g ⁻¹	0,64	0,19	3,22	1,61

¹MS: materia seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; DIVMS: digestibilidad in vitro de la materia seca; EE: extracto etéreo; EM: energía metabolizable.

Tabla A3.0.7. Composición de los ácidos grasos de los ingredientes utilizados en la elaboración de las dietas del experimento 2023, basadas en harina de girasol (G) o harina de lino (L).

Composición de los ácidos grasos, %	Heno de avena	Grano de avena	Harina de girasol	Harina de lino
C8:0	1,49	0,32	0,27	0,23
C10:0	0,33	0,07	0,05	0,04
C11:0	0,60	0,11	0,13	0,05
C12:0	1,11	0,05	0,08	0,04
C13:0	0,34	0,05	0,04	0,04
C14:0	2,41	0,42	0,62	0,29
C14:1	0,20	-	0,10	0,00
C15:0	0,39	0,03	0,13	0,08
C15:1	2,18	-	0,07	-
C16:0	26,22	18,89	15,43	8,50
C16:1	1,33	0,17	0,32	0,20
C17:0	0,56	0,12	0,36	0,13
C17:1 c	1,14	0,18	0,50	0,19
C18:0	7,71	-	6,61	4,74
C18:1n-9 c	15,69	40,41	18,93	21,56
C18:2n-6 c	14,07	30,87	48,13	17,71
C20:0	1,27	-	0,45	0,39
C18:3n-3	9,14	0,82	0,53	44,63
C20:1	0,22	0,73	0,12	-
C20:2	0,43	0,45	0,31	0,02
C22:0	1,01	-	0,47	0,12
C20:4n-6	-	-	-	0,06
C22:1n-9	-	0,04	-	0,15
C23:0	0,24	-	0,13	0,01
C22:6n-3	0,55	-	-	-
C24:0	0,83	0,08	0,25	0,09
C24:1n-9	1,16	-	0,66	0,07
No definidos	9,31	6,19	4,93	0,67

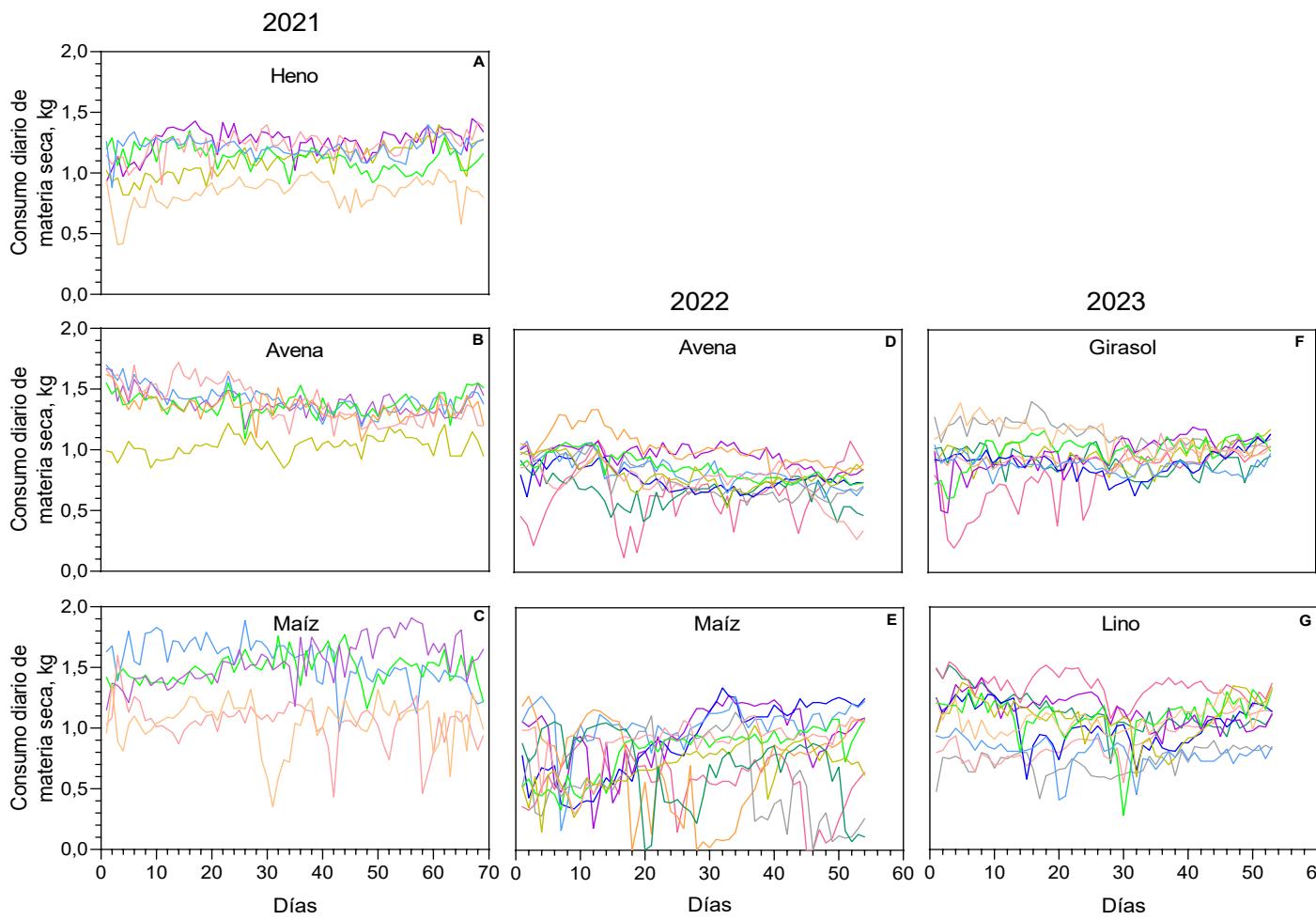


Figura A3.0.2. Consumo diario individual de materia seca de ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A), grano de maíz (M), harina de girasol (G) o harina de lino (L). Cada línea de color representa a un individuo. A-C: experimento 2021; D y E: experimento 2022; F y G: experimento 2023.

Tabla A4.0.8. Perfil completo de ácidos grasos de la carne de los ovinos alimentados con dietas basadas en heno (H), grano de avena (A) o grano de maíz (M), correspondientes al experimento de 2021.

Ácido graso, %	Media	EE ¹	Media	EE	Media	EE	Valor p
	Heno		Avena		Maíz		
C8:0	0,16	0,01	0,20	0,03	0,16	0,02	0,3429
C10:0	0,20 a	0,01	0,17 ab	0,01	0,15 b	0,01	0,0380
C12:0	0,47 a	0,07	0,22 b	0,04	0,21 b	0,06	0,0106
C13:0	0,08 a	0,01	0,03 b	0,01	0,03 b	0,01	0,0077
C14:0	4,56 a	0,59	2,64 b	0,26	2,81 b	0,45	0,0168
C14:1	0,65 a	0,03	0,38 b	0,02	0,40 b	0,08	0,0018
C15:0	0,81 a	0,05	0,42 b	0,04	0,48 b	0,10	0,0012
C15:1	1,09	0,08	0,88	0,07	0,89	0,12	0,1953
C16:0	23,59	0,50	22,70	0,57	23,99	0,49	0,2409
C16:1	2,61 a	0,11	2,08 b	0,08	2,24 b	0,15	0,0114
C17:0	1,43 a	0,04	0,82 c	0,06	1,03 b	0,09	< 0,0001
C17:1 c	1,56	0,10	1,38	0,12	1,32	0,09	0,2799
C18:0	17,19	1,30	20,44	1,38	16,62	0,52	0,0819
C18:1n-9 t	2,36	0,16	2,14	0,11	1,92	0,20	0,1786
C18:1n-9 c	31,11 b	0,66	33,38 ab	0,92	36,77 a	2,41	0,0428
C18:2n-6 t	1,21	0,20	0,73	0,13	0,68	0,09	0,0505
C18:2n-6 c	5,49	0,31	5,95	0,64	5,49	0,52	0,7661
C20:0	0,14	0,04	0,20	0,01	0,13	0,04	0,2028
C18:3n-3	1,19 a	0,15	0,57 b	0,09	0,69 b	0,22	0,0271
C20:1	0,43	0,07	0,31	0,03	0,31	0,04	0,1388
C21:0	0,15	0,06	0,07	0,03	0,07	0,04	0,3689
C20:3n-6	0,19	0,01	0,20	0,03	0,18	0,02	0,7499
C20:4n-6	1,44	0,10	1,67	0,21	1,41	0,17	0,5067
C20:5n-3 c	0,45	0,05	0,39	0,06	0,31	0,06	0,2844
C22:6n-3	0,22	0,02	0,26	0,03	0,17	0,03	0,1242
No definidos	1,26	0,34	1,79	0,55	0,96	0,12	0,3729

¹EE: error estándar de la media

Tabla A4.0.9. Perfil completo de ácidos grasos de la carne de los ovinos alimentados con dietas basadas en grano de avena (A) o grano de maíz (M), correspondientes al experimento de 2022.

Ácido graso, %	Media	EE ¹	Media	EE	Valor <i>p</i>
	Avena		Maíz		
C8:0	0,12	0,02	0,11	0,02	0,5045
C10:0	0,16	0,01	0,13	0,01	0,0427
C12:0	0,29	0,05	0,27	0,02	0,6646
C13:0	0,05	0,01	0,04	0,01	0,4032
C14:0	3,40	0,40	3,44	0,21	0,9187
C14:1	0,56	0,04	0,56	0,02	0,8802
C15:0	0,60	0,05	0,59	0,02	0,8701
C15:1	1,09	0,09	1,30	0,10	0,1248
C16:0	22,71	0,34	22,70	0,36	0,9777
C16:1	2,56	0,13	2,74	0,11	0,2900
C17:0	1,17	0,05	1,25	0,05	0,2417
C17:1 c	1,68	0,07	1,78	0,08	0,3720
C18:0	19,78	0,72	16,57	0,70	0,0051
C18:1n-9 t	2,50	0,11	2,34	0,12	0,3590
C18:1n-9 c	31,26	0,48	34,44	0,66	0,0011
C18:2n-6 t	1,00	0,10	1,07	0,12	0,6186
C18:2n-6 c	5,78	0,43	5,39	0,33	0,4843
C20:0	0,14	0,03	0,08	0,03	0,1169
C18:3n-3	0,81	0,05	0,82	0,04	0,8831
C20:1	0,37	0,05	0,35	0,04	0,7693
C21:0	0,28	0,03	0,25	0,04	0,5150
C20:3n-6	0,18	0,01	0,16	0,02	0,4546
C20:4n-6	1,50	0,15	1,51	0,15	0,9459
C20:5n-3 c	0,43	0,04	0,49	0,04	0,3237
C22:6n-3	0,31	0,04	0,31	0,04	0,9867
No definidos	1,41	0,30	1,25	0,09	0,6337

¹EE: error estándar de la media

Tabla A4.0.10. Perfil completo de ácidos grasos de la carne de los ovinos con dietas basadas en harina de girasol (G) o harina de lino (L), correspondientes al experimento de 2023.

Ácido graso, %	Media	EE ¹	Media	EE	Valor <i>p</i>
	Girasol		Lino		
C8:0	0,13	0,03	0,15	0,04	0,6324
C10:0	0,14	0,01	0,13	0,01	0,3572
C12:0	0,25	0,02	0,21	0,02	0,1967
C13:0	0,05	0,01	0,05	0,01	0,9113
C14:0	3,41	0,20	2,95	0,23	0,1503
C14:1	0,50	0,03	0,43	0,02	0,0559
C15:0	0,53	0,02	0,50	0,03	0,3757
C15:1	1,35	0,12	1,39	0,18	0,8816
C16:0	22,10	0,43	21,27	0,39	0,1741
C16:1	2,55	0,12	2,38	0,08	0,2657
C17:0	1,07	0,05	1,08	0,08	0,9334
C17:1 c	1,88	0,13	2,02	0,16	0,5014
C18:0	18,53	1,59	17,85	0,72	0,7054
C18:1n-9 t	2,50	0,13	2,63	0,09	0,4378
C18:1n-9 c	33,38	1,08	34,13	0,81	0,5887
C18:2n-6 t	1,33	0,11	1,30	0,08	0,8370
C18:2n-6 c	5,28	0,42	5,86	0,62	0,4470
C20:0	0,13	0,03	0,11	0,02	0,5949
C18:3n-3	0,84	0,05	1,16	0,06	0,0010
C20:1	0,49	0,07	0,48	0,05	0,9054
C21:0	0,15	0,04	0,15	0,03	0,8985
C20:3n-6	0,17	0,02	0,18	0,03	0,7794
C20:4n-6	1,25	0,17	1,30	0,21	0,8587
C20:5n-3 c	0,54	0,04	0,67	0,10	0,2401
C22:6n-3	0,32	0,03	0,38	0,05	0,4206
No definidos	1,13	0,18	1,24	0,19	0,6807

¹EE: error estándar de la media