

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



**EVALUACIÓN DE LA MADURACIÓN EN SECO COMO MÉTODO DE ABLANDAMIENTO DE CARNE
DE GANADO CRIOLLO RARÁMURI**

POR:

I.A.E.Z. TLACAÉLEL DE LA CRUZ TORRES

ASESOR:

PH.D. IVÁN ADRIÁN GARCÍA GALICIA

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

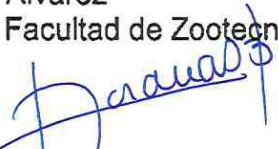
CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

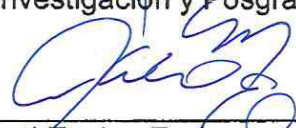
NOVIEMBRE DE 2023



Evaluación de la Maduración en Seco como Método de Ablandamiento de Carne de Ganado Criollo Rarámuri. Tesis presentada por Tlacaélel de la Cruz Torres como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, ha sido aprobada y aceptada por:


D. Ph. Alfredo Pinedo Álvarez
Director Interino de la Facultad de Zootecnia y Ecología


Dra. Rosalía Sánchez Basualdo
Secretaria de Investigación y Posgrado


Dr. Lauro Manuel Espino Enriquez
Coordinador Académico de Posgrado


Ph.D. Iván Adrián García Galicia
Presidente

11 - Noviembre - 2023
Fecha

Comité:
Ph.D. Iván Adrián García Galicia
Ph.D. Mieke Titulaer
Dra. Mariana Huerta Jiménez
Ph.D. Alma Delia Alarcón Rojo

AUTOR: TLACAÉLEL DE
LA CRUZ TORRES
DIRECCIÓN: PERIFÉRICO
FRANCISCO R. ALMADA
KM.1, CHIHUAHUA, CHIH.,
MÉXICO C.P. 31453
Noviembre 2023

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Chihuahua, por haberme dado la oportunidad de realizar una maestría de gran valor y crecimiento.

Al Departamento de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, por brindarme los medios para adquirir los conocimientos que son ahora la base de mi futuro como profesional.

A mis profesores les agradezco los conocimientos brindados, su dedicación y su entrega a la enseñanza.

A los trabajadores de la universidad, que día a día se esfuerzan por mantener un espacio digno para los estudiantes.

A mi familia: padres y hermanas por su infinito apoyo y amor.

DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo intelectual a todas las personas que a lo largo de mi carrera me han impulsado, apoyado y dado su confianza para lograr este trabajo. A mis compañeros, amigos y familia.

CURRICULUM VITAE

El autor nació el 22 de junio de 1985 en Tecamatlán Puebla.

2013 - 2018

Estudió la licenciatura en el departamento de Ingeniería en Zootecnia en la Universidad Autónoma Chapingo, en la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia.

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA MADURACIÓN EN SECO COMO MÉTODO DE ABLANDAMIENTO DE CARNE DE GANADO CRIOLLO RARÁMURI

POR

I.A.E.Z. TLACAÉLEL DE LA CRUZ TORRES

Maestría en Ciencias

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Ph. D. Iván Adrián García Galicia

El bovino Criollo Rarámuri de Chihuahua posee características genéticas especiales y se ha posicionado como una alternativa de futuro importante para la producción de carne bajo condiciones áridas. En los últimos años se han realizado diversos estudios para promover la incorporación de diversas razas criollas en distintos sistemas de producción para aprovechar sus ventajas de rusticidad y adaptación a climas desfavorables. No obstante, la magnífica rusticidad del bovino Criollo, su carne se ha catalogado anecdóticamente como magra, dura y poco atractiva para su consumo. Es bien conocido que mejorar la terniza de la carne ha sido siempre un reto para la industria cárnica. En este trabajo se propone evaluar algunas características físico químicas como la textura, pH, capacidad de retención de agua y colorimetría del ganado Rarámuri y compararlas con las de una cruce europea de las razas Angus × Hereford. Asimismo, se propone utilizar la maduración en seco como método para mejorar la calidad de la carne. Los resultados pueden ser de utilidad para des

estigmatizar la calidad de la carne del ganado Rarámuri, incrementar el aprovechamiento de la raza, evitar la reducción del hato y valorizar su carne por factores de calidad más allá de creencias. Se evaluaron las características fisicoquímicas de la carne (color, pH, capacidad de retención de agua y textura) de bovinos machos castrados provenientes de dos grupos raciales: Criollo Rarámuri (C) y la cruce comercial Angus y Hereford (E). Cada grupo se evaluó en tres periodos de maduración; 0, 15 y 30 días. El pH de la carne no presentó diferencias significativas ($P > 0.5$) entre grupo racial, tiempo de añejamiento o la interacción. La capacidad de retención de agua mostró diferencias significativas entre días de añejamiento ($P < 0.5$), pero no por grupo racial ($P > 0.5$). No hubo diferencias significativas del d0 al 15 ($P > 0.5$), sin embargo, hay una diferencia significativa ($P < 0.5$) en la pérdida de agua a los 30 d de añejamiento. La textura (fuerza máxima de corte) ilustra una diferencia significativa ($P < 0.5$) entre razas y entre los periodos de añejamiento (d 0 y 15) y también del día 0 al 30 de añejamiento, pero sin diferencia significativa ($P > 0.5$) en la fuerza máxima entre el día 15 y 30. El añejamiento no afectó de manera relevante a las coordenadas de color (L^* , a^* , b^* , C^*), por el contrario, las ligeras diferencias de las coordenadas de color entre los dos grupos raciales tiende a emparejarse durante el añejamiento. El trabajo arroja como conclusión que la carne de bovino Criollo puede ser tan suave y conservar sus propiedades fisicoquímicas con ayuda de un periodo de añejamiento, como otras carnes provenientes de razas con mejor fama y utilización para carne de consumo, de aquí podría partir la des estigmatizar de la calidad de la carne de bovino Criollo.

ABSTRACT

EVALUATION OF DRY AGEING AS A METHOD FOR TENDERING MEAT FROM

CRIOLLO RARÁMURI CATTLE

BY

I.A.E.Z. TLACAÉLEL DE LA CRUZ TORRES

The Criollo Rarámuri cattle from Chihuahua has special genetic characteristics and has positioned itself as an important alternative for future meat production under arid conditions. In recent years, several studies have been carried out to promote the incorporation of various Criollo breeds in different production systems to take advantage of their hardiness and adaptation to unfavorable climates. Despite the magnificent hardiness of Criollo cattle, their meat has been anecdotally catalogued as lean, tough and unattractive for consumption. Improving meat tenderness has always been a challenge for the meat industry. In this work we propose to evaluate the tenderness of Rarámuri cattle and to use dry maturation as a method to improve it. The results may be useful to de-stigmatize the use of the breed, avoid herd reduction and value its meat for quality factors beyond beliefs. Meat physicochemical characteristics (color, pH, water holding capacity and texture) of castrated male cattle from two breed groups were evaluated: Criollo Rarámuri (C) and the commercial Angus × Hereford cross (E). Each group was evaluated at three aging periods; 0, 15 and 30 days. Meat pH showed no significant differences ($P > 0.5$) between breed group, aging time or interaction. Water holding capacity showed significant differences between days of aging ($P < 0.5$), but not by racial group ($P > 0.5$). There was no significant difference from day 0 to 15 ($P > 0.5$), however, there was a significant difference ($P < 0.5$) in water loss at 30 d of aging.

Texture (maximum shear force) illustrates a significant difference ($P < 0.5$) between breeds and between aging periods (d0 and d15) and also from day 0 to 30 of aging, but no significant difference ($P > 0.5$) in maximum strength between d15 and d30. Aging did not significantly affect the color coordinates (L^* , a^* , b^* , C^*); on the contrary, the slight differences in color coordinates between the two racial groups tended to even out during aging. It can be concluded that Criollo bovine meat can be as soft and retain its physicochemical properties with the help of a period of aging, as other meats from breeds with better fame and use for meat for consumption, therefore, these results could be used to de-stigmatize the quality of Criollo beef meat.

CONTENIDO

RESUMEN	vi
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Músculo Esquelético	5
Componentes de la Carne	8
Calidad de Carne y Propiedades Organolépticas.....	10
Textura.	11
Jugosidad.	12
Color.....	13
pH.....	16
Métodos para el Mejoramiento de la Suavidad de la Carne.....	17
Ablandamiento por Cocción.....	17
Inyección de Cloruro de Calcio.....	18
Ablandamiento por Electro-estimulación (ES)	18
Ablandamiento por Alta Presión	18
Ablandamiento por Suspensión Pélvica de la Canal	19
Maduración o Acondicionamiento de la Carne	19
Maduración Húmeda	22
Maduración en Seco.....	23
Antecedentes de Maduración de Carne como Método de Ablandamiento en Razas <i>Bos Taurus</i>	25
Antecedentes de Maduración de Carne como Método de Ablandamiento en Razas <i>Bos Indicus</i> y algunas Cruzas con <i>Bos Taurus</i>	25
El Bovino Criollo Rarámuri	31
MATERIALES Y METODOS	41
Obtención y Manejo de las Muestras	41
Añejamiento de la Carne.....	41
pH.....	42
Determinación de Color.....	43
Capacidad de Retención de Agua (CRA).....	43

Textura (Fuerza de Corte).....	43
Análisis Estadístico	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
pH.....	45
Capacidad de Retención de Agua.....	47
Análisis de Textura (Fuerza de corte)	50
Colorimetría L*, a*, b*, and C*.....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS.....	65

LISTA DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1 Periodos de añejamiento de carne de res de <i>Bos taurus</i> y su fuerza máxima de corte resultante con la metodología Warner-Bratzler (14-40 días = 4.47-3.41 kg/cm ² ;15-35 días = 4.08-3.39 kg/cm ²), (Wheeler <i>et al.</i> , 1996; Shanks <i>et al.</i> , 2002)	27
2 Fuerza máxima de corte expresada en (kg/cm ²) en carne de res sin maduración de razas cebuinas = 6.3kg/cm ² , cruzas Criollo × Europeo (Angus × Criollo = 5.7 kg/cm ²) y Criollo (San Martinero = 5.2 kg/cm ²), cruzas Criollo y Cebú (Blanco Ojinegro × Cebú = 7.4 kg/cm ²) por Flórez (2015).....	29

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO	PÁGINA
1 Medias ($\pm$ E.E.) para pH en músculo <i>Longissimus lumborum</i> de bovinos machos de dos diferentes grupos raciales Criollo Rarámuri (C) vs. Hereford $\times$ Angus (E) con tres diferentes periodos de añejamiento 0, 15 y 30 d de maduración como tratamiento.....	46
2 Medias ($\pm$ E.E.) para CRA (%) en músculo <i>Longissimus lumborum</i> de bovinos machos de dos diferentes grupos raciales Criollo (C) vs. Europeo (E, Hereford $\times$ Angus) con tres diferentes periodos de añejamiento 0, 15, 30 d de maduración como tratamiento. Los promedios con asterisco* indican diferencia significativa.....	49
3 Medias (kg/cm ²) ($\pm$ E.E.) para Fuerza de Corte de muestras del musculo <i>Longissimus lumborum</i> de bovinos machos de dos diferentes grupos raciales Criollo (C) vs. Europeo (E, Hereford $\times$ Angus) con tres diferentes periodos de añejamiento 0, 15, 30 d de maduración como tratamiento. Las medias con asterisco* indican diferencia significativa ($p < 0.05$).	52
4 Medias ($\pm$ E.E.) para Energía Total en las muestras de carne del musculo <i>Longissimus lumborum</i> de dos grupos raciales de bovinos: Europeo cruza Angus $\times$ Hereford (E) y Criollo Rarámuri (C) con tratamientos de 0, 15 y 30 días de maduración en seco	53
5 Medias ($\pm$ E.E.) de parámetros de color (CIE L* a * b *y Croma) de carne del m. <i>Longissimus lumborum</i> de dos grupos raciales de bovinos: Europeo cruza Angus $\times$ Hereford (E) y Criollo Rarámuri (C) con tratamientos de 0, 15 y 30 días de maduración en seco.....	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Estructura del músculo esquelético y organización de las sub estructuras fibrilares en relación con la disposición de las bandas Z	6
2	Colorimetría típica de la carne Pálida, Suave y Oxidativa (1), Normal (2) y Oscura, Firme y Seca (3)	15
3	Ejemplar Criollo macho en la sierra Tarahumara, tomada por el autor.....	34
4	Ejemplar hembra de bovino Criollo en la Mixteca Poblana, fotografía tomada por el autor	35

INTRODUCCIÓN

La demanda de productos cárnicos ha incrementado rápidamente en todo el mundo, a pesar de las diferentes costumbres de consumo y posibilidades económicas de acceso. Esto debido a las insustituibles propiedades de la carne en la nutrición humana (FAO, 2015). La carne es un producto que está altamente relacionado con un nivel de bienestar y salud. La exigencia de la máxima calidad e inocuidad ha obligado a la industria cárnica a extender sus zonas de influencia, integrándose a las redes de valor agroindustriales de alimentos (Vargas, 2016).

El mejoramiento, actualización y eficiencia del procesamiento de la carne se ha vuelto indispensable para la industria cárnica actual. A pesar de los importantes avances en la elaboración, transporte, almacenamiento y durabilidad de nuevos productos, el consumidor busca cada vez con más preocupación alimentos con mejor presentación y precio. Además de ello, que dichos alimentos no solo le provean los nutrientes necesarios, sino que también tengan las características sensoriales deseadas, tales como olor, sabor, color y suavidad (textura) (Andújar *et al.*, 2009). La ternura en la carne es uno de los atributos más importantes de su calidad (Toldrá, 2022). Los principales componentes de la carne que contribuyen a su ternura son el tejido conectivo, las fibras musculares y los lípidos asociados al tejido muscular (Savell *et al.*, 1982). La ternura de la carne es muy variable y los consumidores exigen productos homogéneos, por lo tanto, la predicción y certificación de la ternura de la carne es de gran importancia para la industria cárnica. La calidad de la carne y sus atributos sensoriales en general están influenciados por factores *pre-* y *post-mortem* (Andújar *et al.*, 2003).

A lo largo de las últimas décadas se han desarrollado técnicas para lograr el ablandamiento óptimo de la carne. Una de las técnicas que ha demostrado eficiencia en el ablandamiento de carne es la maduración o añejamiento. Es un proceso natural de reposo en refrigeración de la carne en el cual el descenso del pH desencadena algunos procesos enzimáticos endógenos no lineales en el tiempo (Khan *et al.*, 2016). Estos procesos producen alteraciones generalizadas en las fibras musculares hasta la ruptura masiva de las miofibrillas estructurales del músculo (Penny *et al.*, 1984).

El añejamiento de carne en seco se refiere a carne sin cobertura superficial expuesta a microorganismos, aire, y a la humedad relativa propias del ambiente de refrigeración. Este tipo de maduración afecta su calidad organoléptica o sensorial (Warren y Kastner, 1992; Campbell *et al.*, 2001). Además, la maduración en seco presenta una mayor proteólisis en comparación a otros métodos de maduración, la cual es responsable de potencializar propiedades sensoriales (Koutsidis *et al.*, 2008) muy apreciadas por el consumidor como el sabor (Smith *et al.*, 2008). Existen también factores intrínsecos y extrínsecos que pudieran afectar la calidad del proceso de maduración. Los factores intrínsecos consisten en la raza, pH, actividad enzimática, grasa intramuscular, mientras que los factores extrínsecos del animal consisten en la temperatura ambiente, humedad relativa, flujo de aire y tiempo de maduración (Joo *et al.*, 2013).

Las razas *Bos taurus* son conocidas mundialmente por el rápido crecimiento muscular, ganancia de peso y altos rendimientos cárnicos del macho (Quispe *et al.*, 2019). En América el bovino Criollo mexicano ha sobrevivido en áreas naturales sin mucha presión de selección artificial, conserva una mejor capacidad de pastoreo o ramoneo (Roacho *et al.*, 2007) y ocasiona menores daños al ambiente que los animales

de razas modernas especializadas, debido a la diversificación de su dieta. Estudios sobre el comportamiento alimenticio del Criollo en México sugieren que estos bovinos han sobrevivido en condiciones de escasez de forraje y agua, y se han logrado adaptar por sí mismos a las condiciones climáticas cambiantes (Peinetti *et al.*, 2011). El ganado Criollo mexicano ha sido generalmente despreciado por sus bajos pesos a los 18 meses de edad, bajos rendimientos en canal, baja estatura (Duarte, 1997) y su fisionomía muscular cóncava. En términos de calidad, su carne se conoce anecdóticamente como dura, poco jugosa y muy magra (the jornada.nmsu.edu). El ganado Criollo sigue presente principalmente en Puebla, Oaxaca, Nayarit, Sonora, Baja California y Chihuahua. Éste ha despertado el interés de muchos investigadores por estudiar su sorprendente capacidad de sobrevivencia y adaptación a los pocos recursos disponibles, haciendo énfasis en su rusticidad (García, 2010; Piedrafita *et al.*, 2003; Roacho, 2008). El Criollo ha sido cruzado con algunas razas especializadas en carne o leche para aprovechar el vigor híbrido resultante de la cruce (Pinedo *et al.*, 2013).

En años recientes se han comenzado a evaluar las características productivas, de la canal y sensorial de carne de cruces de Criollo × Europeo. En el caso de la raza Criolla Chihuahuense o también llamada Criolla Rarámuri, se ha observado que cuando se cruza con machos de raza europea (Angus), la cría obtiene las características fenotípicas de esta última (ganado sin cuernos, con capa color uniforme y excelente conformación cárnica), así como las características de rusticidad y adaptabilidad del ganado Criollo (García- Galicia, 2014).

El objetivo del presente trabajo fue profundizar en el estudio de la calidad fisicoquímica de carne de bovino Criollo Rarámuri, particularmente en su terneza,

apoyándonos con la técnica de ablandamiento maduración en seco. Los parámetros fisicoquímicos se compararon con los de raza de ganado comercial Angus × Hereford, todos alimentados con la misma dieta, sacrificados y procesados con los mismos métodos. Se hipotetizaba que la carne de ganado Rarámuri puede ser similar en calidad a aquella de ganado comercial en términos principalmente de terneza, color y capacidad de retención de agua.

REVISIÓN DE LITERATURA

Músculo Esquelético

El músculo esquelético es el mayor componente tisular en los mamíferos; representa entre el 35 y 60% de la canal, por lo que este tipo de músculos es el principal componente de la carne (Lawrie y Ledward, 2014). Las fibras del músculo esquelético de los mamíferos se caracterizan por su patrón de bandas y porque sus células multinucleadas concentran sus núcleos colocados periféricamente bajo la membrana celular o sarcolema, que se distribuyen aumentando su número en las zonas tendinosas y las terminaciones mioneurales como se muestra en la Figura 1.

El tejido muscular está asociado por su función contráctil a tejido graso y conectivo que tras la muerte del animal influyen drásticamente en la calidad de lo que conocemos como carne. Al morir un animal, cesa el flujo sanguíneo y el suministro de oxígeno y nutrientes, termina la producción de energía, los sistemas de transporte de sustancias intracelulares dejan de funcionar y el oxígeno ligado a la mioglobina se pierde rápidamente a través de la cadena respiratoria (Andújar *et al.*, 2003). Sin oxígeno se detiene la vía aerobia del metabolismo energético del ciclo Krebs y la cadena de transporte de electrones. El ácido láctico formado en el ciclo Krebs, tampoco puede ser transportado por falta de circulación al hígado donde sería convertido en energía con forma de glucosa y glucógeno, ni al corazón donde supondría ser metabolizado a dióxido de carbono y agua (Nagaraj *et al.*, 2006).

Pese al cese del flujo de oxígeno, la actividad enzimática se mantiene, se agota el ATP y se activa la glucólisis muscular anaeróbica para la producción de energía en sustitución de la fosforilación oxidativa (Bendall, 1973).

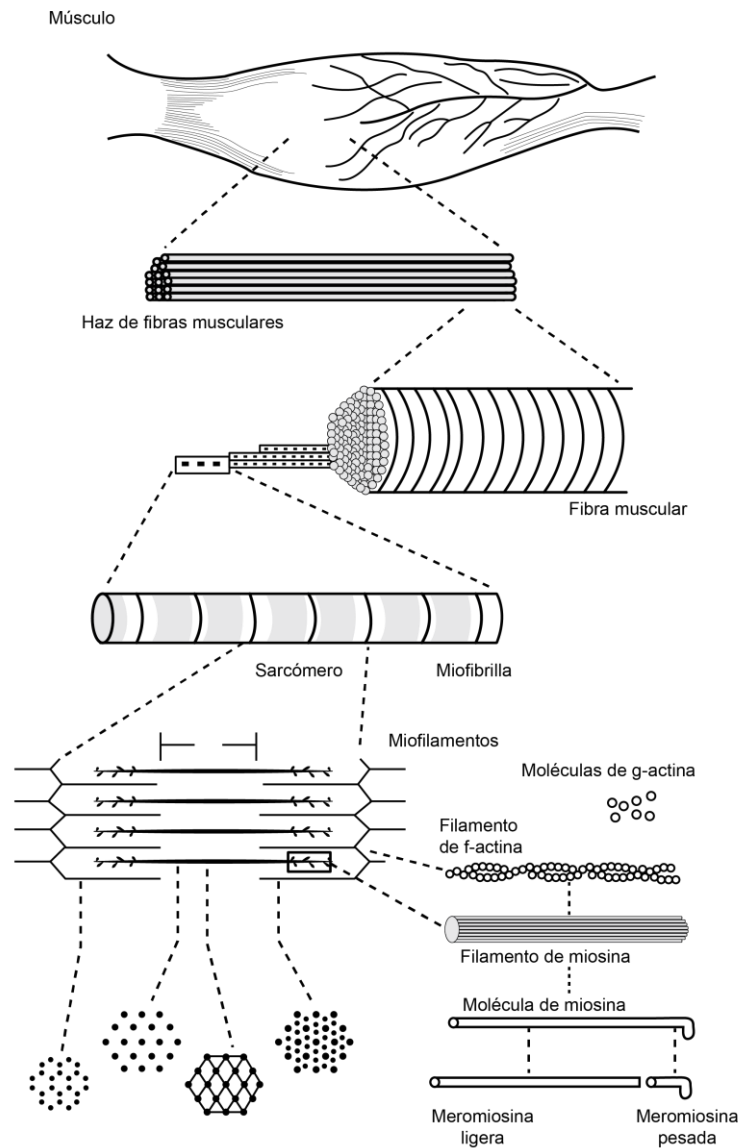


Figura 1. Estructura del músculo esquelético y organización de las subestructuras fibrilares en relación con la disposición de las bandas z (Adaptado de Hall, J. E. (2015).

El músculo depende ahora de las reservas de fosfocreatina y glucógeno para regenerar el ATP utilizado por la homeostasis. Cuando la relación de ATP-ión - Ca^{2+} se reduce y el pH ha descendido a 5.5 en los sitios activos de la miosina ya no es posible deshacer los enlaces cruzados de actina y miosina carente de ADP, se forma el complejo actmiosina y los sarcómeros se contraen irreversiblemente, por lo que la fibra muscular ya no es capaz de estirarse, estableciéndose el rigor muscular o *rigor mortis* (Andújar *et al.*, 2003).

Los cambios sucesivos en el metabolismo *postmortem* de las células musculares producen cambios estructurales en sus proteínas. El establecimiento pleno de esta etapa se caracteriza por el agotamiento del ATP, el descenso del pH, el enfriamiento del músculo y el establecimiento de la rigidez cadavérica o *rigor mortis* (Zimerman, 2010).

La especie animal determina la fase resolutive del *rigor mortis* llamada maduración. En esta etapa las condiciones intracelulares del músculo muerto son distintas las del músculo vivo y también a las encontradas en fibras en fase de rigor. Las condiciones celulares del músculo definen en buena parte las características organolépticas y de calidad de la carne (Godoy, 2009).

La proporción de músculos en las canales de cada especie es diferente y depende de la edad, sexo, raza y nutrición. Generalmente la proporción de músculo es mayor de tejido graso en los animales en sistemas nutrición intensivos. En confinamiento, el porcentaje de tejido muscular puede ser inferior al de tejido graso (Toldrá, 2022).

Las fibras musculares son delgadas y largas que pueden extenderse a lo largo del músculo y constituyen del 75 al 92 % del su volumen total, el resto lo forman tejidos conectivos, fibras nerviosas, y líquido extracelular (Lawrie y Ledward, 2014).

Las proteínas del músculo se clasifican en sarcoplásmicas, miofibrilares y del tejido conectivo. Las sarcoplásmicas incluyen enzimas solubles involucradas en el metabolismo anaeróbico y enzimas mitocondriales del ciclo de Krebs. Además de enzimas de la cadena transportadora de electrones (Forrest *et al.*, 2012).

Las proteínas miofibrilares incluyen las contráctiles, las reguladoras y las del citoesqueleto. Estas proteínas ofrecen rigidez estructural al músculo y constituyen el 10% de la proteína de la carne. De ello se desprende su importancia en los atributos de la calidad de la carne íntimamente relacionados con el *rigor mortis*, la terneza y la capacidad de retención de agua (Parrish y Lusby, 1983).

Componentes de la Carne

El músculo esquelético tiene una composición de entre el 71 y 76% de agua, entre el 17 y 21% de proteínas, de 1 al 7% de grasa y de 2 a 3% de sustancias solubles no nitrogenadas (Bandman, 1994).

Las carnes rojas contienen alrededor de 76% de agua y 10% de grasa. El contenido de agua es inversamente proporcional al contenido de grasa. La presencia de agua influye decisivamente en la calidad de la carne durante la refrigeración almacenamiento y procesamiento (Hamm, 1960; Okos *et al.*, 2019). El balance entre agua y proteína debe ser constante. La cantidad de agua ligada a las proteínas, que constituye tanto el agua de constitución como el agua de interface, parece ser independiente a los cambios por desnaturalización de las proteínas. Por su parte, la

cantidad de agua libre “inmovilizada” (superficial, fijada a sus cargas) disminuye con la desnaturalización (Pearson y Dutson, 1994).

Las proteínas son las principales captadoras de agua de los organismos vivos y sus interacciones son cruciales en el mecanismo del ligamiento de agua al tejido muscular. Se estima que el 70% del agua de la carne fresca se localiza dentro de las miofibrillas, el 20% en el sarcoplasma y el 10% en el tejido conectivo (Álvarez, 2021).

La mayor parte de los músculos conservan un 70% agua en la etapa *post-rigor*. Esto depende de la proporción que guarde con los lípidos y de la madurez fisiológica del músculo (Hill, 2021). A esa aptitud del músculo o carne para conservar un porcentaje de agua en su interior se le llama técnicamente Capacidad de Retención de Agua o CRA por sus siglas en inglés (WHC) (Amerling, 2001).

La CRA es un parámetro fisicoquímico importante por la información que brinda para la determinación de la calidad de la carne y productos derivados (Zhang *et al.*, 2022). La CRA es depende en gran medida de la inmovilización de agua por un retículo tridimensional formado por filamentos en el tejido muscular. La amplitud de los espacios entre tejidos del sistema miofibrilar determina la cantidad de agua captada (Andújar *et al.*, 2003). La CRA puede ser modificada por distintos fenómenos que tienen principal incidencia en el agua inmovilizada y sus efectos repercuten sobre la calidad de la carne. Por ejemplo, la adición de cloruro de sodio (NaCl) puede aumentar la CRA, cuando el pH es alcalino, el punto al isoelectrico se desplaza a un pH más bajo, abriendo espacios entre filamentos musculares (Peña *et al.*, 2015). Los polifosfatos pueden incrementar la CRA al romper puentes entre los filamentos de actina y miosina (Alor *et al.*, 2014). A nivel anatómico, los músculos con mayoría de fibras musculares rojas y un pH final ligeramente elevado suelen tener una mayor CRA (Hernández y Ríos, 2009). La

hipertrofia muscular también aumenta la CRA en comparación con el músculo no hipertrofiado o relajado (Hawkins *et al.*, 1985). La velocidad de enfriamiento, posición y función del músculo en la canal, especie animal y edad al sacrificio son otros factores que pueden alterar la CRA (Wismer-Pedersen, 1986). Así mismo, los tratamientos de deshidratación severa incluyendo el añejamiento afectan la CRA en el músculo.

La cantidad y disposición de la grasa en la canal son otro componente importante que afecta decisivamente la calidad de la carne. El tejido adiposo es el mayor componente calórico del organismo animal y está compuesto por 70% a 90% de lípidos, 2.5% de tejido conjuntivo y 5% a 30% de agua. Cuantitativamente es el segundo componente de la canal después del agua y de manera general en los músculos ocupa del 1.5 al 13% (Toldrá, 2022).

Los depósitos de grasa en la canal se encuentran como grasa cardiaca/renal/pélvica, subcutánea, intermuscular, e intramuscular. La grasa intramuscular es grasa visible formada por triglicéridos, situada entre las fibras musculares, aporta el aspecto veteado o marmoleo (Echeverría, 2015). El marmoleo es una característica que juega un papel definitorio en varios rasgos de calidad de un corte de carne de res. De acuerdo con el grado de definición y abundancia de grasa visible o marmoleo, un consumidor puede distinguir a simple vista entre cortes de diversa calidad. Se considera que a mayor grasa intramuscular existe un sabor más intenso, mayor ternura y jugosidad. De igual forma a mayor contenido de grasa se obtienen menores pérdidas por cocinado (Dashdorj *et al.* 2016; Hocquette *et al.*, 2018).

Calidad de Carne y Propiedades Organolépticas

El aspecto general de un corte puede relacionarse por su apariencia a simple vista con su jugosidad, dureza y sabor (Ramírez-Bibriesca, 2018). De manera que resulta imprescindible tener bien caracterizados los parámetros que determinan su calidad. La FAO (2014) estableció que hay dos formas de calificar la calidad de la carne: a) por su calidad nutritiva, que es una calificación objetiva y b) por sus propiedades organolépticas como “producto comestible”. Esto indica una valoración altamente subjetiva ya que depende de la percepción de cada consumidor.

El aspecto, aroma, sabor, jugosidad, dureza y color son atributos de la calidad de la carne que están influenciados por aspectos propios del animal (especie, raza, genética) y por aspectos extrínsecos al animal tales como el sistema de producción en que fueron criados/finalizados, la alimentación y el manejo antes, durante y después del sacrificio, por ejemplo, enfriamiento *postmortem* (Priolo et al., 2001).

Las propiedades organolépticas que determinan la calidad de la carne también se pueden agrupar en dos apartados. En apariencia visual se describen aquellas características que podemos detectar con la vista (color de la carne y de la grasa subcutánea, grasa sub cutánea, marmoleo y exudado). Por otra parte, podemos agrupar características que se detectan con el sentido del gusto y que determinan su calidad comestible en términos de jugosidad, terneza, aroma, sabor y firmeza (Miller, 2003).

Textura. La dureza o terneza de la carne es uno de los atributos de calidad más apreciados por los consumidores (Lawrie y Ledward, 2014). Está clasificada como el rasgo más importante en cuanto a la palatabilidad de la carne, por encima del sabor y la jugosidad (Joo et al., 2013). La inconsistencia en la suavidad de la carne es un problema que afecta de manera importante a la industria (Field et al. 1997) y existen

reportes que una de cada cuatro experiencias de consumo puede resultar insatisfactoria (Smith, 1997).

La textura de la carne es influenciada en primer lugar por la raza, edad, sexo, temperamento del animal, tipo de músculo, también por el tamaño de los haces de las fibras musculares, número y diámetro de éstas. De igual manera, la textura puede ser afectada por la cantidad de tejido conectivo y tejido adiposo (Carvajal *et al.*, 2008; FAO, 2014; Voisinet *et al.*, 1997). Además de todo ello, la textura de la carne puede verse modificada también por factores *postmortem* y ajenas al animal. Las condiciones del almacenamiento inciden en la textura, por ejemplo, las canales mejoran su terneza si guardan un periodo de reposo a temperaturas de refrigeración durante un tiempo después de la matanza permitiendo la maduración de la carne (James y James, 2002).

La dureza o blandura de la carne se estima de acuerdo a la dificultad para ser cortada durante la masticación. La blandura o dureza es mayoritariamente el resultado de la relación del tejido conectivo y la grasa entreverada presente (Astiasarán y Martínez, 2000). Una técnica de evaluación de textura avalada, además de ampliamente estudiada y conocida es la realizada con un texturómetro equipado con una cuchilla Warner-Bratzler Shear[®], desarrollada en 1930 (Barbut, 2001).

Jugosidad. Este rasgo de calidad es una referencia prioritaria en los consumidores para la decisión de compras de cierto tipo de carne (Cho *et al.*, 2018). La existencia de abundante grasa intramuscular es determinante para que la carne sea jugosa. Por esto se recomienda la utilización de cortes con altos grados de marmoleo para el proceso de maduración (Smith *et al.*, 2008). Al masticar la carne se provoca la liberación de su jugo y la sensación del estímulo de la grasa sobre la salivación en la boca (Varela y Beltrán, 2001).

La exudación y pérdida de agua en la carne se perciben de forma visual, sin embargo se determina más exactamente con una prueba de capacidad de retención de agua. La percepción de la dureza de una carne por exceso de deshidratación se puede detectar sensorialmente. La jugosidad puede ser afectada por cambios extrínsecos en la canal, como por el manejo *post-mortem*, mal enfriamiento, desjugue de las canales, uso de beta agonistas y deshidratación por sobre-cocinado entre otros (Alor *et al.*, 2014; Bravo y Alvis, 2019; Hernández y Ríos, 2009).

Color. Desde el punto de vista económico, el color es un aspecto clave que influye significativamente en las preferencias del consumidor. El uso de colores oscuros o verdes son una dificultad para la comercialización de la carne (Joo *et al.*, 2013). El color es el primer factor apreciado por el consumidor, por lo que es importante que la carne posea un color de acuerdo a lo que relaciona con la buena calidad (Saláková, 2012). El color cereza brillante en la carne es preferido por el consumidor promedio. Los colores marrones y mate son buscados por un nicho específico de consumidores de carne madurada (Mancini y Hunt, 2005; Suman y Poulson, 2014; Swatland, 2003).

La base bioquímica del color rojo en carnes es bien conocida y depende del balance en concentración y el estado redox de la mioglobina, hemoglobina y citocromos y la capacidad de retractación de la luz por las microestructuras del tejido (Bekhit y Faustman, 2005). La mioglobina se transforma en oximioglobina o en metamioglobina en presencia de oxígeno (Suman y Poulson, 2013). El color de la deoximioglobina en la carne es rojo púrpura y el color de la oximioglobina es rojo cereza brillante. La metamioglobina produce un color marrón característico de la carne oxidada en la superficie en contacto con oxígeno (Mancini y Ramanathan, 2014).

Los factores que afectan el color de la carne son varios y tienen su efecto final

en la carne independientemente si son antes o después del sacrificio del animal. El estrés por manejo, método de sacrificio, alimentación, agotamiento de reservas energéticas del músculo, especie, edad, tipo de músculo y estacionalidad son causas que producen afección al color en la carne. Otros sucesos que tienen incidencia en el color de la carne tienen que ver con la refrigeración, reposo, exposición al oxígeno, metabolismo glucolítico y descenso del pH (Joo *et al.*, 2013; Kadim *et al.*, 2004; Mancini y Hunt, 2005; Ruiz de Huidobro *et al.*, 2003).

Las anomalías del metabolismo *post-mortem* relacionadas con el pH, pueden definir tres colores en la carne denominados PSE y DFD (por sus siglas en inglés de *pale, soft and exudative* y *dark, firm and dry* respectivamente) y el tipo Hampshire o ácida. Algunas investigaciones y encuestas indican que es cada vez más frecuente encontrar incidencia de carne PSE y DFD (Warris, 2000). En la Figura 2, se ilustra la colorimetría que caracteriza esos estados de la carne mencionados anteriormente.

La carne PSE es un defecto generalmente visto en la carne de cerdo, con frecuencia en pavo y rara vez observado en carne de res (Neethling *et al.*, 2017; Warriss, 2000). El color pálido en la carne PSE es un efecto en la dispersión de luz en las proteínas sarcoplasmáticas desnaturalizadas y más abiertas estructuralmente (Lawrie y Ledward, 2014; Warriss, 2000).

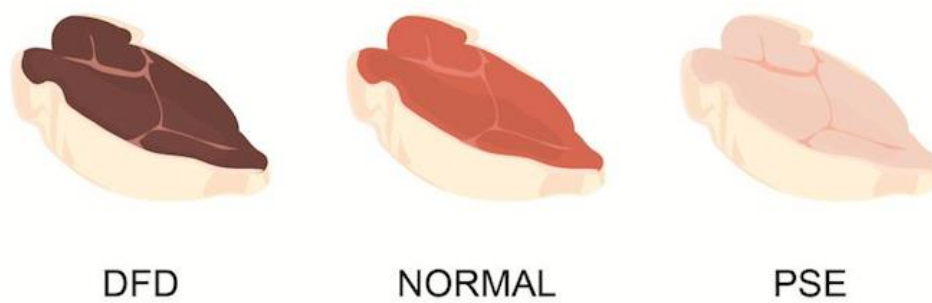


Figura 2: Colorimetría típica de la carne PSE (1), Normal (2) y DFD (3). (Adaptada de Consigli, 2023).

Esta carne es de aspecto seco (poco exudativa) oscura y pegajosa al corte, presenta una elevada retención de agua, textura firme y plastinosa (Apple *et al.*, 2002; Kadim *et al.*, 2004; Lawrie y Ledward, 2014).

La apariencia de la carne DFD es oscura por que la superficie seca sin exudados, compacta y no dispersa la luz. El estrecho empaquetamiento de las fibras en la superficie impide el paso del oxígeno, por tanto, la oximioglobina (MbO₂) subyace en una delgada capa en la superficie. La luz que logra traspasar es transmitida y absorbida hacia el interior del músculo (Warris, 2000).

La escala de CIE Lab es una de las más usadas ya que es fácil de interpretar. Utiliza tres parámetros, L, a y b, donde L* mide las tonalidades de blanco (100) hasta negro (0), a mide las tonalidades de rojo (+) hasta verde (-) y b las de amarillo (+) hasta azul (-). Un b* pálido se relaciona generalmente con un pH bajo y L* bajo. Un L* alto se relaciona con un pH normal (Abril *et al.*, 2001; American Meat Science Association, 2012).

pH. El pH muscular de los animales vivos se sitúa en un rango entre 7.08 y 7.30. Tras la muerte del animal se produce un descenso del pH en la canal hasta valores entre 5.6 y 5.4, en tanto perduren las reservas de glucógeno muscular disponibles y la producción de ácido láctico. El pH_u (pH último) normalmente es determinado por el manejo del animal 24 h previas y 24 h posteriores al sacrificio y faena. Además de otros factores intrínsecos del animal como genética, metabolismo, respuesta al estrés (Braña *et al.*, 2011; Onopiuk *et al.*, 2016; Swatland, 2003).

El ácido láctico tiene el efecto de retardar el desarrollo de bacterias que contaminan la canal durante el proceso de faena y en horas posteriores, además es

necesario en un buen equilibrio para producir carne tierna, de buen sabor, calidad y color (Jara, 2007). Los extremos bajos o altos de ácido láctico durante el rigor mortis no son deseables en la carne, ya que pueden ser perjudiciales para obtener una carne suave y con buen color (Ledward, 1986).

Un pHu afecta la capacidad de retención de agua, el color y la textura de la carne. Los cambios en el pH, el *rigor mortis* y el reposo de la carne se encuentran muy estrechamente relacionados, la dureza por encogimiento de fibras y el ablandamiento por maduración tienen en una relación inversamente proporcional; a mayor dureza menor ablandamiento por maduración (Lomiwes *et al.*, 2014; Swatland, 1999).

Métodos para el Mejoramiento de la Suavidad de la Carne

Desde la época de los años 50 se han experimentado métodos para lograr desde el punto de vista comercial, el mayor ablandamiento posible en la carne de res y así poder brindar al consumidor un producto completamente satisfactorio, fresco y seguro (Andújar *et al.*, 2003).

Muchos métodos para el ablandamiento de carne se han usado, incluyendo métodos físicos, ablandamiento químico y tratamientos bioquímicos de ablandamiento de carne (Huff-Lonergan *et al.*, 1995). En años recientes se está estudiando el método de ultrasonido como un método potencial de ablandamiento de carne (Alarcon-Rojo *et al.*, 2015).

Ablandamiento por Cocción

Desde tiempos inmemorables se ha utilizado el calor como auxilio para cocinar la carne. La carne expuesta al fuego experimenta varios cambios por cocción, ya sea en seco (por aire caliente o sumergida en grasa) o en forma de cocción húmeda (vapores o sumergida en agua). Los cambios que experimenta la carne se ven

reflejados en su calidad fisicoquímica como el color, por la coagulación de proteínas (Del Cid y Criado., 2001). Aunque es notoria su menor capacidad de retención de agua, mejora la textura por la licuación de grasas, intensifica sabores, mejora la vida útil del producto y mejora la digestibilidad (Tornberg, 2005).

Inyección de Cloruro de Calcio

Este método es actualmente muy utilizado en la industria mayorista de la carne. La inyección de sales ha demostrado un incremento notable de la actividad enzimática de las calpaínas cuando se suministra CaCl_2 . Este método es exitoso debido a que hay mejor distribución y absorción de la solución en la carne. Se sugiere que la técnica es aplicable a la mayoría de los cortes sin exclusión por edad, sexo o raza y en cualquier momento después de consumarse el *rigor mortis* (Koohmaraie 1992; Wheeler *et al.*, 1996). Una condición necesaria para este método es el empaque al vacío, evita pérdidas por desagüe y favorece la suavidad de la pieza (Landaverde, 2009).

Ablandamiento por Electro-estimulación (ES)

Presentada originalmente por Harsham y Deatherage en 1951, la ES, tiene como efecto final la desaparición del ATP y el descenso del pH. El proceso para ablandar la carne consta de hacer pasar corriente eléctrica con un alto voltaje a través de la canal. El pHu se alcanzaría en 24 h logrando una etapa de maduración activa inicial mientras la canal está caliente, retrasando un poco el tiempo de refrigeración. Experimentado en res, cordero, cerdo y aves de corral (Birkhold y Sams, 1995; Huerta *et al.*, 2004; Taylor *et al.*, 1995a; 1995b; Walker *et al.*, 1995).

Ablandamiento por Alta Presión

El ablandamiento de la carne por alta presión ha sido estudiado sin resultados significativos sobre otros métodos. Se estudió el efecto de la alta presión a (101 MPa) sobre la microestructura del músculo, y sus efectos sobre el pH, con la canal “caliente” a 37°C. Los resultados no han sido alentadores, ya que a mayores presiones se logra únicamente una afectación superficial del tejido muscular sin tener incidencia en los discos Z (Elgasim y Kennick, 1982; Nishiwaki *et al.*, 1996; Otsuka *et al.*, 1998; Ueno *et al.*, 1999).

Ablandamiento por Suspensión Pélvica de la Canal

El término *tenderstretch* se aplica para la técnica de ablandamiento que plantea el posible ablandamiento de la carne sobre la base de que los músculos en *pre rigor* son extensibles hasta un 140% de su posición original en reposo. Se experimentó esta técnica con el fin de evitar el traslape de filamentos miofibrilares y la consecuente tonificación del músculo. Este procedimiento consta en colgar canales unguladas por el hueso de la cadera. Con este método se espera que los músculos del lomo experimenten un sobre estiramiento en etapa *post mortem* justo antes de entrar en rigor y lograr una carne más blanda una vez superada esa fase (Sørheim *et al.*, 2001).

Maduración o Acondicionamiento de la Carne

La maduración de la carne es uno de los fenómenos más estudiados en la ciencia de la carne desde que esta disciplina adquirió importancia por razones comerciales en la industria de la carne en los años 50. La maduración de la carne se refleja directamente en el ablandamiento, aspecto particularmente perceptible por el consumidor (Kim *et al.*, 2018; Sañudo *et al.*, 2004; Watanabe *et al.*, 2015).

La preparación tradicional de la carne incluye una fase de reposo a temperatura ambiente. El reposo de la carne se justifica empíricamente imprescindible para eliminar

las condiciones naturales del cadáver animal y se auxilia algunas veces, de salación, incluso antes de refrigerarse (Lawrie y Ledward, 2014). Tal procedimiento parece que fue adoptado más bien para aprovechar los cambios *post mortem* que se producen en el músculo y que son más rápidos cuando la temperatura se mantiene alta (Toldrá, 2012).

El proceso de acondicionamiento de la carne empieza una vez que el *rigor mortis* se ha manifestado y se desacelera. Va acompañado de una abundante producción de sustancias que dan sabor a la carne, para entonces todo el ATP se ha degradado por la vía glucolítica a ácido inosínico (Warris, 2000).

El crecimiento animal se da principalmente en un estado de anabolismo. Sin embargo, la generación de músculos no es únicamente anabólica. Las vías catabólicas de degradación de proteínas y carbohidratos por un grupo de proteasas endógenas siempre están presentes. Cuatro sistemas proteolíticos diferentes son identificados en el tejido muscular: calpaínas, catepsinas, caspasas y proteasas (Lawrie y Ledward, 2014).

El ablandamiento de la carne se debe a una disrupción proteolítica en su mayoría de la estructura muscular sin que ocurra una destrucción masiva de las proteínas miofibrilares del músculo ni del tejido conectivo (Lawrie y Ledward, 2014). La alteración se ejerce acortando las fibras de los sarcómeros y a la degradación de algunas proteínas clave (De Goll *et al.*, 2003; Lomiwes *et al.*, 2014). Las catepsinas lisosomales fueron las primeras proteasas encontradas como responsables de la actividad proteolítica. Actúan una vez agotado el ATP y descendido el pH a través de las membranas celulares permeables hasta llegar al citoplasma y por la membrana celular al espacio extracelular (Etherington *et al.*, 1987).

Estas proteasas lisosomales se muestran predominantemente activas sobre proteínas estructurales: desmina, troponina T, conectina (titina), la troponina I y la proteína C. Sin embargo, la poca degradación de la miosina, y la actina, da lugar a que se pueda asegurar que son otras proteasas neutras las que forman el complejo (Goll *et al.*, 1983; Penny *et al.*, 1984).

Las calpaínas son una familia de proteasas que se activan por altas concentraciones de Ca^{+} en los vertebrados. Su nombre proviene de "Calpain" simplificación de Calcium Ion Dependent Papain Like Cysteine Protease (Ashie y Simpson, 1997; Sorimachi *et al.*, 1997). Éstas son la m-calpaina, μ -calpaina y la calpastatina y esta última, es el componente variable del sistema ya que está fuertemente relacionada con la tasa de recambio proteínica muscular y la velocidad de ablandamiento *post mortem* (Alarcón, R. Y Dransfield., 1989; Goll *et al.*, 1998).

Es conocido que una actividad calpastatínica alta, reduce la tasa de recambio de las proteínas en los músculos. Este fenómeno está asociado a la autoconservación y a una menor velocidad de ablandamiento de la carne *post mortem* (Morton *et al.*, 1999).

El pH óptimo *in vivo* de estas proteasas es 7.2 – 8.0. Sin embargo, cuando baja de los puntos isoelectrónicos siguen actuando, aunque con menor velocidad y siguen siendo efectivas en el ablandamiento del músculo. En carne de res la actividad de las enzimas responsables del ablandamiento reduce su efecto de manera desigual. La m-calpaína decrece un 40% en su actividad en los primeros 7 días, la μ -calpaína decrece un 96% y la calpastanina por su parte reduce su actividad hasta un 80% en el mismo periodo (Boehm *et al.*, 1998; Kim y Kim, 1997).

La mejoría en la terneza atribuida a la maduración es perceptible en la carne de todas las especies de ganado, pero en diferentes periodos (Campo *et al.*, 1999). La

liberación de productos sápidos de la proteólisis tras la oxidación de lípidos genera un sabor intenso en la carne madurada, Durante la maduración, la blandura y el sabor mejoran notablemente (Khan *et al.*, 2016).

Maduración Húmeda

Se llama maduración húmeda al almacenamiento de los cortes ya empacados en cámaras frigoríficas o refrigeradores convencionales por un determinado tiempo. Se ha fijado el término “húmedo” por el hecho de que la pieza de carne reposa en sus propios exudados que quedan dentro del empaque al vacío totalmente anaeróbico (USDA, 2014). Se han obtenido resultados destacables que registran un tiempo desde 7 y 14 d, hasta 28 y 42 d de añejamiento (Ferreira *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2020; Laster *et al.* 2008; Li *et al.*, 2013; Shi *et al.* 2020).

Las temperaturas óptimas de almacenamiento se registran de 1 – 4 °C, sin pasar de los 5 °C (Dikeman *et al.*, 2013; Ferreira *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2020; Shi *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2014; USMEF 2014). La finalidad de este método es obtener carne de la mejor calidad, reducir pérdidas de peso por desjuge, recorte de costras y por contaminación, mejorar la terneza y concentrar el sabor (Jaramillo, 2016; Kim *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2014; USMEF, 2014). A diferencia de la maduración en seco, este método es económico y fácil de controlar. Estos aspectos lo hacen un producto de mayor alcance, menor procesamiento y mejor precio. Debido a las anteriores ventajas, este método se ha generalizado a mayor velocidad (Laster *et al.*, 2008; Stenström *et al.*, 2014).

Algunas desventajas que presenta este método comercial de ablandamiento de la carne son mayor fuerza de corte en comparación a la maduración seca, sabor agrio, sanguinolento más intenso y metálico, probablemente producido por el hierro de la

mioglobina concentrada en la bolsa (Campbell *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2020).

Maduración en Seco

Se llama maduración en seco al proceso de ablandamiento de la carne mediante el reposo de piezas primarias o sub primarias en condiciones de humedad relativa, flujo de aire y temperatura controladas (Ahnström *et al.*, 2006; Stenström *et al.*, 2014). Los objetivos actuales de la maduración en seco son aprovechar los cambios *post mortem* en el músculo para lograr el máximo ablandamiento posible en la carne sin afectar la retención de agua y su coloración. La maduración en seco busca además potenciar el sabor característico de la carne madurada (Diles *et al.*, 1994; Savell, 2008; USMEF, 2014).

La técnica de maduración en seco se practicaba desde que se generalizó el uso de la refrigeración eléctrica. La carne se oreaba en los hogares y carnicerías antes de ser consumida, pero se ha sustituido por el empaque al vacío por su practicidad, economía, evita pérdidas y en condiciones adecuadas garantiza un mejor control de microorganismos (Dashdorj *et al.*, 2016).

La maduración en seco ha cobrado importancia para ciertos sectores, debido a los mejores estándares de calidad que logra este proceso y el alto grado de satisfacción que ejerce en el consumidor (Dashdorj *et al.*, 2016). Se considera el método de ablandamiento que demuestra buenos resultados en todas las piezas del animal, incluso en los menos preferidos por su poca distribución de grasa o suavidad (Kim *et al.*, 2020). Para lograr la calidad óptima se recomienda procesar la carne poniendo especial atención en ciertos parámetros, además de personal más o menos entrenado para monitorearlo.

Los tiempos de añejamiento donde se han registrado buena afectación a la

estructura interior como exterior van desde 15 d para lograr el 80% de ablandamiento de 8 hasta 40 d o más en maduraciones extremas. Sin embargo, en 21 d se obtienen excelentes resultados y es lo más apetecido por el consumidor promedio (De Geer *et al.*, 2009; Lawrie y Ledward, 2014; Smith *et al.*, 2008). La temperatura es otro factor importante, se considera optima de 1-1.5 °C, ya que arriba de los 4 °C puede generar olores extraños a la maduración (Kim *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2020).

La humedad relativa se debe conservar en un 75-85%; una humedad relativa demasiado baja puede causar deshidratación en el producto y una demasiado alta puede causar olores ajenos a la maduración y propicia el crecimiento bacteriano (Dashdorj *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2018). Se recomienda un flujo de recambio de aire de 0.5- 2.5 m/s muy en sintonía con la humedad relativa (Kim *et al.*, 2020; Lee *et al.* 2018; Utama *et al.*, 2019).

El proceso de maduración en seco es hasta un 25% más costoso que el de la maduración en húmedo, debido a la pérdida del corte (3 – 25%), costo de equipos o instalaciones propicias para maduración (Dashdorj *et al.*, 2016; Matthews, 2010; Smith *et al.*, 2008;). Para lograr maduraciones más concentradas, hay que extender el proceso más días (Laster *et al.*, 2008).

En la actualidad, el proceso de maduración de carne en seco se realiza para lograr cortes más suaves y sabores más intensos. Su costoso proceso ha impedido que se difunda a gran velocidad, sin embargo, la aplicación del método se ha popularizado un poco, debido a que se han logrado construir algunos modelos de cámaras de maduración comerciales para producciones a baja escala que permiten su adquisición a pequeñas empresas especializadas e individuos (Stenström *et al.*, 2014).

Al mismo tiempo, debido a la sorprendente efectividad del método para suavizar la carne se han realizado diversas investigaciones para dilucidar la incidencia de este método sobre piezas de carne que provienen de razas que se consideran de carne magra y un poco más dura, sobre todo en la sub especie *Bos indicus* y *Bos taurus* y sus cruzas, sobre todo en América Latina (Cubero *et al.*, 2013; García, 2020).

Antecedentes de Maduración de Carne como Método de Ablandamiento en Razas *Bos Taurus*

Algunas investigaciones sobre maduración de carne han puesto a la raza como una condición indispensable para lograr una suavidad óptima. En general, se espera que un animal de raza europea dé mejores resultados en suavidad debido a su alto índice de grasa intramuscular. A mayor grasa debería esperarse mayor suavidad, mejor sabor y presentar menor resistencia al corte (Anibal, 2013; Dashdorj *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2014; O'Connor *et al.*, 1997; Savell, 2008). Algunos resultados en fuerza de corte aplicada a cortes de carnes de *Bos Taurus* con diferentes grados de maduración confirman mejora a niveles muy aceptables al paso del tiempo se muestran en el Cuadro 1.

Antecedentes de Maduración de Carne como Método de Ablandamiento en Razas *Bos Indicus* y algunas Cruzas con *Bos Taurus*

El añejamiento acorta las distancias en los parámetros de textura a nivel de fuerza de corte entre las razas *Bos Taurus* y las *Bos Indicus*. Cubero *et al.* (2020) no encontraron diferencias significativas al añejar por 28 d carne de vacas de descarte *Bos*

Taurus y *Bos Indicus* (3.78 kg/cm²). Por su parte, Patiño (2022) encontró una diferencia sustancial en la resistencia de corte al añejar Brisket de novillos raza Nellore de 0 a 15 d (3.7 y 1.5 kg/m²).

Otros estudios han evaluado la textura de carne bovina sin añejamiento en sistemas tropicales en las que predominan razas *Bos indicus* y sus cruzas. El Cuadro 2 explica lo que Flórez (2015) logró encontrar en el estudio de la textura en la carne de un grupo de 5 biotipos de bovinos diferentes en Colombia, entre ellos Criollos y cruzas con Cebú y Europeo, el Cuadro evidencia la que la craza de Blanco Oreginegro x Cebú fue el grupo que tuvo la carne más dura (7.4 kg/cm²), y por otro lado la craza de Cebú x Romosinuano obtuvo el índice de dureza más bajo (kg/cm²).

Cuadro 1. Periodos de añejamiento de carne de res de *Bos taurus* y fuerza máxima de corte resultante con la metodología Warner-Bratzler (15-28 d, 14-40 d 15-35 d)

Periodo añejamiento	Fuerza de corte kg/cm ²	Referencia
14 - 40 d	4.47 - 3.41 kg/cm ²	(Wheeler <i>et al.</i> , 1996)
15 - 35 d	4.08 - 3.39 kg/cm ²	(Shanks <i>et al.</i> , 2002)

La opinión de que la carne de Cebú es más dura que la del ganado europeo, incluso que la del Criollo es generalizada (Corpoica, 2010). Shackelford *et al.* (1997) en su escala de calificación la cataloga como carne dura, debido a que se encuentran entre (5.44 kg/cm² y 3.63 kg/cm²). La razón más importante de la dureza de la carne en *Bos indicus* es que dicho ganado presenta una alta actividad de la calpastatina, la cual es un inhibidor natural del sistema proteolítico de calpaínas (Chardulo *et al.*, 2013). En este sentido, la desventaja de las razas cebuinas y sus cruzas en términos de terneza de la carne respecto a las razas europeas es una brecha genética. El Bovino Criollo es pariente directo del bovino europeo por lo que no debería presentar la problemática de dureza por actividad de calpastatinas (Ginja *et al.*, 2019).

Se ha estudiado con más atención la calidad de la carne de ganado Criollo Americano en distintos ámbitos y los resultados en cuanto a calidad y rendimientos son clarificadores. El bovino Criollo Americano conserva rastros genéticos en su calidad de carne, inclusive las razas criollas *Bos primigenius indicus* han mostrado mejores parámetros de calidad de la carne bajo en algunos sistemas de producción particulares.

Algunos estudios han demostrado una mayor fuerza de corte (dureza) en novillos Cebú y sus cruzas (2.9 kgf), en comparación con cortes de novillos europeos y sus cruzas con Criollos (1.9 kgf) (Corpoica, 2010).

Ramírez *et al.* (2021) describen que el añejamiento en húmedo (al vacío) de carne (*Longissimus thoracis*) de ganado Criollo Colombiano Blanco Oreginegro (BON). Demostrando que los mejores resultados en cuanto a menor fuerza de corte (2.7 kgf) se presentaron a los 21 días de añejamiento.

Cuadro 2. Fuerza máxima de corte (kg/cm²) en carne de res sin maduración de razas cebuinas, cruzas Criollo × Europeo (Angus × Criollo) y Criollo (San Martinero), cruzas Criollo y Cebuino (Blanco Ojinegro × Cebú) por Flórez *et al.* (2015)

Fuerza de corte kg/cm ²	Biotipo/Raza
6.3	Cebú
7.4	Blanco Ojinegro × Cebú
5.7	Angus × Criollo
5.8	San Martinero × Criollo
5.2	San Martinero
4.4	Romosinuano × Cebú

No obstante, su calidad de carne y sus excelentes contenidos nutricionales los rendimientos cárnicos no se logran comparar en algunos parámetros con las razas europeas especializadas como el índice de marmoleo y rendimiento de canal (De Alba, 2011; Flórez *et al.*, 2015; Rincón *et al.*, 2006). Algunos estudios que sustentan estas aseveraciones han sido publicados en diversas partes de Latinoamérica.

En Argentina existen estudios comparativos del rendimiento de canal y determinación de frecuencia de marcadores de terneza en la carne de varios biotipos Criollos de la Patagonia. Estos lo describen con grado de excelencia productiva y capacidad genética para producir marmoleo (Estévez *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, 1989).

Holgado y Ortega (2019), en Uruguay identificaron los marcadores genéticos relacionados con el marmoleo de distintos biotipos Criollos, los estudios subrayan la capacidad de adaptación de los biotipos Criollos a medios poco favorables y su producción de carne de elevada calidad.

En Perú reunieron información de estudios que determinan las propiedades fisicoquímicas y organolépticas (Quispe *et al.*, 2019) y la relación genética asociada a la terneza de la carne de bovino Criollo en el Amazonas, encontraron algunos marcadores de calpaínas y calpastatinas que están relacionados la terneza de la carne y que actúan a los 14 y 21 días de maduración (Saucedo, 2022).

En Colombia se ha ensayado la maduración en húmedo por 14 días con carne de bovino Criollo, encontrando que sus valores en fuerza de corte mejoraban a los de las razas cebuinas y se colocaban cercanos a los parámetros arrojados por cruza Criollo x Europeo (Flórez *et al.*, 2015).

En México se ha trabajado sobre la evaluación de la ternera de la carne de Criollo Rarámuri aplicando ultrasonido y maduración húmeda como método de ablandamiento (Caraveo, 2022; Yáñez, 2022).

El Bovino Criollo Rarámuri

Se considera Criollo del portugués [*crioulo*] que, a su vez, viene de [*criar*], en castellano, [*criar*] dar afecto y cariño a algo o alguien. Según la RAE, - “Criollo es el hijo de descendientes europeos, nacido en los antiguos territorios españoles en América o en alguna otra colonia europea de dicho continente”- o “algo autóctono o nativo de un país hispanoamericano o conjunto de ellos”, extendido a los animales; “Criollo es el animal nacido en suelos hispanoamericanos, hijo o producto de los primeros animales importados a América en la época de la colonización española”.

El Bovino Criollo (*Bos taurus*) americano es pariente directo de los bovinos que llegaron en el segundo viaje de Colón en 1493. La evangelización de los pueblos chichimecas, dio mano de obra para la industria minera suficientemente entrenada por los Jesuitas para la minería y cría del ganado. Las razas bovinas arribaron a las costas de Veracruz, zona idónea para la ganadería por sus extensas planicies, humedales durante todo el año, rodeadas de ríos (Papaloapan, Grijalva y Usumacinta) (Jordan, 1989). La Retinta, la Berrenda, la Cacereña y la Andaluza negra africana son las razas que arribaron y se adaptaron rápidamente a las condiciones tropicales del Golfo.

El período de más acelerado crecimiento de los ganados en la Nueva España fue entre 1538 y 1570 (Chevalier, 1976). Periodo en que el ganado mayor cumplió realmente la función de proveedor de materias primas y carne.

Simpson (1952) calcula que entre 1535 y 1636 pastaban en los territorios del golfo (Veracruz y Chiapas) alrededor de 650 000 reses que constituían el 51.5% de la

totalidad de las estancias reportadas en el país. Apunta también que en 1620 en el centro de México pastaban entre 1.5 y 2 millones de cabezas de ganado mayor en una superficie de 150 000 hectáreas. El conteo se realizó en 10,000 mercedes registradas, a razón de 1ha/cabeza, llegaron a poblar la zona baja de la sierra madre oriental de San Luis Potosí.

Buzter (1988), por su parte calculaba en el Golfo, un monto de 270 000 cabezas en 550 estancias, con un hato de 550 cabezas por estancia, y para 1640 reportó una cifra de 400,000 cabezas en la misma zona.

El descubrimiento de las zonas mineras del norte del país impulsó el desarrollo ganadero en esas planicies. el crecimiento se debió a la necesidad de materias primas para la actividad minera (cebo para velas y antorchas, pieles y transporte de minerales del norte al centro del país). Se estima que en esa época se contaban entre Guadalajara y Zacatecas, 5,000,000 cabezas bovinas; 500 mil cabezas más que en todo España, que registraba 4,500,000 (Serrera, 1977).

Durante la segunda mitad del siglo XVIII la región del bajío fue puntera en la cría y comercialización del ganado mayor en la Nueva España, de la misma forma que los territorios norteños que ahora ocupan Nuevo León, Sonora y San Luis Potosí.

Se tiene registro de que del norte del país se hacían envíos periódicos a Puebla, Ciudad de México y la zona de los volcanes, de bovinos. A finales de 1728, se enviaron 26,000 cabezas (Serrera, 1977). Sin embargo, no prosperaron debido a que la actividad principal de los habitantes del centro fue agrícola. Por otro lado, la revolución industrial europea acelera la masiva la colonización del norte de las 13 colonias británicas y su independencia en 1775 promueven un poco más la venta de ganado a ganaderos privados al norte del continente (García, 1994).

Los numerosos hatos ganaderos sobrepastorearon el Bajío. debido a la escasez de pastizales la ganadería se desplazó hacia al altiplano Chihuahuense. Sin una vegetación basta Chihuahua, proporcionaba grandes planicies “libres” de conflictos con tribus locales. Los rebaños fueron bien acogidos como medio de transporte, materias primas y alimento para peones en las zonas mineras norteñas. El binomio norteño ganadería – minería, fue tan complementario y necesario el uno para el otro como el binomio azúcar – ganadería en el sur del país. La evangelización de los pueblos Chichimecas, dio mano de obra suficientemente entrenada por las órdenes Jesuitas para la minería y cría del ganado, aspecto clave para la conservación de los hatos (Jordan,1989).

A finales del siglo XVIII en los alrededores de Parral, al sur del Estado de Chihuahua, el hato ganadero sumaba 10 000 cabezas a pesar de la baja densidad de pastoreo; más de 10 hectáreas por cabeza (González,1989; Quiroz, 2007). Otra vertiente del ganado se distribuyó a través de la sierra madre occidental. Este ganado habitó en forma salvaje la sierra chihuahuense poblada principalmente por Tarahumaras. Los Rarámuri criaron y conservaron ese ganado a pesar de los limitados recursos naturales de la sierra chihuahuense. Estos animales eran la principal fuente carne, leche y piel para los Rarámuri, en honor a ellos, este biotipo bovino fue nombrado “Criollo Rarámuri”, presentado en la Figura 1. Comparte el mérito con el Criollo Mixteco Poblano, presentado en la Figura 2, de ser los últimos recursos genéticos bovinos mexicanos que conservan sus lazos genéticos con las razas Ibéricas (Quiroz, 2007).



Figura 3. Ejemplar Criollo macho, en la sierra Tarahumara, tomada por el autor.



Figura 4: Ejemplar de bovino Criollo hembra en la Mixteca Poblana, fotografía tomada por el autor.

Hasta el año de 1911 la totalidad del ganado existente en México era de origen español y portugués nombrado Criollo por haber nacido en nuestro país. A este ganado oriundo mexicano después se le llamó, despectivamente “corriente”, al ser comparado con las razas europeas genéticamente seleccionadas para la alta productividad de carne y leche.

Debido a la inestable realidad material del país, la ganadería no pudo tomar forma en los siglos previos a la revolución. Sin embargo, existía una estirpe vacuna que estaba ya ambientada a las diferentes condiciones climáticas del territorio mexicano y que fue menguada por la carencia de estabilidad social y territorial, pero sobre todo por el desplazo que sufrió en favor de las razas extranjeras “altamente productivas”. Eso explica que en nuestros días la fiesta charra y el Rodeo, son desde entonces la única razón de su crianza, puesto que se ganó por su agilidad, nobleza y mansedumbre (Ríos et al., 2000).

En 1904 las importaciones de ganado eran tan generalizadas que las cruza de ganado Criollo × Hereford absorbieron al ganado Criollo en Chihuahua. Para 1906, el 56% de la ganadería en Chihuahua era vacuna, concentrada principalmente en los distritos de Galeana e Iturbide (AEECH,1906).

En 1960, el 73 % del inventario bovino del país era de raza especializada o tenía alguna cruce con alguna de ellas. En 1996 solamente un 14% de la población ganadera en el estado de Chihuahua era Criolla, y se veía una franca tendencia a desaparecer. En 1997, el gobierno del Estado de Chihuahua y la Universidad Autónoma de Chihuahua unen esfuerzos por iniciar un programa de estudio, del Bovino criollo Rarámuri para promover su conservación. En la misma década se creó la Asociación de Criadores de Ganado Criollo Mexicano, en 1995, y en 1997 se creó ASOCRIOLLO

(Asociación de Criadores de Ganado Criollo Mexicano) que en el mismo año obtuvo el reconocimiento de la Confederación Nacional Ganadera (SAGARPA, 2002).

La distribución en 2022 del ganado Criollo en México se concentra básicamente en las Baja Californias, Chihuahua, Durango, Nayarit, Sonora, Zacatecas y las Mixtecas Poblana y Oaxaqueña principalmente, pero se puede localizar en otras zonas como Campeche y Tamaulipas. En la mayoría de las entidades no se cuenta con un inventario certero, pero se cuenta con asociaciones que procuran evitar su desaparición, sin embargo, la venta de ganado Criollo a los Estados Unidos para el rodeo, es una constante amenaza hasta nuestros días (Ríos *et al.*, 2000).

Este tipo de animales se caracteriza por su gran resistencia al estrés calórico y su inherente longevidad en este ambiente (Russell *et al.*, 2000). El biotipo Criollo actual conserva mejor capacidad de pastoreo o ramoneo (Roacho *et al.*, 2007). Se ha demostrado que el tipo de pastoreo del ganado Criollo ocasiona menores daños al ambiente que los animales de razas exóticas, debido a la diversificación de su dieta (Medina, 2016).

Estudios sobre el comportamiento alimenticio del Criollo en México, sugieren que han sobrevivido el último siglo en condiciones de escasez de forraje, agua y se han logrado adaptar por sí mismos a las condiciones cambiantes del clima (Peinetti *et al.*, 2011). El Criollo mexicano en general, ha sido despreciado por sus bajos pesos a los 18 meses de edad, bajos rendimientos en canal, baja estatura y su fisionomía muscular cóncava, la calidad de su carne es “conocida anecdóticamente como dura, poco jugosa y muy magra” (Duarte, 1997).

Con la finalidad de des estigmatizar al ganado Criollo y los productos que de ellos se derivan, investigadores de La Jornada en Nuevo Mexico, han estudiado desde el 2011 el comportamiento del ganado Criollo, y han determinado que ha desarrollado una mejor adaptabilidad a entornos áridos y pobres. Se sugiere que este ganado presenta un desarrollo genéticamente superior al de las razas europeas típicamente rústicas como la Angus. Al revisar los registros de los últimos 10 años, los científicos del Rancho La Jornada están tratando de comparar la productividad del ganado criollo frente al cruzado. Hasta ahora las preguntas a resolver son sobre productividad y rentabilidad en costo de producción y precio de venta de la carne de bovino Criollo. Hay fuerte incertidumbre también, sobre las perspectivas del mercado de la carne de bovino Criollo, debido las fuertes sequías por las que atraviesa el sur de los Estados Unidos (Martínez *et al.*, 2018).

A pesar de la lejanía y diferencia fenotípica de los biotipos Criollos en el continente americano, son sorprendentes las similitudes de lo que anecdóticamente se piensa en el norte del continente sobre la productividad e incluso estética de las razas Criollas con lo que se dice en el sur continental (Bocchetto y Reynoso., 2017; Martínez *et al.*, 2015).

Sobre los bovinos Criollos se han establecido afirmaciones como: "son flacos", "son vacas degeneradas", "son limitados productores de carne y leche, su principal habilidad es el trabajo" y "rozan el aspecto lastimoso" (Bocchetto y Reynoso., 2017). Estos prejuicios son también aplicables en el sector de la investigación y la productividad. En dicho sector, son comunes comentarios refiriéndose al ganado Criollo como; "aumenta los costos de producción", "pérdida de diversidad genética", "pobre de

atrás" o "falto de cuartos", "baja calidad de carne por marmoleo", "bajo rendimiento de canal" (Martínez *et al.*, 2015)

Orellana *et al.* (2009) en su evaluación de novillos Criollos criados en la provincia de Tucumán llegó a las siguientes conclusiones: Los novillos Criollos son "castigados" en el precio cuando se comercializan en pie, debido a las características fenotípicas de la raza. En cambio, cuando se comercializan "al gancho", se venden fácilmente y a los mismos precios de los novillos cruza. En el gancho, las reses no son identificadas como de ganado Criollo.

Uno de los intentos para contrarrestar la baja productividad ha sido efectuado cruza entre razas para producir algo especialmente híbrido que sea capaz de resistir los efectos adversos del clima debido al cambio climático (Casas *et al.*, 2006). En la mayoría de las razas Criollas se reportan de media a alta frecuencia en los alelos favorables de marcadores responsables en la suavidad de la carne (calpaína, calpastatina y leptina), resultando útil para establecer planes de selección asistida y mejorar las características de la carne (Cuetia *et al.*, 2011).

Las cruza de razas europeas con cebuinas mejoran algunos indicadores simples como el peso al nacer, al destete, edad al primer parto e intervalo entre partos de los hatos ganaderos en los sistemas de producción tropical (Magaña y Segura-Correa, 2006; Plasse *et al.*, 2000; Reynoso *et al.*, 1987; Ríos *et al.*, 1996; Rojas *et al.*, 1987). Aspecto que ha provocado la implementación de cruzamientos indiscriminados con razas europeas, con el consecuente incremento de la mortalidad y el riesgo de extinción del recurso genético Criollo por desuso (Baker y Gray, 2004).

Otro aspecto importante es que generalmente el ganado Criollo destinado para carne de consumo no se estabula en "engordas" intensivas a base de dietas altas en

grano que ayuden a incrementar su ganancia de peso. Por el contrario, son criados en su mayoría, en pastizales o traspacios con un suministro de dietas pobres en proteína y energía. Además, los criadores de ganado criollo comúnmente no cuentan con los recursos económicos para suplementar fuentes nutricionales esenciales para el mejor crecimiento muscular del animal (De Alba, 2011).

Estos aspectos productivos sumados a la estigmatización de la carne por la sociedad y la falta de apoyo gubernamental para la difusión de su cría, conservación y consumo, sugieren una tarea ardua para los productores en México hacerse de un lugar competitivo frente a la carne de res “comercial”. Los recursos zoogenéticos para la alimentación y la agricultura, además de constituir la base esencial del proceso evolutivo de la vida en el planeta, son una parte fundamental de la base biológica de la seguridad alimentaria mundial y contribuyen a los medios de vida de más de 1,000 millones de personas (FAO, 2007). Una de las posibles alternativas es agregar valor a los productos de bovino Criollo. Conferir valor agregado a los productos de origen rural ha sido considerado como una estrategia destacada, tanto para la agricultura empresarial como para el desarrollo rural (Kilkenny y Schluter, 2001).

MATERIALES Y METODOS

Obtención y Manejo de las Muestras

Un total de 16 novillos de 22 meses de edad aproximadamente fueron utilizados para llevar a cabo el presente estudio. Seis de ellos eran de raza Criollo Rarámuri (C) y un grupo control de seis animales de ganado considerado comercial de cruce Angus × Hereford (E). Los novillos fueron finalizados en el rancho experimental El Sauz, propiedad de la Universidad Autónoma de Chihuahua y tuvieron un rango de peso entre 430 y 520 kg. Todos los animales se sacrificaron en el rastro municipal tipo TIF #366 en la ciudad de Chihuahua. Las canales fueron almacenadas a 4 °C por 48 h para superar la fase de *rigor mortis*. Posteriormente, se obtuvieron muestras del músculo *Longissimus lumborum* de cada animal obteniendo un total de 16 piezas.

Las 16 piezas para análisis (de un total de 16 animales. 32-36 cm de longitud) se disecaron directamente de la canal a las 48 h *postmortem*. Cada una de estas piezas correspondiente a cada animal fueron divididas en tres porciones de entre 10-12 cm de grosor correspondientes a cada periodo de añejamiento que se asignaría aleatoriamente (0, 15 ó 30 días). La grasa visible fue removida manualmente previamente a la maduración. Cada sub-muestra fue retirada de la cámara de maduración una vez cumplido su periodo de añejamiento para ser analizada.

Añejamiento de la Carne

La asignación al tratamiento de añejamiento (0, 15 ó 30 días) se dio de manera aleatoria. Uno de los tres cortes (10 - 12 cm) de cada lomo (animal) se asignó a cada tratamiento, de manera que cada lomo se sometió a los tres periodos de añejamiento. El añejamiento consistió en depositar las 48 porciones (16 lomos × 3 porciones) de

carne en un equipo de maduración Dry Ager DX 500 (Landig + Lava GmbH & Co. KG, Dry Ager Manufactur Mkstrab 90, Bad Saulgau, Germany). Este equipo contaba con control de temperatura (1.5 – 2.0 °C), humedad relativa (75 - 80%) y con luz ultravioleta producida por un bulbo para eliminación de microorganismos contaminantes de manera automatizada.

El Dry Ager® tenía una capacidad de carga máxima de 100 kg de carne con unas medidas exteriores de 165 × 70 × 75 cm. Las especificaciones son las siguientes; caja externa de acero inoxidable con aislamiento de puerta de cristal tintado con protección UV con dimensiones externas de 165 × 70 × 75 cm y dimensiones internas de 138 × 54 × 56 cm, controlador electrónico de humedad de 60% a 90%, flujo de aire óptimo, filtro de carbón activado y esterilización de aire. La iluminación exterior del gabinete de maduración es LED con espectro de luz sin radiación ultravioleta, generando un mínimo de calor que no afecta la temperatura del núcleo de la carne (Dry Ager, 2022).

Una vez cumplido el plazo de añejamiento que le correspondía, los cortes se retiraron de la cámara para su posterior subdivisión y análisis fisicoquímico. Cada porción (48 piezas) fue subdividida en 6 filetes transversales en la dirección de las fibras musculares. Estos filetes tenían 2 cm de grosor y se utilizaron para realizar cada uno de los seis diferentes análisis fisicoquímicos. De cada filete se realizaron los análisis por triplicado.

pH

El pH se midió en tres porciones aleatoriamente elegidas en los filetes de carne a profundidad de 5 cm, usando un potenciómetro incisivo (HANNA INSTRUMENTS®, 99163 Rumania) previamente calibrado bajo las instrucciones del fabricante.

Determinación de Color

Se realizó un análisis de color por triplicado con un colorímetro Minolta (Konica Minolta Sensin CR-400 Camera, U.K. con apertura de 8mm, iluminación C, observador estándar, C=, Y=94.2, X=0.3130) con la metodología propuesta por CIE Lab 1976. Las coordenadas de color del espacio CIELAB, en que, L* indica luminosidad en rangos desde 0 (negro) a 100 (blanco); a*, cuantifica la intensidad de rojo, con rango +a (rojo) a -a (verde); y b*, mide la intensidad del amarillo, con amplitud +b (amarillo) a -b (azul). Se hicieron 3 repeticiones por cada filete de carne, de acuerdo al día (0, 15, 30) correspondiente en muestras A, B y C.

Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Las muestras de carne de 3 g aproximadamente se colocaron entre dos papeles filtro (Número 1, Whatman®), las que a su vez fueron colocados entre dos placas de plexiglás sobre las cuales se aplicó un peso constante de 5 kg por 15 min. La CRA fue obtenida a través del cálculo de las diferencias de peso y expresada en porcentaje, con 3 repeticiones por muestra en cada etapa de análisis (0,15 y 30 d).

Textura (Fuerza de Corte)

Dos filetes de cada tratamiento de *L. Lumborum* de 2 cm de grosor fueron utilizados para este análisis (32). Estos se cocinaron en un asador eléctrico comercial marca George Foreman (GR2080R, U.S.A) hasta alcanzar una temperatura interna de 71 °C (8–12 min aproximadamente), posteriormente se refrigeraron y fueron analizadas 24 h después. La prueba se llevó a término por el método Warner– Bratzler, propuesto

por la Asociación Americana de Ciencia de la Carne, usando un texturómetro TA.XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, UK), a una velocidad de 20 mm por minuto y con una cuchilla a 30 grados de inclinación. Se calcularon los valores pico de los parámetros Fuerza de corte (FC), energía total de corte (ETC) de cada muestra en al menos 8 repeticiones o réplicas de cada filete (256), los cuales fueron extraídos con un sacabocado con diámetro de 1.27 cm. Los datos de fuerza de corte se reportan en Newtons (N) tal como sugiere la misma asociación (AMSA,2016).

Análisis Estadístico

El análisis de los datos se llevó a cabo por medio de un ANOVA con arreglo multifactorial 2×3 (2 grupos raciales; Criollo Rarámuri (C) ó Hereford $\times$ Angus (E) y 3 tiempos de maduración; 0, 15 y 30 días) en donde cada lomo consideró los tres tiempos de maduración. La comparación de medias de los factores que resultaron con diferencia significativa en al ANOVA ($p < 0.05$) se analizaron con una prueba de TUKEY.

El modelo estadístico con para este diseño fue:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = *el efecto de la observación*

τ_i = *el efecto causado por al factor tiempo de maduración*

β_j = *el efecto causado por el grupo racial*

$(\tau\beta)_{ij}$ = *la interacción de los dos factores*

e_{ijk} = *el efecto de error*

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

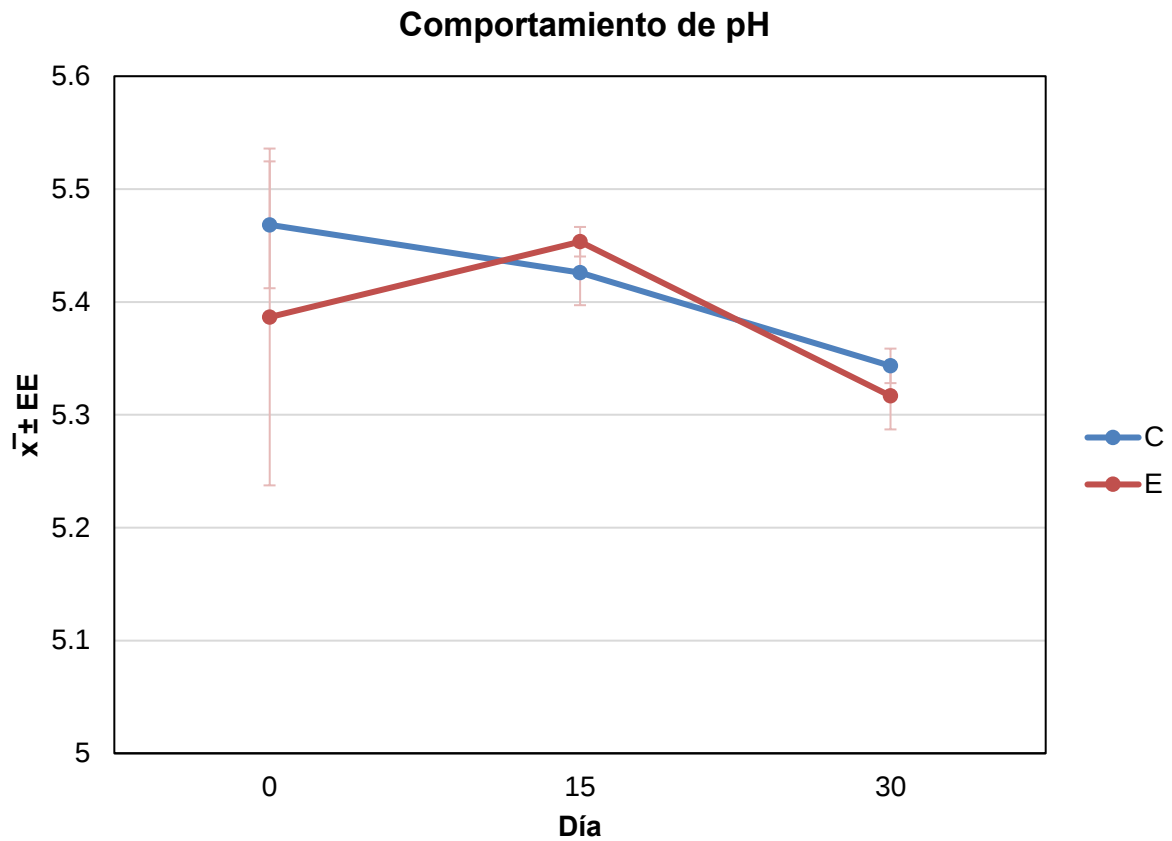
pH

A pesar de la diferencia en especialización productiva entre los dos grupos de bovinos *Bos Taurus* analizados en el presente trabajo, se esperaba que no hubiera diferencias sustanciales en el comportamiento del pH de la carne *post mortem*, ya que las piezas analizadas pertenecen a zonas similares del mismo músculo (*Longissimus lumborum*) y los tratamientos fueron exactamente iguales.

No existieron efectos significativos de grupo racial ($p = 0.567$), día de evaluación ($p = 0.096$), ni interacción de raza $\times$ día ($p = 0.637$) sobre el pH del músculo *L. lumborum*. Las medias y errores estándar por grupo experimental pueden ser observados en la (Gráfica 1).

Los promedios de pH observados en el presente estudio se situaron en rangos de 5.4 a 5.8 considerados normales en la carne de res de alta calidad e indican condiciones adecuadas de faenado y almacenamiento en frío y de las reservas de glucógeno (Swatland, 2003).

El pH (5.38) inicial del grupo (E) pareciera ligeramente más bajo del rango normal. Las variaciones de pH tienen diversas explicaciones (genética, metabolismo, susceptibilidad al estrés, entre otras). Hay que notar que los factores que generalmente afectan notablemente el pH de la carne *post mortem* son relativos al manejo del animal horas previas al sacrificio. El manejo con estrés excesivo provoca un descenso abrupto del pH en las horas posteriores al sacrificio (Braña *et al.*, 2011). El pH del cadáver disminuye por la acumulación de ácido láctico generado durante la glucólisis anaeróbica posterior al sacrificio. Esta disminución del pH es necesaria



Gráfica 1: Medias ($\pm$ E.E.) para pH en músculo *Longissimus lumborum* de bovinos machos de dos diferentes grupos raciales Criollo Rarámuri (C) vs. Hereford $\times$ Angus (E) con tres diferentes periodos de añejamiento 0, 15 y 30 d de maduración como tratamiento.

para lograr procesos de maduración provocadas por la actividad de enzimas endógenas (calpaínas, calpastatina, entre otras) (Lawrie y Ledward, 2014).

Aunado a lo anterior, el descenso del pH se puede explicar porque los músculos como *Longissimus* contienen un alto porcentaje predominante de fibras blancas tipo oxido-glucolítica IIA que tienden a sufrir una disminución acelerada del pH durante las primeras horas *post mortem* en comparación con los músculos con menos fibras tipo oxidativa-lentas I, glucolítica rápida IIB y IIX (Choi *et al.*, 2016; Ozawa *et al.*, 2000; Ryu y Kim, 2005).

El pH de la carne tiene efecto definitivo en las características organolépticas de la carne condiciona el color, la terneza, la capacidad de retención de agua, el sabor y la resistencia a microorganismos (Jara, 2007). En el caso de la carne de los dos grupos analizados en este experimento se obtuvieron parámetros dentro de lo que se considera carne de buena calidad, resultando la carne de bovino Criollo, un poco más estable en los cambios de pH.

Capacidad de Retención de Agua

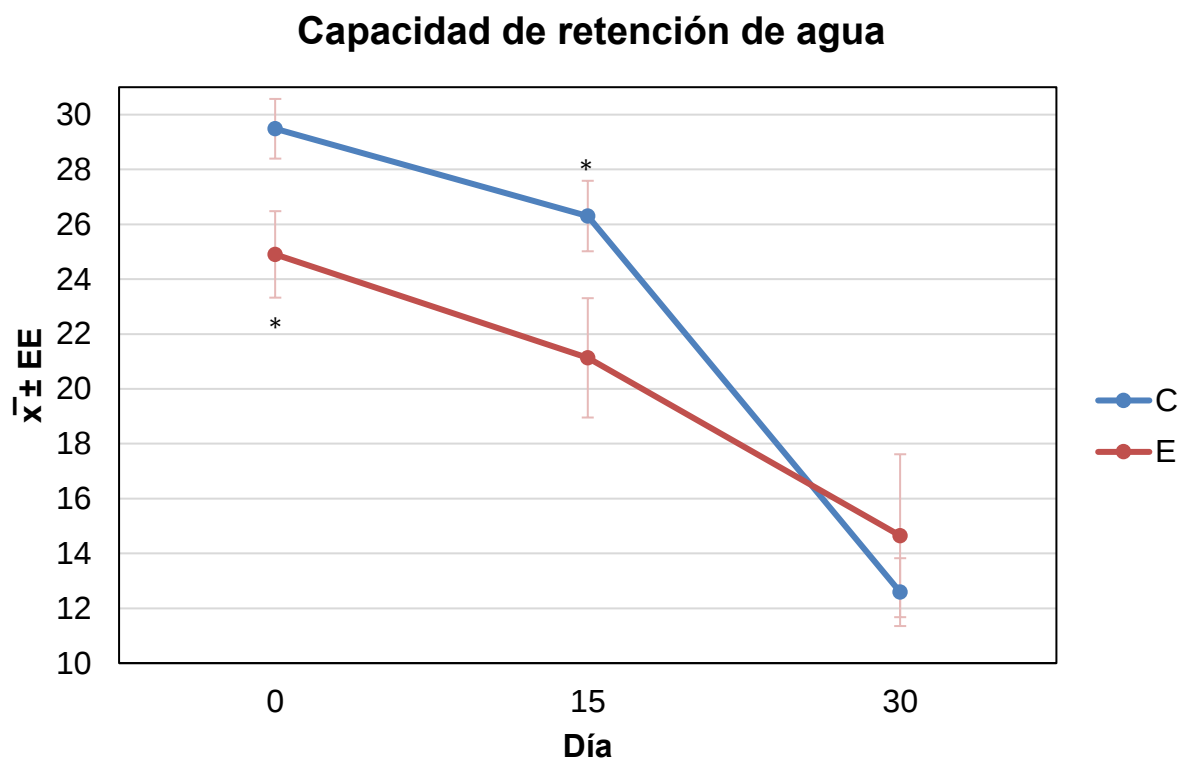
Se hipotetizaba que no hubiera una diferencia significativa de la capacidad de retención de agua entre razas y que entre los días de añejamiento hubiera cambios graduales en la retención de agua, inversamente proporcionales con el tiempo de maduración, es decir, a más tiempo de maduración menos retención de agua.

Las muestras de ambos grupos no revelaron efectos significativos de la maduración en la CRA en grupo racial ($p = 0.064$), tampoco en la interacción raza por día ($p = 0.063$), aunque hay una tendencia que se puede asumir por el valor de p . Por otra parte, se encontró un efecto significativo en la retención del líquido en el día de evaluación ($p < 0.001$). Dada la diferencia significativa en el día de maduración ($p <$

0.05) se realizó una prueba de Tukey para comparar las medias de cada nivel por día de maduración. Se concluyó que no hay diferencia significativa en la retención de agua a 0 y 15 d de añejamiento ($p = 0.089$). Pero existe una diferencia significativa entre los días 0 y 30 ($p < 0.001$) y 15 y 30 ($p < 0.001$), lo que se expresa como un descenso visible en la retención de agua desde los 15 d de maduración en adelante. Lo anterior podría marcar una tendencia si el número de muestras fuese mucho más grande o bien, si el experimento analizara más días de maduración, fenómeno que hipotéticamente se veía previsible como lo ilustra la Gráfica 2.

La CRA expresa la capacidad de la materia en análisis para conservar agua en las diferentes estructuras que componen la carne, como las proteínas miofibrilares – citoesqueléticas, que son los constituyentes principales y aglutinan el 70% del agua disponible. La variación de CRA depende de varios factores, pero el principal está relacionado con el pH, cuanto menor sea el pH del músculo, menor será su capacidad para retener agua y viceversa. Los músculos en estado *pre rigor* tienen alta CRA en comparación con el músculo en estado de *rigor* o *post rigor* (Hernández y Ríos, 2009; Hawkins *et al.*, 1985).

La carne en maduración en etapas tempranas sufre una elevación del pH y una mayor capacidad de hidratación de las proteínas cárnicas. Sin embargo, las pérdidas de agua son notables debido a que el agua “inmovilizada” suele ser la más proclive a perderse por goteo ya que después de la muerte, la contracción de las miofibrillas expulsa el agua a los espacios extracelulares (Fischer, 2007; Raccach *et al.*, 1979).



Gráfica 2: Medias ($\pm$ E.E.) para CRA (%) en músculo *Longissimus lumborum* de bovinos machos de dos diferentes grupos raciales Criollo (C) vs. Europeo (E, Hereford $\times$ Angus) con tres diferentes periodos de añejamiento 0, 15, 30 d de maduración como tratamiento. Los promedios con asterisco* indican diferencia significativa.

En la maduración de la carne también ocurre pérdida de agua debido a largos periodos de almacenamiento debido a la desnaturalización celular y la degradación de las fibras (Traore *et al.*, 2012). En la maduración esta pérdida de líquido no afecta al agua de constitución ni a la de interface que son las que confieren en mayor parte suavidad y jugosidad a la carne (Hamm, 1986). En el presente trabajo, se pudo constatar que la pérdida de agua no afectó los estándares de calidad de la carne; además, los índices de textura estuvieron dentro de lo considerado de carne de buena calidad como se puede apreciar más adelante.

Los resultados obtenidos indican que durante el desarrollo de la prueba no hubo incidentes que transgredieran significativamente la relación entre pH y la retención de agua (temperatura de almacenaje, cocinado excesivo, excesivo goteo) por el contrario, la relación entre estos dos parámetros se muestra relacionada y estable durante toda la experimentación.

Análisis de Textura (Fuerza de corte)

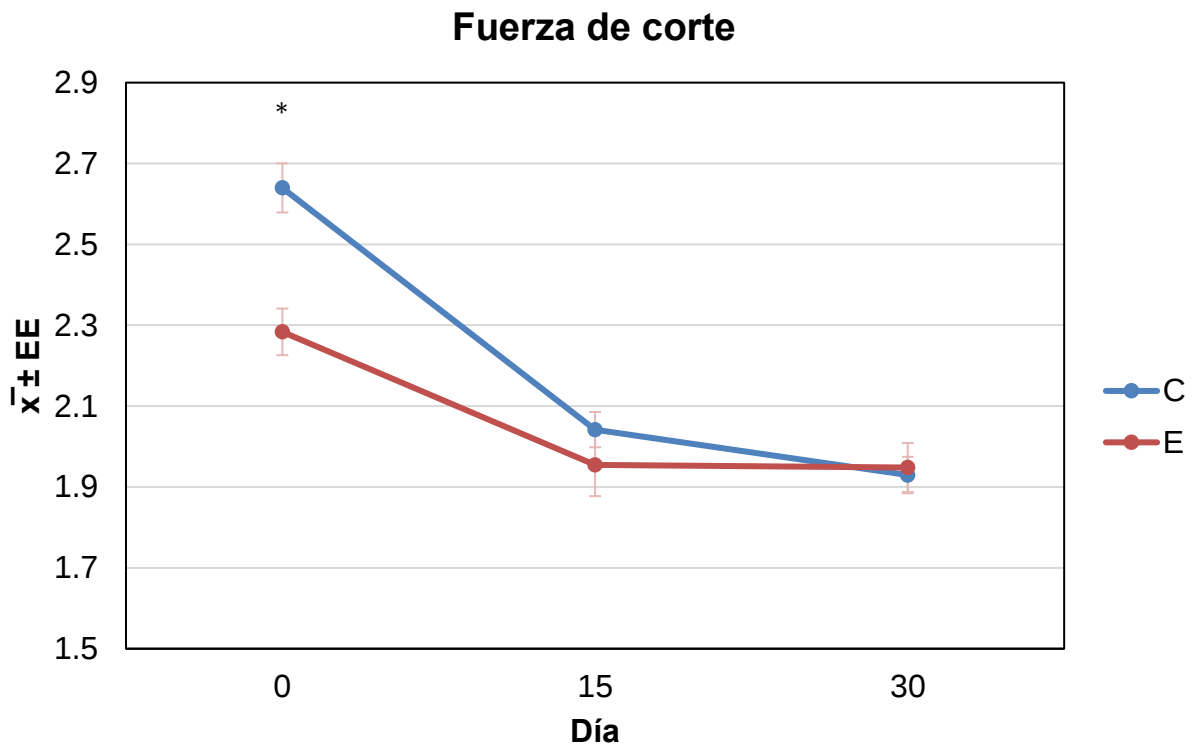
Se esperaba que en la comparativa de fuerza de corte y energía total de corte relacionados con la terneza de la carne posiblemente arrojaría diferencias entre los dos grupos raciales, con lo que se pudiera confirmar la información anecdótica sobre la dureza de la carne de ganado Rarámuri. Además, se esperaba que al paso del tiempo de maduración (15 d), se redujera la fuerza de corte de los dos grupos, pero sobre todo de la carne del grupo del bovino comercial (E). Asimismo, se esperaba que la carne de Ganado Rarámuri (C) respondiera positivamente a la maduración, incrementando su terneza, pero probablemente sin llegar a superar la terneza de la carne de E.

Los resultados revelan que existieron efectos significativos sobre la fuerza de corte entre todos los factores principales (grupo racial, $p = 0.006$; día de añejamiento, $p < 0.001$) y la interacción (raza $\times$ día, $p = 0.006$). Por lo que se realizó una prueba de Tukey para comparar medias de cada tratamiento (interacción raza $\times$ día). Los dos grupos raciales fueron significativamente diferentes en términos de fuerza de corte (E; 2.06 vs. C; 2.20 kg/cm²) al inicio de la prueba o d 0. Sin embargo, a las dos semanas de añejamiento, dicha diferencia se había disminuido y al final de los 30 d de añejamiento las muestras del grupo C lograron un mejor nivel de terneza (1.95 ± 0.51 kg/cm²).

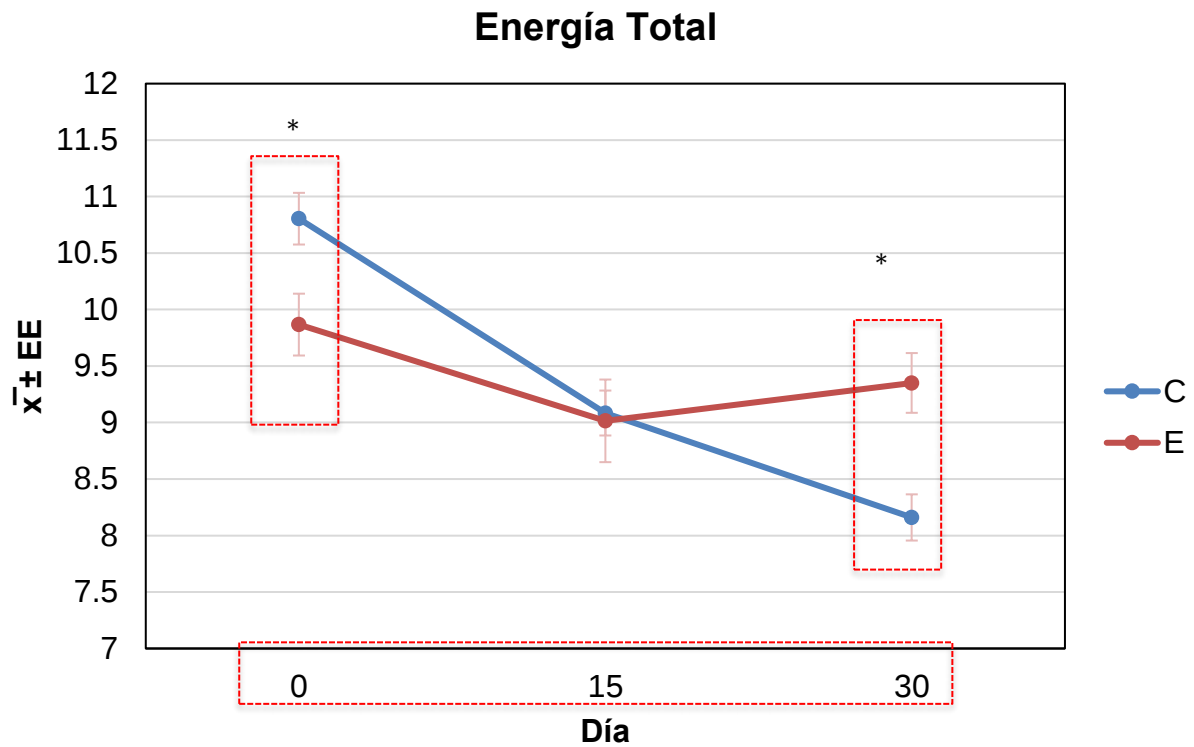
Existió una diferencia significativa entre el día 0 y 15 ($p < 0.001$) además del día 0 y 30 ($p < 0.001$), pero no se observó diferencia significativa en la fuerza máxima entre el día 15 y 30 ($p = 0.380$). Las medias y errores estándar por grupo experimental pueden ser observados en la Gráfica 3.

Los datos muestran que existe una diferencia significativa entre el d 0 y 15 además del d 0 y 30, pero no hay diferencia significativa en la fuerza máxima de corte entre el d 15 y 30. Es decir, la fuerza máxima utilizada es significativamente igual conforme pasan los días. Considerando la interacción entre días de maduración y raza muestra que a los 15 y 30 d de maduración no hay diferencias significativas entre las medias de cada raza ($p > 0.05$). Sin embargo, es importante revisar el desarrollo total del análisis en el tiempo.

Aunque se observa una diferencia notable en la terneza de los dos grupos analizados en el d 0 (E; 2.28 ± 0.48 vs. C; 2.64 ± 0.73), en la primera etapa de



Gráfica 3. Medias (kg/cm²) ($\pm$ E.E.) para Fuerza de Corte de muestras del musculo *Longissimus lumborum* de bovinos machos de dos diferentes grupos raciales Criollo (C) vs. Europeo (E, Hereford $\times$ Angus) con tres diferentes periodos de añejamiento 0, 15, 30 d de maduración como tratamiento. Las medias con asterisco* indican diferencia significativa ($p < 0.05$).



Gráfica 4. Medias ($\text{kg/cm}^2 \pm \text{E.E.}$) para Energía Total de Corte las muestras de musculo *Longissimus lumborum* de bovinos machos de dos diferentes grupos raciales Criollo (C) vs. Europeo (E, Hereford $\times$ Angus) con tres diferentes periodos de añejamiento 0, 15, 30 d de maduración como tratamiento. Las medias con asterisco* indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

añejamiento (d 0 – d 15), las muestras de ambos grupos incrementaron su terneza, la cual se mantiene constante, pero sin igualarse (E; 1.95 ± 0.60 vs. C; 2.04 ± 0.53 kg/cm²). Hasta el d15, el grupo E mostraba una mayor velocidad de ablandamiento, alcanzando 100% de su capacidad. En el segundo periodo de análisis (d 15 - d 30) el grupo E permanece sin cambios sustanciales (1.95 ± 0.51 kg/cm²), a diferencia del grupo C que logra igualar al día 25 al grupo E y le supera sin significancia (0.02 kg/cm²) al d 30 del análisis (1.93 ± 0.54).

Los resultados muestran coincide con lo declarado en trabajos anteriores donde se declara que la terneza en carne de res se intensifica entre el día 4 y 10 o que logra el 80% de su expresión al día 15 de maduración (Lawrie y Ledward, 2014)

Las muestras del grupo E, estabilizaron su actividad al día 15 del proceso de maduración. De acuerdo con Chardulo *et al.* (2013), este efecto está relacionado con un aumento de actividad inhibidora de la enzima calpastatina (CAST) y su actuación bloqueadora de la enzima m-calpaína en las razas de la craza E.

El desarrollo del ablandamiento del grupo C fue menos eficaz hasta el d 15 de maduración. Sin embargo, la evolución del ablandamiento del grupo C no registró un cese o pausa en su proceso hasta el d 30 donde mejora el límite de terneza del grupo E. Este estudio encuentra pocos elementos para determinar si la evolución continua a través de un mayor periodo de maduración. Lo anterior pudiera activar algunos genes que impidieron que el sistema calpaína – calpastatina llegara a un proceso de equilibrio hasta el d 30. No obstante estos resultados coinciden con los de Basson *et al.*, (2022), donde sugieren que “la duración del añejamiento puede alterar la asociación genómica a través del tiempo”.

El caso del grupo E puede explicarse como efecto un cambio genético por selección humana. El cruzamiento planificado para producir animales con alta carga genética hacia la precocidad y madurez estructural temprana a favor de la terneza de la carne en un corto periodo de tiempo, como lo requieren los mercados actuales (Zimmermann *et al.*, 2021). Una posible causa es una actividad enzimática como la que observamos en las muestras de la cruce Angus × Hereford.

En el caso del grupo C, no debería presentar problemas de exceso natural de calpastatina por ser pariente directo de las especies *Bos Taurus* Ibérico. Una hipótesis que podemos plantear es que los animales del grupo C, al estar libres de esa presión de selección genética por el hombre, conservan su equilibrio genético intacto y por esa razón, no caen tan rápidamente en la pausa enzimática.

Los resultados demuestran que tras la reducción del colágeno en los músculos en la carne y la acción prolongada de las proteasas endógenas como calpaínas y/o catepsinas logran que la maduración de la carne en seco puede mejorar la terneza de la carne de bovino Criollo. Es notable que niveles de terneza logrados en este trabajo, desde el día 0 lograron equipararse a los mejores estándares de suavidad registrados para razas especializadas (muy tierno = WBS < 3.2 kg/cm²) (Belew *et al.*, 2003), y en el día 15 la carne de C y E eran prácticamente igual de suaves.

Colorimetría L*, a*, b*, and C*

Las características de las muestras de carne analizada en cuanto a colorimetría no fueron muy diferentes de lo esperado. Los resultados esperados eran que se redujera gradualmente el brillo característico de la carne fresca conforme pasaban los días del análisis debido a la pérdida de agua en el proceso de maduración. La pérdida de color se situaría en un rojo cereza, pero sin el brillo de la carne “fresca” y sin llegar

a un color demasiado oscuro típico de la carne DFD. Se hipotetizaba también que no habría una diferencia significativa entre razas al tratarse del mismo músculo, ya que la craza (E) no presentó gran índice de marmoleo y las pérdidas por agua se presentaron uniformes entre las dos razas.

Los valores **L* a* b* y C*** no presentaron diferencias significativas entre grupo racial ($p > 0.05$) y día de evaluación ($p > 0.05$), pero si en la interacción de raza $\times$ día ($p < 0.05$) sobre el m. *L. Lumborum*. Las medias y errores estándar por grupo experimental pueden ser observados en la Figura 5.

Luminosidad (L*). Desde el d 0 al d 30 las muestras de carne del grupo (E) se mostraron ligeramente más brillantes sin ser significativamente diferentes del grupo (C). El grupo C presentó luminosidad ascendente durante todo el análisis, mostrando una marcada trayectoria en el d 15 hasta estabilizarse de nuevo al d 30 (33.69 ± 2.93 ; 35.53 ± 2.63 ; 35.29 ± 2.63). El grupo E por su parte mantiene una tendencia en descenso hasta posicionarse en unas coordenadas relativamente iguales al grupo C (Figura 5).

Tendencia al rojo (a*). Esta coordenada fue diferente entre grupos raciales. En el caso del ganado E, se observa una dinámica estable (20.01 ± 1.05) hasta el d 15, a partir del cual desciende (19.30 ± 2.13) al d 30. En el grupo C se revelan un aumento no significativo a partir del d 0 (19.20 ± 1.85) hasta el d 15 (20.90 ± 1.59), posteriormente sufren un descenso también a partir del d15 hasta establecerse en un mejor parámetro que el grupo E (20.16 ± 1.25) al final del análisis.

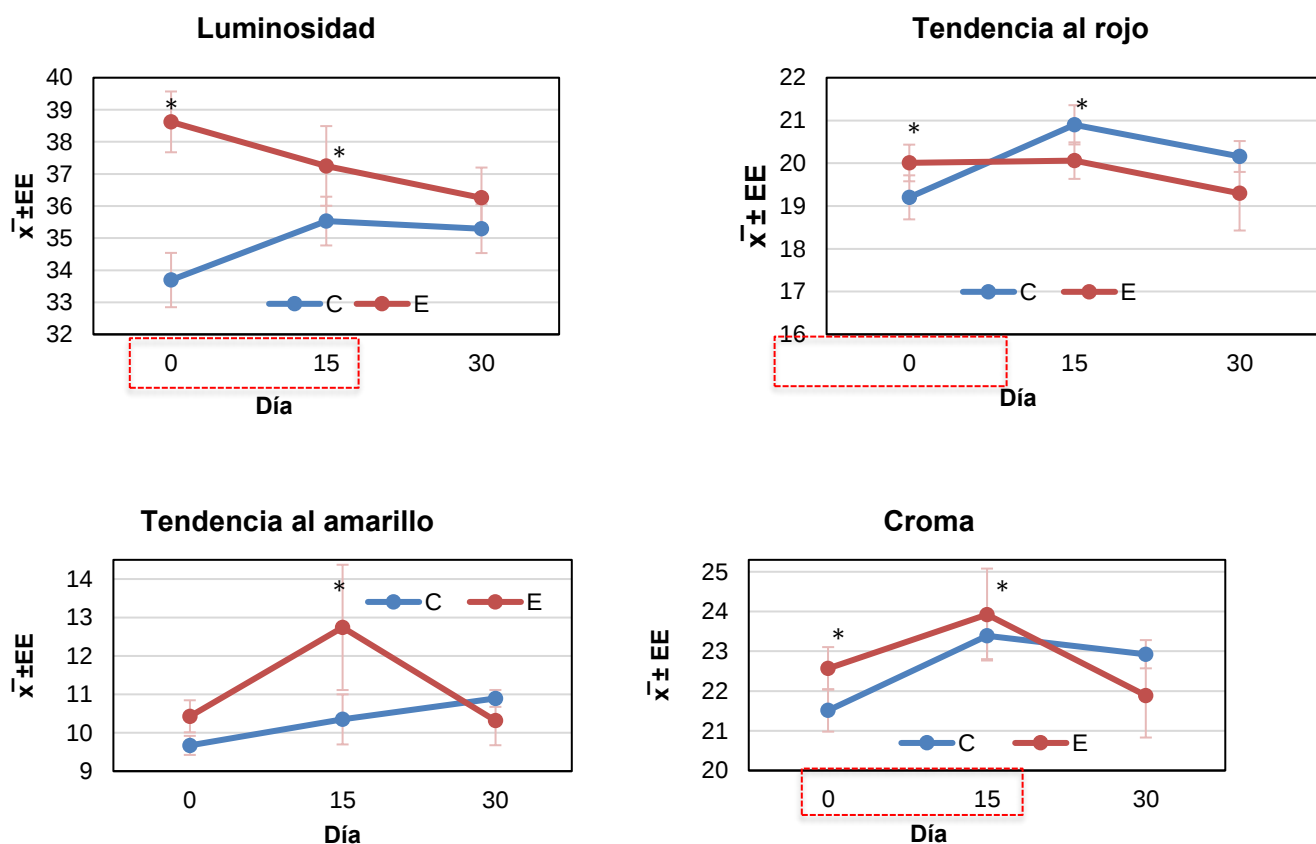
A partir del d 15 las muestras experimentaron un descenso en la intensidad de a^* lo que indica una pérdida de color rojo brillante ($p < 0.05$). El grupo C logró conservar mejor su tendencia al enrojecimiento sin diferencia sustancial hasta el d30.

Tendencia al amarillo (b^*). Los dos músculos presentaron diferencia en la tendencia de la coordenada b^* . Sin embargo, no hubo diferencia al final de la evaluación. El grupo E presentó coloraciones ascendentes vertiginosas del d0 al d15 del análisis, a partir del cual desciende hasta estabilizarse de nuevo al d30 (9.67 ± 0.86 , 10.35 ± 2.26 , 10.89 ± 0.76). El grupo Criollo tiene una tendencia constante al descenso desde el d0 hasta posicionarse por debajo del grupo E (Figura 5).

Croma (C^*). En ambos grupos raciales se desarrolló de manera similar la actividad del C^* , partiendo en 21.25 ± 0.53 hasta situarse en 23 ± 0.59 al d15 de añejamiento y finalmente verse disminuido hasta 22 ± 0.35 . No existió un efecto significativo ($p > 0.05$) entre razas, ni interacción entre factores, pero se observó efecto de día sobre las coordenadas a^* y b^* .

El color de la carne es el aspecto subjetivo más importante en la calidad de carne. La coloración típica de los productos cárnicos depende principalmente de la concentración de mioglobina (Mb), el grado de oxidación de la grasa, el estado de la estructura externa del músculo, el contenido de grasa entreverada y su pH (Beriaín *et al.*, 2009).

Después de la faena y durante el periodo de almacenamiento la tasa de acumulación de la meta-mioglobina (MMb) sobre la superficie de la carne depende de factores intrínsecos como pH, tipo de metabolismo muscular, especie, estado



Grafica 5: Medias ($\pm$ E.E.) de parámetros de color (L^* , a^* , b^* y Croma) de m. *Longissimus lumborum* de dos grupos raciales de bovinos: Europeo cruza Angus $\times$ Hereford (E) y Criollo Rarámuri (C) con tratamientos de 0, 15 y 30 d de maduración en seco. *Indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

fisiológico, raza, alimentación, almacenamiento y de factores externos como temperatura y tiempo de almacenamiento, disponibilidad de oxígeno y luz (Beriaín *et al.*, 2009; Mancini y Hunt, 2005).

En el proceso de maduración en seco es común que varios de estos factores internos sean afectados e influyan en la coloración de la carne pH, CRA, incluso la estructura superficial de la carne se puede ver afectada por ataque de microorganismos debido a las condiciones de almacenamiento. Según Feldhusen *et al.* (1995) los valores L^* , a^* y b^* son susceptibles a aumentar con el tiempo de almacenamiento.

L^* es una medida de tendencia de oscuridad y luminosidad, mayores valores de L^* indican un color más claro. Un valor de $L^* = 100$ indica que toda la luz incidida es reflejada y un valor de $L^* = 0$ indica que toda la luz incidida es absorbida (sensing.konicaminolta.us).

Los incrementos observados en la coordenada L^* en carne madurada se asocian con la reducción de la actividad respiratoria de las mitocondrias que proporciona una mayor oxigenación de la molécula de mioglobina y se traduce en una mayor formación de oximioglobina o un aumento en la dispersión de luz. Esto es provocado por las rupturas estructurales que ocurren en las proteínas durante el tiempo de maduración (Beriaín *et al.*, 2009).

Mazzucco *et al.* (2010) detectaron aumentos en los valores de L^* (37,78, 39,23 y 40,24) con el avance en el tiempo de maduración en carne Brangus al comparar distintos tiempos de añejamiento (1, 7 o 14 d) de muestras de músculo *Longissimus dorsi*.

Sin embargo, no todos los procesos de maduración afectan decisivamente los parámetros de colorimetría de la carne. Oliete *et al.* (2006) reportaron efectos

significativos en L^* manteniéndose constante hasta los 14 d de almacenamiento por maduración en húmedo. En el presente experimento, los dos grupos raciales mostraron un descenso de la coordenada L^* . En el grupo E fue a partir del d 0, y en el grupo C a partir del d 15, habiendo recuperado antes algunos grados a causa de una mayor oxigenación.

Es de resaltar que a partir del d 15 ningún grupo racial aumentó sus niveles de L^* , esto pudiera explicarse por una destrucción masiva de estructuras superficiales e internas que no permitan la salida de luz, así como una sustancial pérdida de agua.

La coordenada a^* (tendencia al rojo) en la carne se relaciona con el contenido de mioglobina o la pérdida de ella. La disminución del color rojo a^* en *L. lumorum* pueden asociarse con el aumento de la pérdida de agua, aumentando consecuentemente la pérdida de mioglobina durante el tiempo de almacenamiento, lo que favorece la reducción del enrojecimiento (Faustman *et al.*, 2010).

Lo observado en este estudio fue una tendencia parecida en las variables analizadas en el trabajo. El ganado Criollo obtuvo números iniciales inferiores a los del grupo E. Sin embargo, a medida que pasaban los días del añejamiento (d 0 – d 15), el grupo C eleva en varios grados la coloración rojiza hasta el d15 del experimento donde alcanza su máximo (19.20 ± 1.78 - 20.90 ± 1.59 - 20.16 ± 1.25) igualando numéricamente por décimas al grupo E (20.06 ± 1.05), que se mantuvo constante desde el inicio hasta el d 15 donde su enrojecimiento tiende a descender hasta el d 30 (19.30 ± 2.13).

Si bien el comportamiento de las muestras Angus se condujo sobre los estándares de una trayectoria normal, es de notar que las muestras del grupo Criollo tuvieron un comportamiento ascendente desde el d0 hasta d15 sin caer drásticamente

hasta el d 30. Dado que las condiciones de añejamiento son las mismas, este fenómeno podría explicarse mediante el factor raza. La pérdida de color rojo de la carne se atribuye a la acumulación de metamioglobina por oxidación de la mioglobina, la oxidación lipídica y a productos de estas reacciones cuando se combinan con (Oxígeno y hierro en la sangre) y a la pérdida de agua en la superficie (Faustman et al., 2010). En este sentido, se considera que posiblemente debido a lo magro de la carne de ganado criollo, ésta estuvo menos expuesta a la rápida oxidación de lípidos, lo que le permitió obtener un rojo cereza típico de la carne y posteriormente conservarlo de mejor manera hasta el fin del experimento. Otra posible causa a tomar en cuenta es la disposición de fibras rojas y a la deposición de antioxidantes derivados del pastoreo.

La coordenada b* tendencia al amarillo, en la carne es relacionada con los colores cercanos al naranja. Debido a una disminución del enrojecimiento intenso. Las coordenadas b* presentaron tendencias con diferencia significativa ($p < 05$) en el tiempo de maduración al d 15. Mostrando el grupo Angus una elevación rápida en su tendencia al b* hasta en tres grados en su escala para luego bajar su tendencia y conducirse hasta su punto de partida en d 0. Por su parte el grupo C, mostró una trayectoria ascendente de sus niveles en las coordenadas b* desde el d 0 hasta el d 30 aumentando su tendencia a la alza en 0.08 grados hasta el final de la prueba, terminando en un (0.04) sobre la coordenada d 30 del grupo E. Aunque la amarillez de la carne se ha relacionado con altos contenidos de beta-carotenos debido al consumo de pasturas. En este caso el comportamiento diferente de los dos grupos puede deberse a efectos raciales. Las tonalidades amarillas están normalmente relacionadas con la aparición del color café en carne, derivado de la oxidación de mioglobina a metamioglobina. Aparentemente, el ganado Criollo mantiene una mejor estabilidad y

valores bajos de las tonalidades amarillas, lo que pudiera reflejarse en la aparición más retardada de colores café indeseables (Oyagüe, 2007).

El croma (C*) es una medida del total o de la intensidad del color (mayores valores de C* indican un color total mayor y/o un color más vivo). Es decir, describe qué tan claro u opaco es el color (American Meat Science Association, 2012) y es un buen indicador de la oxigenación de la carne recién expuesta al aire. Los niveles de saturación de Croma se situaron dentro de lo normal. Los comportamientos en saturación de color fueron correspondientes a las trayectorias que mostraron en la coordenada a* y que se conservan en niveles óptimos de coloración.

Por lo tanto, el tratamiento maduración en carne de bovino criollo no puede representar una desventaja para la saturación del color de la carne en la discriminación del consumidor, todos los parámetros se mantuvieron dentro de lo aceptable como carne muy roja.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que la maduración en seco tiene un efecto ablandador altamente positivo en la carne de bovino, sin afectar las características consideradas en la calidad de carne como el color, pH, capacidad de retención de agua y textura. De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda el uso de la maduración en seco como método de ablandamiento en carnes magras de cualquier cruce bovino y es efectiva para lograr una terneza comparable con las razas Angus y Hereford conocidas como productoras de carne de alta suavidad. Por otra parte, nuestro estudio destruye todas las anécdotas negativas que se han dirigido sobre la calidad de la carne de bovino Criollo, ya que desde el día 0 de maduración de comparación, la carne tuvo niveles de terneza muy aceptables dentro de lo que se considera carne suave, atribuyendo a otros factores como alimentación, sacrificio y al manejo ante y post mortem la posible dureza de la carne de bovino Criollo.

El estudio presenta algunas áreas que pudieran atenderse en posteriores trabajos sobre bovinos Criollos para obtener información más completa y lograr conclusiones mejor sustentadas, como; metabolismo de grasas, pérdidas en procesos de añejamiento en seco, el aspecto de costos económicos, aceptación en el mercado y barreras comerciales. Aunado a lo anterior, el estudio detecta como la problemática más visible para el desarrollo de estudios posteriores es la cada vez más real desaparición de las razas criollas en el país. A este respecto se considera ponderar la protección de los recursos genéticos mexicanos con miras a una recuperación de los hatos ganaderos y que sean una opción real en el rubro alimentario. No obstante que se conocen las virtudes adaptativas del bovino Criollo, el estado de Chihuahua al ser poseedor de una de las reservas más numerosas de ganado Criollo, tiene la

oportunidad de aprovechar sus recursos genéticos para encausar nuevas investigaciones que logren dilucidar la verdadera capacidad productiva del bovino Criollo Rarámuri.

REFERENCIAS

- Abril, M., Campo, M. M., Önenc, A., Sañudo, C., Albertí, P. & Negueruela, A. I. (2001). Beef colour evolution as a function of ultimate pH. *Meat Science*, 58(1), 69–78. [https://doi:10.1016/S0309-1740\(00\)00133-9](https://doi:10.1016/S0309-1740(00)00133-9).
- Álvarez, C., & meliza, m. B. (2021). Efecto de la suplementación de proteinato de cobre en las características histoquímicas y de la canal de cerdos pelón mexicano y Landrace x Duroc.
- Ahnström, M. L, Seyfert, M., Hunt, M. C, Johnson, D. E. (2006). Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. *Meat Science*, 73(4), 674–679. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2006.03.006>.
- Alarcón, A. D. & Dransfield, E. (1989) Effect of calcium ions on texture of beef during conditioning. Proceedings. *International Congress of Meat Science and Technology No. 35*(3), 1141-1144.
- Alarcon-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodriguez, J. C., Paniwnyk, L., & Mason, T. J. (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat science*, 107, 86-93.
- Alor, R. A., Fernández, F., Vásquez, P. J., romero, R. & Ocrosopoma, R. W. (2014). Influencia del cloruro de sodio y polifosfatos de sodio en la capacidad de retención de agua (CRA) en la carne de pollo. Repositorio digital Universidad Nacional de Huacho Perú. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/1597>.
- American Meat Science Association. (2012). *Meat Color Measurement Guidelines Meat Color Evaluation Guide*. https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/hot-topics/2012_12_meat_clr_guide.

- Amerling, C. (2001). *Tecnología de la carne*. MONTES DE OCA, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia. <https://isbn.cloud/9789968311083/tecnologia-de-la-carne/>
- AMSA (2016). *Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat (2nd ed.)*. American Meat Science Association.
- Andújar, G., Pérez, D., & Venegas, O. (2003). Química y bioquímica de la carne y los productos cárnicos. *Editorial Universitaria. Ciudad de La Habana, Cuba. 125p.*
- Andújar, G., Pérez, D. & Venegas, O. (2009). *Química y bioquímica de la carne y los productos cárnicos*. Editorial Universitaria. <https://1library.co/es/download/881190271875022851>.
- Anibal, P. (2013). Importancia del estudio del bienestar animal. https://www.produccion-animal.com.ar/libros_on_line/57-INTA_Carne.pdf#page=142.
- Apple, J.K., Kegley, E.B., Boger, C.B., Roberts, J.W., Galloway, D. & Rakes, L.K. (2002). Effects of restraint and isolation stress on stress physiology and the incidence of dark-cutting longissimus muscle in Holstein steers. *Arkansas Agricultural Experiment Station Research*, 499, 73-77. <https://scholarworks.uark.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1123&context=aaesser>
- Ashie, I., Simpson, B. K. (1997). Proteolysis in food myosystems. *Journal of food Biochemistry* 21(2), 91- 123.
- Astiasarán, I. & Martínez J. A. (2000). *Alimentos. Composición y propiedades*. McGraw-Hill-Interamericana. <https://fisiogenomica.com/assets/Blog/pdf/Alimentos-Composicion-y-Propiedades>.
- Baker, R.L. & Gray, G.D. (2004). Appropriate breeds and breeding schemes for sheep and goats in the tropics. *In: Sani, R.A., Gray, G.D. & Baker, R.L. (Eds.), Worm control for*

- small ruminants in tropical Asia (pp. 63-95). Australian Centre for International Agricultural Research. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/2920>.
- Bandman, E. (1994). Química de los tejidos animales (2^a. ed.). En J.F. Price y B.S. Schweigert (Eds), *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. (pp. 57-92). Acribia.
- Barbut, S. (2001). Basic anatomy and muscle biology. In Poultry products processing and industry guide (p. 54-70). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420031744>.
- Basson, A., Strydom, P. E., Van Marle-Köster, E., Webb, E. C. & Frylinck, L. (2022). Sustained Effects of Muscle Calpain System Genotypes on Tenderness Phenotypes of South African Beef Bulls during Ageing up to 20 Days. *Animals*, 12(6), 1-25. <https://doi.org/10.3390/ani12060686>.
- Belew, J.C. Brooks, D.R. McKenna, J.W. Savell, Warner–Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles, *Meat Science*, Volume 64, Issue 4, 2003,
- Bekhit, A. & Faustman, C. (2005). Metmyoglobin reducing activity. *Meat Science*, 71, 407–39.
- Bendall, J. R. (1973). Biochemistry of rigor mortis and cold-contraction. *XIXth European Meeting of Meat Research Workers*. https://digicomst.ie/wp-content/uploads/2020/05/1973_01_00.
- Berian, M. J., Goñi, M. V., Indurain, G., Sarriés, M. V. & Insausti, K. (2009). Predicting *Longissimus dorsi* myoglobin oxidation in aged beef based on early *post mortem* color measurements on the carcass as a color stability index color. *Meat Science*. 81(3), 439-445. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174008003161>.
- Birkhold, S. G. & Sams, A. R. (1995). Comparative ultrastructure of pectoralis fibers from electrically stimulated and muscle- tensioned broiler carcasses. *Poultry Science*, 74(1), 194-200. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119457155>.
- Bocchetto, I. A. & Reynoso, J. J. (2017). Derribando mitos sobre ganado criollo: revisión

bibliográfica. Repositorio Digital UNC. <http://hdl.handle.net/11086/5990>.

Boehm, M. L., Kendall, T. L., Thompson, V. F. & Goll, D. E. (1998). Changes in the calpains and cal-pastatin during postmortem storage of bovine muscle. *Journal of Animal Science*, 76(9), 2415-34. <https://doi.org/10.2527/1998.7692415x>.

Braña, D., Ramírez, E., Rubio, M., Sánchez, A., Torrescano, G., Arenas, M. & Ríos, F. (2011). Manual de análisis de calidad en muestras de carne. SAGARPA. <http://www.anetif.org/files/pages/0000000034/03-manualde-analisis-de-calidad-en-muestras-de-carne>.

Bravo, L. J. & Alvis, M. A. (2019). *Evaluación de mermas en carnes de res sometidas a diferentes técnicas culinarias* [Tesis Doctoral, Universidad del Sinú] Repositorio Universidad Sinu Cartagena. <http://repositorio.unisinucartagena.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/233>.

Buzter, K. W. (1988). Cattle and Sheep from old to new spain: Historical antecedents. *Annals of the Association of American Geographers*, 78(1), 29-56. <https://www.jstor.org/stable/2563439>.

Campbell, R. E., Hunt, M. C., Levis, P., & Chambers, E. (2001). Dry-aging effects on palatability of beef longissimus muscle. *Journal of Food Science*, 66, 196-199.

Campo, M. M., Sañudo, C., Panea, B., Alberti, P. & Santolaria, P. (1999). Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. *Meat Science*, 51(4), 383-390. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)00159-4](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)00159-4).

Caraveo, R. O. (2022). *Ultrasonido Como Herramienta Para Mejorar La Calidad De La Carne De Bovinos Criollo Rarámuri* [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma De Chihuahua]. Repositorio Informático Institucional. <http://repositorio.uach.mx/id/eprint/508>.

- Carvajal, L. M., Ospina, N., Martínez, O. L., Ramírez, L., Restrepo, C. C., Adarve, S. S. & Restrepo, S. L. (2008). Evaluación de textura a cinco cortes de carne de res conservados por esterilización en envase de hojalata. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 15(2), 232-243. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v15n2/v15n2a05>.
- Casas, E., White, S. N., Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., Koohmaraie, M., Riley, D. G., Chase Jr, C. C., Johnson, D. D. & Smith T. P. L. (2006). Effects of calpastatin and μ -calpain markers in beef cattle on tenderness traits. *Journal of Animal Science*, 84, 520-525.
- Chardulo L. A. L., Silveira, A. C. & Vianello, F. (2013). Analytical Aspects for Tropical Meat Quality Assessment. *Springer*, 53-62. https://doi:10.1007/978-3-7091-1640-1_4.
- Chevalier, F. (1976). *La formación de los latifundios en México: tierra y sociedad en los siglos XVI y XVII* (2a ed.). (A. Alatorre, trad.). Fondo de Cultura Económica.
- Cho, S., Kang, S-M., Kim, Y-S., Kim, Y-C., Ba, H. V., Seo, H-W., Lee, E-M., Seong, P-N. & Kim, J-H. (2018). Comparison of Drying Yield, Meat Quality, Oxidation Stability and Sensory Properties of Bone-in Shell Loin Cut by Different Dry-aging Conditions. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(6), 1131–1143. <https://doi:10.5851/kosfa.2018.e52>.
- Choi, Y. M., Hwang, S. & Lee K. (2016). Comparison of muscle fiber and meat quality characteristics in different japanese quail lines. *Asian-Australas journal of animal sciences*, 29, 1331-1337. <https://doi:10.5713/ajas.16.0329>.
- Consigli, R. I. (2023, 21 de marzo). Bienestar animal: tipos de carnes debido al estrés y maltrato animal. Agroglobal. <https://agroglobalcampus.com/bienestar-animal-tipos-de-carne-debido-al-estres-y-maltrato-animal/>.
- Corpoica (2010). Evaluación del crecimiento, calidad de la canal y cortes de carne en cinco

grupos raciales bovinos de la Orinoquia colombiana. Informe Final proyecto de investigación. 122pp.

Cubero-Rojas, R. A., Mora-Peraza, E., WingChing-Jones, R., & Calderón-Villaplana, S. (2013).
Maduración del solomo (Biceps femoris) en vacas de descarte Bos indicus y Bos
Taurus. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 433-440.

http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000200020&lng=en&tlng=es.

Cuetia, J. A., Posso, A. M., Hernández, D. Y., Ariza, M. F., Muñoz, J. E. & Alvarez L. A. (2011).
Polimorfismos de los genes calpaina y calpastatina en diez razas bovinas criollas
mediante siete marcadores de polimorfismo de nucleótidos simple (SNPS). *AICA* 1,
191-194.

Cubero Rojas RA, Mora Peraza E, WingChing Jones R, Calderón Villaplana S. 2013.
Maduración del solomo (Biceps femoris) en vacas de descarte Bos indicus y Bos taurus.
Agronomía Mesoamericana; [consultado el 1 de jun. de 2021]. 24(2).
<https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v24n2/a20v24n2.pdf>.

Dashdorj, D., Tripathi, V. K., Cho, S., Kim, Y. & Hwang, I. (2016). Dry aging of beef; Review.
Journal of Animal Science and Technology, 58(20), 1-11. <https://doi:10.1186/s40781-016-0101-9>.

De Alba, J. (2011). Los Criollos Lecheros Tropicales. En *Los Bovinos Criollos de América* (pp. 92-98) Biblioteca Básica de Agricultura.

De Geer S. L, Hunt, M. C., Bratcher, C. L., Crozier-Dodson, B. A., Johnson, D. E. & Stika, J. F. (2009). Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging

processes for two aging times. *Meat Science*, 83(4), 768-774. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2009.08.017>.

Goll, D. E., Thompson, V. F., Li, H., Wei, W. E. I., & Cong, J. (2003). The calpain system. *Physiological reviews*.

Del Cid, R. & Criado, A. M. (2001). Química de la cocina. Un enfoque para maestros y maestras. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 28, 77-84.

Dikeman, M. E., Obuz, E., Gök, V., Akkaya, L. & Stroda, S. (2013). Effects of dry, vacuum, and special bag aging; USDA quality grade; and end-point temperature on yields and eating quality of beef Longissimus lumborum steaks. *Meat Science*, 94(2), 228-233. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2013.02.002>.

Diles, J. J., Miller, M. F, Owen, B. L. (1994). Calcium chloride concentration, injection time, and aging period effects on tenderness, sensory, and retail color attributes of loin steaks from mature cows. *Journal of Animal Science*, 72(8), 2017-2021. <https://doi:doi:10.2527/1994.7282017x>.

Dry Ager. (2022). Operating Instructions. DRY AGER® DX 500 https://www.dry-ager.com/wp-content/uploads/dryager_dx500_operating-instructions.

Duarte, O. A. (1997). El Ganado Criollo mexicano un recurso que se debe preservar. Acontecer bovino. Ediciones Pecuarias de México. México.

Echeverría, M. (2015). *Determinación mediante análisis de imagen del tamaño de los adipocitos de diferentes músculos de ganado bovino* [Tesis de grado, Universidad pública de Navarra]. Repositorio Universidad de Navarra. <https://academica->

e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/19398/ECHEVERR%C3%8DA%20ESAND
I_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Elgasim, E. A. & Kennick, W. H. (1982). Effect of high hydrostatic pressure on meat microstructure. *Food Microstructure*, 1(1), 75- 82.

Estévez, D., Holgado, F., Tessi, J., Fernández, E., Género, E. & Martinez, R. (2019). Estudio de frecuencias en marcadores de terneza en bovinos criollos argentinos. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 14, 73-79.
<https://www.aicarevista.com/n%C3%BAmoros/vol%C3%BAmEn-14-2019/>.

Etherington, D. J., Taylor, M. A. J. & Dransfield, E. (1987). Conditioning of meat from different species. Relationship between tenderising and the levels of cathepsin B, cathepsin L, calpain I, calpain II and b-glucuronidase. *Meat Science.*, 20, 1

FAO. (2014). AGS: Calidad de la carne. [en línea]. <<http://www.fao.org/ag/ags>.

FAO. 2007. La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura, editado por Rischkowsky y D. Pilling. Roma.

Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R. & Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86(1), 86-94.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.025>.

Feldhusen, F.; Warnataz, A.; Erdmann, R. y Wenzel, S. (1995). Influence of storage time on parameters of color stability on beef. *Meat Science*, 40(2), 235-243. [https://doi:10.1016/0309-1740\(94\)00048-c](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)00048-c).

Ferreira, F. M., Bernardo, A. P. S., Gomes, C. L. & Pflanzner, S. B. (2018). Effect of Aging Temperature on the Physicochemical Quality of Dry- And Wet-Aged Beef. *Meat and Muscle Biology*, 2(2), 121. [https://doi:10.22175/rmc2018.108](https://doi.org/10.22175/rmc2018.108).

- Field, R., McCormick, R., Balasubramanian, V., Sanson, D., Wise, J., Hixon, D., Riley, M., & Russell, W. (1997). Tenderness variation among loin steaks from A and C maturity carcasses of heifers similar in chronological age. *Journal of Animal Science*, 75(3), 693-699. <https://doi:10.2527/1997.753693x>.
- Fischer, K. (2007). Drip loss in pork: influencing factors and relation to further meat quality traits. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 124(1), 12-18. <https://doi:10.1111/j.1439-0388.2007.00682.x>
- Flórez, H., León, L. M., Ballesteros, H., Castañeda, S., Moreno, E., Martínez, G., Torres, J. C. & Peña, F. (2015). Calidad de la carne de bovinos criollos y europeos y sus cruces con cebú en las condiciones de la Orinoquia colombiana. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal AICA*, (6), 381-387. <https://www.aicarevista.com/n%C3%BAmeros/vol%C3%BAmen-6-2015/>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2012), Trends in the livestock sector, 198-213., Statistics Division. <http://faostat3.fao.org/home/E>
- Forrest, J. C., Aberle, E. D., Hedrick, H. B., Judge, M. D. & Merkel, R. A. (2012). (5 th ed) *Principles of Meat Science*. Kendall Hunt Publishing Company. <https://he.kendallhunt.com/product/principles-meat-science>
- García, B. (1994). Los primeros pasos del ganado en México. *Relaciones: Estudios de historia y sociedad*, XV(59), 11-44. <http://www.uinic.info/Primerospasosdelganadoenmexico>.
- García, J. A. (2020). Maduración de carne vacuna: beneficios, prácticas y retos en la industria cárnica: Revisión de Literatura [Trabajo de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras]. Biblioteca Digital-Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c7cf7511-9571-467c-b218-04f8da385fd3/content>.

- Garcia-Galicia I. A. (2010). Antioxidant content, fatty acid composition and shelf life of beef from commercial and tradition beef breeds [Ph.D. Dissertation, University of Bristol].
- Ginja, C., Gama, L. T., & Cortés, O. (2019). The genetic ancestry of American Creole cattle inferred from uniparental and autosomal genetic markers. *Sci Rep.*, 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47636-0>.
- Godoy, C. R. (2009). Introducción a la evaluación sensorial en la industria de alimentos [en línea]. <http://inocuiton.blogspot.com/2009/10/introduccion-la-evaluacionsensorial-en.html>.
- Goll, D. E., Otsuka, Y., Nagainis, P. A., Shannon, J. D., Sathe, S. K. & Muguruma, M. (1983). Role of muscle proteinases in maintenance of muscle integrity and mass. *Journal of Food Biochemistry*, 7(3), 137-177.
- Goll, D. E., Thompson, V. F., Li, H., Wei, W. & Cong, J. (2002). The calpain system. *Physiol Rev.*, 83, 731-801. <http://doi: 10.1152/physrev.00029.2002>.
- Goll, D. E., Thompson, V. F., Taylor, R. G. & Ahmed, O. (1998). The calpain system and skeletal muscle growth. *Canadian Journal of Animal Science*, 78(4), 503-512.
- González, D. (1989). Breve Historia de la Ganadería en Chihuahua. In: L. O. Parada (Ed.). Tecovet de México.
- Hall, J. E. (2015). *Guyton and hall textbook of medical physiology* (13th ed.). W B Saunders.
- Hamm, R. (1960). Biochemistry of meat hydration. *Advances in food research*, 10, 355-463. [https://doi.org/10.1016/s0065-2628\(08\)60141-x](https://doi.org/10.1016/s0065-2628(08)60141-x).
- Hamm, R. (1966). Heating of muscle systems. En J. C. Forrest, Elton D. Aberle, Harold B. Hedrick, Max D. Judge and Robert A. Merkel (Eds.), *Principles of Meat Science*.

- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. In P. J. Bechtel (ed.), *Muscle as Food* (pp. 135) Academic Press.
- Harsham, A. & Deatherage, F.E. (1951) U.S. Patent, 2544681.
- Hawkins, R. R., Kemp, J. D., Ely, D. G., Fox, J. D., Moody, W. G. & Vimini, R. J. (1985). Carcass and meat characteristics of crossbred lambs born to ewes of different genetic types and slaughtered at different weights. *Liv. Prod. Sci.*, 12, 241-250.
- Hernández, J. y Ríos, F. G. (2009). Efecto de los grupos raciales bovinos en las características de la calidad de la carne. *Nacameh*, 3(1), 1-20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3654509>.
- Hill, R. W. (2021). *Fisiología animal comparada*. Reverte.
- Hocquette, J. F., Ellies-Oury, M. P., Lherm, M., Pineau, C., Deblitz, C., Farmer, L. (2018). Current situation and future prospects for beef production in Europe - A review. *Asian-Australas journal of animal sciences*, 31(7), 1017-1035. <https://doi:10.5713/ajas.18.0196>.
- Holgado, F. D. & Ortega, M. F. (2019). Caracterización productiva del bovino Criollo Argentino: periodo 2006-2016. Ediciones INTA.
- Huerta, N. O., Rodas, A. R. & Smith, G. C. (2004). Effect of vacuum aging and influence of sire on palatability of beef *longissimus* from grass-fed F1 senepol x zebu bulls. *Revista científica*, XIV(3). <https://www.redalyc.org/pdf/959/95914311>.
- Huff-Lonergan, E., Parrish, F. C., Jr, & Robson, R. M. (1995). Effects of postmortem aging time, animal age, and sex on degradation of titin and nebulin in bovine longissimus muscle. *Journal of animal science*, 73(4), 1064-1073. <https://doi.org/10.2527/1995.7341064x>

- James, S.J. & James, C. (2002) -Meat Refrigeration, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 231-250, ISBN 9781855734425, <https://doi.org/10.1016/9781855736535.2.231>.
- Jara, J. P. (2007). Efecto del pH Sobre la conservación de carne de bovino de corte oscuro (DFD) envasada al vacío, almacenada a 0 °C. [Trabajo de grado, Universidad Austral de Chile] Tesis Electrónicas UACH. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/faj.37e/doc/faj.37e>.
- Jaramillo, A. (2016). Efecto de dos métodos de maduración en las características físicas, microbiológicas y sensoriales del músculo *Longissimus dorsi* de res [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana de Honduras].
- Joo, S. T., Kim, G. D., Hwang, Y. H. & Ryu, Y. C. (2013). Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Science*, 95(4), 828-836. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.044>.
- Jordan, T. G. (1989). An Iberian Lowland/Highland model for latinamerican Cattle Ranching. *Journal of Historical Geography*, 15(2), 111-125. [https://doi.org/10.1016/S0305-7488\(89\)80015-5](https://doi.org/10.1016/S0305-7488(89)80015-5).
- Kadim, I. T., O. Mahgoub, D. S. Al-Ajmi, R. S. Al-Maqbaly, N. M. Al-Saqri, and A. Ritchie. (2004). An evaluation of the growth, carcass and meat quality characteristics of Omani goat breeds. *Meat Science*, 66(1), 203-210. [https://doi:10.1016/S0309-1740\(03\)00092-5](https://doi:10.1016/S0309-1740(03)00092-5).
- Khan, M. I., Jung, S., Nam, K. C. & Jo, C. (2016). Postmortem Aging of Beef with a Special Reference to the Dry Aging. *Food Science of Animal Resources*, 36(2), 159-169. <https://doi:10.5851/kosfa.2016.36.2.159>.

- Kilkenny, M. & Schluter, G. (2001). Value-Added Agriculture Policies Across the 50 States. Economic Research Service, 16(1). [https://doi: 10.22004/ag.econ.289482](https://doi.org/10.22004/ag.econ.289482).
- Kim, J. H., Kim, T. K., Shin, D. M., Kim, H. W., Kim, Y. B. & Choi, Y. S. (2020). Comparative effects of dry-aging and wet-aging on physicochemical properties and digestibility of Hanwoo beef. *Asian-Australas journal of animal sciences*, 33(3), 501-505. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0031>.
- Kim, K. H. & Kim, Y. S. (1997). The effects of sample storage and handling condition on calpain I and II and calpastatin activities in skeletal muscles. *Korean Journal of Animal Science* 39(5), 617-624.
- Kim, Y. H. B., Kemp, R., Samuelsson, L. M. (2016). Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat Science*, 111, 168–176. [https://doi:10.1016/j.meatsci.2015.09.008](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.09.008).
- Kim, Y. H. B., Ma, D., Setyabrata, D., Farouk, M. M., Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E., & Hunt, M. C. (2018). Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat Science*, 144, 74–90.
- Koohmaraie, M. (1992). The Role Of Ca^{2+} dependent proteases (Calpains) in *post mortem* proteolysis and meat tenderness. *Biochimie*, 74, 239-245. <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30400510/1992740239>.
- Koutsidis, G., Elmore J. S., Oruna-Concha, M. J., Campo, M. M., Wood, J. D. & Mottram, D. S. (2008). Water- soluble precursors of beef flavour. Part II: Effect of post-mortem conditioning. *Meat Science*, 79(2), 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.09.010>.

- Landaverde, C. A. (2009). Evaluación de uso de dos concentraciones de cloruro de calcio y dos tipos de empaque en la maduración de carne de res [Trabajo de grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras]. Biblioteca Digital-Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/43cd81f2-5b96-4877-a589-cef3a10aff00/content>.
- Lara, H. J. (2022). Evaluación de la calidad de carne vacuna (*Bos indicus*) bajo dos sistemas de maduración (seco y húmedo) [Trabajo de grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio Digital UCSG. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/17934>.
- Laster, M. A., Smith, R. D, Nicholson, K. L., Nicholson, J. D. W., Miller, R. K., Griffin, D. B., Harris, K. B. & Savell, J. W. (2008). Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer sensory attribute evaluations of steaks from ribeyes, strip loins, and top sirloins from two quality grade groups. *Meat Science*, 80(3), 795-804. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2008.03.024>.
- Lawrie, R. y Ledward, D. (2014). *Lawrie's Meat Science (7th ed.)*. Elsevier Science. <https://www.perlego.com/book/1832940/lawries-meat-science->.
- Lee, H. J., Choe, J., Yoon, J. W., Kim, S., Oh, H., Yoon, Y. & Jo. C. (2018). Determination of Salable Shelf-life for Wrap-packaged Dry-aged Beef during Cold Storage. *Korean Journal for Food Science Animal Resource*, 38(2), 251–258. <https://doi:10.5851/kosfa.2018.38.2.251>.
- Ledward, D. A.; Dickinson, R. F.; Powell, V. H. y Shorthose, W. F. (1986) *The colour and the stability colour of beef I. dorsi and semimembranous muscles after effective electrical stimulation*. *Meat Sci.* **16**, 245.

- Li, X., Babol, J., Bredie, W. L. P., Nielsen, B., Tománková, J. & Lundström, K. (2014). A comparative study of beef quality after ageing longissimus muscle using a dry ageing bag, traditional dry ageing, or vacuum package ageing. *Meat Science*, 97(4), 433-442. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2014.03.014>.
- Li, X., Babol, J., Wallby, A. & Lundström, K. (2013). Meat quality, microbiological status and consumer preference of beef gluteus medius aged in a dry ageing bag or vacuum. *Meat Science*, 95(2), 229-234. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2013.05.009>.
- Lopes, m. A. D. S., (2000). La economía ganadera en chihuahua: lineamientos generales en la segunda mitad del siglo xix. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, xxi(81), .[fecha de consulta 16 de noviembre de 2023]. Issn: 0185-3929.
- Lomiwes, D., Farouk, M. M., Wu, G. & Young, O. A. (2014). The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. *Meat Science*, 96(1), 646-651. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2013.08.022>.
- Magaña, J. G. y Segura-Correa, J. C. (2006). Body weights at weaning and 18 months of Zebu, Brown Swiss, Charolais, and crossbred heifers in south-east Mexico. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 123, 37-43. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2006.00556.x>.
- Magaña, J. G., Delgado, R. & Segura, J. C. (2002). Factores ambientales y genéticos que influyen en el intervalo entre partos y el peso al nacer del ganado Cebú en el sureste de México. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 36(4), 317-322. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193018080001>.
- Mancini, R. A. & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71,100-121. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2005.03.003>.

- Mancini, R. A. & Ramanathan, R. (2014). Effects of postmortem storage time on color and mitochondria in beef. *Meat Science*, 98:65-70. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.04.007>.
- Martínez Rocha, R. E., Ramírez Valverde, R., Núñez Domínguez, R., & García Muñiz, J. G. (2018). Parámetros y tendencias genéticas de variables de crecimiento para bovinos Romosinuano en México. *Nova scientia*, 10(21), 310-325.
- Martinez. R. D., (2015). Prejuicios que afectan a bovinos y ovinos criollos en Argentina. *Acta Iberoamericana de Conservación Animal*.
- Matthews, K. (2010). Comparison of three methods of packaging for the ageing / maturation of beef (dry ageing, in a permeable vacuum pack and standard vacuum packaging). Matthews EBLEX.
- Mazzucco, J. P., Melucci, L. M., Villareal, E. L., Mezzadra, C. A., Soria, L., Corva, P., Motter, M. M., Schor, A. & Miquel, M. C. (2010). Effect of ageing and μ -calpain markers on meat quality from Brangus steers finished on pasture. *Meat Science*, 86(3), 878-882. [https://doi: 10.1016/j.meatsci.2010.07.015](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.07.015).
- Medina Ortega, Edgar Enrique (2016) [Eficiencia Alimenticia Neta En Becerras De Los Grupos Raciales Criollo Angus X Criollo Y Hereford X Angus](#). Maestría Thesis, Universidad Autonoma De Chihuahua.
- Miller, R. (2003). Assessing consumer preferences and attitudes toward meat and meat products. En: Brazilian Journal of Food Technology, special issue, p.67-80. 49º International Congress of Meat Science and Technology, Campinas.

- Morton, J. D., Bickerstaffe, R., Kent, M. P., Dransfield, E. & Keeley, G. M. (1999). Calpain-calpastatin and toughness in *M. longissimus* from electrically stimulated lamb and beef carcasses. *Meat Science*, 52, 71–79.
- Nagaraj, N. S., Anilakumar, K. R. & Santhanam, K. (2006). Biochemical and physicochemical changes in goat meat during postmortem aging. *Journal of muscle foods*, 17(2), 198-213. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2006.00045.x>.
- Neethling, N. E., Suman, S. P., Sigge, G. O., Hoffman, L. C., & Hunt, M. C. (2017). Exogenous and endogenous factors influencing color of fresh meat from ungulates. *Meat and Muscle Biology*, 1(1). <https://doi:10.22175/mmb2017.06.0032>.
- Nishiwaki, T., Ikeuchi, Y. & Suzuki, A. (1996). Effects of high pressure treatment on Mg-enhanced ATPase activity of rabbit myofibrils. *Meat Science*, 43(2), 145-155.
- O'Connor, S. F., Tatum, J. D., Wulf, D. M., Green, R. D. & Smith G. C. (1997). Genetic effects on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *R. Bras. Zootec.* 75(7), 1822–1830. <https://doi:10.2527/1997.7571822x>.
- Okos, M. R., Campanella, O., Narsimhan, G., Singh, R. K., & Weitnauer, A. C. (2019). Food dehydration. In D. R. Heldman, D. B. Lund & C. Sabliov (Eds.), *Handbook of food engineering* (pp. 799-950). CRC Press.
- Oliete, B., Carballo, J. A., Varela, A., Moreno, T., Minsserrat, L. & Sanchez, L. (2006). Effect of weaning status and storage time under vacuum upon physical characteristics of meat of the Rubia Gallega breed. *Meat Science*, 73, 102-108.
- Onopiuk, A.; Poltorak, A.; Wierzbicka, A. (2016). Influence of post mortem muscle glycogen content in the quality of beef during aging. *Journal of Veterinary Research*, 60(3), 301-307. <https://doi.org/10.1515/jvetres-2016-0046>.
- Orellana, C., Peña, F., García, A., Perea, J., Martos, J., Domenech, V. & Acero, R. (2009).

- Carcass characteristics, fatty acid composition, and meat quality of Criollo Argentino and Braford steers raised on forage in a semi-tropical region of Argentina. *Meat Science*, 81(1), 57–64. <https://doi: 10.1016/j.meatsci.2008.06.015>.
- Otsuka, Y., Homma, N., Shiga, K., Ushiki, J., Ikeuchi, Y. & Suzuki, A. (1998). Purification and properties of rabbit muscle proteasome, and its effect on myofibrillar structure. *Meat Science*, 49(4) 365-378.
- Oyagüe, J. M. (2007). Estabilidad del color de la carne fresca. *Nacameh*, 1(1), 67-74. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3987229>.
- Ozawa, S., Mitsuhashi, T., Mitsumoto, M., Matsumoto, S., Itoh, N., Itagaki, K., Kohno, Y. & Dohgo, T. (2000). The characteristics of muscle fiber types of longissimus thoracis muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers. *Meat Science*, 54(1), 65-70. [https://doi:10.1016/s0309-1740\(99\)00072-8](https://doi:10.1016/s0309-1740(99)00072-8).
- Parrish, F. C. & Lusby, M. L. (1983). An overview of a symposium on the fundamental properties of muscle proteins important in meat science. *Journal of Food Biochemistry*, 7(3), 125-135. <https://doi:10.1111/j.1745-4514.1983.tb00794.x>.
- Patiño, H. J. (2022). Evaluación de la calidad de carne vacuna (*Bos indicus*) bajo dos sistemas de maduración (seco y húmedo).
- Pearson, A. M. & Dutson, T. R. (1994). Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products. *Advances in Meat Research*, 9. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-2167-9>.
- Peinetti, H. R., Fredrickson, L., Peters, D. P. C., Cibils, A. F., Roacho-Estrada, J. O. & Laliberte, A. S. (2011). Foraging behavior of heritage versus recently introduced herbivores on desert landscapes of the American Southwest. *Ecosphere*, 2(5), 1-14. <https://doi.org/10.1890/ES11-00021.1>.

- Peña, R., Duran, D. S., & Baleta, L. C. (2015). Efecto del marinado con NaCl y tripolifosfato-sódico sobre las propiedades bromatológicas en carne de cabra. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 64-72. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/374/556>.
- Peña, S, Martínez, A, Villegas Castagnasso, E, Aulicino, M, Género, E.R, Giovambattista, G, & Martínez, R.D. (2017). Caracterización genética de cuatro poblaciones de ovinos criollos de Argentina. *BAG. Journal of basic and applied genetics*, 28(2), 43-55. Recuperado en 09 de noviembre de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-62332017000300005&lng=es&tlng=es.
- Penny, I. F., Etherington, D. J., Reeves, J. L. & Taylor, M. A. J. (1984) The action of cathepsin L and Ca-activated neutral proteases on myofibrillar proteins. *Proceedings of the European Meeting of Meat Research Workers, No. 30*, 3 (19), 133-134.
- Piedrafita, J., Quintanilla, R., Sañudo, C., Olleta, J-L., Campo, M-M., Panea, B., Izquierdo, M. (2003). Carcass quality of 10 beef cattle breeds of the Southwest of Europe in their typical production systems. *Livestock Production Science*, 82(1), 1-13. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00006-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00006-X).
- Pinedo, A. C., Hernández, Q. N. S., Melgoza, C.A., Rentería, V. M., Vélez, S. V. C., Morales, N.C., Quintana, R.M., Santellano, E.E. & Esparza, E. (2013). Diagnóstico Actual Y Sustentabilidad de los Pastizales del estado de Chihuahua ante el Cambio Climático. Cuerpo Académico de Recursos Naturales y Ecología (UACH-CA16). Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Mex. http://uniq.uach.mx/documentos/1/SGC/1351dt/1416dt/1519a/VIN_12.1%20FZYE%2028.pdf?1368479904.

- Plasse, D., Fossi, H., Hoogesteijn, R., Verde, O., Rodríguez, C., Rodríguez, R. (2000). Producción de vacas F1 *Bos taurus* x Brahman apareadas con toros Brahman y de vacas Brahman con toros F1 *Bos taurus* x Brahman versus Brahman. 1. Pesos al nacer, destete, 18 meses y peso final. *Livestock Research for Rural Development*, 12(4). <https://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd12/4/plas124a.htm>.
- Price, J. F. (1994). Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Productividad hasta el destete de vacas Criollo, Guzerat y sus cruzas F1. *Técnica Pecuaria en México*. 46, 1-12.
- Priolo, A., Micol, D. R. & Gabriel, J. (2001). Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour: a review. *Animal Research*, 50, 185-200.
- Quiroz, J. (2007). Caracterización genética de los bovinos criollos mexicanos y su relación con otras poblaciones bovinas [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba]. https://www.uco.es/conbiand/tesis/Jorge_Quiroz.
- Quispe, H., Cayo-Colca, I., & Saucedo, J. (2019). Correlación entre indicadores conductuales de bienestar animal y propiedades fisicoquímicas de la carne bovina. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1), 34–48.
- Quispe, J., Loza, M., Achu, C., & Quispe, E. (2019). Suplementación con borra de cerveza y maíz amarillo en engorde de toretes (*Bos taurus* L.) pastoreados en pradera native. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 6(2), 74-84.
- Raccach, M., Baker, R. C., Regenstein, J. M. & Mulnix, E. J. (1979). Potential application of microbial antagonism to extended storage stability of a flesh type food. *Journal of Food Science*, 44(1), 43-46.

- Ramírez, E. J., Nieto, D. F., Barragán-Hernández, W. A. & Restrepo, G. de J. (2021). Evaluación de atributos cárnicos y de calidad de la canal en ganado Blanco Orejinegro. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e2234. https://doi:10.21930/rcta.vol22_num3_art:2234.
- Ramírez-Bribiesca, E. (2018). Empaque para la conservación de carne y productos cárnicos. *Agro Productividad*, 6(1). Recuperado a partir de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/449>
- Reynoso, C. O., Villarreal, P. M. & Vásquez, P. C. G. (1987). Análisis del crecimiento hasta el destete de animales Bos taurus x Bos indicus criados bajo condiciones tropicales de México. *Técnica Pecuaria en México*, 25, 271-279.
- Rincón, G., Armstrong, E. & Postiglioni, A. (2006). Analysis of population structure in Uruguayan Creole cattle inferred from milk major gene polymorphisms. *Genetics and Molecular Biology*, 29(3), 491-495. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572006000300016>.
- Ríos, J. G., Rodríguez, A. F. A., Hernández, S. M. R., & Jiménez, C. J. (2000). Caracterización del sistema de producción del ganado Criollo de rodeo de la sierra de Chihuahua. In *Memorias del V Congreso Iberoamericano de razas Autóctonas y Criollas. La Habana, Cuba*.
- Ríos, U. A., Vega, M. V., Montañó, B. M., Lagunes, L. J. & Rosete, F.J. (1996). Comportamiento reproductivo de vacas Brahman, Indubrasil y cruza F1 Angus, Charolais, Hereford y Suizo Pardo x Cebú y peso al destete de sus crías. *Técnica Pecuaria en México*. 34, 20-27.

- Roacho, E. J. O. (2008). Uso de habitat por Ganado criollo mexicano vs ganado europeo en ambientes de Nuevo Mexico y Chihuahua [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua].
- Roacho-Estrada J. O., E. Frederickson, G. A. Bezanilla-Enriquez, H. Peinetti, A. Gonzalez y J.Rios. (2007). A comparison of grazing behavior between desert adapted Mexican Criollo cattle and temperate British breeds using two diverse landscapes in New Mexico and Chihuahua. *Society for Range Management, Building Bridges: Grasslands to Rangelands*, January 26-31, 2008, Louisville, Kentucky. p. 2379.
- Rodríguez, C. A., Martínez, R. D. Rumiano, F. Rechimont, R. & Rabasa, S. L. (1989). Bovino Criollo Biotipo Patagónico -descripción y conservación-. En Actas XX Congreso Argentino de Genética. Bahía Blanca, Bs. As.
- Rojas, B. E., Reynoso, C. O., Lagunas, L. J. & Vásquez, P. C. (1987). Comportamiento reproductivo del ganado Brahman e Indubrasil en clima subtropical húmedo. I. Comportamiento al destete. *Técnica Pecuaria en México*, 25, 281-287.
- Ruiz de Huidobro, F., Miguel, E., Onega, E., & Blázquez, B. (2003). Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. *Meat science*, 65(4), 1439-1446. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00068-8)
- Russell, N. D., Rios, J. Erosa, G., Remmenga, M. D. y Hawkins D. E. (2000). Genetic differentiation among geographically isolated populations of Criollo cattle and
- Ryu, Y. C. & Kim, B.C. (2005). The relationship between muscle fiber characteristics, postmortem metabolic rate, and meat quality of pig longissimus dorsi muscle. *Meat Science*, 71(2), 351-357. <http://doi:10.1016/j.meatsci.2005.04.015>

- Saláková, A. (2012). Instrumental measurement of texture and color of meat and meatproducts. *Maso International*, 2, 107-114 <http://www.maso-international.cz/instrumental-measurement-of-texture-and-color-of-meat-and-meat-products/>.
- Sañudo, C., Macie, E. S., Olleta, J. L., Villarroel, M., Panea, B. & Albertí, P. (2004). The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat science*, 66(4), 925-932. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.08.005>
- Saucedo, J. A. (2022). Polimorfismos genéticos de calpaínas, calpastatinas y proteínas de estrés térmico asociados a la terneza de la carne de ganado bovino criollo en la región Amazonas [Tesis doctoral, Universidad Nacional Toribio Rodríguez Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2905>.
- Savell, J. W., McKeith, F. K., Murphey, C. E., Smith, G. C. & Carpenter, Z. L. (1982). Singular and combined effects of electrical stimulation, post-mortem ageing and blade tenderisation on the palatability attributes of beef from young bulls. *Meat Science*, 6(2), 97-109. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(82\)90020-1](https://doi.org/10.1016/0309-1740(82)90020-1).
- Serrera, R. M. (1977). Guadalajara ganadera. Estudio regional novohispano (1760-1805). Escuela de Estudios Hispano-Americanos de Sevilla, Sevilla, España.
- Shanks, B. C., Wulf, D. M., & Maddock, R. J. (2002). The effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef longissimus steaks across several postmortem aging periods. *Journal of animal science*, 80(8), 2122-2125.
- Shackelford, S., Wheeler, T. & Koohmaraie, M. (1997). Tenderness classification of beef: I. Evaluation of beef *Longissimus* shear force at 1- or 2-days *postmortem* as a predictor

- of aged beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 75(9), 2417-2422. <https://doi:10.2527/1997.7592417x>.
- Shi, Y., Zhang, W. & Zhou, G. (2020). Effects of Different Moisture-Permeable Packaging on the Quality of Aging Beef Compared with Wet Aging and Dry Aging. *Foods*, 9(5). <https://doi:10.3390/foods9050649>.
- Simpson, L. (1952). Exploitation of land in central Mexico in the sixteenth century. *The Hispanic American Historical Review*, 32(4), 581-583. <https://doi.org/10.2307/2508969>.
- Smith, A. M., Harris, K. B., Griffin, D. B., Miller, R. K., Kerth, C. R. & Savell, J. W. (2014). Retail yields and palatability evaluations of individual muscles from wet-aged and dry-aged beef ribeyes and top sirloin butts that were merchandised innovatively. *Meat Science*, 97(1), 21-26. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2013.12.013>.
- Smith, G. C. (1997). Marketing Beef From Dairy Cattle – Now And In The Future. *Schedule*. <http://wdmc.org/1997/WDAIRYMC.pdf#page=5>.
- Smith, R. D, Nicholson, K. L., Nicholson, J. D. W., Harris, K. B., Miller, R. K., Griffin, D. B. & Savell, J. W. (2008). Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select short loins. *Meat Science*, 79(4), 631–639. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2007.10.028>.
- Sørheim, O., Idland, J., Halvorsen, E. C., Frøystein, T., Lea, P., & Hildrum, K. I. (2001). Influence of beef carcass stretching and chilling rate on tenderness of m. longissimus dorsi. *Meat Science*, 57(1), 79-85. [https://doi:10.1016/s0309-1740\(00\)00079-6](https://doi:10.1016/s0309-1740(00)00079-6)
- Sorimachi, H., Ishiura, S. & Susuki, K. (1997). Structure and physiological function of calpains. *Biochemical Journal*, 328(3), 721-732. <https://doi:10.1042/bj3280721>.
- Stenström, H., Li, X., Hunt, M.C. & Lundström, K. (2014). Consumer preference and effect of correct or misleading information after ageing beef longissimus muscle using vacuum,

dry ageing, or a dry ageing bag. *Meat Science*, 96(2A), 661-666.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.10.022>.

Suman, S. P. & Poulson, J. (2013). Myoglobin chemistry and meat color. *Annual review of food science and technology*, 4(1), 79-99. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182623>.

Suman, S. P. y Poulson, J. (2014). Chemical and physical characteristics of meat: Color and pigment. In M. Dikeman & C. Devine (Eds.), *Encyclopedia of meat sciences* (pp. 244-251). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00084-2>.

Swatland, H. J. (1999). Growth & structure of meat animals.
<http://www.aps.uoguelph.ca/~swatland/gasman.html>

Swatland, H. J. (2003). *Evaluación de la carne en la cadena de producción*. Ed. Acribia.

Taylor, A. A., Perry, A. M. & Warkup, C. C. (1995a) Improving pork quality by electrical stimulation or pelvic suspension of carcasses. *Meat Science*, 39(3), 327-337.
[https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)90391-l](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)90391-l).

Taylor, R. G., Geesink, G. H., Thompson, V. F., Koohmaraie, M. & Goll, D. E. (1995b). Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? *Journal of Animal Science*, 73(5) 1351-1367. <https://doi.org/10.2527/1995.7351351x>. their divergence from other *Bos taurus* breeds. *Journal of Animal Science*, 78, 2314-2322.

Toldrá, Fidel, ed. *Lawrie's meat science*. Woodhead Publishing, 2022.

Toldrá, F. (2012). Biochemistry of processing meat and poultry. En B. K. Simpson (Ed.), *Food Biochemistry and Food Processing*, (pp. 303-316).
<https://doi.org/10.1002/9781118308035.ch16>.

Tornberg, E. (2005). Effect of heat on meat proteins-Implications on structure and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 70(3), 493-508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>.

- Traore, S., Aubry, L., Gatellier, P., Przybylski, W., Jaworska, D., Kajak-Siemaszko, K., & Santé-Lhoutellier, V. (2012). Higher drip loss is associated with protein oxidation. *Meat science*, 90(4), 917-924. [https:// doi: 10.1016/j.meatsci.2011.11.033](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.033).
- Ueno, Y., Ikeuchi, Y. & Suzuki, A. (1999) Effects of high pressure treatments on intramuscular connective tissue. *Meat Science*, 52(2), 143-150.
- USDA United State Departament of Agriculture. 2014. Institutional meat purchase specifications: Fresh beef series 100. United States: [Editor desconocido]; [consultado 6 de agosto de 2020]. [https:// www.ams.usda.gov / sites/ default/ files/ media/ IMPS_100_ Fresh_ BeefBD.pdf](https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/IMPS_100_Fresh_BeefBD.pdf).
- USMEF. (2014). Guidelines for U.S. dry aged beef for international markets. Meat Export Federation, USA. <https://www.usmef.org/guidelinesforusdryagedbeeforinternationalmarkets>.
- Utama, D.T., Kim, Y.J., Jeong, H. S., Kim, J., Barido, F.H.& Lee, S. K. (2019). Comparison of meat quality, fatty acid composition and aroma volatiles of dry-aged beef from Hanwoo cows slaughtered at 60 or 80 months old. *Asian-Australas journal of animal sciences*, 33(1):157-165. [https://doi:10.5713/ajas.19.0205](https://doi.org/10.5713/ajas.19.0205).
- Varela, G. & Beltrán, B. (2001). La carne de vacuno en la alimentación humana. *Fundación Española de la Nutrición*, 16.
- Vargas, A. M. (2016). Perspectivas para la red de valor mexicana de carne bovina, a partir del análisis de los modelos de negocio globales. 10.13140/RG.2.1.3197.2889.
- Voisinet, B. D., Grandin, T., O'Connor, S. F., Tatum, J. D., Deesing, M. J. (1997). Bos indicus-cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Science*, 46(4), 367-377. [https://doi:10.1016/s0309-1740\(97\)00031-4](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(97)00031-4).

- Walker, L. T., Shackelford, S. D., Birkhold, S. G. & Sams, A. R. (1995) Biochemical and structural effects of rigor mortis-accelerating treatments in broiler pectoralis. *Poultry Science*, 74(1), 176-186. <https://doi.org/10.3382/ps.0740176>.
- Warren, K. E. & Kastner, C. L. (1992). A comparison of dry-aged and vacuum-aged beef strip loins. *Journal of Muscle Foods*, 3(2), 151-157. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.1992.tb00471.x>.
- Warriss, P. D. (2000). Meat Science: An Introductory Text. Wallingford, Oxon, U.K. CABI Publishing.
- Watanabe, G. K., Imanari, M., Shiba, N., Yonai, M. & Muramoto, T. (2015). Effect of aging on volatile compounds in cooked beef. *Meat Science*, 107, 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.04.004>.
- Wheeler, T. L., Shackelford, S. D. & Koohmaraie, M. (1996). Sampling, cooking, and coring effects on Warner-Bratzler shear force values in beef. *Journal of Animal Science*, 74(7), 1553–1562. <https://doi.org/10.2527/1996.7471553x>.
- Wismer- Pedersen, J. (1986). Química de los tejidos animales. En J. F. Price y B. S. Schweigert (Eds.), *La Ciencia de la Carne y de los productos cárnicos*. Ed. Acribia.
- Yáñez, J. S. (2022). Colágeno, marmoleo y calidad sensorial de carne de cruzas estratégicas de ganado Rarámuri, Hereford, Angus y Piedmontese [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma De Chihuahua]. Repositorio Informático Institucional. <http://repositorio.uach.mx/451/>.
- Zhang, Y., Kim, Y. H. B., Puolanne, E. & Ertbjerg, P. (2022). Role of freezing-induced myofibrillar protein denaturation in the generation of thaw loss: A review. *Meat Science*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108841>.

- Zimmerman, M. (2010). Tecnología de carne ovina: Calidad de carne. En J. P. Mueller & M. I. Cueto (Eds.), *Actualización en Producción Ovina 2010*, (pp. 169-177). Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina/188-Manual_Actualizacion.
- Zimmermann, M. J., Kuehn, L. A., Spangler, M. L., Thallman, R. M., Snelling, W. M. & Lewis, R. M. (2021). Breed and heterotic effects for mature weight in beef cattle. *Journal of animal science*, 99(8). <https://doi.org/10.1093/jas/skab209>