

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación de características fisicoquímicas del músculo *Longissimus dorsi* para la clasificación de calidad de la carne bovina de ganado estabulado en Zamorano.

Estudiante

María Sofía López García

Asesores

Adela M. Acosta, D.Sc.

Luis F. Maldonado Ph.D.

Honduras, noviembre 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Agroindustria Alimentaria

JULIO NAVARRO

Secretaria General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos.....	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Metodología.....	14
Localización del Estudio	14
Clasificación de Marmoleo de la carne de acuerdo con el USDA	15
Faenado.....	17
Extracción del Músculo <i>Longissimus dorsi</i> de la Canal	18
Aplicación Móvil Color Assist	19
Recolección de Muestras para Laboratorio.....	20
Análisis de Laboratorio	20
Análisis de Color.....	20
Análisis de Fuerza de Corte.....	21
Actividad de Agua (a_w).....	21
Medición de pH.....	22
Medición de Porcentaje de Humedad	22
Cálculo de Chroma	23
Análisis Sensorial.....	24
Preparación de las Muestras	25
Análisis Estadístico	27
Elaboración de Método de Clasificación.....	28

Resultados y Discusión.....	29
Análisis de Color.....	29
Análisis de Fuerza de Corte.....	32
Análisis de pH.....	35
Análisis de Actividad de Agua (a_w).....	36
Análisis de Porcentaje de Humedad.....	37
Especificación de la Agrupación por Croma.....	38
Análisis de las Características Físicoquímicas por Grupos de Chroma.....	40
pH.....	40
Actividad de Agua (a_w).....	41
Porcentaje de Humedad.....	42
Fuerza de Corte.....	43
Color $L^* a^* b^*$	46
Análisis de Correlación de Pearson.....	52
Análisis Sensorial.....	53
Correlación entre Variables del Análisis Sensorial.....	56
Análisis de preferencia.....	57
Propuesta de Método de Clasificación.....	57
Conclusiones.....	64
Recomendaciones.....	65
Referencias.....	66
Anexos.....	72

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Clasificación de madurez de la canal de acuerdo con USDA.....	14
Cuadro 2 Organización por fecha de la realización del faenado de los 34 bovinos en evaluación.	17
Cuadro 3 Medidas de tendencia central y de dispersión de color del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.	29
Cuadro 4 Medidas de tendencia central y de dispersión de fuerza de corte en Newtons (N) del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.....	32
Cuadro 5 Clasificación de la fuerza de corte de Warner Bratzler en Newtons, descrita por Wheeler et al. (1997).	35
Cuadro 6 Medidas de tendencia central y de dispersión de pH del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.	36
Cuadro 7 Medidas de tendencia central y de dispersión de a_w del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.	37
Cuadro 8 Medidas de tendencia central y de dispersión de porcentaje de humedad (%H) del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.....	37
Cuadro 9 Escala colorimétrica de carne bovina en México realizada por Salinas (2014) con los intervalos de confianza (95%) para el valor L^* , dentro de cada categoría visual.....	48
Cuadro 10 Análisis de correlación de Pearson de L^* a^* y b^*	52
Cuadro 11 Análisis de correlación de Pearson de b^* con a_w y fuerza de corte.	53
Cuadro 12 Correlación de Pearson entre características sensoriales de la carne y aceptación general.	57
Cuadro 13 Rangos de L^* propuestos, para cada categoría visual de la escala colorimétrica.....	59
Cuadro 14 Rangos de valores RGB para cada una de las categorías de color propuestas en la escala.	60
Cuadro 15 Diferencia de color ΔE , entre categorías de la escala colorimétrica propuesta.	61

Índice de Figuras

Figura 1 Clasificación oficial de marmoleo de carne del USDA (2018).	16
Figura 2 Diagrama de cromaticidad de CIE.	24
Figura 3 Escala hedónica de nueve puntos para la evaluación sensorial de prueba afectiva de aceptación.....	25
Figura 4 Histograma de distribución de frecuencias y curva de distribución normal de las variables L* a* b*.....	30
Figura 5 Gráfica de probabilidad normal de los valores de L* a* b* con sus respectivos percentiles observados y teóricos.	31
Figura 6 Histograma de distribución de frecuencias y curva de distribución normal ajustada a los datos de fuerza de corte del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de zamorano.	34
Figura 7 Gráfica de probabilidad normal de los valores de fuerza de corte del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.....	34
Figura 8 Agrupación de las 34 muestras por rangos de chroma y la media de edad de los animales que conformaron cada agrupación.....	39
Figura 9 pH de la carne, evaluado entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.....	41
Figura 10 Actividad de agua (a_w) de la carne, evaluada entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.	42
Figura 11 Porcentaje de humedad de la carne, evaluado entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.	43
Figura 12 Fuerza de corte de la carne en Newtons, evaluada entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.	44

Figura 13 Color L* a* b* de la carne, evaluado entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.	47
Figura 14 Interconversiones de las formas redox de la mioglobina (Mb) en la carne fresca.	50
Figura 15 Aceptación sensorial de características de la carne cocida, con una escala hedónica de 1 a 9 evaluada por panelistas no entrenados.	55
Figura 16 Análisis de preferencia de los grupos evaluados de carne con el método de Basker y Kramer.	57
Figura 17 Escala para la clasificación visual colorimétrica de la carne de res de ganado estabulado en Zamorano con fotografías.	61
Figura 18 Escala de colores sólidos para la clasificación visual colorimétrica de la carne de res de ganado estabulado en Zamorano.	62

Índice de Anexos

Anexo A Representación de lote de ganado estabulado con 34 animales que conformaron el estudio.	72
Anexo B Identificación, raza y edades de los animales evaluados.	73
Anexo C Cortes de carne de bovino.	74
Anexo D Medidor de textura de Brookfield, análisis de compresión de carne.	75
Anexo E Muestras estandarizadas para calibrar el equipo para medir actividad de agua, Aqualab....	76
Anexo F Boleta de análisis sensorial de prueba afectiva de aceptación.	77
Anexo G Tabla de prueba de Basker y Kramer.	78

Resumen

La investigación surge de la necesidad de desarrollar herramientas paramétricas nacionales que puedan valorar la carne bovina de acuerdo con su calidad, similar a muchos países desarrollados. El presente estudio se centra en la evaluación de las características fisicoquímicas del músculo *Longissimus dorsi* de bovinos estabulados en Zamorano, con el fin de establecer un modelo de clasificación de calidad para la carne en el mercado hondureño.

En el estudio se categorizaron las canales basándose en el sistema de Estados Unidos para ganado de reses como referencia a su calidad; se incluyó la evaluación de variables como color (L^* , a^* , b^*), fuerza de corte, pH, humedad, actividad de agua y se utilizó una herramienta accesible como la aplicación móvil Color Assist para la medición del color. Se llevó a cabo un análisis sensorial, aunque no se encontraron diferencias significativas en la aceptación de los panelistas. La carne fue clasificada en grado de marmoleo *Select* y *Madurez A*, de acuerdo con los estándares del USDA. Los resultados mostraron diferencias en el color y fuerza de corte entre los grupos de cromas realizados. Se observó que las carnes que presentaban colores más claros presentaron una menor fuerza de corte, lo que indica una relación entre el color y la fuerza de corte de la carne, específicamente se encontró correlación entre la variable b^* y fuerza de corte y a la vez b^* tuvo correlación alta positiva con L^* . Se propuso un método colorimétrico de cinco categorías (1, 2A, 2B, 3 Y 4) para la clasificación de la carne de ganado estabulado de Zamorano. El estudio concluye que un modelo de clasificación basado en color y fuerza de corte mejora la separación de carne por calidad, contribuyendo a una mayor competitividad de los productos nacionales. Se recomendó validar la escala de clasificación en ganado bovino.

Palabras clave: Color, escala, fuerza de corte, reses.

Abstract

The research arises from the need to develop national parametric tools to evaluate beef quality, similar to practices in many developed countries. This study focuses on evaluating the physicochemical characteristics of the Longissimus dorsi muscle of cattle raised in stalls at Zamorano, aiming to establish a quality classification model for beef in the Honduran market.

The study categorized the carcasses based on the U.S. system for beef quality, including the evaluation of variables such as color (L^* , a^* , b^*), shear force, pH, moisture, water activity, and used an accessible tool, the Color Assist mobile app, for color measurement. A sensory analysis was conducted, although no significant differences in panelists' acceptance were found. The meat was classified as Select grade for marbling and A maturity, according to USDA standards. Results showed differences in color and shear force among chroma groups. It was observed that lighter-colored meats tended to have lower shear force, indicating a relationship between color and meat tenderness; specifically, a correlation was found between b^* and shear force, and b^* also had a high positive correlation with L^* .

A five-category colorimetric method (1, 2A, 2B, 3, and 4) was proposed to classify beef from cattle raised in stalls at Zamorano. The study concludes that a classification model based on color and shear force improves the separation of meat by quality, contributing to greater competitiveness of national products. It was recommended to validate the classification scale in beef cattle.

Keywords: Cattle, color, scale, shear force.

Introducción

La ganadería es un sector que aporta a la economía hondureña y centroamericana, ya que, gracias a la diversidad de climas que se encuentran en estos países los hace versátiles para la producción de ganado con distintos fines productivos. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2021), en Honduras, la ganadería representa cerca del 13% del producto interno bruto agrícola y agrupa a unos 96 mil medianos y pequeños productores que generan 65 mil toneladas métricas de carne al año, pero enfrenta importantes retos relacionados a la falta de controles de calidad para los productos, entre otros.

Es importante destacar que es muy propio de la cultura centroamericana que las carnes conformen la parte principal de la dieta diaria y la carne de res no es la excepción. El consumo per cápita de carne de res en Centroamérica varía significativamente entre países; de acuerdo con Central America Data (2019) en promedio se estima que el consumo regional es de aproximadamente 9 kg por persona al año, siendo Panamá y Costa Rica los países con mayor consumo, mientras que otras naciones presentan cifras más bajas. En Honduras, el consumo per cápita de carne de res es aproximadamente de 6.8 kilogramos al año, lo que la posiciona como la segunda fuente principal de proteínas animales, después del pollo, que supera los 20 kilogramos per cápita (Central America Data, 2022).

En el año 2020 en Honduras ha ocurrido un incremento en el faenamiento y procesamiento de reses, sin embargo, el precio por libra de peso vivo que es ofrecido a los carniceros aumentó en el mismo año de 45 a 52 lempiras, por ende, también aumento el precio de la libra de carne ofrecida al consumidor final (Secretaría de Agricultura y Ganadería [SAG], 2020). Esto representa un reto para la industria cárnica, ya que, los productores de ganado determinan el precio de libra de peso vivo del animal únicamente tomando en cuenta los precios del mercado de una manera muy generalizada sin tomar en cuenta la calidad de la carne que cada res puede llegar a representar. A pesar de que la carne bovina es el segundo tipo de carne más consumida en Centroamérica, aun se enfrenta a varios retos

con respecto a la calidad de carne que adquieren los pequeños procesadores y grandes industrias, ya que, no se cuentan con herramientas científicamente sustentadas para la clasificación de la carne de acuerdo con su calidad.

La industria cárnica está en constante evolución e innovación con el objetivo de lograr satisfacer las necesidades del consumidor ofreciéndoles productos de calidad; es por ello que, es necesario incursionar en la realización de investigaciones que den soluciones a los retos que puede implicar cada uno de los factores de esta industria.

Evaluar y caracterizar distintos parámetros de calidad de la carne es fundamental para generar investigación y desarrollo y brindar posicionamiento competitivo al contar con herramientas que contribuyan al adecuado manejo de la carne en la industria.

En Honduras y otros países centroamericanos no se cuenta con una clasificación de calidad para la carne bovina, a diferencia de los países desarrollados como Estados Unidos, Japón y Australia, los cuales cuentan con métodos de clasificación de carne bovina, lo cual ayuda al desarrollo de la industria cárnica, así como también a satisfacer las necesidades de los consumidores; estos sistemas de clasificación se basan en la edad del animal, la deposición de grasa intramuscular, así como también el color.

En Estados Unidos los estándares de clasificación de carne de USDA consideran tres atributos para determinar el grado de calidad de la carne, el marmoleo, la madurez y el color de la carne; este último evaluado con los estándares de color de la carne bovina, conformado por patrones fotográficos de 8 categorías visuales. En Australia crean categorías deseables e indeseables haciendo uso de los estándares de clasificación de la carne, con el respectivo ajuste en el precio del producto final, este estándar consta de colores sólidos con 8 categorías de referencia, por último, en Japón se creó el Japanese Meat Grading System, el cual considera 7 categorías de colores sólidos para la clasificación y también toma en cuenta el brillo de la carne para la decisión final de la clasificación (Salinas, 2014). Esto les ha permitido a estos países proveer un lenguaje común para aquellos implicados en la

comercialización de ganado, fomentar el desarrollo de productos con valor agregado y mejorar de esta forma la producción del ganado.

La razón de que se desarrollen patrones visuales para el mismo fin en diferentes naciones radica en que el color de la carne es un fenómeno multifactorial y estos factores pueden variar de un país a otro, por lo tanto, el empleo de estas herramientas por parte de la industria cárnica debe basarse en evidencias científicas generadas a partir del ganado local (Salinas et al., 2020).

La calidad de la carne bovina está conformada por diversos factores extrínsecos e intrínsecos, sin embargo, Joo et al. (2013) afirma que “los consumidores definen el color de la carne como el atributo más importante como indicador de calidad de la carne fresca” (p. 2). El color de la carne es el factor de calidad de la carne más importante porque es el primer factor que ve el consumidor y se utiliza como una indicación de frescura y salubridad (Ramanathan et al., 2022).

Hasta el momento no se ha desarrollado un patrón visual que sirva de referencia para la industria nacional. Tal carencia representa una desventaja comercial para los productores locales. Por lo tanto, con el propósito de contribuir a mejorar la comunicación entre los distintos eslabones de la cadena de valor y generar herramientas que permitan premiar el precio de las canales cuando fuese necesario, con base a su calidad, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las características fisicoquímicas del músculo Longissimus dorsi del ganado bovino de carne estabulado de Zamorano. Con la aplicación móvil Color Assist, obtener la representación del color de cada músculo Longissimus dorsi y relacionarlos con los datos fisicoquímicos para establecer un método de clasificación de calidad bovina fácil y rápido. Por último, realizar un análisis sensorial de la carne del Longissimus dorsi para conocer la percepción del consumidor y relacionarlo con las características fisicoquímicas.

Metodología

Localización del Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en el Departamento de Francisco Morazán, 32 km al Este de Tegucigalpa, Honduras. El faenamiento de las reses y la toma de muestras de carne bovina del *Longissimus dorsi* se realizó en la planta de cárnicos de Zamorano, el análisis de las características fisicoquímicas de la carne en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ) y el análisis sensorial en el Laboratorio de Análisis Sensorial de Zamorano.

Se tuvo a disposición un lote de ganado estabulado, el cual se conformó de 34 bovinos con edades de 10 a 21 meses, todos clasificados en la categoría A de madurez según el departamento de Agricultura de Estados Unidos de América, USDA por sus siglas en inglés (Cuadro 1).

Cuadro 1

Clasificación de madurez de la canal de acuerdo con USDA.

Madurez de la carne	Edad cronológica del animal
A	9-30 meses
B	30-42 meses
C	42-72 meses
D	72-96 meses
E	> 96 meses

Nota. Tomado de United States Department of Agriculture [USDA] (2017).

Cada animal fue una unidad experimental, ya que, no se evaluaron tratamientos, sino que se utilizaron para evaluar las características fisicoquímicas de la carne para realizar un método de clasificación bovina respaldada por diferentes parámetros evaluados.

En el Anexo A se puede observar una representación gráfica del lote de ganado estabulado conformado por 34 animales y en el Anexo B se puede observar la identificación, raza y edad cronológica de cada animal perteneciente a dicho lote de ganado estabulado al momento de la realización del estudio.

Clasificación de Marmoleo de la carne de acuerdo con el USDA

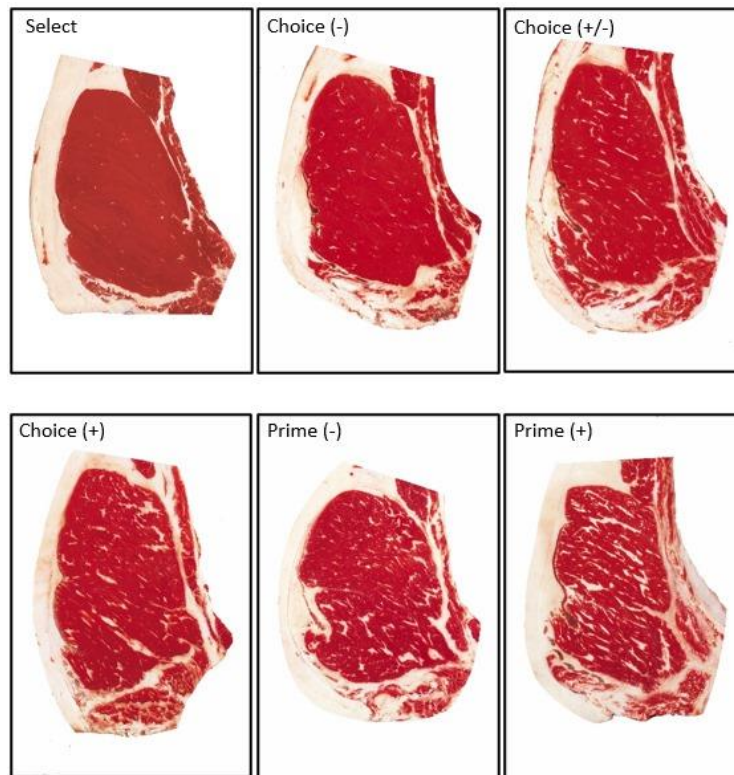
El marmoleo es uno de los parámetros que puede influenciar la aceptabilidad de la carne, esto debido a sus efectos positivos en la jugosidad y sabor (Meléndez Lemus, 2018).

Se utilizó el estándar de clasificación de marmoleo de la carne creada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA, por sus siglas en inglés, para determinar en qué grado de marmoleo se encontraba la carne en evaluación, procedente de ganado estabulado de Zamorano. De acuerdo con esta clasificación, la carne se divide en *Select*, *Choice* (-, +/-, +) y *Prime* (-, +), haciendo referencia a un marmoleo leve, poco, modesto, moderado, levemente abundante y moderadamente abundante respectivamente (Figura 1). Toda la carne evaluada en este estudio fue clasificada como *US Select*, es decir, marmoleo leve, debido a su escasa deposición de grasa intramuscular. De acuerdo con Prieto y Bello Pérez (2013), un corte de calidad *US Select* tiene de un 5% a 10% de grasa.

En los bovinos, la grasa intramuscular es el último depósito de grasa que se forma, después de la grasa visceral y subcutánea. El desarrollo de esta grasa es un proceso más lento y complejo, que depende de varios factores, como la genética, la nutrición, y el manejo del ganado. Algunas razas, como el Wagyu y el Angus, son conocidas por tener una mayor capacidad para acumular grasa intramuscular. Las razas de bovinos que son de aptitud lechera tienen aún más dificultades para lograr la deposición de grasa intramuscular (Xiao et al., 2024).

Figura 1

Clasificación oficial de marmoleo de carne del USDA (2018).



Cabe mencionar que los animales utilizados para este estudio eran manejados como ganado estabulado para engorde y como parte del manejo se les aplicó implantes anabólicos para aumentar la formación de masa muscular, los implantes utilizados fueron acetato de trembolona y benzoato de estradiol.

El acetato de trembolona y el benzoato de estradiol son compuestos utilizados como implantes anabólicos en la producción de carne de res para mejorar el crecimiento muscular y la eficiencia alimenticia. Su uso influencia varias características de la carne, como la composición corporal, el rendimiento de la canal, y la calidad de la carne; estos implantes anabólicos mejoran el crecimiento muscular promoviendo un mayor crecimiento de tejido magro, esto resulta en canales más grandes y con menor cantidad de grasa intramuscular (marmoleo), lo que puede afectar la jugosidad y el sabor de la carne. Sin embargo, esto puede ser ventajoso desde un punto de vista

nutricional, ya que resulta en carne más magra (Thornton-Kurth, 2024). Esta pudo haber sido una causa que contribuyó a la escasa deposición de grasa intramuscular en la carne evaluada.

Faenado

La planta de procesamiento de cárnicos de Zamorano actualmente realiza una sola faena de 16 reses a la semana, por lo tanto, el faenamamiento de los animales no se hizo en conjunto, sino que, se realizó de forma distribuida en cuatro partes (Cuadro 2).

Cuadro 2

Organización por fecha de la realización del faenado de los 34 bovinos en evaluación.

No. de faenas	Cantidad de animales	Fecha
1	10	28-jun-23
2	10	14-jul-23
3	8	21-jul-23
4	6	27-jul-23

Esta distribución se realizó en una organización conjunta del área de ganado de carne con la planta procesadora de cárnicos, de acuerdo con sus requerimientos.

El faenado se llevó a cabo de una manera estandarizada en la planta procesadora de cárnicos de Zamorano; antes de trasladar a los animales a la planta procesadora de cárnicos, se les suspendía el alimento para cumplir con el ayuno de 24 horas en la unidad de ganado de carne de Zamorano.

Al llegar a planta eran aturcidas con el método de golpe certero haciendo uso de un pistón cautivo, luego eran colgadas de las patas traseras elevadas mecánicamente, seguidamente se realiza el desangrado del animal cortando la arteria carótida y la vena yugular, el proceso de desangrado dura entre 5 a 7 minutos; una vez desangradas se tomó registro de la hora de muerte. Al finalizar el desangrado, se procedió a retirar las partes que no corresponden a la canal, como la cabeza, los metacarpos y metatarsos; luego se realizó el proceso de desollado y por último el eviscerado por lo que era necesario cortar el esternón y la cavidad torácica y abdominal con una sierra. Posterior al proceso de faenado se desinfectó la canal con ácido acético al 2.5% como parte de un punto crítico

de control de la planta, también se realizó a cada canal una inspección sanitaria que consiste en observar que la canal esté libre de restos alimenticios del bovino en la planta. Esta inspección a la canal se hizo con el fin de aprobar a todos los animales para el consumo humano.

Finalmente se procedió a pesar la canal caliente y almacenar en el cuarto frío a una temperatura de 4 °C, siguiendo lo establecido por el plan HACCP de la planta procesadora de cárnicos de Zamorano. Cabe mencionar que se llevó un registro de cada animal faenado, en donde se detalló el sexo del animal, que para este estudio todos eran machos, el número de arete, el número secuencial de planta y el peso de la canal caliente.

Extracción del Músculo *Longissimus dorsi* de la Canal

Se procedió a tomar de cada una de las canales el corte del músculo Ribeye (Ojo de Bife u Ojo de lomo), del *Longissimus dorsi*, el cual se ubica en el lomo, específicamente entre la 12ª y 13ª costilla de los bovinos (Anexo C) (Knight, 2017).

La recolección de muestras se realizó a las 24 horas postmortem, una vez finalizado el rigor mortis.

Tras el faenado, el músculo pasa por un proceso llamado rigor mortis, en el cual la carne pasa por cambios críticos. En ese tiempo la carne se estabiliza bioquímicamente. Si se toman datos de la carne antes de que estos procesos concluyan, los resultados podrían ser inexactos, especialmente en términos de suavidad, color y sabor (Themes, 2017).

La sección del *Longissimus dorsi* fue retirada con ayuda de un cuchillo y un gancho de acero inoxidable y se fueron colocando e identificando en bandejas. El *Longissimus dorsi* recién extraído de cada animal se identificó y empacó al vacío con una maquina MULTIVAC Modelo P600 de doble campana y luego se guardaron en cajas de cartón para ser almacenadas en el blast freezer a una temperatura de -25 °C, no sin antes haber tomado el color con la aplicación móvil Color Assist y haber recolectado las muestras para los análisis de laboratorio. El músculo *Longissimus dorsi* es ampliamente utilizado en diversos estudios de calidad de carne debido a su gran tamaño, accesibilidad y

representatividad como corte general de la carne, extendiéndose a lo largo de la columna vertebral (Triviño et al., 2017). Su composición uniforme de grasa, humedad y fibra muscular facilita las comparaciones en análisis de textura, color y marmoleo. Además, es sensible a variaciones en la calidad relacionadas con la alimentación y manejo, lo que lo hace ideal para evaluar características como la ternura y jugosidad (Restrepo et al., 2021).

En el caso de estudios de color, el *Longissimus dorsi* es favorable por su menor contenido mitocondrial, lo que le otorga mayor estabilidad de color en comparación con músculos más activos, que presentan una mayor decoloración debido al alto consumo de oxígeno y actividad enzimática (Salinas, 2014). Su fácil manipulación también lo convierte en un músculo ideal para estudios científicos y análisis de laboratorio.

Aplicación Móvil Color Assist

Al momento de extraer el *Longissimus dorsi* de las canales frías 24 horas postmortem, se realizó la toma de color de cada muestra con la aplicación móvil Color Assist haciendo uso del dispositivo iPad Air de novena generación marca Apple.

Se trató de que la medición del color con esta aplicación móvil fuera lo más estandarizada posible, por lo tanto, para tomar el color de la carne se colocó el dispositivo a una distancia aproximada de 15 a 20 centímetros de la carne y se enfocó en un punto de la carne en el que no se presentarían tejidos de grasa que pudieran interferir en el dato de color, sino que, se enfocó en un punto en donde se notará más homogéneo, representativo y sin alteraciones.

Esta aplicación móvil brinda el color en una escala RGB (rojo, verde, azul) y automáticamente va generando un color sólido que representa el color captado en la muestra evaluada.

El color con la aplicación móvil Color Assist, fue prácticamente la primera recolección de datos que se llevó a cabo, esto debido a que la carne sufre diversos cambios en su color debido al estado químico de la mioglobina, el cual depende de diversos factores, principalmente, el tiempo de

exposición de la carne al ambiente, la temperatura de la carne y el tiempo postmortem (King et al., 2023).

Recolección de Muestras para Laboratorio

De cada uno de los músculos *Longissimus dorsi* recién extraídos se tomó una muestra de carne; esta carne se colocó e identificó en bolsas plásticas y se transportó al LAAZ para sus respectivos análisis, los cuales fueron principalmente de color y textura, pero también se evaluaron otros factores fisicoquímicos como, pH, a_w y porcentaje de humedad. Las muestras además de ser transportadas en bolsas identificadas se transportaron adentro de una hielera para mantener una temperatura adecuada de refrigeración. Estas muestras fueron del músculo en su forma entera y natural, pero para el análisis de color en laboratorio fue necesario utilizar el molino de carne THOMPSON 900.M2.04, ya que, el análisis de color de laboratorio requiere una muestra representativa y homogenizada, por tal razón, la carne utilizada para la caracterización del color fue molida. De acuerdo con Mancini et al. (2022) moler la carne es un método ampliamente utilizado en el análisis de color. Este proceso ayuda a obtener una muestra más homogénea y representativa, minimizando las variaciones de color debidas a la estructura y la composición desigual de la carne.

Análisis de Laboratorio

Se realizaron los análisis de laboratorio el mismo día que se separó el músculo *Longissimus dorsi* de la canal. Todos los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano, LAAZ.

Análisis de Color

Se utilizó el equipo Colorflex HunterLab (Reston, VA), modelo 45/0. Antes de realizar la medición de color de la carne se realizó la calibración del equipo con el kit de calibración, primero se utilizó el disco blanco que es utilizado para calibrar reflectancia máxima y luego el disco negro usado para calibrar la reflectancia mínima o nula, posteriormente el equipo indicará cuando la calibración se haya realizado correctamente y esté listo para su utilización.

Una vez calibrado, se colocó en el puerto de muestra cada una de las muestras de carne previamente molidas. El puerto de muestra es el recipiente en donde se coloca la muestra. Se colocó la cantidad de carne molida que fuera suficiente para cubrir por completo el fondo del puerto de muestra para evitar que la luz emitida por el equipo se escape por pequeños espacios. Luego de realizar la medición, se tomaron los datos L^* a^* b^* que generó el equipo. El equipo Colorflex HunterLab es un aparato colorimétrico que tiene una escala de triple estímulo ($L^*a^*b^*$), el eje L^* mide luminosidad de 0-100 (0 = negro y 100 = blanco), a^* (negativo = verde, positivo = rojo), y b^* (negativo = azul, positivo = amarillo).

Análisis de Fuerza de Corte

El análisis específico de textura que se realizó fue un análisis de compresión, para determinar la fuerza de corte de la carne de bovino de acuerdo con la instrucción LAA-I-004-003 del CT3. Para esta evaluación se utilizó el texturómetro de Brookfield con la sonda TA7 y elemento TA-RT-KI el cual se puede observar en el Anexo D; la prueba se ajustó a una velocidad de la prueba de 2 mm/s y una velocidad de vuelta de 3 mm/s, un objetivo de 28 mm y una carga de activación de 0.067 N.

Para realizar esta prueba, se cortó la carne en trozos de forma rectangular tridimensional, con una longitud de 40 mm, anchura de 10 mm y altura de 10 mm.

Actividad de Agua (a_w)

Para esta evaluación se utilizó el equipo de laboratorio AquaLab Decagon Devices, Inc. Modelo Series 3 TE.

Primero fue necesario calibrar el equipo con dos muestras de referencia, las cuales ya vienen con una actividad de agua específica, primero era la muestra de 0.50 de actividad de agua y luego la de 0.98 (Anexo E), al finalizar la calibración se procedió a colocar la muestra de carne en el puerto de muestra, hasta llevarlo a la mitad y se procedió a introducir la muestra para realizar la medición. Después de unos minutos el equipo genera el resultado y se tabularon.

Medición de pH

Se realizó la toma del pH de la carne siguiendo el procedimiento estandarizado en laboratorio, el cual consistió en pesar un gramo de muestra con una balanza electrónica; en este caso la muestra fue de carne molida, luego la muestra se colocó en un beaker con 10 ml de agua desionizada y se agitó por un minuto con una varilla de vidrio. Luego se tomó el pH con un potenciómetro Starter 2100 OHAUS; cabe mencionar que el potenciómetro fue previamente calibrado con dos soluciones Buffer, una a pH de 4 y otra a pH de 7.

Cada vez que se realizó la toma de una nueva muestra se limpiaba el electrodo con agua desionizada y se secaba el exceso de agua del electrodo.

Medición de Porcentaje de Humedad

Se calculó el porcentaje de humedad de la carne de cada uno de los animales en evaluación siguiendo el método AOAC 950.46B.

Antes de comenzar el proceso de preparación de la muestra, se realizó el proceso de preparación de los crisoles, para ello, primero se lavaron los crisoles con agua y detergente, luego se colocaron en el horno de aire forzado a 105 °C por aproximadamente una a dos horas para secar los crisoles, después se sacaron con pinzas y se colocaron en desecadores por aproximadamente 30 minutos a una hora para que se enfriaran sin que se rehidrataran con la humedad del ambiente. Luego con ayuda de una balanza analítica debidamente calibrada, se procedió a tomar el peso de los crisoles y se identificaron, ya que, este dato fue importante para el cálculo del porcentaje de humedad. A cada crisol se le agregaron 3 gramos de muestra ± 0.005 g, siempre manejando los crisoles con pinzas y colocándolos en el desecador hasta ingresarlos al horno a 105 °C. Las muestras se dejaron secar por 16 a 18 horas y luego se retiraron del horno y se enfriaron en el desecador por aproximadamente 30 minutos a una hora. Cuando los crisoles con las muestras ya estaban fríos, se procedió a pesarlos en la balanza analítica para obtener el peso final.

Una vez recolectados todos los datos, se procedió al cálculo del porcentaje de humedad siguiendo la ecuación que se puede ver a continuación (Ecuación 1).

$$\% \text{ Humedad: } \frac{\text{peso de muestra húmeda} - \text{peso de muestra seca}}{\text{peso de muestra húmeda}} * 100 \quad [1]$$

Donde:

Peso de muestra húmeda es el peso inicial de la muestra de carne.

Peso de muestra seca es el peso final de la muestra de carne el cual se obtiene restándole al peso final el peso del crisol vacío.

Cálculo de Chroma

De acuerdo con Salinas (2014), el chroma es el índice de saturación del color, que nos indica cuan intenso es determinado color y se calcula a partir de los valores de a^* y de b^* , con la ecuación 2.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad [2]$$

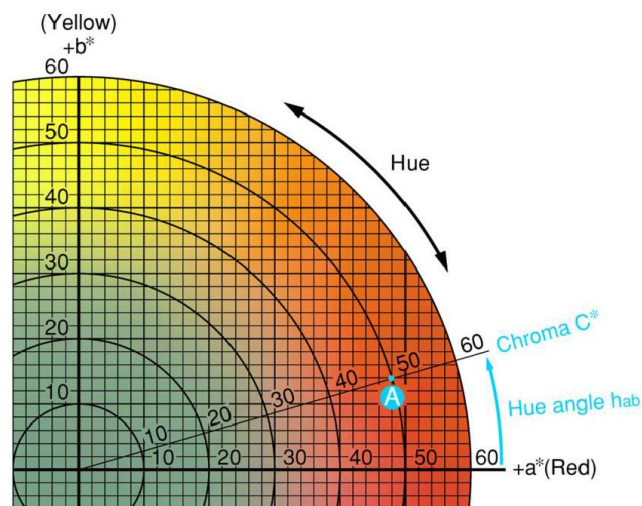
Se calculó el valor de chroma para cada una de las muestras, es decir para cada *Longissimus dorsi* obtenido de cada res; para calcular el valor chroma se utilizaron los valores de a^* y b^* obtenidos en el laboratorio con el equipo Colorflex HunterLab. Esto se hizo con el objetivo de seccionar las 34 muestras obtenidas de las 34 canales en evaluación, para así poder agruparlas de acuerdo con su color y hacer una escala colorimétrica.

Es posible calcular el chroma gracias a los valores de triple estímulo que establecieron una metodología para describir el color. A partir de esto, se desarrolló el diagrama de cromaticidad de Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), que en español significa Comisión Internacional de Iluminación. Esta representación permitió que los colores acromáticos, es decir, colores pálidos o apagados con menor saturación poblaran el centro del diagrama, mientras que la cromaticidad aumenta hacia la periferia del diagrama como lo son los colores más vivos con mayor saturación (American Meat Science Association [AMSA], 2023). En la Figura 2 se puede observar una cuarta parte

del diagrama de cromaticidad de CIE, que es la parte de interés, ya que, es el área en donde se ubican los colores con valores a^* y b^* positivos, que en este caso tienden al rojo.

Figura 2

Diagrama de cromaticidad de CIE.



Nota. Tomada de AMSA (2023)

Con el dato de chroma se logró dividir en cinco grupos a las 34 canales evaluadas, esto con la finalidad de ir agrupando a las canales de acuerdo con su chroma, para lograr crear una escala de clasificación de calidad de carne bovina.

Análisis Sensorial

Se realizó un análisis sensorial con una prueba afectiva de aceptación siguiendo métodos descritos por AMSA y por TTU. Para este análisis sensorial se tuvo la participación de panelistas no entrenados, ya que, solo era un análisis que indica el nivel de agrado y desagrado de las muestras presentadas, cabe mencionar que el hecho de que los panelistas carecían de entrenamiento tiende a aumentar la variabilidad en las respuestas, lo cual es normal en este tipo de análisis, ya que solo indica que tanto le gusta o disgusta una muestra, y esto varía mucho de una persona a otra.

Se contó con la participación de 100 panelistas, ya que, se necesitaba una cantidad representativa de panelistas para aumentar la confiabilidad del análisis. El análisis sensorial se realizó

en el Laboratorio de Análisis Sensorial de Alimentos, siendo este, el ambiente adecuado para la realización de pruebas sensoriales. Cada panelista se sentó en una cabina individual para evitar que algunos factores externos afectaran el veredicto del panelista, tales como, efecto de sugestión. También se presentaron las muestras de una manera aleatorizada y equilibrada para evitar que el panelista se vea expuesto a errores de estímulo, errores de lógica o errores de orden de presentación (Severiano–Pérez, 2019).

A cada panelista se le presentó una bandeja de poliestireno expandido con cinco muestras de carne que iban identificadas con un código alfanumérico que se les asignó a las muestras al azar. Estas cinco muestras de carne provienen de las cinco agrupaciones que se realizaron anteriormente con base en el valor de chroma, así pasaron de ser 34 muestras en evaluación, a agruparse en cinco muestras en evaluación para ser presentadas a los panelistas, también se les brindó un vaso con agua y galleta sin sal como limpiador de paladar.

La boleta de análisis que se le presentó a cada panelista evaluaba cinco atributos de la carne, los cuales fueron color, olor, apariencia, textura y aceptación general (Anexo F); para asignar un valor a estos atributos, se utilizó una escala hedónica de nueve puntos tal como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3

Escala hedónica de nueve puntos para la evaluación sensorial de prueba afectiva de aceptación.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta	Me disgusta poco	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

En la misma boleta presentada al panelista, se encontraba una parte que correspondía a un análisis de preferencia, para que los panelistas indicaran en orden de mayor preferencia a menor preferencia las muestras de carne evaluadas.

Preparación de las Muestras

Como se mencionó anteriormente, las partes del *Longissimus dorsi* fueron recolectadas 24 horas postmortem y fueron empacadas al vacío y congeladas. Por lo tanto, para la preparación del análisis sensorial, se procedió a descongelar las muestras que se iban a utilizar, ya que, las muestras fueron distribuidas en cinco grupos. Para el proceso de descongelación se retiraron las muestras del blast freezer 24 horas antes de su cocción; se procedió a cortar el *Longissimus dorsi* en filetes de 2.5 cm de ancho con ayuda de la sierra, este proceso fue muy práctico de realizar, ya que, la carne se encontraba totalmente congelada y se pudieron obtener filetes con cortes precisos, se tomaron uno o dos filetes de cada grupo de carne congelada y los sobrantes se volvieron a empacar al vacío y a guardar en el blast freezer; los filetes tomados para el análisis sensorial se colocaron en bolsas identificadas con el código de la muestra y se dejaron descongelando a una temperatura de 6 °C por un periodo de 24 horas, esto siguiendo la recomendación de la guía para análisis sensorial de carne de AMSA (2015).

Pasado este periodo de tiempo se procedió a cocinar los filetes en una plancha para seguir el método de asado a la plancha que se describe en la guía para análisis sensorial de carne de AMSA (2015); cada filete se cocinó por ambos lados por 4 minutos, sin embargo, el mayor indicador que se utilizó para cocinar la carne de manera adecuada fue tomar la temperatura interna del filete durante la cocción con un termómetro para carne de lectura instantánea; los filetes eran retirados de la plancha hasta que cumplieran con la temperatura interna deseada de 72 °C.

Luego de esto, se procedió a cortar los filetes en cubos de 2.5 cm x 2.5 cm x el grosor de los filetes que también era aproximadamente de 2.5 cm, luego se empacaron en papel aluminio y se mantuvieron en recipientes eléctricos que ayudaron a mantener la temperatura de las muestras durante la realización del análisis.

Al momento de servir las muestras de carne, estas se encontraban a una temperatura entre 40 °C a 50 °C.

Análisis Estadístico

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa en línea SAS OnDemand for Academics. Para los resultados obtenidos en el análisis sensorial se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), una separación de medias Duncan y un análisis de correlación entre los atributos evaluados y la aceptación general, esto, bajo un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), con un nivel de confianza del 95%.

Para el análisis de los resultados obtenidos en la prueba de preferencia se utilizó el método de Basker y Kramer, Friedman, en donde, para realizar la suma de categorías se le colocó valor de 1 a la más preferida y el valor fue aumentando en secuencia hasta llegar al valor de 5 en la menos preferida. Luego se tomó el valor crítico en la tabla de Basker y Kramer y se analizaron los resultados (Anexo G).

Para las características fisicoquímicas evaluadas en la carne, tales como, porcentaje de humedad, pH, textura, actividad de agua y color, se realizó un análisis de medidas de tendencia central y de dispersión del total de muestras. Luego se realizó el análisis de las características fisicoquímicas por las agrupaciones de chroma que se realizaron anteriormente, que fueron las mismas agrupaciones utilizadas para presentar las muestras en el análisis sensorial. Los análisis que se le realizaron a las características fisicoquímicas por agrupaciones de chroma fueron ANDEVA, separación de medias Duncan y correlación con el coeficiente de Pearson. Para este análisis de características fisicoquímicas se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA), ya que, dentro de cada grupo se encontraban diferentes razas y este factor podía aumentar la variabilidad en las muestras, por lo tanto, se tomaron las razas como bloques; cabe mencionar que se realizó un tipo de ANDEVA desbalanceado, ya que, la cantidad de repeticiones no era igual en todos los tratamientos. El procedimiento (proc glm) en SAS, es capaz de manejar estos desbalances de una manera adecuada, ya que, ajusta automáticamente el análisis para tratar con un número desigual de repeticiones.

Elaboración de Método de Clasificación

Con base a las correlaciones observadas y a la separación de medias obtenida, se realizó un método colorimétrico para clasificar la carne de acuerdo con su calidad y así lograr generar una herramienta que facilite el desarrollo y comercialización de la carne de calidad.

Para la realización de la escala se utilizó el mínimo y máximo valor de la variable L^* de cada grupo, ya que esta variable se describe como la más predictora de las variables de triple estímulo de color (Salinas, 2014). En dicha escala se utilizaron fotografías de un corte de carne de cada categoría, para representar el color en la carne como tal, y para la elaboración de la misma escala, pero con colores sólidos se utilizaron los colores obtenidos a las 24 h postmortem con la aplicación móvil Color Assist con sus respectivos valores mínimos y máximos de RGB de cada grupo.

Aunado a esto, para los datos tridimensionales L^* a^* b^* se tomó la media de cada grupo de chroma y se realizó el cálculo de diferencia de color entre las categorías propuestas en la escala de clasificación con la ecuación 3 de delta E. Esto para verificar que efectivamente la diferencia de color entre las categorías propuestas pueda ser perceptible por el ojo humano

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2} \quad [3]$$

En donde se siguieron los parámetros indicados por Mokrzycki y Tatol (2012).

$0 < \Delta E < 1$ - el observador no nota la diferencia.

$1 < \Delta E < 2$ - sólo el observador experimentado puede notar la diferencia.

$2 < \Delta E < 3.5$ - el observador sin experiencia también nota la diferencia.

$3.5 < \Delta E < 5$ - se nota una clara diferencia de color.

$5 < \Delta E$ - el observador nota dos colores diferentes.

Resultados y Discusión

Para la evaluación de características fisicoquímicas de la carne de res, específicamente del músculo *Longissimus dorsi*, se utilizaron 34 animales estabulados; del músculo se tomó específicamente el corte ojo de lomo o ribeye.

Análisis de Color

El equipo ColorFlex Hunterlab genera el color basado en tres valores, con un análisis tridimensional, indicando L*, luminosidad de 0-100 (0 = negro y 100 = blanco), a* (negativo = verde, positivo = rojo), y b* (negativo = azul, positivo = amarillo). En el Cuadro 3 se pueden observar las medidas de tendencia central y de dispersión las 34 evaluaciones realizadas, ya que, cada animal fue tomado como una unidad experimental, en donde se obtuvo una media del valor L* de 37.64 con una desviación estándar de 4.17, lo cual indica cuanto se alejan los datos individuales de la media; también se observó un CV de 11.09%, lo cual indica el porcentaje de variabilidad de los datos.

Cuadro 3

Medidas de tendencia central y de dispersión de color del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Variable	Media±D.E.	%CV	Mínimo	Máximo	Rango
L*	37.64±4.17	11.09	28.06	46.51	18.45
a*	14.93±1.27	8.51	12.04	18.3	6.26
b*	14.82±1.41	9.55	10.56	17.32	6.76

Nota. L*: Luminosidad. a*: negativo verde y positivo rojo. b*: negativo azul y positivo amarillo. D.E.: Desviación estándar. %CV: porcentaje de coeficiente de variación. Rango: Diferencia entre valor máximo y mínimo.

Cuando se maneja un experimento con animales, es aceptable un CV de hasta 30%, ya que, es comprensible que cuando se evalúan seres vivos siempre existirá una variabilidad propia de cada ser vivo. También se observó el valor mínimo y máximo para esta variable de luminosidad, L*, los cuales fueron 28.06 y 46.51 respectivamente. Esto difiere de los hallazgos realizados por Poveda-Arteaga et al. (2023) y Beyer et al. (2024), quienes al realizar evaluaciones de color de la carne de res en el músculo *Longissimus dorsi* encontraron valores típicos entre 38 y 50, reflejando una carne

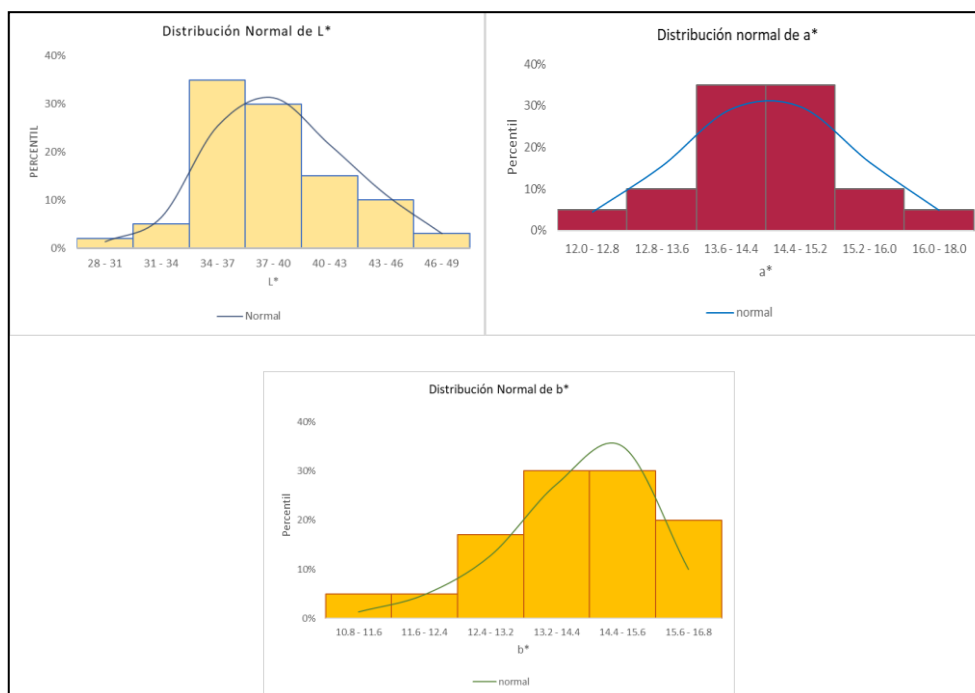
moderadamente clara, aunque esto varía dependiendo del manejo postmortem y el contenido de grasa intramuscular, raza, edad, entre otros factores extrínsecos e intrínsecos (Suman y Joseph, 2013).

Para la variable a^* la cual es representativa del color rojizo, sobre todo en carne de res, se tuvo como resultado una media de 14.93 con una desviación estándar de 1.27, un CV de 8.51%, también se obtuvo el valor mínimo y máximo de 12.04 y 18.30 respectivamente. Por último la variable b^* obtuvo una media de 14.82 con una desviación estándar de 1.41 y un CV de 9.55% con un valor mínimo de 10.56 y máximo de 17.32.

A manera de reforzar el análisis de medidas de tendencia central y de dispersión con respecto a las variables de color, se puede observar en la Figura 4 el histograma con la curva de distribución normal que presentaron las variables de color L^* a^* b^* . El histograma muestra la distribución de frecuencias de los datos y la curva de distribución normal superpuesta muestra una distribución teórica normal ajustada a los datos.

Figura 4

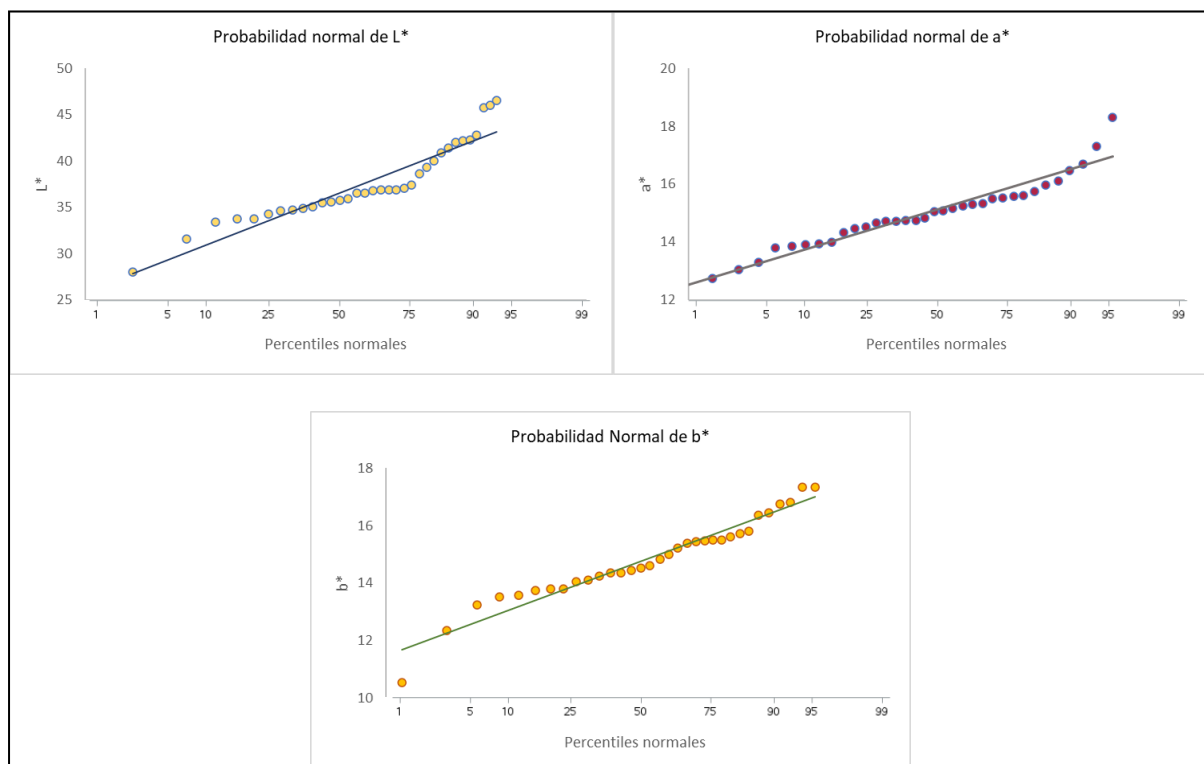
Histograma de distribución de frecuencias y curva de distribución normal de las variables L^ a^* b^* .*



En la Figura 5 se puede observar la gráfica de probabilidad normal de los valores totales de $L^* a^* b^*$, la cual, respalda que los datos siguen una distribución normal ya que mostraron una tendencia positiva en línea recta.

Figura 5

Gráfica de probabilidad normal de los valores de $L^* a^* b^*$ con sus respectivos percentiles observados y teóricos.



Las mediciones de color en la carne cruda son afectadas por la nutrición del animal, la velocidad de enfriamiento de la canal, el tipo de músculo, la orientación de las fibras, el pH del músculo, el tiempo y la temperatura de almacenamiento postmortem y la concentración de mioglobina (Tapp et al., 2011).

Se observó que las variables de color tenían una dispersión de comportamiento normal y todas tuvieron medidas de dispersión aceptables, tales como %CV y desviación estándar. Los valores de medias encontradas para $L^* a^* b^*$ coinciden por lo descrito en estudios realizados con carne de

bovino. Orellana Fajardo (2022) reportó valores de a^* y b^* de 15.19 y 13.31 respectivamente, los cuales son muy similar a lo encontrado en este estudio.

Análisis de Fuerza de Corte

La textura es el segundo parámetro más importante para los consumidores para la decisión de compra y la aceptación de la carne, este parámetro se encuentra directamente relacionado con el tamaño de la fibra muscular y la cantidad de tejido conectivo, y se ve afectada parcialmente por la cantidad de grasa intramuscular (Joo et al., 2013). Dentro de la textura existen diversos indicadores que en conjunto conforman el perfil de textura, dentro de ellos se puede mencionar a la fuerza de corte como uno de los parámetros más utilizados para la evaluación de calidad de la carne. La fuerza de corte se define como la fuerza necesaria para romper las fibras musculares de la carne y realizar el corte, es la resistencia que presenta la carne a ser cortada. La fuerza de corte es inversamente proporcional a la terneza, es decir, a mayor fuerza de corte, menor terneza; si la fuerza de corte es menor, la terneza aumenta (Vignale Centanino, 2015).

En el Cuadro 4 se pueden observar las medidas de tendencia central y de dispersión que se obtuvieron del total de muestras en evaluación, es decir, del total de las 34 muestras provenientes de 34 machos jóvenes.

Cuadro 4

Medidas de tendencia central y de dispersión de fuerza de corte en Newtons (N) del músculo

Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Media±D.E.	%CV	Mínimo	Máximo	Rango
34.98±10.62	30.35	19.02	53.13	34.11

Nota. D.E.: Desviación estándar. %CV: porcentaje de coeficiente de variación. Rango: Diferencia entre valor máximo y mínimo.

Se tuvo una media de fuerza de corte de 34.98 Newtons, con una desviación estándar de 10.62 y un coeficiente de variación de 30.35%; aunque este valor pareciera elevado, se encuentra dentro de lo aceptable, ya que, este estudio fue realizado en carne de bovinos, por lo tanto, es justificable que en este tipo de muestras presenten una variabilidad propia de la matriz de la carne, ya que, la textura

de la carne engloba un concepto muy complejo que está determinada directamente por las propiedades de las estructuras miofibrilares, conjuntivas y del citoesqueleto, las cuales son variables dependiendo de la especie, raza, sexo, edad y de numerosos factores intrínsecos y extrínsecos a los que la carne se puede ver expuesta (Almada et al., 2012).

También se puede observar un valor de fuerza de corte mínimo y máximo de 19.02 N y 53.13 N respectivamente; estos valores de ambos extremos de la distribución presentan un rango de 34.11 N, esta variación pudo deberse a que en algunos trozos de carne que se utilizaron en el texturómetro de Brookfield se presentó más tejido conectivo que en otros. Cabe mencionar que los animales utilizados, aunque fueron estabulados y manejados para engorde, no eran animales de raza con aptitud de carne, sino que eran razas con aptitud lechera. En las razas lecheras, el tejido conectivo, específicamente el colágeno, tiende a ser más abundante y menos soluble, además, el colágeno en los animales lecheros tiende a ser más resistente, debido a la menor actividad física enfocada en desarrollar músculo magro (Bruce y Roy, 2019). Esta variabilidad se ve reflejada en el histograma de distribución de frecuencias con la curva de distribución normal superpuesta (Figura 6) y en la gráfica de probabilidad normal de los valores (Figura 7). En donde se observa que, en el histograma con la curva normal y el gráfico de probabilidad normal presenta una tendencia con una aproximación a una distribución normal, aunque no es perfecta. El histograma muestra que la mayoría de los datos están centrados en torno a la media de 34.98 N, con una desviación estándar moderada de 10.62 N. Sin embargo, se observan algunas irregularidades, como un grupo de valores más altos en los extremos, lo que indica una mayor frecuencia de valores extremos, tanto altos como bajos, lo cual no es típico de observar en una distribución completamente normal. Esto sugiere que, aunque los datos tienden a una distribución normal, existen algunas desviaciones en los extremos y la gráfica de probabilidad normal confirma estas observaciones. La mayor parte de los puntos se alinea bien con la línea recta del modelo lineal, lo que indica una distribución cercana a la normalidad en los datos. No obstante, las desviaciones en los extremos de la gráfica muestran que los valores más altos y bajos de fuerza de

corte no se ajustan completamente a una distribución normal. Esto sugiere la presencia de valores atípicos o una ligera asimetría en la distribución de la textura. En conjunto, los datos de textura pueden considerarse aproximadamente normales, pero con algunas irregularidades en los valores extremos.

Figura 6

Histograma de distribución de frecuencias y curva de distribución normal ajustada a los datos de fuerza de corte del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de zamorano.

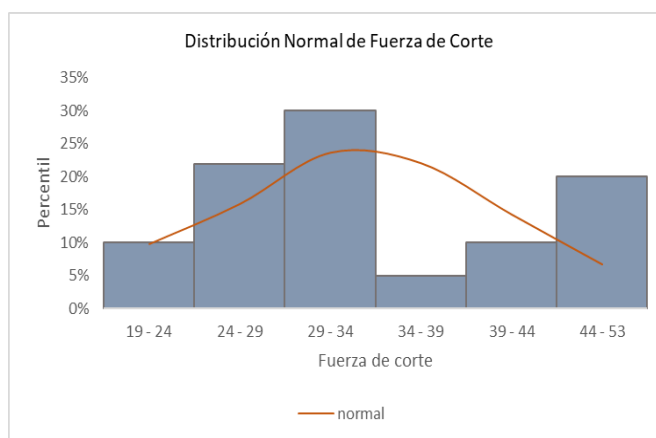
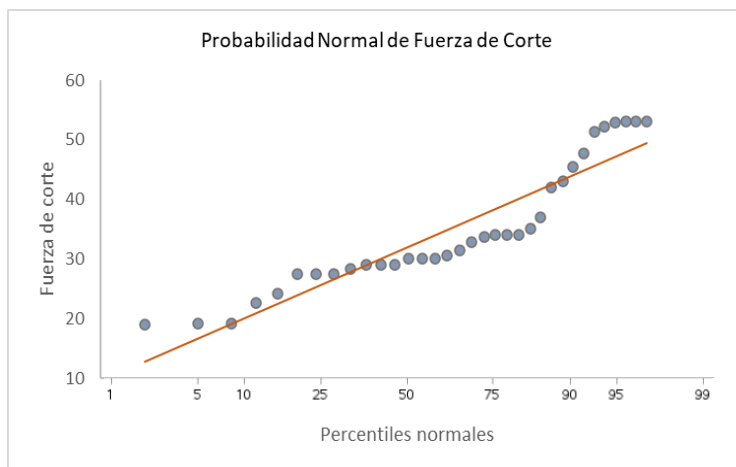


Figura 7

Gráfica de probabilidad normal de los valores de fuerza de corte del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.



Existen dos escalas de clasificación de terneza de carne, basadas en la fuerza de corte, comúnmente utilizadas en la industria de los alimentos. Por un lado, está la clasificación propuesta

por Wheeler et al. (1997), quien distribuye la carne como se observa en el Cuadro 5, de acuerdo con la escala de Warner Bratzler.

Cuadro 5

Clasificación de la fuerza de corte de Warner Bratzler en Newtons, descrita por Wheeler et al. (1997).

Clasificación	FCWB (N)
Carne tierna	<22.26
Carne medianamente tierna	22.26 - 35.59
Carne dura	35.60 - 53.34
Carne extremadamente dura	>53.34

Nota. Tomado de Vignale Centanino (2015). FCWB: Fuerza de corte de Warner Bratzler. N: Newtons

Tomando como referencia esta clasificación, en promedio, la carne evaluada se clasificaría como carne medianamente tierna, ya que, presentó una media de 34.98 N. Aunque por otro lado está la clasificación de terneza de American Society for Testing and Material [ASTM] (2011), F2915-11, en donde se indica que una carne con un valor mínimo de 43.1 N es un valor representativo de carne tierna, y que los consumidores podrían detectar diferencias si varía en 5 N del valor previamente indicado (ASTM, 2011). Por lo tanto, si se usa uno u otro método de clasificación, en general, se podría decir que, la carne evaluada, en promedio presentó una fuerza de corte aceptable, ya sea medianamente tierna o tierna, variando de una clasificación a otra.

Análisis de pH

El pH o potencial de hidrógeno, es una medida que permite determinar la concentración de iones de hidrógeno en una solución o cuerpo. Esta medición puede expresarse de manera cuantitativa y cualitativa, distinguiendo entre pH neutro con un valor 7, ácido menor a 7 o alcalino mayor a 7. Esto facilita la clasificación de las soluciones según su nivel de acidez o basicidad, proporcionando una manera de entender sus propiedades químicas (Castiblanco y Cárdenas, 2020). Específicamente para la carne de bovino, se espera un pH final entre 5.4 a 5.7 (Meléndez Lemus, 2018).

El pH del tejido muscular es un factor de especial importancia para la carne, ya que se puede ver afectado en momentos concretos del proceso de la transformación de músculo a carne, lo cual, si no es bien controlado, puede llegar a influir negativamente en las características de calidad de la

carne. El pH final afecta a muchos factores de calidad, tales como, color, encogimiento de las canales, textura, purga en la cocción, entre otros (Larenas Muñoz, 2016).

En el Cuadro 6 se pueden observar las medidas de tendencia central y de dispersión de pH que caracterizan al músculo *Longissimus dorsi*, obtenidos específicamente de las 34 muestras provenientes de ganados estabulado de Zamorano.

Cuadro 6

Medidas de tendencia central y de dispersión de pH del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Media±D.E.	%CV	Mínimo	Máximo	Rango
5.61±0.09	1.52	5.35	5.76	0.41

Nota. D.E.: Desviación estándar. %CV: Porcentaje de coeficiente de variación. Rango: Diferencia entre valor máximo y mínimo.

La media obtenida de 5.61 concuerda con lo encontrado por Vignale Centanino (2015), quien reportó un valor de pH promedio de 5.69 a las 24 horas postmortem para machos jóvenes; también concuerda con un estudio realizado por Castro De Jesús (2020), quien a las 24 horas postmortem reportó dos valores de pH promedio de 5.62 y 5.67 para machos jóvenes.

Análisis de Actividad de Agua (a_w)

La actividad de agua es un parámetro indicador del contenido de agua disponible para el crecimiento microbiano y la estabilidad de los atributos sensoriales de la carne. Esta variable (a_w) es un factor crucial en la calidad de la carne bovina, ya que influye directamente en la capacidad de retención de agua, el crecimiento microbiano y la vida útil de los productos cárnicos. En carne fresca, la a_w generalmente está entre 0.95 y 0.99, lo que significa que tiene un alto contenido de agua disponible, permitiendo el crecimiento de microorganismos si no se maneja correctamente (Fennema y Carpenter, 1984).

En el Cuadro 7 se pueden observar las medidas de tendencia central y de dispersión para el parámetro de actividad de agua, en donde se observa una media con un valor de 0.96, lo cual corresponde a la naturaleza de la carne fresca.

Cuadro 7

Medidas de tendencia central y de dispersión de a_w del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Media±D.E.	%CV	Mínimo	Máximo	Rango
0.96±0.01	1.12	0.94	0.99	0.05

Nota. a_w : Actividad de agua. D.E.: Desviación estándar. %CV: Porcentaje de coeficiente de variación. Rango: Diferencia entre valor máximo y mínimo.

Análisis de Porcentaje de Humedad

De acuerdo con Meléndez Lemus (2018), la carne contiene entre un 60-80% de agua., de la cual un 75% es agua libre que se encuentra entre los espacios de los filamentos de actina y miosina. El otro 5% es agua ligada a proteínas (Meléndez Lemus, 2018). El USDA, indica que la carne cruda de bovino debe contener aproximadamente 73% de humedad (USDA, 2007). En el Cuadro 8 se muestran las medidas de tendencia central y de dispersión obtenidas en este estudio, en donde se observa una media de 76.18% de humedad con una desviación estándar de 2.05, esto coincide con lo descrito por el USDA (2007). Los resultados obtenidos también fueron muy similares a los hallazgos realizados por Hernández Lino (2018) en un estudio realizado con bovinos, en donde encontró una media de 76.4% de humedad.

Cuadro 8

Medidas de tendencia central y de dispersión de porcentaje de humedad (%H) del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Media±D.E.	%CV	Mínimo	Máximo	Rango
76.18%±2.05	2.68	69.01%	81.39%	12.38

Nota. D.E.: Desviación estándar. %CV: Porcentaje de coeficiente de variación. Rango: Diferencia entre el valor máximo y mínimo.

De acuerdo con León et al. (2017), cuando se hace la determinación de humedad principalmente lo que se mide es el agua libre, por medio de la ecuación 1, descrita previamente.

El porcentaje de humedad de la carne es importante, ya que, muchas de las propiedades sensoriales de la carne como son el color, la textura y la firmeza, están relacionadas con la cantidad de agua que se tiene contenida o retenida en la carne (León et al., 2017).

Posterior a la realización del análisis de medidas de tendencia central y de dispersión de la totalidad de muestras de carne para cada una de las variables fisicoquímicas evaluadas, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANDEVA) con separación de medias Duncan y análisis de correlación de Pearson, tomando como tratamientos a los grupos que se realizaron de acuerdo con el chroma de los colores. La conformación de los grupos se detalla en el Cuadro 8.

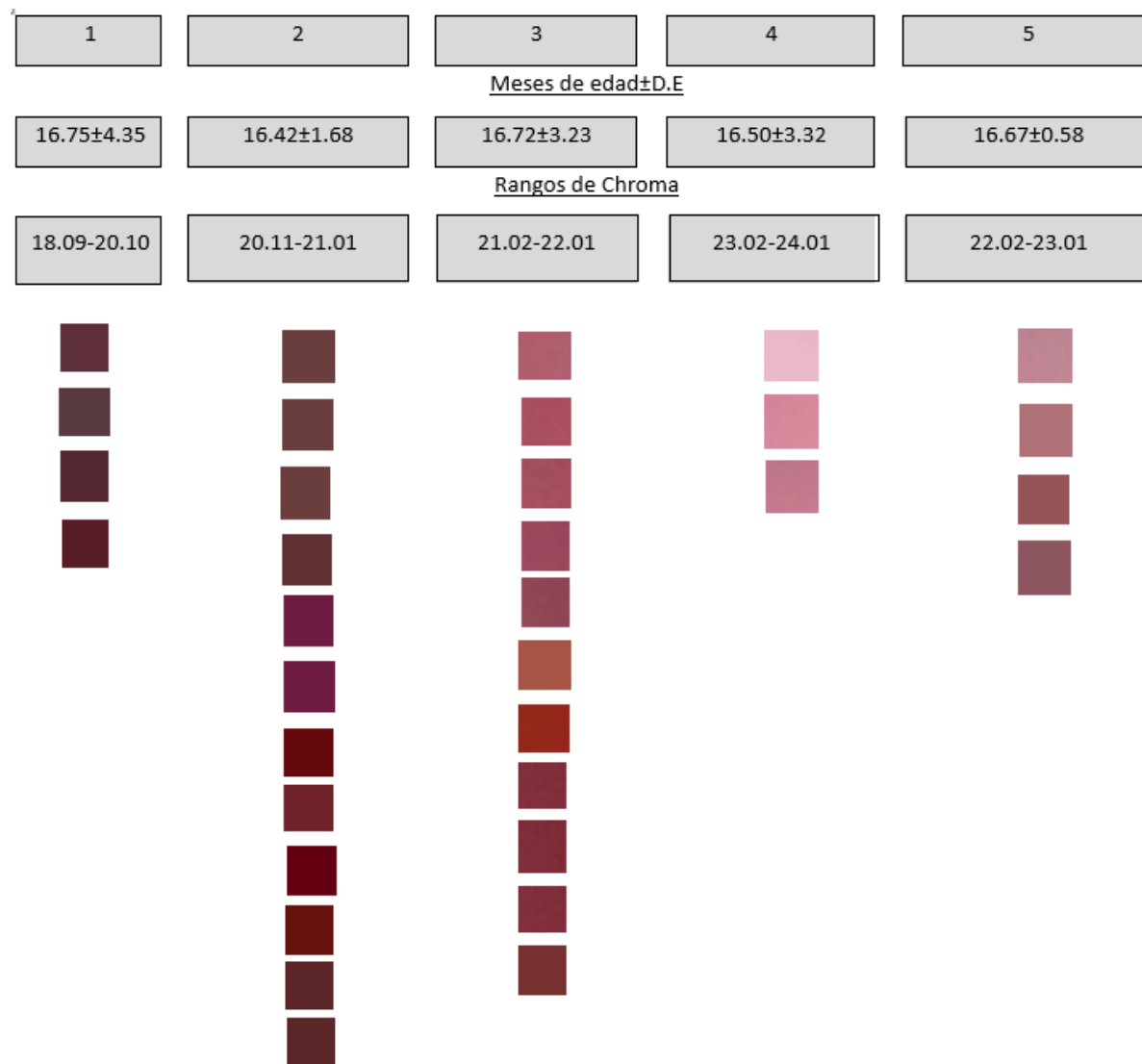
Especificación de la Agrupación por Croma

Los resultados de L^* a^* b^* se utilizaron para calcular el chroma utilizando la ecuación 2 previamente descrita. Con base a los resultados de chroma se realizaron rangos para agrupar las 34 unidades observacionales en cinco grupos. Esto para facilitar la realización del análisis sensorial de prueba afectiva de aceptación y para realizar el análisis estadístico de las características fisicoquímicas y comparar las diferencias entre los grupos creados; se decidió agrupar de acuerdo con la intensidad de color o chroma, debido a que uno de los objetivos principales de este estudio fue lograr realizar un método colorimétrico para clasificar la carne de acuerdo con su calidad. Agrupar carne por diferentes rangos de chroma para diferenciar el color tiene respaldo científico, ya que, un estudio realizado por Ripoll García et al. (2012), en donde evaluó las variables L^* a^* b^* H^* y C^* para ver que variables eran más influyentes o determinantes en la apreciación visual por el ojo humano, determinó que, la variable de saturación o chroma, C^* , fue la que tuvo mayor correlación significativa con la nota dada por el evaluador humano, también observó que la variable chroma, descendía paulatinamente en el color de la carne, cuando esta aumentaba su tonalidad marrón.

En la Figura 8 se pueden observar los grupos creados de acuerdo con el rango de chromas o intensidad de color obtenidos.

Figura 8

Agrupación de las 34 muestras por rangos de chroma y la media de edad de los animales que conformaron cada agrupación.



Nota. Los colores que conforman cada grupo hacen referencia al color de cada muestra del músculo *Longissimus dorsi* que se agrupó dentro de cada rango de chroma. D.E: Desviación estándar.

Cabe mencionar que dentro de cada grupo había bovinos de raza Holstein, Jersey y encastes, siendo todos animales jóvenes, clasificados como Madurez A, de acuerdo con el sistema de clasificación de madurez de USDA, tal como se observó en el Cuadro 1.

La raza, ID, y edad específica del animal se pueden observar en el Anexo B.

Análisis de las Características Físicoquímicas por Grupos de Chroma

El análisis estadístico se realizó bajo un modelo de bloques completos al azar, ya que, dentro de cada grupo o tratamiento había distintas razas, por lo tanto, los bloques fueron las tres diferentes composiciones raciales presentes en los grupos. La raza de cada animal se puede observar detalladamente en el Anexo B. Se realizó un ANDEVA, con separación de medias Duncan para las características físicoquímicas entre los diferentes grupos de chroma.

pH

En la Figura 9 se pueden observar el parámetro de pH del músculo *Longissimus dorsi*, en donde se observó que no hubo diferencia significativa entre los diferentes grupos ($P > 0.05$), esto indica que la diferencia de chroma o intensidad de color de estos grupos no afectó a la variable pH. Los resultados obtenidos concuerdan con Orellana Fajardo (2022), quien reportó no encontrar diferencia significativa de pH entre bovinos de diferente madurez fisiológica, los cuales, al ser de diferente edad, también presentaban diferente coloración de carne, y, aun así, el pH no se vio influenciado. Cabe mencionar que en todos los grupos se obtuvo un valor de pH que se encontraba dentro del rango ideal que va de 5.4 a 5.7, lo cual garantiza el buen estado de la carne en evaluación. El hecho de conocer el grado de pH es fundamental para descartar que el cambio de color u otras características se deban a una acidez inadecuada. Es importante obtener un grado de acidez adecuado en *Longissimus dorsi* para inhibir el crecimiento microbiológico y proporcionar una buena calidad de la carne (Shen et al., 2012).

Figura 9

pH de la carne, evaluado entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Grupos		pH Media±D.E. ^{NS}
1	18.09 20.10	5.67±0.07
2	20.11 21.01	5.63±0.08
3	21.02 22.01	5.62±0.06
4	23.02 24.01	5.60±0.06
5	22.02 23.01	5.63±0.07
%CV		1.17

Nota. %CV: Porcentaje de coeficiente de variación. NS: No significativo. D.E.: Desviación estándar.

Actividad de Agua (a_w)

Con respecto a la actividad de agua se puede observar en la Figura 10 que no existió diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($P > 0.05$), esto indica que la diferencia de chroma entre los grupos no afectó el comportamiento del parámetro a_w . La actividad de agua en los alimentos es un factor clave que influye en el desarrollo de microorganismos. En el caso de la carne fresca, su valor es cercano a 0.99, lo que la hace vulnerable a la acción de varias especies microbianas, como se señala en el estudio de Prandl et al. (1994). Los valores de las medias obtenidas en este estudio se encontraban entre 0.96 a 0.98, lo cual concuerda con un estudio realizado por Quiroz Osorio et al. (2014), quien reportó valores de media de a_w de 0.96 y 0.97 en el músculo *Longissimus dorsi* para bovinos de 24 a 27 meses de edad, que se clasifican de acuerdo con el grado de madurez de USDA, en la categoría A, al igual que en este estudio.

Figura 10

Actividad de agua (a_w) de la carne, evaluada entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Grupos		a_w Media \pm D.E. ^{NS}
1	18.09 20.10	0.96 \pm 0.00
2	20.11 21.01	0.96 \pm 0.01
3	21.02 22.01	0.97 \pm 0.01
4	23.02 24.01	0.98 \pm 0.00
5	22.02 23.01	0.97 \pm 0.02
%CV		1.14

Nota. a_w : Actividad de agua. D.E.: Desviación estándar. N.S: No significativa. %CV: Porcentaje de coeficiente de variación.

Porcentaje de Humedad

Para el parámetro de porcentaje de humedad, se puede observar en la Figura 11, que no se presentó diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.05$), por lo tanto, la agrupación por saturación o chroma de color tampoco afecta la variable de %humedad en este estudio. Las medias de porcentaje de humedad se encontraron con valores entre 75.29% a 76.62% lo cual difiere de un estudio realizado en el 2018 por Meléndez Lemus, quien encontró una media de 72.63% de humedad; otro estudio realizado por Castro De Jesús (2020), reporto medias de humedad de 72.20% y 73.30% para dos grupos de bovinos; los resultados encontrados en este estudio también difieren con un estudio realizado por León et al. (2017), quien reporto un valor promedio de 71% de humedad para carne de res. Por otro lado, un estudio realizado por Hernández Lino (2018) reportó hallazgos de porcentaje de humedad de 76.40% y 77.45%, lo cual coincide con lo encontrado en este estudio.

La actividad de agua y porcentaje de humedad son variables bastante estables en la carne y se pueden ver afectadas por factores bastante influyentes sobre la carne, como por algún tratamiento

de maduración o alguna salmuera agregada, de lo contrario son parámetros muy estables, que en este caso no se vieron afectadas por los diferentes grupos de saturación de color o chroma.

Figura 11

Porcentaje de humedad de la carne, evaluado entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Grupos	% Humedad Media±D.E. ^{NS}
1 18.09 20.10	75.29±1.68
2 20.11 21.01	76.62±1.78
3 21.02 22.01	75.88±2.78
4 23.02 24.01	76.34±2.28
5 22.02 23.01	76.21±1.51
%CV	2.67

Nota. D.E.: Desviación estándar. NS: No significativo. %CV: Porcentaje de coeficiente de variación.

Fuerza de Corte

Para la variable fuerza de corte en Newtons, si se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$), lo cual indica que los grupos separados por color tuvieron una influencia significativa sobre la fuerza de corte (Figura 12). Los grupos que se observaron cómo los más suaves o con menor fuerza de corte, fueron el grupo 4 que su rango de chroma iba de 23.02 a 24.01 y 5 que su rango de chroma era de 22.02 a 23.01, con un valor promedio de fuerza de corte de 24.97 N y 20.84 N respectivamente; estos dos grupos fueron estadísticamente iguales en fuerza de corte de acuerdo con la separación de medias Duncan. Esta fuerza de corte observada en estos dos grupos se puede clasificar de acuerdo con la escala de Warner Bratzler descrita por Wheeler et al. (1997) (Cuadro 5); el grupo 4 se clasificaría como una carne medianamente tierna, mientras que la carne del grupo 5 entraría en la clasificación de carne tierna. Los valores encontrados difieren con lo reportado por

Jaramillo Recalde (2016), quien encontró una fuerza de corte de 37.11 N en bovinos a las 24 h postmortem, cabe mencionar que Jaramillo no agrupo los animales por color.

La suavidad o baja fuerza de corte del *Longissimus dorsi* depende tanto del contenido y la solubilidad del colágeno, asimismo del acortamiento del sarcómero durante el proceso rigor mortis, de igual manera de la proteólisis miofibrilar ocurrida después del almacenamiento (Koohmaraie, 2005). Al ser el *Longissimus dorsi* un músculo que se encuentra en el lomo de la canal, presenta una mayor suavidad, por ende, menor fuerza de corte en comparación con los músculos del tren delantero y los que se encargan de la motilidad del animal (Orellana Fajardo, 2022).

En cuanto al grupo que presentó la media más alta de fuerza de corte fue el grupo 1, con una media de fuerza de corte de 44.70 N, aunque esta fue la media más alta, también fue estadísticamente igual a la fuerza de corte del grupo 2 y 3. Esta carne del grupo 1, 2 y 3, de acuerdo con la escala de Warner Bratzler se clasificarían como una carne dura.

Figura 12

Fuerza de corte de la carne en Newtons, evaluada entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Grupos	Fuerza de corte (N) Media±D.E.
1 18.09 20.10	44.70±10.75 ^a
2 20.11 21.01	35.90±10.08 ^{ab}
3 21.02 22.01	35.67±9.62 ^{ab}
4 23.02 24.01	24.97±4.41 ^{bc}
5 22.02 23.01	20.84±2.46 ^c
%CV	25.55

Nota. %CV: Porcentaje de coeficiente de variación. (N): Newtons. D.E.: Desviación estándar. Medias con diferentes letras representan diferencias estadísticamente significativas. Medias que tiene letras en común, son estadísticamente iguales. FCWB (N): Carne tierna=<22.26.

Carne medianamente tierna=22.26-35.59. Carne dura=35.60-53.34. Carne extremadamente dura=>53.34. FCWB: Fuerza de corte Warner Bratzler (Wheeler et al., 1997).

La carne presenta diferentes fuerzas de corte, afectada por cuatro características siendo estas la proteólisis postmortem, grasa intramuscular o marmoleo, tejido conectivo y el estado contráctil del músculo (Belew et al., 2003). Estos factores contribuyen a la diferencia de fuerza de corte dentro de la misma canal de res.

La suavidad o ternera forma parte de la calidad sensorial de la carne que junto con el sabor y la jugosidad determinan las variaciones en la palatabilidad de la carne en el momento de la degustación por parte del consumidor. Diversos investigadores y agentes vinculados a la cadena cárnica enfatizan que la ternera en la carne cocida es la cualidad más importante de la aceptación del consumidor y el color es la característica más importante en la carne cruda, sobre todo al momento de la decisión de compra. La inconsistencia en la ternera se ha identificado como uno de los problemas más importantes que debe enfrentar la industria cárnica (Peluffo y Monteiro Rodríguez, 2002).

Algunos autores han mencionado que el único momento en que realmente se sabe la ternera de la carne, es cuando la misma es degustada por el consumidor, sin embargo, existe una buena correlación (0.78) entre el método Warner Bratzler (fuerza de corte) y los paneles de degustación, esto significa que el valor que registra la fuerza de corte es un buen predictor de la realidad (Flórez Díaz et al., 2021). Por lo tanto, se puede decir que los datos obtenidos de fuerza de corte con el método de Warner Bratzler son muy confiables y determinantes.

La fuerza de corte necesaria para el *Longissimus dorsi* aumenta a medida que la edad del animal es superior a 30 meses, volviéndose más dura (Orellana Fajardo, 2022). Es de esperar que a medida que un animal envejece, este presenta un tejido conectivo más reticulado y resistente al calor por lo cual hay más variación en la ternera (Obuz et al., 2014). Sin embargo, todas las muestras que se evaluaron en este estudio eran provenientes de animales con madurez fisiológica de clasificación A, es decir, menores a 30 meses de edad, de acuerdo con USDA (Cuadro 1). Por lo tanto, se puede inferir que, la diferencia estadísticamente significativa encontrada entre fuerza de corte no se debe a

la diferencia de edad entre animales, sino a otro factor, que se cree que pueda ser el color; aunque por otro lado está el tejido conectivo, el cual es un factor altamente influyente en la variación de la suavidad de la carne, que aunque es un factor que aumenta con forme aumenta la edad del animal, también puede estar presente en animales jóvenes, dependiendo de la raza y alimentación. Se ha observado una estrecha relación entre el contenido de tejido conectivo y la dureza o resistencia al corte de los músculos (Triviño et al., 2017).

Color L^* a^* b^*

Los datos de color se obtuvieron con valores tridimensionales L^* a^* b^* , y para estos parámetros se obtuvieron resultados interesantes, ya que, los tres valores presentaron diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$), lo cual indica que los grupos realizados por saturación de color o chroma afectaron o influyeron en las variables L^* a^* b^* (Figura 13).

La evaluación del color de la carne es de gran importancia, debido a que, es un atributo que influye directamente sobre la decisión de compra del consumidor (Salinas, 2014). En la industria de la carne de bovino de EE. UU. se pierde 3730 millones de dólares al año debido a la decoloración porque ya no resulta atractiva para el consumidor. La cantidad total de carne de res descartada por año en los EE. UU. corresponde a 194.70 millones de kg, lo que representa el desperdicio de 780,000 animales y los recursos naturales asociados utilizados en su producción (Ramanathan et al., 2022). Es allí donde radica la importancia de caracterizar el color de la carne, clasificarla y con base a esto, asignarle el uso más adecuado para su procesamiento y comercialización.

Como se observa en la Figura 13, específicamente para el valor L^* , de acuerdo con la separación de medias Duncan, el grupo 1, que tuvo rango de chroma de 18.09 a 20.10, se posicionó como el grupo que presentó una menor luminosidad, es decir que fue el grupo con las muestras de carne más oscuras en esta evaluación, con una media de 33.09, este valor de L^* , de acuerdo con la escala colorimétrica de clasificación realizada con carne de bovino en México por Salinas (2014) que se puede observar en el Cuadro 9, se asignaría en la categoría 5 que las denominaría cortes oscuros.

Aunque el grupo 1 presento la media más baja del valor L*, este fue estadísticamente igual al grupo 2 y 3.

Figura 13

Color L* a* b* de la carne, evaluado entre grupos con distintos rangos de chroma, del músculo Longissimus dorsi a las 24 h postmortem en ganado estabulado de Zamorano.

Grupos	L*	a*	b*
	Media±D.E.	Media±D.E.	Media±D.E.
1	33.09±3.73 ^b	14.10±0.43 ^b	12.48±1.40 ^c
2	37.89±4.71 ^{ab}	14.23±1.16 ^b	14.67±1.11 ^b
3	37.80±2.15 ^{ab}	15.30±0.76 ^{ab}	15.04±0.55 ^{ab}
4	41.78±3.72 ^a	15.12±1.13 ^{ab}	16.52±0.71 ^a
5	39.77±4.22 ^a	16.33±1.39 ^a	16.38±1.33 ^a
%CV	9.39	6.67	6.54

Nota. Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales, medias con letras diferentes son diferentes. D.E.:

Por otro lado, está el grupo 4 y 5 que se presentaron con los valores de L* más altos, es decir, más claros, con medias de 41.78 y 39.77 respectivamente. Estos dos grupos fueron altos, aunque fueron iguales al grupo 2 y 3.

Se pudo observar en la Figura 13 una diferencia bien marcada en cuanto al valor de L*, luminosidad, en los grupos mencionados. Recordando que los animales en evaluación eran de edades similares, todos de madurez A, se cree que la diferencia en luminosidad del color no se debió a variaciones en la edad, sino en factores netamente del color que presento la carne de cada uno de ellos.

Cuadro 9

Escala colorimétrica de carne bovina en México realizada por Salinas (2014) con los intervalos de confianza (95%) para el valor L, dentro de cada categoría visual.*

Categoría visual	IC
1a	48.10-48.79
1b	45.64-45.87
2a	43.21-43.37
2b	40.71-40.86
3	38.08-38.31
4	35.57-35.92
5	32.69-33.40

Nota. Clasificación colorimétrica de carne de bovino toma de Salinas (2014). IC: Intervalo de confianza de valor L*.

En la evaluación de bovinos, el color de la carne está íntimamente relacionado con otros factores, como el estrés producido por el manejo inadecuado del bovino antes del sacrificio o el tipo de suplementos y vitaminas que ingirió. El color depende del contenido de pigmentos (factor intrínseco del músculo relacionado con la especie, edad, raza, sexo y alimentación del animal), las condiciones del período de pre y postmortem (estrés, temperatura y humedad del cuarto frío que afectan la velocidad de caída y valor final del pH) (Almada et al., 2012). La mioglobina sarcoplasmática, es la proteína que da el color a la carne. Dentro de los factores antemortem que afectan el color de la carne son la dieta, el estrés sufrido por acción del clima u otros factores, esto tiene efecto sobre el color final de la carne (Castro De Jesús, 2020). Cabe mencionar que los animales evaluados, antes de ser faenados, pasaron por un proceso de estrés climático, ya que, era época lluviosa y sus corrales se habían enlodado mucho, e incluso, algunos se dañaron las patas por tanta humedad en el suelo.

Se pudo observar que, los grupos que presentaron mayor luminosidad, L*, que fueron los grupos 4 y 5, coinciden con los dos grupos que mostraron menor fuerza de corte. Así mismo, el grupo que se mostró con un L* más oscuro, que fue el 1, se observó con una fuerza de corte mayor, recordando que estos parámetros presentaron diferencias estadísticamente significativas. A simple vista, se pudo observar que, la fuerza de corte muestra una tendencia inversa con la luminosidad la carne, ya que, se observó que mientras menor era la luminosidad L* de la carne, presentaba una

mayor fuerza de corte, y viceversa. Sin embargo, fue importante realizar la correlación estadística para ver si esta es significativa. Pero ese patrón de comportamiento que se observó, coincide con estudios realizados, en donde se mide la relación entre color usando valores de L^* , a^* , b^* en el espacio de color CIELab y suavidad (fuerza de corte) y se ha encontrado una correlación estadísticamente significativa entre L^* , luminosidad, evidenciándose que, a menor luminosidad, se espera una mayor fuerza de corte; la fuerza de corte se utiliza para medir la dureza de la carne, y se ha observado que, en general, carnes más duras, es decir, con mayor fuerza de corte, tienden a tener colores más oscuros (Wicks et al., 2019).

Para la variable a^* también se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$), tal como se observa en la Figura 13. Se observó al grupo 5 (chroma de 22.02 a 23.01) con la media más alta, siendo esta, 16.33, y el grupo 1 (chroma de 18.09 a 20.10) y 2 (chroma de 20.11 a 21.01), con las medias más bajas, siendo estas 14.10 y 14.23 respectivamente, es decir que el grupo 1 y 2 fueron iguales y estos fueron estadísticamente diferentes al grupo 5.

Es importante recordar que la variable a^* , es la que indica el grado de color rojizo de la muestra, ya que, si presenta valores positivos indica colores rojizos, y si presenta valores negativos indica colores verdes.

Los valores de a^* encontrados en los cinco grupos de rangos de chroma fueron desde 16.33 hasta 14.10, dichos valores fueron muy cercanos a lo reportado por Cáceres y Sanabria (2021), quienes encontraron valores de a^* en bovinos, de 16.34 y 14.83.

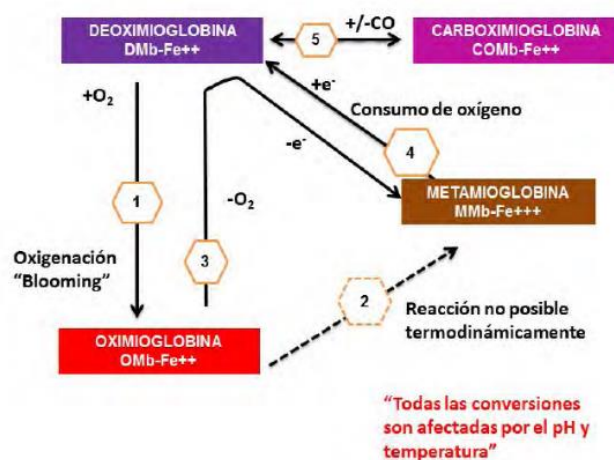
El color de la carne depende en mayor medida de las formas redox de la mioglobina, además de la interacción de otros factores como el metabolismo muscular, la temperatura, la presión parcial de oxígeno, la genética, la raza, los sistemas de producción, la alimentación y el manejo pre y postmortem (King et al., 2011).

El color de la carne depende del pigmento rojo primario de la carne, la mioglobina, responsable de almacenar oxígeno en las células. La molécula puede existir en cuatro estados

químicos (desoximioglobina, oximioglobina, carboximioglobina y metmioglobina), que determinan el color observado. Los factores que influyen en la interconversión entre estos estados químicos y/o la estabilidad del estado químico brindan la oportunidad de controlar en cierta medida el color observado (AMSA, 2023). En la Figura 14 se puede observar las inter-conversiones de las formas redox de la mioglobina en la carne fresca.

Figura 14

Interconversiones de las formas redox de la mioglobina (Mb) en la carne fresca.



Nota. Tomado de AMSA (2023). DMb: Deoximioglobina. OMb: Oximioglobina. MMb: Metamioglobina. COMb: Carboximioglobina. Fe: Hierro. O: oxígeno. e: electrón.

Comprender los estados químicos de la mioglobina es importante para gestionar y controlar el color y, en última instancia, satisfacer las expectativas del consumidor. Cuanto mayor sea el contenido de mioglobina que contenga la carne, más rojo oscuro será su color (AMSA, 2023).

En cuando a los valores de la variable b^* , se obtuvieron tres segmentaciones de acuerdo con la separación de medias Duncan, siendo significativamente diferentes ($P < 0.05$), en donde se observó una media de 12.48 para el grupo 1, siendo esta la media más baja y las medias más altas las presentaron los grupos 4 y 5 con un valor b^* de 16.52 y 16.38 respectivamente, aunque estos fueron igual al 3, siendo b^* un indicador de la coloración amarilla si es positivo y coloración azul si es negativo. Los valores de b^* encontrados en este estudio difieren de los hallazgos de Ripoll García et al. (2012), quienes encontraron valores de b^* de 6.74. Otro estudio realizado por Amaya Araujo (2019), presentó

valores de b^* en carne bovina, que iban de 12.81 a 16.42, lo cual, se encuentra más parecido a los hallazgos de este estudio.

La variable b^* al igual que L^* y a^* mostraron tener una relación lógica con la fuerza de corte, ya que, b^* se presentó más baja en la carne con mayor fuerza de corte y se presentó con una media más alta en el grupo que presentó menor fuerza de corte. Tomando en cuenta que b^* es indicador de tonalidades amarillas, es de esperarse que sea influyente y vaya relacionada con la variable luminosidad, L^* , de la carne.

De acuerdo con Vignale Centanino (2015) a medida que aumenta el porcentaje de lípidos, aumenta también la luminosidad y el valor de b^* de la carne. El contenido de grasa influye, pues las materias primas con mayor contenido en grasa son las que presentan mayores valores de b^* (Amaya Araujo, 2019). La coloración amarillenta está asociada a los carotenoides (β caroteno) presentes en la alimentación que se le brinda al ganado, ya que los animales dependen completamente del alimento como fuente de carotenoides que son constituyentes normales de la sangre y tejidos (Dunne et al., 2010).

Varios factores pueden afectar el color de la carne cruda. Si al momento de la matanza del vacuno, el contenido de glucógeno en el tejido muscular es anormalmente bajo, la carne tiende a ser oscura al presentar una estructura compacta y absorber más luz (Triviño et al., 2017).

Debido a que son varios los factores que afectarán la estabilidad del color de la carne, estos se deben considerar al momento de hacer las mediciones ya sean instrumentales o subjetivas. Por lo que los factores mínimos a estandarizarse son la temperatura ambiental y el tiempo mínimo de oxigenación de la mioglobina, de lo contrario se verán afectados los resultados obtenidos (AMSA, 2023).

Análisis de Correlación de Pearson

Para el análisis de correlación de Pearson, se encontró correlación estadísticamente significativa ($P < 0.05$), de la variable L^* con a^* y b^* . El análisis de correlación de Pearson mide el grado de asociación de una relación lineal entre dos o más variables continuas.

Como se puede observar en el Cuadro 10, la variable L^* y a^* tienen una correlación baja negativa, pero es estadísticamente significativa, con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.4574 y una probabilidad de 0.0085. El hecho de ser una correlación negativa, indica que, si L^* aumenta, a^* disminuye, y el valor de -0.4574 nos indica que estas variables son predecibles entre sí, en un 45.74%.

En el mismo Cuadro 10, se observa la correlación de las variables L^* y b^* la cual es una correlación alta positiva, con un índice de Pearson de 0.9114 y una probabilidad $< .0001$. Esto indica que cuando b^* aumenta L^* también aumenta y viceversa. Estas variables se predicen entre sí, en un 91.14%.

Cuadro 10

Análisis de correlación de Pearson de L^ , a^* y b^* .*

Parámetro	a^*	b^*
L^*	-0.4574	0.9114
Prob $> r $	0.0085	$< .0001$

Nota. Prob: Probabilidad. r: Índice de Pearson

En el Cuadro 11 se puede observar que la variable b^* tuvo correlación estadísticamente significativa ($P < 0.05$) con las variables de actividad de agua (a_w) y fuerza de corte.

Para la correlación de b^* y a_w se pudo observar una correlación baja positiva, con un índice de Pearson de 0.3555 y una probabilidad de 0.0458. Esto indica que las variables b^* y a_w se predicen entre sí, en un 35.55%.

En cuanto a las variables b^* y fuerza de corte se encontró una correlación baja negativa, con un índice de Pearson de -0.4104 con una probabilidad de 0.0196. Por lo tanto, cuando b^* aumenta, es decir, cuando la tonalidad amarilla aumenta en la carne, entonces la fuerza de corte disminuye; estas

variables se predicen entre sí en un 41.04%. Esta correlación entre fuerza de corte con la variable b^* es un hallazgo importante, ya que, mediante la identificación del valor b^* con aplicaciones móviles, se puede tener una idea de si la carne será dura o suave, en términos de fuerza de corte, antes de comprarla. Esta relación se puede deber a que, mientras mayor es la tonalidad amarilla (b^*), mayor es la luminosidad, L^* , como se observó en el Cuadro 10. Se sabe que si una carne es más clara requerirá una menor fuerza de corte, en comparación con un menor valor de b^* , disminuirá el valor de L^* , representando una carne de corte oscuro, lo cual será representativo de una carne más dura, que necesitará mayor fuerza de corte.

Cuadro 11

Análisis de correlación de Pearson de b^ con a_w y fuerza de corte.*

Parámetro	a_w	Fuerza de corte
b^*	0.3555	-0.4104
Prob > r	0.0458	0.0196

Nota. a_w : Actividad de agua. r: índice de Pearson.

Análisis Sensorial

La calidad sensorial está formada por las características que percibimos por los sentidos en el momento de la compra o del consumo, tales como, color, textura, suavidad, jugosidad, sabor y olor (Triviño et al., 2017).

Las preferencias de los consumidores están relacionadas directamente con los sentidos humanos, como la apariencia, el olfato, el gusto y la sensación en la boca (Joo et al., 2013).

La información que se obtiene es una herramienta valiosa porque provee información más en concordancia con la de los consumidores, que son los únicos que pueden indicar con veracidad el grado de aceptación o rechazo de un producto (Almada et al., 2012).

En la Figura 15 se puede observar que solo se encontró diferencia estadísticamente significativa en la característica olor ($P < 0.05$), siendo el grupo 5 el que presentó la muestra menos aceptada en cuanto a olor, con una media de 6.70 puntos, aunque fue igualmente aceptada que la muestra del grupo 3 en una escala hedónica de 1 a 9. Esto concuerda con lo descrito por Frias y Porras

(2021), quienes encontraron diferencia significativa en la característica de olor evaluada por los panelistas, pero difiere con lo encontrado por Amaya Araujo (2019), quien reportó no haber encontrado diferencias significativas en la evaluación sensorial, en cuanto a la característica de olor.

La carne refrigerada durante largos periodos de tiempo desarrolla olores característicos a viejo no deseable para el consumidor. Si durante el periodo de conservación no se ha mantenido la carne a una temperatura adecuada, esta produce un olor propio de la putrefacción de la carne y un olor a rancio por la oxidación de la grasa al momento de la cocción. Contrario a lo que se presenta en este estudio, ya que, el olor no afectó en la aceptación de las piezas de carne, ya que, en el Cuadro 18 se puede observar que todos los grupos tuvieron una media de aceptación entre 6 y 7 puntos, lo cual indica, me gusta moderadamente y me gusta, tal como se observa en la escala hedónica de 9 puntos (Figura 3).

No se tiene mucha información con respecto al olor de la carne, sin embargo, se sabe que contiene compuestos volátiles que dependiendo de su concentración pueden llegar a generar cierta percepción del olor en los consumidores.

Algunos compuestos que producen olor están presentes en la carne cruda, sin embargo, se acepta generalmente que el olor de la carne se desarrolla principalmente durante el tratamiento térmico, es decir, la cocción, donde la tiamina (vitamina B1), el glucógeno, las glucoproteínas, los nucleótidos, los nucleósidos, los azúcares libres, los aminoácidos, los péptidos, las aminas, los ácidos orgánicos y los lípidos son los precursores. Cuando se calienta la carne, esos precursores participan en reacciones que forman intermediarios que forman una mezcla compleja de volátiles, incluidos los que son responsables del olor de la carne. La oxidación lipídica, las reacciones de Maillard y de Strecker son las principales reacciones potencialmente responsables de los compuestos olorosos que se sabe que se producen en la carne cocida (Resconi et al., 2013).

Cabe mencionar que, la preparación de las muestras se hizo de una manera estandarizada y homogénea, sin embargo, fueron preparadas por personal sin experiencia en realización de análisis

sensorial de carne, por lo cual, pudo existir variación en la forma de cocinarse. En un estudio realizado en el 2012 se indicó que cuanto mayor es el grado de calentamiento, mayor es la concentración de aldehídos alifáticos, bencenoides, polisulfuros, compuestos heterocíclicos y volátiles derivados de lípidos, lo cual puede generar intensificación o disminución de compuestos aromáticos en la carne (Van et al., 2012).

Un estudio realizado por Wojtasik-Kalinowska et al. (2024) indicó que el método de cocción fue el factor que más influencio en el olor final que presentó la carne de res.

Figura 15

Aceptación sensorial de características de la carne cocida, con una escala hedónica de 1 a 9 evaluada por panelistas no entrenados.

Muestras	Color Media±D.E. NS	Olor Media±D.E.	Apariencia Media±D.E. NS	Textura Media±D.E. NS	Aceptación General Media±D.E. NS
1 18.09 20.10	7.10±1.66	7.19±1.62 ^a	7.23±1.54	6.59±2.09	6.92±1.73
2 20.11 21.01	7.06±1.90	7.10±1.67 ^a	7.15±1.54	6.42±2.09	6.90±1.84
3 21.02 22.01	6.99±1.86	6.93±1.82 ^{ab}	7.18±1.62	6.45±2.09	6.93±1.76
4 23.02 24.01	7.19±1.66	7.17±1.66 ^a	7.15±1.74	6.58±2.10	7.01±1.79
5 22.02 23.01	6.95±1.85	6.70±1.83 ^b	7.03±1.55	6.34±2.26	6.63±1.89
%CV	18.89	16.10	15.34	25.99	19.09

Nota. NS: No significativo. %CV: Porcentaje de coeficiente de variación. D.E.: Desviación estándar. Medias con diferentes letras son estadísticamente diferentes. Medias con letras en común son estadísticamente iguales.

En un análisis sensorial existen diferentes tipos de variabilidad en el estudio, siendo la principal fuente de variación los panelistas como tal, sobre todo en este tipo de estudio que se realizó con panelistas no entrenados; aunado a eso, los panelistas fueron jóvenes, que probablemente tiene escaso conocimiento y criterio en cuando a características de la carne.

Se considera que el aparato sensorial humano muestra grados de variación de sensibilidad de persona a persona, que cada mundo individual de sensaciones es muy diferente dependiendo del nivel de desarrollo y que la sensibilidad puede ser influenciada fácilmente por circunstancias externas o del medio. Es por esto que, uno de los grandes problemas asociados al análisis sensorial de los alimentos es conseguir que la respuesta humana sea precisa y reproducible (Almada et al., 2012).

Correlación entre Variables del Análisis Sensorial

En el Cuadro 12 se puede observar la correlación de Pearson entre las características sensoriales evaluadas y la aceptación general de la carne. Se puede observar que todas las características evaluadas tuvieron una correlación altamente significativa ($P < .0001$), lo cual indica que todas las variables evaluadas (color, olor, apariencia y textura) tuvieron influencia en la valoración de la aceptación general por el consumidor; las variables color, olor y apariencia presentaron correlación media positiva mientras que la variable textura presentó correlación alta positiva. Los resultados obtenidos concuerdan con lo descrito por Frias y Porras (2021) quienes realizaron análisis sensorial de carne, evaluando las características de color, olor, textura, jugosidad y sabor, y encontraron que todas tuvieron una correlación media con la aceptación general, y la variable de textura siempre presentó correlación alta positiva y todas las correlaciones fueron altamente significativas ($P < .0001$).

Es un hallazgo importante la correlación alta positiva que se encontró de la textura con la aceptación general, ya que, esto determina que la textura es una variable a la cual los consumidores le dan especial importancia al momento de decidir la aceptación general de la carne. Esta correlación mostró un índice de Pearson de 0.8082, por ende, la variable textura predice en un 80.82% la aceptación general del consumidor.

En general, los consumidores califican el color como el rasgo de calidad más importante para la carne fresca, mientras que la textura se califica como el rasgo de palatabilidad más importante para los consumidores en la carne cocida (Joo et al., 2013). Entre las características sensoriales de la carne, la ternura es el factor más importante para los consumidores (Flórez Díaz et al., 2021).

Cuadro 12

Correlación de Pearson entre características sensoriales de la carne y aceptación general.

Atributo	Color	Olor	Apariencia	Textura
Aceptación General	0.6122	0.6238	0.6744	0.8082
Prob > r	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Nota. r: Índice de Pearson

Análisis de preferencia

Se realizó el análisis de preferencia de los cinco grupos de carne evaluados con 100 panelistas; y se realizó la suma de categorías, sin embargo, tomando en cuenta el valor crítico (61) de la tabla de Basker y Kramer (Anexo G), se determinó que ninguno de los grupos mostró una preferencia estadísticamente diferente a los demás grupos, es decir, que todos los grupos fueron igualmente preferidos, ya que, en la diferencia de suma de categorías, ningún valor supero el valor crítico de 61, para 100 panelistas y cinco muestras (Figura 16).

Figura 16

Análisis de preferencia de los grupos evaluados de carne con el método de Basker y Kramer.

Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
	Suma de categorías	18.09 20.10	20.11 21.01	21.02 22.01	23.02 24.01	22.02 23.01
1	287	0	-10	-13	6	-48
2	297	10	0	-3	16	-38
3	300	13	3	0	19	-35
4	281	-6	-16	-19	0	-54
5	335	48	38	35	54	0

Nota. Valor crítico: 61

Propuesta de Método de Clasificación

El método de clasificación se propuso tomando como base los resultados obtenidos en el análisis estadístico por grupo de las características fisicoquímicas, ya que, se encontró una diferencia

significativa entre las variables de color L^* a^* b^* , y aunque no todos los grupos fueron estadísticamente diferentes entre sí, mostraban una tendencia notoria en aumento de color, pero específicamente se tomó la variable L^* para identificar la separación de cada categoría de la escala propuesta, debido al cambio en la luminosidad del color, es decir, con base a que tan claro u oscuro se mostró el corte de carne, ya que, se encontró una tendencia reflejada en la fuerza de corte de la carne.

Un estudio realizado por Salinas (2014) en donde realizó una escala colorimétrica para la clasificación de la carne bovina, indicó que la variable L^* , en la mayoría de los casos, era la variable más adecuada para utilizar como base en la realización de las categorías de la escala colorimétrica, ya que, L^* es la variable que mejor se asocia con el color real de la carne y la percepción visual por los consumidores o paneles entrenados. Salinas et al. (2020) demostraron que un panel entrenado detecta visualmente la variable L^* , con un 92.6% de aciertos, mientras que consumidores habituales de carne, sin entrenamiento detectan la variable L^* con un 85.3% de aciertos.

Cabe mencionar que, en este estudio se encontró que la variable b^* tiene correlación significativa baja negativa con la variable fuerza de corte con un índice de Pearson de 0.4104, pero a la vez, la variable b^* tiene correlación alta positiva con la variable L^* , y además esta correlación es altamente significativa ($P < .0001$) lo cual refuerza la decisión de tomar la variable L^* como base para la realización de las categorías de la escala propuesta. Aunque está demostrado que los panelistas entrenados y consumidores habituales pueden detectar la variación de la luminosidad del color de la carne, también existen herramientas móviles que nos pueden facilitar la identificación de las variables de triple estímulo que conforman el color. En este estudio se utilizó la aplicación móvil Color Assist con la cual se obtuvieron los colores sólidos representativos de cada corte evaluado (Figura 18). Esta aplicación, aparte de brindarnos el color de la carne el cual podemos comparar subjetivamente con los colores sólidos de la escala propuesta, también brinda valores de color en escala RGB (Rojo-Verde-

Azul), esta escala de color va de 0 a 255, siendo 0 la ausencia total de ese color y 255 representa la máxima intensidad de ese color.

En la Figura 17 se pueden observar los cortes de carne representativos del color del grupo al que pertenecían. Como se mencionó previamente, la variable L^* fue la que se utilizó para la segmentación de las categorías en la escala propuesta. De cada grupo se tomó el valor de L^* menor y mayor para establecer los límites inferiores y superiores de cada categoría, tal como se pueden observar en el Cuadro 13.

La escala para la evaluación visual de color de carne bovina (Figura 17) fue elaborada a partir de los valores mínimos y máximos de L^* de cada grupo evaluado (Cuadro13).

Cuadro 13

Rangos de L^ propuestos, para cada categoría visual de la escala colorimétrica.*

Categoría Visual	Límites de L^*
1	32.42 - 34.76
2A	35.46 - 37.62
2B	37.79 - 39.04
3	39.25 - 41.14
4	41.98 - 44.28

Nota. L^* : Luminosidad.

Esta escala consta de 5 categorías visuales homogéneas representadas con fotografías. La primera categoría (1) corresponden a los colores más oscuros, siendo esta categoría la que presenta los valores más bajos de L^* . Conforme cada categoría visual aumenta su valor nominal de L^* aumenta, de este modo las categorías 2a y 2b corresponden a los colores más comúnmente aceptados, tales como rojos intensos, la categoría 3 al rojo ligeramente pálido y finalmente la categoría 4 al rojo pálido y estos a la vez coinciden con valores más altos de L^* .

En la Figura 18 se observa la misma escala colorimétrica para la clasificación de la carne, pero con colores sólidos obtenidos mediante la evaluación del color con la aplicación móvil Color Assist, y para complementar la evaluación visual subjetiva, se establecieron valores de RGB que hacen

referencia a estos colores sólidos (Cuadro 14). Se establecieron en RGB, ya que, la aplicación móvil Color Assist, presenta los datos de color en esa escala.

Cuadro 14

Rangos de valores RGB para cada una de las categorías de color propuestas en la escala.

Categoría	R ₁	G ₁	B ₁	R ₂	G ₂	B ₂
1	103	67	60	109	72	60
2A	114	73	62	118	79	63
2B	119	79	67	119	84	65
3	127	80	68	129	86	69
4	132	88	74	135	95	76

Nota. R₁G₁B₁: Límites inferiores de las variables RGB. R₂G₂B₂: Límites superiores de las variables RGB. RGB: Rojo-Verde-Azul.

Los rangos de RGB fueron establecidos mediante la muestra de carne con el mínimo y máximo valor de L*.

Posterior a la realización de la escala, se utilizó la ecuación 3 descrita previamente, para determinar la diferencia de color entre cada categoría y asegurar que la diferencia puede ser detectable por el ojo humano (Cuadro 15).

En donde se seguirán los parámetros indicados por Mokrzycki y Tatol (2012) para determinar si las personas serán capaces de diferenciar los colores entre las categorías de color de la escala propuesta.

0 < ΔE < 1 - el observador no nota la diferencia,

1 < ΔE < 2 - sólo el observador experimentado puede notar la diferencia.

2 < ΔE < 3.5 - el observador sin experiencia también nota la diferencia,

3.5 < ΔE < 5 - se nota una clara diferencia de color,

5 < ΔE - el observador nota dos colores diferentes.

En el Cuadro 20 se pueden observar las diferencias de color encontradas entre categorías de la escala.

Cuadro 15

Diferencia de color ΔE , entre categorías de la escala colorimétrica propuesta.

Categoría	ΔE
1 - 2A	5.50
2A - 2B	1.14
2B - 3	3.30
3 - 4	2.35

Nota. ΔE : Delta E, diferencia de color.

Se pudo observar que la menor diferencia entre color se dio entre la categoría 2A y 2B, con un valor de $\Delta E=1.14$. Por esta razón, se les asignó un mismo número de categorización (2) con la variación de A y B. Esto indica que estos colores son muy similares y que muchas veces el evaluador podrá clasificarlos en 2A o 2B sin notar una diferencia entre color. Sin embargo, no se tomó la decisión de unificar la categoría, porque la diferencia aún era perceptible por el ojo humano de acuerdo con Mokrzycki y Tatol (2012).

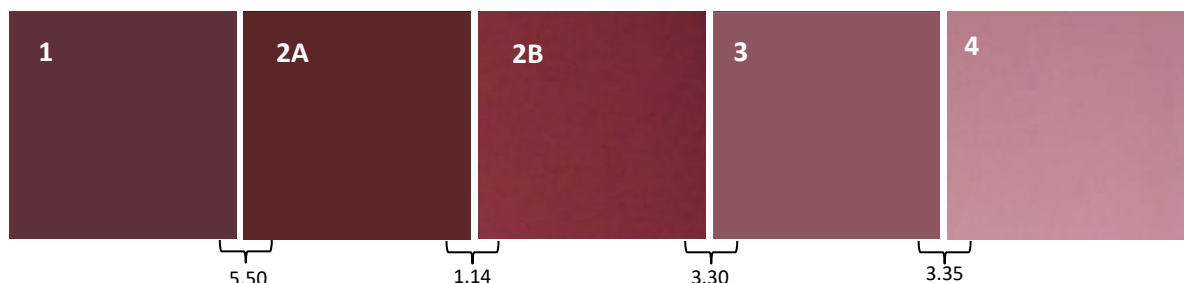
Figura 17

Escala para la clasificación visual colorimétrica de la carne de res de ganado estabulado en Zamorano con fotografías.



Figura 18

Escala de colores sólidos para la clasificación visual colorimétrica de la carne de res de ganado estabulado en Zamorano.



El color es el factor de calidad más importante a la hora de la compra puesto que el consumidor lo utiliza como indicador de frescura (Ripoll García et al., 2012).

La calidad de la carne siempre ha sido importante para el consumidor y es un tema especialmente crítico para la industria cárnica en el siglo XXI. Como la demanda de carne de alta calidad por parte de los consumidores está aumentando en la mayoría de los países, la industria cárnica debe producir y suministrar constantemente carne de calidad que sea sabrosa, segura y saludable para el consumidor, a fin de garantizar el consumo continuo de productos cárnicos. Para producir carne de alta calidad, es necesario comprender las características de los rasgos de calidad de la carne y los factores para controlarlos (Joo et al., 2013).

Los estímulos visuales tienen un gran impacto en las opiniones de los consumidores sobre la carne, ya que, esta primera percepción puede ser la diferencia entre comprar o rechazar un determinado producto cárnico. El color se considera la propiedad de calidad más importante que afecta la opinión del consumidor sobre la carne porque el rojo es altamente preferido sobre los colores púrpura o marrón (Poveda-Arteaga et al., 2023).

Al proponer esta escala de clasificación se espera crear una herramienta que se adapte a las características y razas de animales que se manejan en Zamorano y así dar el primer paso en la industria cárnica para clasificar las canales y premiar el precio con base a su calidad, de ser necesario. Para

enriquecer los parámetros de esta escala de clasificación de la carne bovina en Zamorano, se debe tomar en cuenta que todas las carnes fueron seleccionadas como *Select* de acuerdo con el grado de marmoleo del USDA y con grado de madurez A.

Conclusiones

Las características fisicoquímicas evaluadas en el músculo *Longissimus dorsi* de ganado estabulado en Zamorano presentaron valores normales esperados en carne de bovinos. Los parámetros de fuerza de corte (N) y color L* a* b* evidenciaron una relación significativa en donde los cortes más oscuros presentaron una mayor fuerza de corte y los cortes con mayor luminosidad, L*, presentaron menor fuerza de corte.

Se realizó la propuesta de un método colorimétrico para la clasificación de calidad de carne de bovino, la cual se conformó por cinco categorías y los colores de cada categoría se obtuvieron con la aplicación móvil Color Assist.

En el análisis sensorial de prueba afectiva de aceptación se observó que el único atributo que presentó diferencia estadísticamente significativa fue el olor y todos los atributos presentaron correlaciones altamente significativas, con diferentes grados de correlación sobre la aceptación general siendo la textura la que presentó mayor influencia sobre esta.

Recomendaciones

Validar la escala visual realizando una evaluación de carne de ganado estabulado de Zamorano haciendo uso de la escala de clasificación propuesta.

Realizar la evaluación con bovinos de mayor rango de edad para aumentar la variabilidad y poder realizar una escala con más categorías de color y analizar si se logran identificar diferencias estadísticas en el análisis fisicoquímico y sensorial.

Realizar análisis de color triple estímulo a muestras de grasa de la carne, para agregar un factor de evaluación a la escala propuesta.

Referencias

- Almada, C. A., Bonato, P., Carduza, F., Cossu, M. E., Grigioni, G. M., Irurueta, M., Perlo, F. M., Picallo, A. B. y Teira, G. A. (2012). *Manual de procedimiento: Determinación de los parámetros de Calidad física y sensorial de carne bovina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/116016>
- Amaya Araujo, M. F. (2019). *Efecto de la maduración húmeda y masajeo en características físicas, microbiológicas y sensoriales en el Longissimus dorsi de res* [Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. [bdigital.zamorano.edu. https://bdigital.zamorano.edu/items/fae597f5-0d95-43ad-9e7b-75d75d79c55c](https://bdigital.zamorano.edu/items/fae597f5-0d95-43ad-9e7b-75d75d79c55c)
- American Meat Science Association (2023). Guidelines for Meat Color Measurement. *Meat and Muscle Biology*, 6(4). <https://doi.org/10.22175/mmb.12473>
- American Society for Testing and Material (ASTM) (2011). *F2925-11 Standard Specification for Tenderness Marketing Claims Associated with Meat Cuts Derived from Beef*. (Norma, F2925-11). ASTM International. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/F2925-11%20Standard%20Specification%20for%20Tenderness.pdf>
- AMSA. (2015). *Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat*. https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/research-guide/2015-amsa-sensory-guidelines-1-0.pdf?sfvrsn=42d380b3_6
- Belew, J. B., Brooks, J. C., McKenna, D. R. y Savell, J. W. (2003). Warner-Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. *Meat Science*, 64(4), 507–512. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00242-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00242-5)
- Beyer, E., Farmer, K., Kidwell, E., Davis, S., Harr, K., Chao, M., Zumbaugh, M., Vipham, J., Hunt, M. y O'Quinn, T. (2024). Change in Myoglobin Denaturation and Physiochemical Properties Among Three Degrees of Doneness and Three Beef Whole Muscles. *Meat and Muscle Biology*, 8(1). <https://www.iastatedigitalpress.com/mmb/article/id/16919/>
- Bruce, H. L. y Roy, B. C. (2019). Meat science and muscle biology symposium: Biological influencers of meat palatability: Production factors affecting the contribution of collagen to beef toughness. *Journal of Animal Science*, 97(5), 2270–2278. <https://doi.org/10.1093/jas/skz097>
- Cáceres, J. C. y Sanabria, C. J. (2021). *Evaluación de salmueras para mejoramiento de las características fisicoquímicas en el lomo (M. Longissimus dorsi) de vacas de descarte de la unidad de Ganado Lechero de Zamorano* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/471ef88f-a7a5-419c-aa8a-df52c620e528/content>
- Castiblanco, O. y Cárdenas, D. J. (2020). Producción de hidrógeno y su perspectiva en Colombia: una revisión. *Gestión Y Ambiente*, 23(2), 299–311. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.86466>
- Castro De Jesús, J. (2020). *Efecto de dos métodos de aturdimiento sobre la calidad de carne de bovinos* [Tesis], México. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4338/Castro_Jesus_J_M_C_RGP_Ganaderia_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Central America Data. (2019). *Estudio de Carne de Res en Centroamérica*. Central America Data. https://centralamericadata.com/es/static/estudio_de_carne_de_res_en_centroamerica
- Central America Data. (2022). *Estudio de Carne de Pollo en Centroamérica*. Central America Data. https://centralamericadata.com/es/static/estudio_de_carne_de_pollo_en_centroamerica
- Dunne, P. G., Monahan, F. J. y Moloney, A. P. (2010). A note on the effect of post-mortem maturation on colour of bovine *Longissimus dorsi* muscle. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 49(2), 153–158. <https://tstor.teagasc.ie/bitstream/handle/11019/668/note%20on%20effect%20of%20post-mortem.pdf;jsessionid=9F8BF4352D40DE4374E39CB1E17E7FE3?sequence=1>
- Fennema, O. y Carpenter, J. (1984). Water Activity in Muscle and Related Tissues. *Reciprocal Meat Conference Proceedings*, 37. <https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/1984/water-activity-in-muscle-and-related-tissues.pdf?sfvrsn=2>
- Flórez Díaz, H., León Llanos, L. M., Moreno Moreno, E. y Martínez Correal, G. (2021). Calidad sensorial y composición nutricional del músculo *Longissimus dorsi* de bovinos Cebú y sus cruces con criollo en Colombia. *Archivos Latinoamericanos De Producción Animal*, 29(3-4), 163–179. <https://doi.org/10.53588/alpa.293409>
- Frias, M. y Porras, C. A. (2021). *Evaluación de la maduración en seco con dos tipos de cobertura en el músculo Longissimus dorsi de vacas de descarte de la unidad de Ganado Lechero de Zamorano* [Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. [bdigital.zamorano.edu. https://bdigital.zamorano.edu/items/1bd1693a-c40a-48ba-a338-f4a7a2ad5c57](https://bdigital.zamorano.edu/items/1bd1693a-c40a-48ba-a338-f4a7a2ad5c57)
- Hernández Lino, G. A. (2018). *Evaluación comparativa de las características fisicoquímicas y sensoriales de dos músculos de la canal de res (Obliquus abdominis externus e Infraspinatus) con y sin técnica de mejoramiento* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/f334ff83-ed8c-4164-99c8-46b750c152c2/content?authentication-token=eyJhbGciOiJIUzI1NiJ9.eyJlaWQiOiIi2OWFhMDU5Zi0xOWYyLTQwNDQtYTU1Mi00MDc0YTA5MTM2MwllLCJzZyI6W10slmF1dGhlnRnRyY2F0aW9uTWV0aG9kljoicGFzc3dvcmQiLCJleHAiOiE3Mjc2NzE2NzN9.NTNEF2Ne0VlePki09EkOv9Ywn2ZKTRXzEc2aRFHTjR4>
- Jaramillo Recalde, A. C. (2016). *Efecto de dos tipos de maduración en las características físicas, microbiológicas y sensoriales de Longissimus dorsi de res* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a2c84811-58cd-43bc-bdf6-33597a7b2ab1/content>
- Joo, S. T., Kim, G. D., Hwang, Y. H. y 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>
- King, D. A., Hunt, M. C., Barbut, S., Claus, J. R., Cornforth, D. P., Joseph, P., Kim, Y. H. B., Lindahl, G., Mancini, R. A., Nair, M. N., Merok, K. J., Milkowski, A., Mohan, A., Pohlman, F., Ramanathan, R., Raines, C. R., Seyfert, M., Sørheim, O., Suman, S. P. y Weber, M. (2023). AMSA Guidelines for Meat Color Measurement: Chemistry of fresh meat color. *Meat and Muscle Biology*, 6(4). <https://doi.org/10.22175/mmb.12473>

- King, D. A., Shackelford, S. D. y Wheeler, T. L. (2011). Relative contributions of animal and muscle effects to variation in beef lean color stability. *Journal of Animal Science*, 89(5), 1434–1451. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3595>
- Knight, C. H. (2017). *Understanding Beef Carcass Reports* (núm. 1326). Universidad de Georgia. https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/B%201326_7.PDF
- Koohmaraie, M [Mohammad]. (2005). *Bases biológicas para determinar terneza*. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/59-bases_biologicas_terneza.pdf
- Larenas Muñoz, F. I. (2016). *Evaluación de las variaciones de textura, color y pH en 3 cortes comerciales de carne bovina, envasados al vacío y almacenados en refrigeración a 4°C durante 90 días* [Tesis]. Universidad de Concepción, Chile. <https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/ed55ee5b-8a3a-4e4f-a5a3-cfb80acc9a2/content>
- León, M., Orduz, A. y Velandia, C. M. (2017). Composición fisicoquímica de la carne de ovejo, pollo, res y cerdo. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 15(2), 62–75. <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/alimen/article/view/2183>
- Mancini, R. A., Ramanathan, R., Hunt, M. C., Kropf, D. H. y Mafi, G. G. (2022). Interrelationships Between Visual and Instrumental Measures of Ground Beef Color. *Meat and Muscle Biology*, 6(1). <https://doi.org/10.22175/mmb.14040>
- Meléndez Lemus, K. A. (2018). *Efecto de la incorporación de grasa animal en la calidad de la carne de res* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/029f262f-7d86-4714-9491-f0464f02511c/content?authentication-token=eyJhbGciOiJIUzI1NiJ9.eyJlaWQiOiI2OWFhMDU5Zi0xOWYyLTQwNDQtYTU1Mi00MDC0YTA5MTM2MmWlLCJzYlI6W10slmF1dGhlnRmY2F0aW9uTWV0aG9kljoicGFzc3dvcmljLCJleHAiOiJlMjc2NzE3NjF9.KLOl2dAdUcZ0Bl8Af-EVVRvya02a3xxUvse6s3UQHpw>
- Mokrzycki, W. y Tatol, M. (2012). Color difference Delta E - A survey. *Machine Graphics and Vision*, 20(4), 383–411. https://www.researchgate.net/publication/236023905_Color_difference_Delta_E_-_A_survey
- Obuz, E., Akkaya, L., Gök, V. y Dikeman, M. E. (2014). Effects of blade tenderization, aging method and aging time on meat quality characteristics of Longissimus lumborum steaks from cull Holstein cows. *Meat Science*, 96(3), 1227–1232. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.015>
- Orellana Fajardo, O. A. (2022). *Evaluación de parámetros de rendimiento en canal y terneza del músculo Longissimus dorsi, de vacas de descarte de la unidad de Ganado Lechero de Zamorano* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/f10a4d0e-b9c9-42d6-b2d5-e94e88517c94/content?authentication-token=eyJhbGciOiJIUzI1NiJ9.eyJlaWQiOiIjMjZlZmYyNy0xMTNmLTQ5NzAtOWMyZS0yODMxMDM1NGM4MmMiLCJzYlI6W10slmF1dGhlnRmY2F0aW9uTWV0aG9kljoicGFzc3dvcmljLCJleHAiOiJlMjc2ODM0MTAyNTd9.Z4X6YTTVS_qHuG3JAAUyg_mAwDkeu68dEPev1v4i_8A

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *La FAO y SAG realizaron la integración oficial de la Plataforma Nacional de Ganadería Sostenible | FAO en Honduras | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/honduras/noticias/detail-events/es/c/1415775/>
- Peluffo, M. y Monteiro Rodríguez, M. (2002). *Terneza: una característica a tener en cuenta*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/02-terneza.pdf
- Poveda-Arteaga, A., Krell, J., Gibis, M., Heinz, V., Terjung, N. y Tomasevic, I. (2023). Intrinsic and Extrinsic Factors Affecting the Color of Fresh Beef Meat—Comprehensive Review. *Applied Sciences*, 13(7), 4382. <https://doi.org/10.3390/app13074382>
- Prandl, O., Fischer, A. y Schmidhofer, T. (1994). *Tecnología e higiene de la carne*. *Ciencia y tecnología de la carne*. Acribia.
- Prieto, R. y Bello Pérez, E. (2013). *Composición de cortes de carne bovina nacional*. <https://agronomia.uc.cl/proyectos/49-carne-bovina/file>
- Quiroz Osorio, K., Restrepo Molina, D. A. y Barahona Rosales, R. (2014). *Efecto del Tiempo de Espera Ante-Mortem sobre la Calidad de la Carne Bovina*. https://www.researchgate.net/publication/262766600_Efecto_del_Tiempo_de_Espera_Ante-Mortem_sobre_la_Calidad_de_la_Carne_Bovina_Effect_of_ante-mortem_waiting_time_on_Quality_of_Beef?enrichId=rgreq-d9df3b67b4990385135d350f300bea19-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2Mjc2NjYwMDtBUzoxMDM3ODkyODk4MDM3ODFAMTQwMTc1NjcwMzYwOA%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf
- Ramanathan, R., Lambert, L. H., Nair, M. N., Morgan, B., Feuz, R., Mafi, G. y Pfeiffer, M. (2022). Economic Loss, Amount of Beef Discarded, Natural Resources Wastage, and Environmental Impact Due to Beef Discoloration. *Meat and Muscle Biology*, 6(1). <https://doi.org/10.22175/mmb.13218>
- Resconi, V. C., Escudero, A. y Campo, M. M. (2013). The development of aromas in ruminant meat. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 18(6), 6748–6781. <https://doi.org/10.3390/molecules18066748>
- Restrepo, D. A., Alzate, V. y Cabrera, K. R. (2021). Caracterización textural de los músculos del tren delantero y propuesta de nuevos cortes en canales bovinas tres, cuatro y cinco estrellas procedentes del Urabá antioqueño (Colombia). *Información Tecnológica*, 32(6), 25–36. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000600025>
- Ripoll García, G., Panea, B. y Albertí Lasalle, P. (2012). Apreciación visual de la carne bovina y su relación con el espacio de color CIELab. *ITEA, información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA)*, 108(2), 222–232. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3970699>
- Salinas, S. (2014). *Desarrollo de un patrón para la evaluación del color de la carne de bovino en México* [Tesis]. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000709259/3/0709259.pdf>

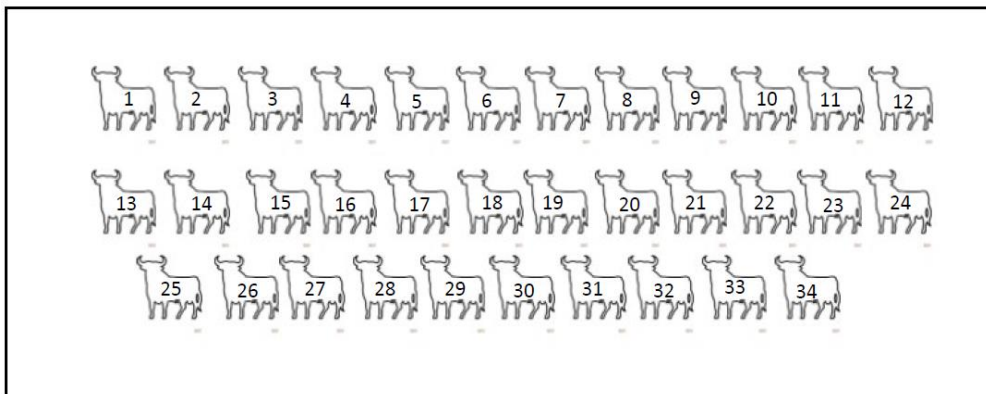
- Salinas, S., Rubio Lozano, M., Braña Varela, D., Méndez Medina, R. D. y Delgado Suárez, E. (2020). Desarrollo y validación de un patrón visual para la evaluación del color de la carne de bovino en México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 11(2), 479–497. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242020000200479
- Secretaria de Agricultura y Ganadería. (2020). *Bovino: Análisis de Coyuntura*. Secretaria de Agricultura y Ganadería. <https://www.upeg.sag.gob.hn/wp-content/uploads/2022/03/AC-BOVINO-V20.4.pdf>
- Severiano–Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *INTERdisciplina*, 7(19), 47–68. <https://www.scielo.org.mx/pdf/interdi/v7n19/2448-5705-interdi-7-19-47.pdf>
- Shen, Y. N., Kim, S. H., Yoon, D. H., Lee, H. G., Kang, H. S. y Seo, K. S. (2012). Proteome Analysis of Bovine Longissimus dorsi Muscle Associated with the Marbling Score. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(8), 1083–1088. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12127>
- Suman, S. P. y Joseph, P. (2013). Myoglobin chemistry and meat color. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4, 79–99. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182623>
- Tapp, W. N., Yancey, J. W. S. y Apple, J. K. (2011). How is the instrumental color of meat measured? *Meat Science*, 89(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.11.021>
- Themes, U. F. (2017). *Meat Preservation and Processing*. <https://veteriankey.com/meat-preservation-and-processing/>
- Thornton-Kurth, K. J. (2024). *The impact of estradiol and/or trenbolone acetate on the metabolome and skeletal muscle metabolism of beef cattle*. National Institute of Food and Agriculture. <https://portal.nifa.usda.gov/web/crisprojectpages/1032081-the-impact-of-estradiol-andor-trenbolone-acetate-on-the-metabolome-and-skeletal-muscle-metabolism-of-beef-cattle.html>
- Triviño, J. L., Rodríguez, J. G. y Díaz, M. (2017). *Correlación de características de calidad de carne entre bife ancho y el asado* [Tesis]. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. <https://ridaa.unicen.edu.ar:8443/server/api/core/bitstreams/deac12a6-1437-4453-864a-8dad498a0125/content>
- United States Department of Agriculture. (2007). *Water in Meat & Poultry | Food Safety and Inspection Service*. United State Department of Agriculture. <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/food-safety-basics/water-meat-poultry>
- United States Department of Agriculture (USDA) (2017). *United States Standards for Grades of Carcass Beef*. (60 Stat. 1087; 7 U.S.C. 1621-1627). <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/CarcassBeefStandard.pdf>
- United States Department of Agriculture. (2018). *Beef Grading Shields | Agricultural Marketing Service*. United State Department of Agriculture. <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/beef/shields-and-marbling-pictures>
- Van, H., Hwang, I., Jeong, D. y Touseef, A. (2012). Principle of Meat Aroma Flavors and Future Prospect. En I. Akyar (Ed.), *Latest Research into Quality Control*. InTech. <https://doi.org/10.5772/51110>

- Vignale Centanino, I. (2015). *Parámetros de calidad de la carne y la canal en ganado Aberdeen Angus del Uruguay* [Tesis]. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Veterinaria, Uruguay.
- Wheeler, T., Shackelford, S. y Koohmaraie, M [M.] (1997). Standardizing Collection and Interpretation of Warner-Bratzler Shear Force and Sensory Tenderness Data, 50. https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/1997/standardizing-collection-and-interpretation-of-warner-bratzler-shear-force-and-sensory-tenderness-data.pdf?sfvrsn=7b40bbb3_2
- Wicks, J., Beline, M., Gomez, J. F. M., Luzardo, S., Silva, S. L. y Gerrard, D. (2019). Muscle Energy Metabolism, Growth, and Meat Quality in Beef Cattle. *Agriculture*, 9(9), 195. <https://doi.org/10.3390/agriculture9090195>
- Wojtasik-Kalinowska, I., Farmer, L. J., Hagan, T. D. J., Gordon, A. W., Polkinghorne, R., Pogorzelski, G., Wierzbicka, A. y Poltorak, A. (2024). The Influence of Cooking Methods and Muscle on Beef Aroma Profile and Consumer Satisfaction: Insights from Volatile Compound Analysis. *Applied Sciences*, 14(11), 4477. <https://doi.org/10.3390/app14114477>
- Xiao, C., Albrecht, E., Dannenberger, D., Kong, W., Gu, H., Hammon, H. M. y Maak, S. (2024). Effects of Supplementation with Essential Fatty Acids and Conjugated Linoleic Acids on Muscle Structure and Fat Deposition in Lactating Holstein Cows. *Agriculture*, 14(10), 1720. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101720>

Anexos

Anexo A

Representación de lote de ganado estabulado con 34 animales que conformaron el estudio.



Anexo B

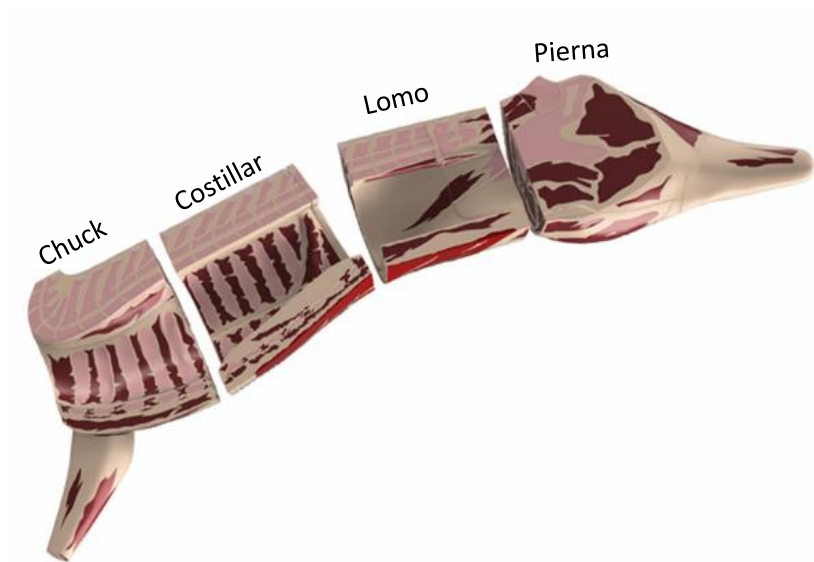
Identificación, raza y edades de los animales evaluados.

Número	Raza	ID	Meses de edad
1		410522	13
2		410122	14
3		43122	16
4		43722	16
5		43922	16
6		44822	16
7	Jersey	41222	17
8		41322	17
9		431321	18
10		434821	18
11		425321	19
12		425821	19
13		421121	21
14		31822	10
15		31922	14
16		33422	14
17		38722	16
18		310222	17
19	Holstein	317922	17
20		324121	18
21		326921	18
22		329221	19
23		334421	19
24		336121	20
25	H6J2	715322	11
26	J7H1	49122	14
27	H7J1	76422	15
28	H4PS4	76922	15
29	H7J1	77422	15
30	H4J4	84622	16
31	J6H2	81722	17
32	PS7J1	51022	17
33	H6PS2	329421	21
34	H6J2	730521	21

Nota. ID: identificación

Anexo C

Cortes de carne de bovino.



Anexo D

Medidor de textura de Brookfield, análisis de compresión de carne.



Anexo E

Muestras estandarizadas para calibrar el equipo para medir actividad de agua, Aqualab.



Anexo F

Boleta de análisis sensorial de prueba afectiva de aceptación.

Boleta de evaluación general

Prueba de preferencia y aceptación de carne

Nombre: _____ Fecha: _____

Número de panelista: _____

Instrucciones: Se le presentan cinco muestras (5) de carne, sírvase a evaluar cada muestra de izquierda a derecha, antes y después de cada muestra debe comer galleta y tomar un sorbo de agua para limpiar su paladar. Indique el grado en que le gusta o disgusta los atributos de cada muestra de acuerdo con los puntajes del cuadro No.1 anotando sus respuestas en el cuadro No.2, las cuales usted calificará de acuerdo con los siguientes cuadros. **El atributo de color evalúelo con la imagen de carne fresca que le aparecerá escaneando el código QR que aparece en su mesa.**

Cuadro No.1 Escala de hedónica

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta	Me disgusta poco	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

Cuadro No.2 Evaluación de atributos

# de muestra	Color	Olor	Apariencia	Humedad Textura	Aceptación general

En el siguiente cuadro, ordene las muestras según su preferencia, siendo 1 la más preferida y 5 la menos preferida, no se puede asignar el mismo valor a varias muestras (No empates).

Orden de preferencia	Valor	Número de muestra
Más preferida	1	
	2	
	3	
	4	
Menos preferida	5	

Justifique su elección: _____

Gracias por su participación.

Anexo G

Tabla de prueba de Basker y Kramer.

Reyna Liria

08/02/2008

Anexo 4: Tabla de Prueba de Basker y Kramer "Valor crítico de diferencia entre suma de categorías"

Número de panelistas	Número de productos								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	8.8	14.8	21.0	27.3	33.7	40.3	47	53.7	60.6
21	9.0	15.2	21.5	28.0	34.6	41.3	48.1	55.1	62.1
22	9.2	15.5	22.0	28.6	35.4	42.3	49.2	56.4	63.5
23	9.4	15.9	22.5	29.3	36.2	43.2	50.3	57.6	65.0
24	9.6	16.2	23.0	29.3	36.9	44.1	51.4	58.9	66.4
25	9.8	16.6	23.5	29.9	37.7	45.0	52.5	60.1	67.7
26	10.0	16.9	23.9	30.5	38.4	45.9	53.5	61.3	69.1
27	10.2	17.2	24.4	31.1	39.2	46.8	54.6	62.4	70.4
28	10.4	17.5	24.8	31.7	39.9	47.7	55.6	63.6	71.7
29	10.6	17.8	25.3	32.3	40.6	48.5	56.5	64.7	72.9
30	10.7	18.2	25.7	32.8	41.3	49.3	57.5	65.8	74.2
31	10.9	18.5	26.1	33.4	42.0	50.2	59.4	66.9	75.4
32	11.1	18.7	26.5	34.0	42.6	51.0	60.3	68.0	76.6
33	11.3	19.0	26.9	35.0	43.3	51.7	61.2	69.0	77.8
34	11.4	19.3	27.3	35.6	44.0	52.5	62.1	70.1	79.0
35	11.6	19.6	27.7	36.1	44.6	53.3	63	71.1	80.1
36	11.8	19.9	28.1	36.6	45.2	54.0	63.9	72.1	81.3
37	11.9	20.2	28.5	37.1	45.9	54.8	64.7	73.1	82.4
38	12.1	20.4	28.9	37.6	46.5	55.5	67.2	74.1	83.5
39	12.2	20.7	29.3	38.1	47.1	56.3	65.6	75.0	84.6
40	12.4	21.0	29.7	38.6	47.7	57.0	66.4	76.0	85.7
41	12.6	21.2	30.0	39.1	48.3	57.7	67.2	76.9	86.7
42	12.7	21.5	30.4	39.5	48.9	58.4	68	77.9	87.8
43	12.9	21.7	30.8	40.0	49.4	59.1	68.8	78.8	88.8
44	13.0	22.0	31.1	40.5	50.0	59.8	69.6	79.7	89.9
45	13.1	22.2	31.5	40.9	50.6	60.4	70.4	80.6	90.9
46	13.3	22.5	31.8	41.4	51.1	61.1	71.2	81.5	91.9
47	13.4	22.7	32.2	41.8	51.7	61.8	72	82.4	92.1
48	13.6	23.0	32.5	42.3	52.2	62.4	72.7	83.2	93.8
49	13.7	23.2	32.8	42.7	52.8	63.1	73.5	84.1	94.8
50	13.9	23.4	33.2	43.1	53.3	63.7	74.2	85.0	95.8
55	14.5	24.6	34.8	45.2	55.9	66.8	77.9	89.1	100.5
60	15.2	25.7	36.3	47.3	58.4	69.8	81.3	93.1	104.9
65	15.8	26.7	37.8	49.2	60.8	72.6	84.6	96.9	109.2
70	16.4	27.7	39.2	51.0	63.1	75.4	87.8	100.5	113.3
80	17.5	29.6	42.0	54.6	67.4	80.6	93.9	107.5	121.2
90	18.6	31.4	44.5	57.9	71.5	85.5	99.6	114.0	128.5
100	19.6	33.1	46.9	61.0	75.4	90.1	105	120.1	135.5
110	20.6	34.8	49.2	64.0	79.1	94.5	110.1	126.0	142.1
120	21.5	36.3	51.4	66.8	82.6	98.7	115	131.6	148.4

Ref: Lawless HT, Heymann H. Sensory evaluation of food. Principles and practices. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York, London, Dordrecht, Boston, 1998.