



**Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo, A. C.**

**RESPUESTA A LA SUPLEMENTACIÓN CON UN
MODULADOR ALOSTÁTICO EN LA DIETA DE
FINALIZACIÓN PARA BOVINOS SOBRE LA CALIDAD
DE LA CANAL Y DE LA CARNE**

Por:

Priscilia Ivonne Saavedra Peiro

TESIS APROBADA POR LA
COORDINACION DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL
Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS

Hermosillo, Sonora

Enero de 2015

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Priscilia Ivonne Saavedra Peiro, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



Dra. Armida Sánchez Escalante
Directora de Tesis



Dr. Gastón Ramón Torrescano Urrutia
Asesor

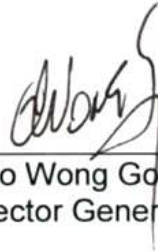


Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón
Asesor

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en esta tesis es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se de crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.



Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por otorgarme el apoyo económico para la realización del presente trabajo de investigación.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) por haber otorgado todos los medios necesarios para llevar a cabo mis estudios de maestría, formando parte de su programa de posgrado e instalaciones.

A la empresa ATISA de Guadalajara, Jalisco, por su apoyo económico y técnico para la realización del trabajo experimental, a través del proyecto. Especialmente al MVZ Félix Joel Ibarra Arias, así como al CP Jorge Martínez.

A la empresa SOOTEC, S.A. de C.V. a través de su director el MVZ José Luis Galindo; y un agradecimiento muy especial al MVZ. Trinidad Orozco, por su invaluable apoyo durante las evaluaciones y por brindarme su amistad y consejos.

A mi comité de tesis, Dra. Armida Sánchez Escalante, Dr. Gastón R. Torrescano Urrutia y Dr. Francisco G. Ríos Rincón, por su paciencia, observaciones y valiosa aportación académica durante mi formación, compartiendo su conocimiento y experiencia para lograr sacar adelante este proyecto.

Un gran agradecimiento a mi directora de tesis la Dra. Armida Sánchez, por compartir su conocimiento y aportar valiosa información y correcciones. Pero sobre todo por su gran paciencia, su apoyo y principalmente su amistad. Gracias por permitirme llegar a este punto en mí vida y brindarme la oportunidad de formarme académica y personalmente junto a usted durante la maestría, gracias por la confianza, gracias por permitirnos ser parte de su

familia más allá del ámbito académico, un gran agradecimiento de igual forma, a toda su familia, al Dr. Torrescano, Beatriz y Gastón, por acogerme y apoyarme cuando lo necesite en cada aspecto diferente de mi vida. Que dios los bendiga.

Un agradecimiento sincero al Dr. Gastón Torrescano, por sus aportaciones académicas, su tiempo y paciencia, pero sobre todo por apoyarme en cada momento desde que lo conocí en la Universidad de Sonora, compartiendo sus anécdotas y sus conocimientos. En especial, por ser una gran persona, que siempre está sonriendo a la vida.

Al Corporativo Contreras, S.A. de C.V., por permitirme realizar el trabajo de campo en las instalaciones de los corrales de engorda, al Ing. Abel Fernández, Ing. Miguel Gaxiola, Ing. Luis Valdez, Ing. Leonardo Pérez, así como a Lupita y Gabriela, y a todo el personal que me apoyó y orientó durante la etapa de campo del presente trabajo de investigación. Agradezco de igual forma las facilidades que me brindaron durante la toma de muestra en la planta de proceso, al Ing. Eleazar Chuffe, Ing. José Figueroa, Ing. Luis Valencia, y a todo el personal de la sala de corte que me apoyó en la obtención de las muestras. Un agradecimiento muy especial al Lic. Luis Carlos Contreras, al Ing. Víctor Contreras y al Lic. Iván Contreras, por el apoyo para la realización de mi trabajo de tesis.

Un gran agradecimiento al MVZ. Raúl Otero, por permitir la entrada a la planta de sacrificio PEGSON, facilitándonos el trabajo y apoyándonos en todo para hacer posible todas las evaluaciones necesarias de este trabajo de investigación. De igual manera agradezco al Ing. Eleazar Partida por guiarnos, y a todo el personal de la planta. Así mismo a Gabriel Figueroa por el apoyo en la logística desde el rastro hasta la planta del Corporativo Contreras.

Al M.S Jesús Anaya Islas, por su apoyo durante todo el trabajo de investigación, por compartir su conocimiento y experiencia, por ayudarme a llevarlo a cabo y apoyarme para no rendirme, pero principalmente por su gran amistad y consejos. Por haberme acompañado desde mi formación como Ingeniero Agrónomo, y ahora durante la cristalización de otro sueño más.

A la Dra. Martha Nydia Ballesteros y a la QB Elizabeth Artalejo de la Coordinación de Nutrición, por facilitarme equipo e instalaciones, así como a la MC. María Elena Lugo y M.C. Ángeles de la Rosa, por compartir información metodológica importante para la realización de mi trabajo.

Al Quim. José Luis López, representante de la compañía RANDOX, por facilitar el equipo necesario para la realización de los análisis con muestras sanguíneas.

Al personal administrativo de la Coordinación de Programas Académicos, Argelia Marín, Laura García y Verónica Araiza, por su apoyo en el desarrollo y seguimiento de procesos administrativos, y por responder de manera rápida y amable a cada solicitud.

A todos y cada uno de los que sin ser su obligación me ayudaron durante las evaluaciones, Dra. Armida, Dr. Torrescano, Dr. Rey David Vargas, M.C. Carolina Hernández, M.C. Edwin Ávila, M.C. Eduardo Montaña, M.C. Margarita Ramírez, César Griego, Rafael Díaz, Paula Navarro, Martha Hernández y Pedro Denis, por formar parte del proyecto; y a todos los que en su paso por CIAD me brindaron su amistad y apoyo.

Un especial agradecimiento a Livier Zavala, por apoyarme en todo lo que necesité para llevar a cabo los análisis de mi tesis; por estar a todas horas y soportarme durante días enteros, y por siempre escucharme y levantarme el ánimo. Dios te bendiga.

A mis amigos Carolina, por empezar junto conmigo esta locura hace 11 años, gracias por tu amistad. Edwin y Eduardo por enseñarme tantas cosas y permitirme ser su amiga en este camino. Por su apoyo y compañía también, durante cada desvelo para lograr juntos un objetivo en común. A los tres, gracias por cada momento, llanto, esquizofrenia, complicidad y sobre todo cada carcajada.

A “mi camioneta”, ya que sin ella no hubiera podido realizar una parte importante de mi trabajo de tesis, porque a pesar de todo nunca me dejó abajo.

A mis amigas por estar siempre al pendiente, Caro, Rosa, Brenda, Rosario, Sylvia, Olivia y Karla, y a mi amigo Carlos.

A Gabriel Muro, por sus palabras de ánimo constante y su paciencia.

Un total y profundo agradecimiento a mi familia, por apoyarme, motivarme, animarme, regañarme, cada palabra, cada mirada, cada risa y cada llanto, por todo, gracias por estar siempre conmigo en cada paso que doy.

Finalmente, quiero agradecer a DIOS, por darme siempre la fuerza necesaria para no perder mi fe.

DEDICATORIA

*A mi hermosa familia.
Porque siempre han sido, son y seguirán siendo mi prioridad.*

A mi Madre, por ser mi ejemplo de fortaleza, inteligencia y amor.

A mi Padre, por mostrarme el valor del esfuerzo, el trabajo y la familia

A mi Hermano, por enseñarme que cuando algo te gusta en verdad, vale la pena luchar por lograrlo, siempre y cuando te haga feliz.

A mi Hermana, por estar siempre conmigo y alentarme a ir siempre por más, y nunca perder la esperanza, por ser un ejemplo de madurez y locura. Por ser el ancla que nos mantiene en la realidad.

A mi novio, Gabriel, por empezar y finalizar esta etapa junto a mí, y por desear continuar juntos muchas más. Por apoyarme, pero sobre todo por tenerme paciencia y entender cada ausencia.

A mis abuelos, Leticia, Josefina y Francisco, los pilares más fuertes de la familia.

A ti nana Aurora, hasta el cielo un beso, y cada sonrisa.
Siempre en mi pensamiento.

A mis asesores, Gastón Torrescano y Armida Sánchez, por su paciencia y apoyo.

A mí...No te rindas, sólo ten Fe...

*Donde hay un éxito, hubo una vez
una decisión valiente...*

CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABLAS	
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	4
Conversión del Músculo en Carne.....	5
Calidad de la Canal	5
pH.....	6
Color de Canal y Grasa	7
Presencia de Hematomas	8
Peso	9
Conformación	10
Grado de Engrasamiento	11
Rendimiento	12
Calidad de la Carne	12
Factores Determinantes de la Calidad de la Carne	13
pH	14
Color	14
Textura.....	15
Capacidad de retención de agua.	15
Maduración.....	16

Carne DFD	17
Bienestar Animal	18
Alimentación	19
Rendimiento por Consumo de Alimento	20
Uso de Aditivos.....	21
Proceso de Sacrificio	23
Tecnología del Sacrificio	24
Problemas de Calidad Durante el Sacrificio	25
Manejo.....	25
Estrés en los Animales	27
Efecto del Estrés en la Calidad de la Carne	28
Estrés, Bienestar Animal y Productividad	29
III. HIPÓTESIS.....	31
OBJETIVOS.....	32
Objetivo General.....	32
Objetivos Específicos	32
IV MATERIALES Y MÉTODOS	33
Parámetros de Calidad de la Canal	37
Parámetros de Calidad de la Carne	39
Pérdida de Peso por Cocción (PPC)	39
Textura Instrumental	40
Medición Instrumental de Color.....	40
Medición de pH	41
Capacidad de Retención de Agua.....	41
Colágeno Total e Insoluble.....	41

Índice de Fragmentación Miofibrilar	42
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	43
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
Evaluación de Bienestar Animal	45
Evaluación del Transporte del Corral al Rastro	45
Evaluación Durante Embarque y Desembarque del Ganado	47
Evaluación del Índice de Temperatura y Humedad (ITH).....	49
Evaluación del Bienestar Durante el Sacrificio de los Animales.....	49
Análisis Sanguíneos.....	55
Evaluación de Calidad de la Canal.....	57
Conformación y Distribución de Grasa de las Canales	57
Evaluación Subjetiva del Color de la Carne y la Grasa	59
Evaluación Subjetiva de Firmeza y Textura de la Canal	62
Evaluación USDA.....	66
Marmoleo	66
Madurez	68
KPH (grasa perirrenal), Grasa Ajustada y Grosor de Grasa.....	68
Hematomas	72
Evaluación de Temperatura y pH.....	72
Evaluaciones Morfométricas de la Canal	77
Área del Ojo de la Costilla (Músculo LT)	84
Color de Carne y Grasa de la Canal	84
Evaluación de Calidad de la Carne	89
Análisis de pH en Carne.....	89
Capacidad de Retención de Agua.....	91

Pérdida de Peso por Cocción (PPC)	93
Análisis Instrumental de Color	95
Análisis de Textura Instrumental	98
Índice de Fragmentación Miofibrilar (IFM)	100
Colágeno	102
Interacciones entre Factores	105
VI. CONCLUSIONES	111
VII. RECOMENDACIONES	113
VIII. REFERENCIAS	115
IX. ANEXOS	125

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Diagrama de flujo del sacrificio de ganado bovino	35
2	Ruta de recorrido del transporte de animales desde los corrales hasta la planta de sacrificio	46
3	Distribución (%) de las canales evaluadas de acuerdo a su conformación	58
4	Distribución (%) de las canales de acuerdo a la evaluación de la distribución de la grasa	60
5	Distribución (%) de la firmeza de la carne en las canales	64
6	Distribución (%) de la textura de la carne en las canales	65
7	Distribución (%) del grado de marmoleo en las canales evaluadas	67
8	Distribución (%) del grado de madurez en las canales evaluadas	69
9	Distribución (%) de la clasificación asignada a las canales evaluadas	71
10	Análisis de pH de las canales a los 45 min <i>postmortem</i>	75
11	Análisis de pH de las canales a las 24 h <i>postmortem</i>	76
12	Monitoreo de temperatura de canaleras durante invierno	80
13	Monitoreo de temperatura de canaleras durante verano	81
14	Monitoreo de temperatura de canaleras durante otoño	82

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Evaluación de bienestar animal durante el transporte de los animales al rastro	48
2	Distribución del índice de temperatura y humedad (ITH) durante el manejo	50
3	Indicadores de bienestar animal durante el sacrificio de bovino	51
4	Evaluación de tiempo (segundos) de espera al noqueo y desangrado	53
5	Resultados de análisis de creatinfosfoquinasa (CK), lactatodeshidrogenasa (LDH) y glucosa en sangre durante el sangrado	56
6	Evaluación subjetiva del color de la carne en las canales	61
7	Evaluación subjetiva del color de la grasa en las canales	63
8	Resultados de la evaluación de parámetros USDA (grosor de grasa, grasa ajustada y KPH)	70
9	Evaluación de presencia de hematomas (%) en la canal	73
10	Evaluación de temperatura (°C) de las canales a los 45 min <i>postmortem</i>	78
11	Evaluación de temperatura (°C) de las canales a las 24 h <i>postmortem</i>	79
12	Resultados de las evaluaciones morfométricas (cm) realizadas en las canales	83
13	Evaluación de área del ojo de costilla (LT) en canales bovinas	85
14	Evaluación instrumental de color de la carne en las canales	87

15	Evaluación instrumental de color de la grasa en las canales	88
16	Evaluación de pH de la carne de bovino	90
17	Efecto del uso del modulador alostático sobre la capacidad de retención de agua (%) de la carne obtenida durante tres estaciones del año y almacenada en refrigeración	92
18	Efecto del uso del modulador alostático sobre la pérdida de peso por cocción (%) de la carne obtenida durante tres estaciones del año y almacenada en refrigeración	94
19	Evaluación de color instrumental de la carne	96
20	Efecto de la inclusión del modulador alostático sobre la textura instrumental (Kgf) de la carne obtenida en tres estaciones del año y almacenada en refrigeración	99
21	Evaluación de índice de fragmentación miofibrilar	101
22	Resultados de la evaluación de colágeno total, insoluble y porcentaje de solubilidad en la carne	103
23	Resumen del análisis de varianza (valores p) para las interacciones de dos factores	106
24	Resumen del análisis de varianza (valores p) para las interacciones de los diferentes factores a través del tiempo	108
25	Resumen del análisis de varianza (valores p) para las interacciones de dos factores bloqueando el tiempo	110

RESUMEN

Actualmente existe la posibilidad de seleccionar la carne en función de su calidad, la cual puede verse afectada por diferentes factores como el estrés, derivado principalmente de la falta de bienestar animal. Para contrarrestar estos efectos negativos, existen productos que minimizan el efecto del estrés sobre las características de calidad de la carne importantes para el consumidor, como son color y terneza. El propósito del proyecto fue establecer el efecto de la suplementación con un modulador alostático, durante la dieta de finalización de ganado bovino, en tres épocas del año (invierno, verano y otoño), sobre la calidad de la canal y la carne. La metodología incluyó la evaluación del bienestar animal previo y durante el proceso de sacrificio. La canal se evaluó 45 min y 24 h *postmortem*, registrando temperatura, pH, color y características morfológicas, así como evaluaciones establecidas por la NMX-FF-078-SCFI-2002 (conformación, distribución de la grasa, color de carne, color de grasa, firmeza, textura), y por la USDA (marmoleo, madurez, KPH, espesor de grasa y grasa ajustada). También se evaluó la calidad de la carne a los 0 y 14 días *postmortem*, considerando esfuerzo al corte (WBSF), color (L^* , a^* , b^* , C^* , y h^*), pH, capacidad de retención de agua (CRA), índice de fragmentación miofibrilar (IFM) y colágeno total y soluble. Los resultados mostraron uso excesivo de arreadores durante el embarque de la engorda al rastro, y un nivel bajo de bienestar animal durante el proceso de sacrificio; mientras que en la evaluación de las canales no se observaron diferencias ($p > 0.05$) entre estaciones del año; para los parámetros morfométricos. Respecto a la calidad de carne, los valores de pH fueron aceptables para ambos grupos, no influyendo el uso del aditivo. Resalta la diferencia ($p < 0.05$) de 1.5 a 2.0 kg en los valores de WBSF entre el grupo prueba y control, resultando el primero con menor dureza; comportamiento presente en las tres estaciones del año. La misma tendencia se presentó en los resultados obtenidos en el análisis de IFM, donde se obtuvieron valores mayores en la carne proveniente de animales tratados con el

modulador alostático. El valor a^* presentó diferencia entre tratamientos en las estaciones de verano y otoño, obteniendo valores mayores ($p < 0.05$) en los grupos suministrados con el modulador, siendo esta la carne con un color más rojo. La solubilidad del colágeno resultó mayor ($p < 0.05$) para el día 14 de almacenamiento, al igual que sucedió con los resultados del IFM; ambos parámetros influyen en una mayor terniza de la carne. Los resultados muestran que el uso del modulador alostático durante la dieta de finalización mejora la calidad de la carne de bovino.

Palabras clave: Bovino, estrés animal, modulador alostático, calidad de carne.

ABSTRACT

Currently, meat is frequently selected and categorized in terms of quality, which can be negatively affected by factors such as stress, mainly due to lack of animal welfare. In order to counteract such effects, products that minimize the effect of stress are important in influencing the quality characteristics, such as color and tenderness, of meat destined for consumption. The objective of the current project was to establish the effect of a supplementation with an allostatic modulator on the carcass and meat quality of cattle during their last stage in the feedyard over the course of three seasons (winter, summer, and fall). The methodology included an assessment of animal welfare before and after the slaughter process. The carcasses were evaluated 45 min and 24 h postmortem, and temperature, pH, color, and carcass morphological characteristics were recorded, including assessments required by the Mexican norm, FF-078-NMX-SCFI-2002 (conformation, fat distribution, meat and fat color, firmness, texture) and the USDA (marbling, maturity, KPH, fat thickness, adjusted fat). The meat quality at 0 and 14 days postmortem was evaluated in terms of Warner Bratzler shear force (WBSF), color (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*), pH, water holding capacity (WHC), myofibrillar fragmentation index (MFI), and total and soluble collagen. The results of the welfare assessment demonstrated an excessive use of cattle prods during the shipment of animals from the feedlot to the slaughterhouse and a low level of animal welfare during the slaughter process. With regard to season, no significant differences ($p > 0.05$) were observed in the morphometric parameters. For meat quality, the pH values were acceptable for both groups and not influenced by the use of the additive. However, significant differences ($p < 0.05$) were found for WBSF values between supplemented with allostatic modulator (1.5 kg) and control group (2.0 kg), with the first presenting lower hardness across all three seasons. The same tendency occurred for the results of the IFM analysis, showing high values for animals treated with the allostatic modulator. a^* value presented differences between treatments in the summer

and fall seasons, obtaining higher values ($p < 0.05$) for groups fed with the allostatic modulator, resulting in meat with a redder color. The collagen solubility and IFM values were higher ($p < 0.05$) on the 14th day of storage; both parameters presented a greater influence on meat tenderness. Therefore, the results showed that the use of an allostatic modulator on cattle during their last stage in the feedyard improve the quality of beef.

Keywords: Bovine, animal stress, allostatic modulator, meat quality

I. INTRODUCCIÓN

El concepto de calidad en carne de bovino evoluciona según la demanda del mercado, por ello, el reto que se presenta a nivel de comercialización es producir canales de excelente calidad en el menor tiempo posible, obligando de esta manera a los negocios ganaderos a modernizar todos los eslabones de la cadena cárnica (Torrescano et al., 2010).

Durante el año 2013, de acuerdo a cifras presentadas por la Asociación Mexicana de Engordadores de Ganado (AMEG), la producción de carne de bovino en México alcanzó la cantidad de 1.81 millones de toneladas, y de 1.66 millones hasta noviembre de 2014, siendo Veracruz el estado que tuvo la más alta producción, alcanzando el 13.6 % de la producción nacional. En cuanto al sacrificio de bovinos que se realiza en rastros Tipo Inspección Federal (TIF), para el 2014 la cantidad de bovinos sacrificadas fue de 2,786,147, siendo este dato menor al realizado en el año 2013, que fue de 2,917,409 (AMEG-SAGARPA).

En el momento de la compra, el consumidor de carne basa su decisión primeramente en la apariencia, así como en el color, ya que éstos son dos de los atributos más importantes al momento de decidir. Una vez realizada la elección, los atributos a considerar son terneza y jugosidad, principalmente si se trata de reiterar, o no, la elección del producto elegido. De igual modo, existen otras características asociadas con la calidad de la carne como son el pH, capacidad de retención de agua, flavor (olor + sabor), perfil de ácidos grasos, entre otros (Bianchi et al., 2008).

En general, cuando se hace referencia a la calidad de la carne bovina, inmediatamente se deben de tomar en cuenta parámetros como terneza, color, jugosidad, sabor y aroma, aunque en el contexto comercial, la vida útil de la carne se considera también un parámetro muy importante. Sin embargo, la calidad de la carne depende de un conjunto de factores productivos (Depetris, 2000), los que pueden ser biológicos, como la edad, sexo y raza, además de otros factores tecnológicos.

La caracterización del sistema de producción animal sólo contempla factores tales como, raza, sexo y duración tanto de la lactancia como de la alimentación, los cuales inciden mayoritariamente en las características productivas, como las de crecimiento o grado de finalización del ganado; así también, considera factores determinantes de la canal, como son peso, conformación y engrasamiento. Sin embargo, los eventos que ocurren durante el proceso de sacrificio y en la posterior transformación del músculo en carne, son los factores que ejercen mayor influencia sobre la calidad de la carne. Por lo anterior, para obtener un producto de calidad es necesaria la participación de todos los eslabones de la cadena cárnica (Bianchi et al., 2008).

Durante el proceso previo al sacrificio, los animales experimentan un cierto nivel de estrés, lo cual puede tener efectos perjudiciales sobre la calidad de la carne, como puede ser, entre otros, la pérdida de glucógeno muscular, dando como resultado la generación de cortes oscuros con características de carne DFD (dark, firm and dry, por sus siglas en inglés) (Ferguson y Warner, 2008), condición que se trata de evitar al máximo en cualquier sistema de producción de carne de bovino.

Con base a lo anterior, las empresas buscan solución a esta problemática, mediante la utilización de herramientas de producción novedosas, como es la formulación con productos conocidos como moduladores alostáticos, principalmente a base de ácido acetilsalicílico, con la finalidad de

minimizar las consecuencias negativas sobre la calidad, tanto de la canal como de la carne que pueden ser generadas por el estrés que sufren los animales, previo y durante el sacrificio.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo de investigación fue establecer el efecto de la adición de un modulador alostático durante la dieta de finalización de ganado bovino en tres estaciones del año, (invierno, verano y otoño) sobre los parámetros de desempeño productivo y características de calidad de la canal y de la carne.

II. ANTECEDENTES

La carne es el tejido animal más apropiado para ser usado como alimento (De la Rosa, 2009) siendo uno de los más nutritivos para el consumo humano, esto debido a su contenido de proteínas de alto valor biológico, grasas y vitaminas (Acevedo, 2004) aportando, de igual manera vitaminas del complejo B, minerales como zinc y fósforo (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009).

La carne ha llegado a ser indispensable en la dieta integral alimenticia, razón por la cual, es necesario producir carne inocua y sana, modificando e implementando nuevas prácticas de producción pecuaria. Aunado a esto, existe el interés del consumidor hacia alimentos cárnicos provenientes de animales que han sido producidos y tratados humanitariamente antes del sacrificio, lo que ha provocado un mayor interés por parte de los productores de carne para mejorar sus esfuerzos en la producción de una carne sana y con un alto estándar de calidad (Janacua, 2007).

Sin embargo, el consumidor no le da importancia a las características que presenta, o no, la canal; al consumidor sólo basa su elección en la carne, y la valora en base a su apariencia, color, forma, engrasamiento, aroma, sabor, jugosidad y terneza (Díaz, 2001). Lo anterior ha motivado el interés de los ganaderos en producir alimento de alta calidad, prestando atención a los procesos de producción para obtener productos libres de defectos, consistentes, que cumplan con las especificaciones de producción y principalmente que reúnan las expectativas del consumidor (Janacua, 2007).

Conversión del Músculo en Carne

Si bien, el músculo está diseñado para brindar tanto al hombre como a los animales la capacidad de movimiento (Pearson y Dutson, 1994), la carne está compuesta principalmente por el músculo, además de muchos tipos de tejidos, como son los tejidos nerviosos, grasas y vasos sanguíneos (Forrest 1979). Posterior a la muerte del animal, en el músculo se llevan a cabo transformaciones y reacciones bioquímicas cuyo resultado es la carne. Este proceso inicia con la muerte del animal, durante la cual no existe la presencia de oxígeno en el músculo, debido a la falta de circulación de la sangre, bloqueándose la síntesis de ATP. Debido a esto, el músculo busca obtener la energía que necesita mediante el metabolismo anaeróbico, a través del consumo de la reserva de glucógeno, provocando un aumento del nivel de ácido láctico, además de liberarse calcio desde el retículo sarcoplásmico al espacio miofibrilar. Por todo lo anterior, se presenta un descenso del pH, y las proteínas musculares (actina y miosina) se unen irreversiblemente, provocando el acortamiento muscular (Iñiguez, 2006).

Las características organolépticas y tecnológicas de la carne se ven afectadas por el pH a las 24 h *postmortem*, aunque puede estar influenciado por la velocidad de caída de éste, lo cual puede ser debido a las reservas de glucógeno presentes en el animal al momento del sacrificio (Warriss, 2003). Cuando se inicia la acidificación gradual, el pH del animal desciende de 7.2 hasta aproximadamente 5.5; en vacunos este proceso de acidificación puede durar entre 15 y 36 h (Iñiguez, 2006).

Calidad de la Canal

La canal se puede definir como la mayor proporción del peso vivo del animal, siendo por lo tanto la parte que mayor precio alcanza. Para las canales

bovinas se considera el cuerpo del animal una vez sacrificado, sangrado, desollado, sin cabeza ni extremidades y eviscerado. Para conocer la calidad de la canal bovina es necesario evaluar algunas características, mismas que en conjunto confieren a la canal su máxima aceptación (en base su calidad), lo cual genera mayores ganancias (Universidad de Córdoba, 2006).

Para evaluar la calidad de la canal es necesario considerar algunas características, entre las que pueden distinguirse las siguientes:

pH

El pH afecta directamente la estabilidad y propiedades de las proteínas, por ello se considera una de las características más importantes en la evaluación de la calidad, tanto de la canal como de la carne. Varios de los atributos de calidad del producto dependen prácticamente del valor final del pH, tales como el color y la capacidad de retención de agua (CRA), por mencionar algunos (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009).

La evolución del pH de la canal se inicia a partir de la concentración de glucógeno en el músculo. Después del sacrificio, el músculo pierde el aporte de oxígeno y nutrientes, por lo que al tratar de mantener su integridad disipando sus propias reservas energéticas y sufriendo cambios en sus propiedades durante la etapa *postmortem*, las cuales dependerán de la condiciones *antemortem* y del glucógeno disponible (Lawrie, 1991). Como consecuencia de este fenómeno se genera una disminución del pH, pasando de un valor de 7.0, a un pH último que oscila entre 5.6 y 5.8 (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009).

Color de Canal y Grasa

La evaluación del color de la carne y grasa de la canal resulta de mucha importancia, ya que en base al color de la carne, se puede tener un punto de partida para conocer el color que logran tener los cortes que se obtengan de esa canal. Por otro lado, el color de la grasa se utiliza de manera discriminativa, ya que en México las canales con grasa de tonalidad amarilla son separadas de las líneas comerciales estándares (Rubio et al., 2013). En la carne debe apreciarse un color rojo-cereza, mientras que en la grasa el color debe ser blanco-crema (Torrescano et al., 2008).

En la actualidad es posible la implementación de plantillas como apoyo en la estimación del color de manera subjetiva (evaluación sensorial) con la finalidad de obtener una aproximación lo más real posible a una coloración considerada como “ideal” por parte del consumidor (Torrescano et al., 2008). El color también dependerá del tipo de músculo y de la actividad que realiza por su ubicación en la anatomía del animal (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009).

El periodo *antemortem*, el proceso de sacrificio y las etapas subsecuentes, afectan al color, por la influencia de la velocidad de caída del pH y la disminución de la temperatura. El contenido del pigmento mioglobina es intrínseco al músculo, dependiendo de los factores de producción primarios, tales como especie, raza, edad, tipo de músculo y grado de nutrición (Honikel, 1998).

Raes et al. (2003) encontraron valores de color instrumental de L^* , a^* y b^* de 34.6, 21.7 y 19.4, respectivamente, en el músculo *Longissimus lumborum* de bovinos de raza Limousin. Los valores L^* y b^* serán dependientes del grado de marmoleo; para una canal con un mayor grado de marmoleo los valores se encuentran en 37.2 y 12.2, respectivamente (Rossner et al., 2010). En referencia al valor L^* , este se considera como el principal indicador de aumento

en la luminosidad de la carne (Wulf y Wise, 1999). De igual forma, es un indicador que confirma la ausencia de carne DFD, ya que se sugiere que el valor de L^* es uno de los parámetros que mejor predice la presencia de dicha característica, debido a que la carne DFD refleja una menor cantidad de luz (Pérez-Linares et al., 2008) y de acuerdo a esto, valores de claridad por encima de 33 son consideradas como normales.

Presencia de Hematomas

Durante el manejo previo al sacrificio, generalmente se reconoce que la lesión física más prevalente es un hematoma o una contusión (Ferguson y Warner, 2008). Los hematomas pueden resultar dolorosos para el animal; en primer lugar la contusión o golpe puede ser dolorosa por sí misma en el momento, y en segundo lugar, la hinchazón provocada por el golpe y la inflamación en el sitio de la lesión puede conducir a una prolongación del dolor en mayor tiempo y sufrir sensibilidad al contacto. Un hematoma se desarrolla por la segregación de plaquetas de la sangre, las cuales se adhieren al colágeno en las superficies dañadas de los vasos sanguíneos. Esta reacción es rápida pues su finalidad es detener una posible hemorragia dentro de 2 minutos siguientes (Gregory, 1998).

Durante el manejo y transporte de los animales se pueden presentar circunstancias inadecuadas, que generan problemas en la calidad de la canal, los cuales pueden deberse a una respuesta al estrés, como lo es un pH más alto, generación de carne DFD y daños en la canal por la presencia de hematomas (Romero et al., 2013).

Una forma rápida, común y fácilmente identificable de un escaso cuidado en el bienestar animal durante el manejo, transporte y sacrificio es la presencia de hematomas, incluso puede indicar la ineficiencia y/o negligencia dentro de

los procesos previos al sacrificio (Romeo et al., 2013). Por lo que para detectar de manera eficaz los hematomas en la canal es necesario implementar un programa de puntos críticos de control (Miranda de-la Lama et al., 2009).

En un estudio realizado por Hoffman (2012) se encontró que el mayor número de hematomas se presentó en los animales considerados con una condición “media”; lo cual se refiere a una menor complejión. Las observaciones indican que los animales con esta condición tienden a ser más activos, lo que da lugar a movimientos más rápidos y agresivos, aumentando la posibilidad de recibir golpes durante su manejo.

También Eldridge y Winfield (1988) examinaron los efectos de las diferentes dimensiones del espacio en distancias moderadas, encontrándose que la incidencia de hematomas fue menor en un área de 0.89 m²/animal, y mayor en un área de 1.39 m²/animal.

Peso

El peso es la característica más vinculada a la calidad de la canal, este, puede verse influenciado por las preferencias del mercado, lo cual repercutirá directamente en los demás componentes de la calidad de la canal (Bianchi et al., 2008). Además, el peso de la canal es una característica de gran interés, debido a que influye en la conformación, engrasamiento, composición en tejidos y proporción de piezas, y por lo tanto, incide directamente en su calidad y precio. Considerando que la industria comercializa la carne sobre la base de precio por kilogramo, la obtención del peso óptimo de sacrificio para cada situación concreta, conduce a una máxima rentabilidad (Díaz, 2001).

El peso de la canal caliente (PCC) es el peso de la canal justo cuando el animal acaba de ser sacrificado, mientras que el peso de la canal fría (PCF) es

el peso de la canal después de un periodo de refrigeración, que suele ser de 24 h. Entre el PCC y el PCF, existen pérdidas por refrigeración, las cuales están relacionadas con el engrasamiento de la canal, que disminuyen al aumentar el mismo (Díaz, 2001).

Conformación

La conformación es la apreciación del rendimiento de carne que se puede obtener de una canal, mediante la estimación de la cantidad de carne con respecto al hueso, y muestra el desarrollo de las masas musculares (Rubio et al., 2013). Al evaluar la conformación o morfología de la canal, se busca medir la cantidad de carne que será obtenida para la venta, poniendo especial atención en los cortes más selectos. La evaluación se lleva a cabo mediante mediciones objetivas como, peso de canal y largo de canal (compacidad de la canal), y/o subjetivas que consisten en la apreciación visual con la ayuda, o no de patrones fotográficos. A esta característica se le concede una gran importancia tanto comercial como económica. (Bianchi et al., 2008). El peso de terminación, peso de la canal y estado de engrasamiento, debe cumplir con los mayores requisitos del mercado a abastecer, aunque con el mejor precio (Depetris, 2000).

Al momento de revisar las características de la conformación se evalúan parámetros de la canal, como son la mínima proporción de hueso, considerando que ésta sea suficiente para mantener las masas musculares; una masa muscular de morfología adecuada, que se distribuya preferentemente en las regiones anatómicas de mayor valor comercial; un estado de madurez y una distribución del tejido conjuntivo suficientes para sostener las estructuras de los músculos, y mínima para conferir a la carne una adecuada ternura y jugosidad; un estado de engrasamiento mínimo pero suficiente para una buena conservación y transporte, que proporcione a la carne propiedades sensoriales

óptimas; un color y consistencia del músculo y de la grasa acordes con las preferencias del consumidor; y, rendimiento al despiece alto, principalmente de aquellas piezas con mayor aptitud culinaria (Díaz, 2001).

Grado de Engrasamiento

El grado de engrasamiento se define como la proporción de grasa que presentan las canales respecto a su peso (Díaz, 2001), el cual es uno de los factores que producen mayor variación en el valor comercial de una canal, y por ello es el criterio de calidad más importante de clasificación de las canales, ya que el nivel de grasa influye en la terneza de la carne; siendo las canales con menos grasa las que se enfrían más rápidamente, y con esto que sean menos tiernas (Universidad de Córdoba, 2006).

Un mayor grado de engrasamiento protegerá a las fibras musculares del acortamiento por frío, al igual que de las pérdidas durante la conservación en las canaieras (Bianchi et al., 2008); sin olvidar la importancia de la grasa intramuscular desde el punto de vista sensorial, ya que está demostrado que su distribución en la carne es uno de los factores de mayor apreciación por parte del consumidor (Universidad de Córdoba, 2006).

Existen factores que influyen en el estado de engrasamiento, como son el peso del animal, sexo, raza y alimentación (Universidad de Córdoba, 2006). La grasa se acumula más rápidamente en los animales estabulados (sin pastoreo) que en los sometidos a pradera, presentando cambios en la composición de la canal (Duckett et al., 1993). Por otro lado, Allen et al. (1996) señalan que la presencia de grasa amarilla se asocia con la mayor ingesta de pasto. Mientras que Hopkins (1994), encontró que la medida del espesor de la grasa subcutánea cuando es utilizada junto con el peso de la canal caliente, aumenta la exactitud de la predicción del contenido de magro. Asimismo, la

acción protectora de la grasa de cobertura que también regula el enfriamiento, evita el oscurecimiento de la carne como consecuencia de la oxidación de la mioglobina (Lawrie, 1991).

Rendimiento

Con frecuencia el rendimiento es un dato controversial ya que enmascara otros factores (Berg y Butterfield, 1976). Para convertirlo en un dato de mayor relevancia se han definido las condiciones del peso en vivo y el peso de la canal. El rendimiento que resulta de mayor interés es el rendimiento verdadero, ya que en este valor se descarta el peso del contenido digestivo (Díaz, 2001). El rendimiento verdadero de la canal se define como el peso vivo vacío, esto es el peso vivo menos el peso del sistema digestivo que corresponden entre un 15% a 20% del peso del animal (Universidad de Córdoba, 2006).

El rendimiento de la canal resulta ser un valioso indicador como criterio de calidad, reflejándose en los kilogramos de carne producidos (Bianchi et al., 2008). También es posible obtener el rendimiento respecto al peso en pie, el cual se obtiene de acuerdo a lo siguiente: $\text{Rendimiento} = \frac{\text{peso canal fría} \times 100}{\text{peso en pie}}$ (Torrescano et al., 2010).

Calidad de la Carne

El gran desafío que enfrenta la industria cárnica es lograr proporcionar una calidad garantizada para los consumidores, siendo la textura, el valor nutritivo y la apariencia, las características fundamentales a determinar (Damez y Clerjon, 2008). Sin embargo, existe una gran variabilidad en la carne cruda que se comercializa, lo que dificulta el control del nivel de calidad.

Factores Determinantes de la Calidad de la Carne

La calidad de la carne depende de factores básicos como el contenido nutricional, la seguridad sanitaria y las características sensoriales de sabor y apariencia (Damez y Clerjon, 2008). La valoración comercial de la carne bovina dependerá inicialmente de criterios cuantitativos, como el peso de la canal; sin embargo, también deben considerarse criterios cualitativos ligados a la composición de la canal y a las características de los músculos; factores que están relacionados estrechamente con el peso al sacrificio, raza, edad y sexo (Depetris, 2000).

Uno de los factores que genera variabilidad en la calidad de la carne es la terneza, la cual se debe en parte a la diversidad biológica de los animales (Damez y Clerjon, 2008). El consumidor considera a la terneza como una de las características de calidad más importantes, la cual se encuentra relacionada con el sexo del animal, siendo los machos enteros los que tienden a presentar carne más dura que la de las hembras, particularmente una vez alcanzada la pubertad. De igual forma, la edad también ejerce su influencia sobre la dureza de la carne; a mayor edad menor terneza (Depetris, 2000). Estas diferencias se ven influenciadas por el contenido de colágeno presente en el músculo, ya que el comportamiento diferencial de los músculos se atribuye a la cantidad de tejido conectivo (Bianchi et al., 2008).

Otro de los factores principales al momento de elegir el producto por parte del consumidor es el color. De acuerdo a Gil et al. (2001) la intensidad del color rojo presenta mayor variabilidad entre razas, lo cual es debido al metabolismo y tamaño de los músculos; algunas razas presentan músculos más pálidos, lo que dependerá de su proporción de fibras blancas. Por lo anterior, las razas cebuínas, tienden a sufrir discriminación en cuanto a la calidad de la carne que producen, debido a que su carne tiende a presentar una mayor dureza, menor grado de marmoleo y por consiguiente menor jugosidad y

sabor. De igual forma, las razas destinadas a producción de leche presentan un elevado metabolismo, y planos musculares menos gruesos, por lo que su carne es más oscura que la obtenida a partir de razas especializadas en la producción de carne (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009). Además, algo adicional que debe considerarse es que las hembras ganan menos peso en comparación con los machos (Zea et al., 2007).

pH. Una de las principales características que determinan la calidad de la carne es el pH, el cual está influido por un sin número de factores que pueden interactuar entre sí, determinando su velocidad de descenso y pH final. También se considera el factor principal en la determinación de las características organolépticas, como el color, olor y terneza de la carne, además de afectar la capacidad de retención de agua, que se relaciona con la jugosidad de la carne (Bianchi et al., 2008). La rapidez con la que el pH disminuye en el proceso *postmortem* es variable, y tiene un gran impacto en el color de la carne y los productos cárnicos. El pH normal disminuye en músculos de aproximadamente 7.0-7.2 hasta alcanzar valores de 5.5-5.7 en 24 h (Boles y Pegg, 2011).

Color. El color es el factor de calidad más importante en carne y productos cárnicos, el cual influye en la decisión de compra del consumidor y afecta la percepción de frescura del producto. El color puede variar de la carne recién cortada que presenta una tonalidad de rojo a púrpura intenso, a un color gris claro característico de la carne “vieja”. El color de la carne fresca depende de la mioglobina, la cual está formada por una porción de proteína y un anillo de porfirina no proteico con un átomo de hierro central. Los factores que determinan el color de la carne son el estado de oxidación (química) del hierro y qué compuestos (oxígeno, agua u óxido nítrico) están adheridos a la porción de hierro de la molécula (Boles y Pegg, 2011).

El color púrpura intenso aparece inmediatamente después del corte, y a medida que el oxígeno presente en el aire se absorbe y se liga al hierro por el contacto con la superficie expuesta de la carne, el color superficial cambia. Conforme la mioglobina se oxigena, se forma el pigmento llamado, oximioglobina, que le da a la carne de bovino el color rojo cereza brillante característico (Boles y Pegg, 2011). La mioglobina y oximioglobina tienen la capacidad de perder un electrón (oxidación) lo que modifica el pigmento a un color café y produciendo metamioglobina.

Textura. Las propiedades relacionadas con la textura son las características de calidad más apreciadas por el consumidor (Lawrie, 1998); sin embargo, este factor se puede ver afectado por otros factores como el contenido de colágeno y la solubilidad del mismo, el pH, el tamaño de la fibra, inclusive la especie, la edad, la raza, condiciones de estrés *antemortem* y el sexo (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009).

En gran medida la terneza de la carne, además de factores *postmortem*, está explicada por la cantidad y tipo de tejido conjuntivo presente en la carne. Este tejido está fundamentalmente constituido por dos proteínas fibrilares, siendo éstas el colágeno y la elastina; considerándose que la primera es la que mayor efecto ejerce sobre la dureza. También la cantidad de colágeno, así como su composición, número y tipo de uniones entre las moléculas de colágeno influyen considerablemente en el grado de dureza de la carne (Bianchi et al., 2008).

Capacidad de retención de agua. La capacidad de retención de agua (CRA) se refiere a la capacidad que presenta la carne para retener el agua cuando ésta es sometida a factores externos como corte, presión y temperatura, entre otros (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009). Para esta

propiedad de la carne, la jugosidad de la carne juega un papel muy importante, puesto que ésta dará la impresión gustativa al consumidor. Los lípidos intramusculares y el agua son las principales fuentes de jugosidad de la carne (los jugos presentes en el producto contienen componentes que contribuyen a la fragmentación y suavidad de la carne), y constituyen un sustrato acuoso que es liberado cuando la carne es masticada, por lo que la ausencia de esta característica limita severamente su aceptabilidad. (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009).

El agua es el componente más importante de la carne, y representa entre 65 y 89% del peso total (Forrest et al., 1979). Por esto, la pérdida de la misma toma importancia debido a que afecta de manera negativa el rendimiento de la carne durante su almacenamiento o venta (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009). Muchas de las propiedades físicas y de aceptación como el color, textura, jugosidad y terneza en carne cocinada dependen de la capacidad de retención de agua (Warner et al., 1993).

En la carne, el agua se encuentra en tres formas diferentes que son: agua ligada, agua inmovilizada y agua libre. La pérdida de agua libre es la de mayor importancia en el enfriamiento y almacenamiento de las canales, dicha pérdida ocurre por evaporación y goteo (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009). Al momento del despiece la carne pierde aproximadamente el 1 % de su peso y durante la preparación de los cortes comerciales, la pérdida se incrementa de 2 a 6 % (Roseiro et al., 1994).

Maduración

Mediante la maduración o añejamiento de la carne es posible mejorar su terneza y disminuir su variabilidad. El proceso más viable para conseguir dicha maduración en la carne, consiste en envasar la carne al vacío; sin embargo, se

presenta una desventaja; la carne muestra un color púrpura característico de la deoximioglobina (Pérez-Juan et al., 2011).

Existen una serie de factores, en cada uno de los eslabones de la cadena cárnica, que pueden influir sobre la tasa de ablandamiento que ocurre en la carne conforme avanza la maduración, como puede ser la temperatura de almacenamiento, ya que el incremento de ésta produce un aumento en la velocidad de ablandamiento, debido a la mayor actividad enzimática de las proteasas involucradas en el proceso. El pH a un nivel intermedio, también puede influir en la generación de un menor ablandamiento, lo que parece estar asociado a una menor actividad de las enzimas involucradas en la maduración de la carne; además, el tipo de músculo, la raza y el sistema de producción-alimentación, ya que en bovinos expuestos a sistemas extensivos se requerirá mayor tiempo de maduración. De igual forma, el método de envasado, ya que un envasado al vacío permitirá prolongar el tiempo de maduración, al menos hasta tres semanas, sin comprometer la calidad higiénica del producto (Bianchi et al., 2008).

En relación al tiempo de maduración, se sabe que cuando este es mayor, la terneza de la carne aumenta, pero puede disminuir la vida comercial del producto envasado. Por ello, es necesario precisar las condiciones que permitan lograr al mismo tiempo una buena terneza de la carne y una adecuada estabilidad de las características de calidad, como es el color (Pérez-Juan et al., 2011).

Carne DFD

Durante el proceso de conversión de músculo en carne, el pH pasará de 7.0 a un pH final de entre 5.6 y 5.8; este último puede variar de acuerdo al tipo de músculo, por ejemplo, la acidificación suele ser más lenta en los músculos

rojos (oxidativos) que en los blancos (glucolíticos). A partir del pH último se puede predecir el tipo de carne que se obtendrá: normales (5.5 a 5.9) y DFD o corte oscuro (6.0 a 7.0). En bovinos la ocurrencia de DFD es alta y directamente correlacionada con el valor final del pH (Hernández-Bautista y Ríos-Rincón, 2009).

El corte oscuro se relaciona directamente con una disminución de los niveles de glucógeno muscular y hepático; aquellos animales que tienen una baja reserva de glucógeno inicial desde el predio tendrán mayor riesgo (Gallo y Tadich, 2008), la carne se pondrá oscura y con una superficie mate y seca. Estos cambios también alteran el espacio entre las fibras de la carne, lo que afecta la apariencia visual (Boles y Pegg, 2011).

Warner et al. (1998) demostraron que el tiempo transcurrido en estabulación tiende a aumentar la incidencia de corte oscuro en el ganado vacuno. De igual forma el proceso de manipulación y el lavado de los animales provocaran una respuesta de estrés, lo que da como consecuencia la incidencia de corte oscuro (Ferguson y Warner, 2008).

Bienestar Animal

El vínculo humano–animal es tan antiguo como la misma historia de la humanidad; lo que ha ido cambiando a lo largo del tiempo es la actitud del hombre hacia los animales. Al inicio, era común la relación de los ganaderos con cada uno, o el único de sus animales, siendo capaz incluso de identificarlos individualmente y atender cada una de sus necesidades. Sin embargo, esto cambió a causa de la segunda guerra mundial, ya que se desencadenó una gran hambruna, por lo que el aumento de la necesidad de conseguir alimentos con alto contenido proteico y nutricional, generó la “industrialización” de la producción de carne, convirtiendo a los animales en instrumentos de dicha

producción mecanizada, con el único fin de cubrir las necesidades humanas, tanto de carne como de leche, y otros productos de origen animal, dejando de lado las necesidades propias de cada especie (Rossner et al., 2010).

La preocupación acerca del bienestar animal ha ido en aumento, particularmente por la presión del público consumidor. Puede definirse por bienestar, al estado del individuo en relación a sus intentos de adaptarse al ambiente en un momento determinado (Rossner et al., 2010). Los seres humanos no dan o brindan bienestar, lo que puede hacerse es aportar recursos para que el animal los utilice e intentar adaptarse al ambiente, satisfaciendo así sus necesidades. Estas necesidades son parte de la biología de los animales y es lo que un animal necesita para responder a un ambiente particular u obtener un recurso (Rossner et al., 2010).

Alimentación

El mayor nivel energético de la dieta dará un mayor crecimiento y una canal con más grasa. Por ello, en la alimentación a base de concentrado el engrasamiento aumenta, la carne es más veteada o marmoleada, es decir, con mayor contenido de grasa intramuscular visible, por lo cual será más jugosa (Universidad de Córdoba, 2006). De igual manera, la alimentación asociada al sistema de explotación, también puede afectar la terneza, ya que existen mejoras significativas en la terneza instrumental y sensorial de vacunos alimentados con concentrados, lo cual es atribuible ya sea a la mayor cantidad de grasa intramuscular, a una caída más rápida del pH, mayor longitud de sarcómero y menor tasa de enfriamiento (Bianchi et al., 2008).

Con base a la alimentación se pueden tener mayores ganancias en el peso (Depetris, 2000); sin embargo, alimentos con alto contenido energético, propiciarán una mayor deposición de grasa, por lo que será necesario un mayor

consumo de alimento por parte del animal para lograr aumentar el peso vivo real durante la etapa de finalización, ya que es en ese momento cuando la deposición de grasa tiene lugar (Warriss, 2003)

Al hablar de peso en animales vivos, es común utilizar el término, ganancia de peso, para hacer referencia al aumento del tamaño de un animal; sin embargo, es importante diferenciar entre el peso verdadero, el cual es generado en base al aumento en la masa muscular, contra un peso ocasionado por el alimento y/o el agua ingerida por el animal. De igual forma, es posible emplear el término de crecimiento para referirse sólo al aumento de tamaño de las partes que son susceptibles a seguir creciendo (Warriss, 2003).

Rendimiento por Consumo de Alimento

Los bovinos, al igual que todos los rumiantes se distinguen por el consumo de forrajes por naturaleza (Gasque, 2008) De entre todas las especies, se destacan por su capacidad de aprovechar alimentos fibrosos y de baja calidad, convirtiéndolos en alimentos de un alto valor nutritivo (Rossner et al., 2010), con lo que se cubren todas sus necesidades de mantenimiento, crecimiento, preñez y desarrollo corporal (Gasque, 2008). Lo anterior permite el aprovechamiento de esas áreas con características de suelo o topografías que dificultan la implementación de una agricultura mecanizada (Rossner et al., 2010).

No obstante, el productor busca animales que en un periodo menor de tiempo y a un menor costo, produzcan canales de alta calidad, lo que se verá reflejado en el precio de compra. En este aspecto destaca la importancia de la alimentación, ya que influye en el crecimiento muscular (Díaz, 2001).

De igual manera, la calidad de la canal se puede ver afectada en base a la dieta suministrada a los animales, esto a causa de la ingesta de energía y calidad proteica. Una dieta alta en energía aumenta la deposición de grasa y disminuye el desarrollo muscular, minimizando la cantidad de carne que se obtendrá en la canal. Lo anterior, puede observarse al comparar las dietas a base de concentrado con otra a base de forraje o ensilaje (Zea et al., 2007).

Uso de Aditivos

En la actualidad se puede controlar, en alguna medida, el fenómeno del crecimiento y con esto conducir a una mayor producción. Existen estimulantes de crecimiento que se consideran beneficiosos, los cuales actúan durante el anabolismo proteico, generando en una mayor cantidad de músculo, con un contenido menor de grasa. En numerosos países, cuyos sistemas de producción de carne son intensivos, se emplean anabólicos para mejorar su producción, velocidad de crecimiento y la conversión alimenticia, con lo que se acorta el periodo de producción, disminuyendo el insumo más costoso: el tiempo (Bavera et al., 2002).

Para incrementar la cantidad de proteína corporal en el mercado existen agentes anabólicos esteroides, que afectan la función metabólica del animal, entre los que se encuentran los anabólicos naturales, como la testosterona y la progesterona; aunque también es posible encontrar el grupo de los agonistas Beta adrenérgicos o β -agonistas, como la epinefrina que es secretada por la médula adrenal. Su mecanismo consiste en aumentar la ganancia de peso y promover la retención de nitrógeno (Bavera et al., 2002). Por otro lado existen productos como el clorhidrato de zilpaterol y el clorhidrato de ractopamina que son los dos beta-agonistas más utilizados en la alimentación animal. Su empleo se justifica para satisfacer la demanda de carnes magras o con poca cantidad de grasa. Los dos beta-agonistas mejoran el comportamiento de los animales

sin alterar el color de la carne (Avendaño et al., 2006). El zilpaterol se emplea en los corrales de engorda durante la etapa de finalización ya que mejora el crecimiento y la deposición de músculo en machos y hembras incrementando la ganancia diaria de peso (GDP), eficiencia alimenticia (ganancia de peso/consumo de alimento) sin embargo, el uso de este producto disminuye el marmoleo (Montgomery et al., 2009).

El uso de aditivos puede tener efectos variados sobre la terneza. En algunos casos se han visto mejoras positivas al adicionar vitamina E, de igual forma la suplementación oral de vitamina D3 ha sido utilizada para incrementar la disponibilidad de calcio en el músculo, y como consecuencia mejorar la actividad proteolítica de las enzimas calcio-dependientes (calpaínas), por lo que el agregado de calcio, por su parte, mejora la terneza (Bianchi et al., 2008).

Por otra parte, existen compuestos fenólicos, como los flavonoides, que poseen una estructura química adecuada, con capacidad para ejercer una acción antioxidante, actuando como captadores de radicales libres, neutralizando peligrosos iones metálicos quelantes y moléculas reactivas de oxígeno (Martínez-Flórez et al., 2002). Sus propiedades anti-radicales libres se dirigen fundamentalmente hacia los radicales hidroxilos y superóxido, especies altamente reactivas implicadas en el inicio de la cadena de peroxidación lipídica (Martínez-Flórez et al., 2002).

De igual forma, en la actualidad existe una tendencia hacia la mitigación de la presencia de estrés en los animales, lo cual se trata de llevar a cabo mediante la adición de moduladores alostáticos en el alimento o en el agua de bebida. Con el término alostasis se intenta reflejar de manera más eficiente las circunstancias medioambientales y los estímulos a los que se expone el individuo todos los días. El término alostasis se define como el nivel de actividad necesario para mantener la estabilidad del organismo en ambientes de constante cambio, indispensable para la supervivencia. Los niveles

alostáticos permiten responder al estrés psíquico o físico, interno o externo, activando el sistema nervioso autónomo. Ante un desafío se ponen en marcha los sistemas alostáticos que inician una respuesta de adaptación hasta lograr un nuevo punto de equilibrio (Pitkin, 2010).

Si la respuesta alostática al estrés es activada repetidamente, o si no se puede desactivar de forma adecuada al final de un hecho estresante, esta se vuelve casi tan nociva como los propios agentes estresantes. Un amplio porcentaje de enfermedades o trastornos, deficiencias y consecuencias negativas son derivados de una excesiva y prolongada respuesta al estrés, sin la posibilidad de desactivar los procesos alostáticos (Laird de Koller, 2012). Por todo lo anterior, se ha generado un gran interés por conservar o ampliar los niveles de equilibrio antes de sufrir cargas alostáticas excesivas, lo que genera estrés, y por lo tanto un desequilibrio en la homeostasis de los organismos vivos. Sin embargo, de estos moduladores aún existen pocos estudios, no obstante se tienen evidencia de los aspectos favorables que se manifiestan al disminuir o controlar el estrés en los animales durante su manejo.

Proceso de Sacrificio

A nivel de sacrificio y post-sacrificio la estimulación eléctrica, la instauración del *rigor mortis*, el pH, las condiciones de enfriamiento, la manera de suspender las canales y el tiempo de maduración, pueden tener importantes efectos sobre la calidad de la carne, ya sea en forma independiente o interaccionando entre ellos. La temperatura durante la fase del *rigor mortis* puede afectar no sólo la terneza de la carne, sino también su tasa de ablandamiento durante la maduración (Bianchi et al., 2008).

Tecnología del Sacrificio

Durante el sacrificio se deben considerar algunos aspectos, sin embargo, la insensibilización es uno de los más descuidados. El objetivo de la insensibilización de los animales antes del desangrado es lograr que éste pierda instantáneamente la consciencia, pero no debe recuperarla antes de la sangría, de manera que no sienta dolor, se inmovilice y sea más fácil y seguro para el operario manejarlo (Gallo y Tadich, 2008).

Para determinar la eficacia de la insensibilización y evaluar el bienestar animal durante el proceso, Grandin (1998) recomienda usar algunos indicadores de comportamiento, como sería el porcentaje de animales que son insensibilizados al primer tiro (mínimo aceptable de un 95%) y el porcentaje de animales que muestran signos de conciencia post disparo (no más de 0.2%). Otro aspecto importante, es el tiempo que transcurre entre noqueo y la sangría, el cual según Warriss (2004) debería ser menor de 30 s. Además, se pueden usar indicadores fisiológicos para determinar los efectos de la insensibilización, tales como los niveles sanguíneos de cortisol, glucosa y lactato, que podrían ser medidos en el momento de la sangría (Gallo y Tadich, 2008).

Otro factor importante que se debe cuidar después del sacrificio, es la temperatura a la que son expuestas las canales durante las primeras horas *postmortem*; si esta temperatura es elevada, la formación de ácido láctico aumentará, y se producirá un brusco descenso del pH, lo que traerá como consecuencia una instauración prematura del *rigor mortis*, al interrumpirse el metabolismo energético por efecto de la disminución del pH. Normalmente la aparición del *rigor* en bovinos se presenta entre 4 a 10 h (Ramírez, 2009).

Problemas de Calidad Durante el Sacrificio

Después del sacrificio, el músculo sufre una serie de transformaciones bioquímicas que afectan la estructura de las miofibrillas, de igual manera se producen modificaciones en el estado químico de la mioglobina, alterando el color de la carne. Si se llevan a cabo malas prácticas durante el sacrificio o en los procesos post y pre sacrificio puede repercutir sobre algunos factores que resultan determinantes al momento de evaluar la calidad final del producto, como un ejemplo, se puede presentar el fenómeno de “acortamiento por frío”, descrito como un rápido descenso de temperatura (debajo de 10° C), cuando el pH aún se encuentra en valores superiores a seis (Bianchi et al., 2008).

Una de las técnicas utilizadas durante el proceso de sacrificio es la estimulación eléctrica, con la cual se busca prevenir el problema del acortamiento por frío, mediante el consumo de ATP antes de presentarse el inicio del *rigor*; sin embargo, la activación de las calpainas en virtud del incremento en la tasa de glicólisis, puede reducir los tiempos de maduración necesarios para alcanzar niveles aceptables de terneza (Bianchi et al., 2008).

Por otra parte, se ha observado que el uso de agujones eléctricos para el ganado, 15 min previo al sacrificio, afecta la capacidad de retención de agua del músculo, lo que trae como consecuencia una reducción en la aceptabilidad por parte del consumidor (Ferguson y Warner, 2008).

Manejo

En estudios realizados por Jeremiah et al. (1988), se evaluaron los factores pre-sacrificio, particularmente el transporte y el tiempo, estableciéndose que para distancias cortas y con un sacrificio dentro de las 4 h (duración desde su salida hasta el momento de ser sacrificados), el ganado

experimentó un mínimo de estrés. Al ser sometidos a exigencias físicas adicionales, como puede ser la manipulación, movimiento durante el transporte y especialmente el espacio, los animales requieren de energía adicional para cubrir dichas demandas, lo que dará como resultado un impacto en la concentración de glucógeno muscular y el pH final (Lambert et al., 1998).

Un factor importante durante el manejo es el periodo de ayuno, ya que para la mayoría de los bovinos, la privación de alimentos y agua es aproximadamente de 24 h. Sin embargo, pueden presentarse situaciones donde este periodo se extiende de 36-48 h, periodo que tendrá impacto evidente sobre la pérdida de peso. También durante este tiempo se puede llegar a presentar deshidratación en los animales; sin embargo, esta no se clasifica como de riesgo clínico (Ferguson y Warner, 2008).

Las prácticas de castración y descornado, son importantes para la calidad, al igual que todas aquellas que provoquen que los animales experimenten estrés, como los gritos, encierres frecuentes, mala accesibilidad al agua. Además, se deben evitar los golpes durante la transportación, ya que estos se pueden traducir en hematomas, los cuales producen una importante pérdida de la calidad. Si se presentan condiciones estresantes, los niveles de adrenalina aumentarán provocando la degradación del glucógeno, lo que ocasiona un menor descenso de pH, y cuyo resultado será el desarrollo de carne oscura, además de un menor sangrado lo que podría aumentar la carga bacteriana (Depetris, 2000) y afectar negativamente el color. Conjuntamente se evita el sufrimiento de los animales, se evitan problemas en la calidad de la carne, como puede ser la presencia de hemorragias musculares, que generalmente son detectables en los músculos de mayor valor.

Estrés en los Animales

El estrés es una respuesta del organismo ante condiciones ambientales adversas, que produce ajustes fisiológicos y metabólicos para mantener la homeostasis (Timm, 2003). Los mecanismos responsables que se manifiestan al darse la respuesta neuroendocrinológica de estrés, provocan un incremento en el nivel de hormonas catabólicas, como son las catecolaminas y glucocorticoide. Los cambios conductuales atribuidos a la presencia de estrés pueden ser variables, ya que dependen de la intensidad con que se presente, por ejemplo, la conducta de miedo, el intento de escape, emitir vocalizaciones, tornarse agresivo e hiperactivo, son en general reacciones relacionadas al estrés agudo (Timm, 2003).

Si los estímulos inductores de estrés son prolongados, entonces se desarrollará un estado pre-patológico en el cual se altera la capacidad individual para mantener las funciones normales y se favorece el desarrollo de enfermedades, cesa la reproducción y por tanto la producción. Además, existen alteraciones conductuales tales como la agresividad, la falta de actividad o el desarrollo de conductas anormales (Timm, 2003).

Durante el proceso de transferencia de los animales de la granja al sacrificio, el estrés es una consecuencia inevitable. El efecto del estrés se verá reflejado en el agotamiento de glucógeno muscular, dando como resultado la presencia de la condición de corte oscuro. Existen pocas pruebas acerca de las consecuencias del estrés en la calidad de la carne inmediatamente antes del sacrificio. Sin embargo, ha surgido nueva evidencia para demostrar que existen efectos sobre la calidad de la carne a causa del estrés previo al sacrificio en el ganado bovino (Ferguson y Warner, 2008).

Efecto del Estrés en la Calidad de la Carne

Los radicales libres se producen continuamente en el organismo por medio de reacciones bioquímicas de oxidación y reducción con el oxígeno (REDOX), las cuales se llevan a cabo durante el metabolismo de las células. Estos radicales libres son protagonistas de numerosas enfermedades que provocan reacciones en cadena; las cuales sólo son eliminadas por la acción de otras moléculas que se oponen a este proceso tóxico en el organismo, los llamados sistemas antioxidantes defensivos (Céspedes y Sánchez, 2000).

El estrés oxidativo es el resultado de un desbalance antioxidante-prooxidante (Céspedes y Sánchez, 2000). Durante el estrés agudo y crónico, las catecolaminas circulantes presentan concentraciones altas en plasma, lo que trae como consecuencia un desbalance en el equilibrio homeostático y por lo tanto pone en riesgo la salud o bienestar físico o psicológico de los animales.

Las alteraciones inmunológicas subsecuentes a la exposición del organismo al estrés, tienen importantes repercusiones sobre el estado de salud de los animales. En experimentos con modelos animales se ha observado el efecto de las hormonas del estrés sobre la progresión de enfermedades autoinmunes, considerando que niveles bajos de glucocorticoides facilitarían el funcionamiento inmunológico y aumentaría el riesgo de que las células del sistema inmune reaccionaran contra elementos propios del organismo (Gómez-González y Escobar, 2006). Los glucocorticoides inducen una disminución en la resistencia del animal ante diferentes enfermedades, y también son causa de activación de infecciones latentes como la rinotraqueítis viral bovina y diarrea viral bovina (Timm, 2003).

Para que los animales se estresen es suficiente una pequeña falla en el manejo; por esto es importante tomar en cuenta varios aspectos durante toda la cadena de sacrificio. Los profesionales del área pecuaria deben considerar,

entre otras cosas, los aspectos éticos, evitando que los animales destinados a la producción de carne sufran innecesariamente. Esto ayudará a producir una mayor cantidad y calidad de carne, por ejemplo, factores como la transportación y la privación del alimento, provocan disminución de peso en las canales y contusiones o hematomas que implican mermas en el peso final de la canal. La presencia de estrés debido a un manejo inadecuado conlleva a cambios metabólicos y hormonales en el animal vivo, que se traducen en cambios de color, pH y capacidad de retención de agua en el músculo *postmortem*, por lo que la calidad de la carne se verá afectada, influyendo en la aceptabilidad por parte del consumidor (Gallo y Tadich, 2008). Estos cambios se deben al agotamiento de las reservas de glucógeno muscular antes del sacrificio. Debido al estrés, el organismo secreta catecolaminas, estas involucran cambios significativos en la glucosa del metabolismo produciendo la lipólisis, la glucogenólisis y la gluconeogénesis (Ferguson y Warner, 2008).

En los últimos años se ha presentado una creciente preocupación por parte de los consumidores ante el bienestar animal, y la aparición de problemas debidos al estrés, tal como los cortes oscuros. Esto ha llevado a un aumento de las exigencias legales y reglamentarias en torno al manejo previo al sacrificio (Gallo y Tadich, 2008).

Estrés, Bienestar Animal y Productividad

Si bien el manejo *ante-mortem* de los bovinos para abasto es inevitablemente estresante, lo aconsejable es buscar formas de mantener el estrés al mínimo, como el diseño de estructuras adecuadas, eliminación de distracciones que impiden un normal avance y la capacitación del personal (Gallo y Tadich, 2008).

El bienestar de los animales durante el manejo se puede medir a través de indicadores de estrés en sangre (indicadores fisiológicos), determinando variables tales como cortisol, glucosa, hematocrito, lactato, antes y después de someter a los animales a los distintos manejos. Por ejemplo, los tiempos prolongados de privación de alimento, además de afectar los indicadores sanguíneos de estrés, pueden provocar pérdidas de peso que comprometen la canal, así como también alteraciones de la calidad de la carne. El estrés crónico previo al sacrificio provoca consumo excesivo de glucógeno muscular, minimizando la formación de ácido láctico en el músculo *postmortem* e impidiendo con ello la caída natural del pH, por lo que la carne presenta una coloración oscura y un pH alto (Gallo y Tadich, 2008).

Warriss (2003) afirma que si el glucógeno se ha consumido debido al estrés crónico por el que pasa el animal antes del sacrificio, el pH baja lentamente, si éste luego de 12 a 48 h *postmortem* es igual o superior a 6 se determina que es una carne DFD. De igual manera, si el animal sufre de estrés previo al sacrificio su temperatura aumenta, agotándose rápidamente sus reservas de glucógeno (Iñiguez, 2006). La exposición de los animales a varias condiciones adversas a la vez, tales como falta de alimento o agua, peligro, hambre, mezcla de animales de diferente procedencia, ambiente molesto, fatiga, calor, frío, luz, restricciones de espacio y otras, condicionan en los animales un estado de estrés que puede tener efectos sobre la productividad y la calidad de la carne (Forrest et al., 1979).

III. HIPÓTESIS

La inclusión de un modulador alostático durante la dieta de finalización del ganado bovino en tres periodos del año (invierno, verano y otoño) mejora el desempeño productivo de los animales y las características de calidad de la canal y de su carne.

OBJETIVOS

Objetivo General

Establecer el efecto de la inclusión de un modulador alostático durante la dieta de finalización del ganado bovino en tres estaciones del año, (invierno, verano y otoño) sobre parámetros de desempeño productivo y características de calidad de la canal y la carne.

Objetivos Específicos

1. Administrar un modulador alostático a un lote de ganado bovino, en tres estaciones del año, para determinar su efecto en el desempeño productivo.
2. Determinar el nivel de estrés al que es sometido el ganado bovino mediante la evaluación de las condiciones de transporte, conducción en engorda, al igual que el manejo previo y durante el sacrificio.
3. Evaluar la calidad de la canal y la carne de los animales tratados con un modulador alostático, contra un grupo control.

IV MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un corral de engorda ubicado en el municipio de Hermosillo, Sonora (28°56'52.4"N, 111°04'17.4"W). El experimento consistió en la separación de los animales de estudio, los cuales presentaron un peso promedio de 433 ± 5.4 , con un encaste *Bos Taurus* en dos lotes, uno denominado control (C), y otro de prueba adicionado con el modulador alostático (P) comercial ATPQM®. Durante el tiempo de experimentación no se trató al ganado con hormonas o algún beta-agonista; separando a los animales en corrales individuales. A ambos lotes se les permitió el consumo de agua *at libitum*, se les proporcionó la misma cantidad y tipo de alimento, el cual durante la etapa de finalización se basó en alto consumo proteico a base de grano, DDG, así como forraje y grasa según la metodología de formulación de la engorda. Por otro lado, al lote prueba se le agregó el modulador alostático en el alimento, en las dosis indicadas por la empresa ATISA, y durante la etapa de finalización de la engorda, por un periodo de 30 días. Lo anterior fue llevado a cabo durante las estaciones de invierno, verano y otoño. El promedio del peso de los animales de cada lote fue de 434, 436 y 431 Kg, para invierno, verano y otoño, respectivamente. El pesaje de los lotes se llevó a cabo de manera individual para lote control y prueba, al inicio y finalización de cada experimento.

Previo al sacrificio se recopiló información relacionada con las características de los animales, así como referente al bienestar animal durante su manejo previo y durante el sacrificio.

La información obtenida de los animales fue la relacionada con genética, edad y sexo. En el aspecto del manejo previo al sacrificio se recolectó

información con respecto a la alimentación, días en corral, si ha sido tratado con implantes o algún β -agonista, tiempo y tipo de transporte y las condiciones de los animales durante éste, al igual que las condiciones de llegada al rastro como fueron: tiempo de desembarque, tipo de arreo, número de animales heridos, al igual que las condiciones de los corrales y el tiempo de ayuno previo al sacrificio.

Los animales se sacrificaron según el procedimiento descrito en las normas NOM-008-ZOO-1994 y NOM-033-ZOO-1995, proceso de sacrificio que se muestra en la Figura 1. Durante la entrada al área de sacrificio los animales fueron insensibilizados mediante el uso de una pistola de perno cautivo, dentro del cajón de aturdimiento. Una vez aturdidos los animales fueron desangrados, lo cual se llevó a cabo mediante un corte en la arteria carótida y en la vena aorta en el cuello del animal. A continuación se realizó la remoción de las extremidades anteriores y posteriores, con el propósito de remover la piel. La piel fue separada de la canal en forma mecánica, para posteriormente remover la cabeza y la víscera de los animales de estudio. Enseguida, las canales fueron cortadas y separadas longitudinalmente con una sierra eléctrica, y posteriormente se lavaron, pesaron (peso caliente) y etiquetaron, para finalmente ser refrigeradas en un cuarto frío o canalera.

Durante el enfriamiento se llevó a cabo el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa del cuarto frío, utilizando un termohigrómetro (Onset's HOBO® Data Logger, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA) el cual fue colocado dentro de la canalera desde el momento en que se introdujo la primera canal y hasta que se evaluaron las canales a las 24 h *postmortem*.

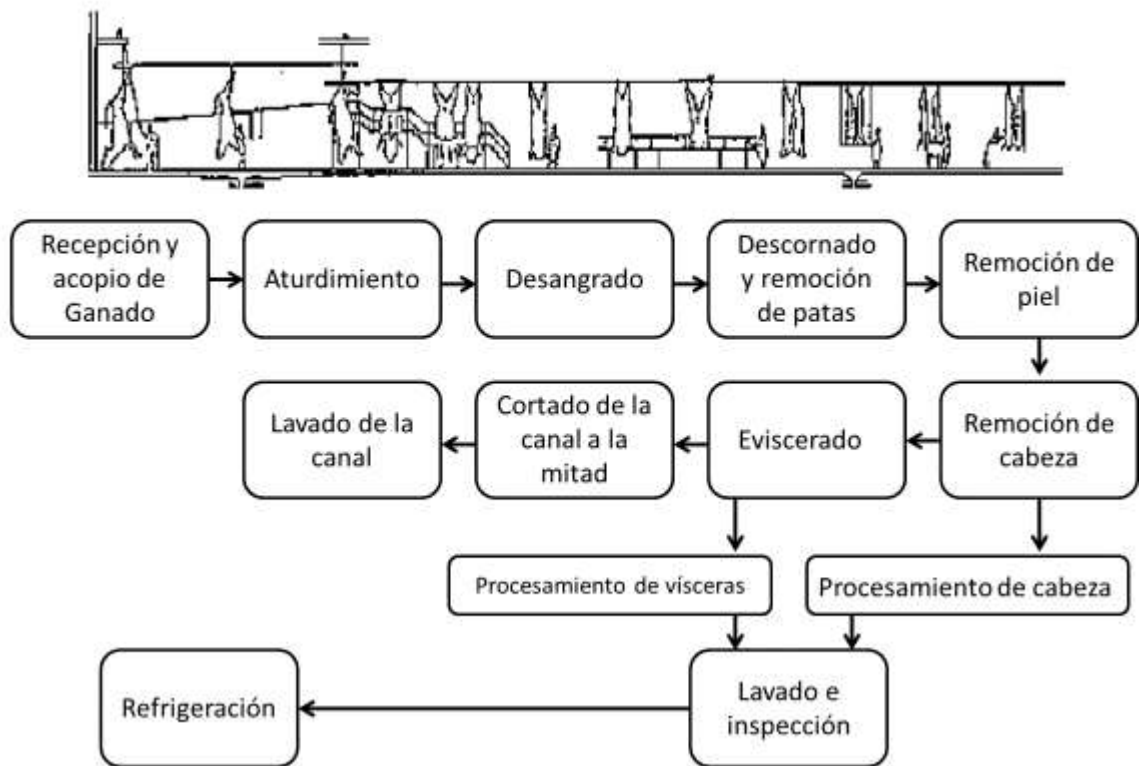


Figura 1. Diagrama de flujo del sacrificio de ganado bovino.

Durante el sacrificio se llevó a cabo la evaluación de algunas condiciones del proceso, como fueron:

- Tipo de arreador y golpes. Conteo de veces que se utiliza el arreo por golpes, por choques eléctricos (uso de la picana), golpes en las puertas.
- Instalaciones, ruidos.
- Tiempo en cajón. Durante éste se registró la cantidad de veces que el animal inclina su cabeza, durante su ingreso en el cajón de insensibilizado, tiempo de espera del animal en el cajón de aturdimiento desde su entrada hasta su insensibilización.
- Disparo, número de repeticiones de disparos con la pistola de noqueo.
- Revisión del reflejo corneal.
- Observación de la fase clónica y tónica.
- Desangrado, tiempo de degüello, sensibilidad al corte y tiempo de desangrado.
- Clasificación de hematomas (Anexo 3).
- Posición de disparo en la cabeza. Utilizando una diana diseñada para tal efecto (Anexo 1).

Durante la etapa de desangrado se tomaron muestras de sangre para evaluar los niveles de CK (creatina quinasa), LDH (lactato deshidrogenasa) y glucosa, presentes en la sangre al momento del sacrificio. Las muestras se recolectaron en tubos vacutainer de tapón rojo para CK y LDH (6.0 ml, 13 x 100 mm) y de tapón gris para glucosa, estos últimos conteniendo Na² y EDTA (2ml, 13x 87 mm) como anticoagulante. Una vez realizada la recolección de la sangre, inmediatamente se colocaron en hielo y se trasladaron al laboratorio de Investigación en Carne y Productos Cárnicos del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), donde las muestras fueron centrifugadas a 1,200 g por 25 min a 4 °C, para posteriormente transferir el suero obtenido a tubos Eppendorf® y almacenarlos a -80°C (glucosa) y -30°C (CK y LDH).

Los indicadores de glucosa, CK y LDH, fueron determinados mediante kits comerciales de la marca RANDOX® (GOP-PAP ASSAY, CK-NAC ACTIVADA y LDH). Los resultados de CK y LDH se expresaron en U/l, mientras que los de glucosa en g/dl.

Parámetros de Calidad de la Canal

Posterior al proceso de sacrificio de los animales, en las canales se realizó la determinación de pH y temperatura a los 45 min *postmortem* en el músculo *Semimembranosus* (SM), utilizando para el pH un potenciómetro de penetración HANNA modelo 205 (USA), mientras que para el registro de la temperatura se utilizó un termómetro HANNA digital HI 145. Posteriormente, a las 24 h *postmortem* y dentro de la canalera, en la parte media del músculo *Longissimus thoracis* (LT), conocido popularmente como Rib-eye, se realizó la determinación del pH; mientras que la medición de la temperatura se llevó a cabo utilizando el mismo termómetro de penetración anteriormente usado, en el músculo SM. Adicionalmente, se registró el peso de la canal en frío.

A las 24 h se llevaron a cabo las evaluaciones de calidad en la canal, considerando variables tales como el área del M. LT, pH, temperatura, así como el alto y largo de la giba. Además, se llevaron a cabo las evaluaciones de la canal de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-FF-078-SCFI-2002 (conformación, distribución de la grasa, color de carne, color de grasa, firmeza, textura) y a los estándares de la USDA (2001) (marmoleo, madurez, KPH, espesor de grasa y grasa ajustada).

El color de la carne se clasificó en 1) Roja oscura, 2) Roja y 3) Roja clara, mientras que el marmoleo se clasificó realizando una comparación del marmoleo en la canales con el marmoleo aceptado por la USDA, lo cual se realiza colocando una fotografía del grado de marmoleo que más semejanza

tiene con el que se encuentra en la canal, y de forma cualitativa se establece la clasificación de acuerdo a moderadamente abundante (MDA), ligeramente abundante (LA), moderado (MD), modesto (MT), pequeño (SM) y prácticamente nulo (SL). El color de la grasa se clasificó en 1) Amarilla, 2) Crema y 3) Blanca; mientras que su distribución se clasificó en 1) No uniforme, 2) Casi Uniforme y 3) Uniforme. Estos parámetros se tomaron de forma cualitativa basados en la Norma Mexicana NMX-FF-078-SCFI-2002.

La evaluación del área del M. LT se llevó a cabo en la parte izquierda de la canal, exponiendo el área del músculo entre la 12a y 13a costilla. Para la realización de la medida se colocó un acetato sobre el ojo de la costilla y con un marcador indeleble se realizan trazos para delimitar el área (contorno del ojo del músculo) para posteriormente ser medida con una plantilla certificada por la USDA, y así determinar el área.

Para la evaluación del grosor de grasa dorsal se utilizó una regla de 10 cm de largo, cuya medición se realizó utilizando el perímetro del área del ojo de la costilla; éste se dividió en tres partes y el grosor de la grasa se midió a 2 tercios del perímetro del ojo de la costilla de la parte torácica hacia adentro.

La medida del color del músculo se llevó a cabo con un colorímetro Minolta CR-10, registrando los valores CIE de L* (índice de luminosidad), a*(índice de rojo) y b* (índice de amarillo), tanto en la carne como en la grasa. Esta medición se realizó en el músculo LT entre la 12^a y 13^a costilla (ojo del Rib eye).

Para la medición de la longitud de la canal, alto y ancho de la giba se utilizó un flexómetro, el cual fue empleado para medir de forma cuantitativa el largo de la canal, ancho de la giba y largo de la giba, las medidas fueron registradas en cm.

Adicionalmente, se realizó la clasificación de madurez morfológica y conformación de la canal. La clasificación de la madurez se obtuvo de acuerdo a la siguiente escala: A (de 9 a 30 meses), B (de 30 a 42 meses), C (de 42 a 72 meses), D (de 72 a 96 meses) y E (de 96 meses en adelante). La clasificación de la conformación de la canal se obtuvo utilizando la siguiente nomenclatura: 1) cóncavo, 2) convexo, 3) recto o 4) convexo redondo (Anexo 2).

Parámetros de Calidad de la Carne

Una vez obtenidos los resultados de evaluación de las canales, se procedió a realizar la evaluación de la carne. Se tomaron 8 muestras por tratamientos las cuales se obtuvieron del M. LT (de la media canal izquierda). Las evaluaciones se realizaron a 8 muestras del lote control y 8 del lote de prueba, las cuales fueron previamente identificadas, empacadas al vacío, y posteriormente trasladadas en condiciones de refrigeración a las instalaciones del CIAD A. C. de Hermosillo, Sonora, para sus respectivos análisis de calidad. Lo anterior se realizó en cada uno de los experimentos llevados a cabo en cada estación del año.

Los análisis fisicoquímicos que se realizaron a la carne fueron: pérdida por cocción, textura, color, pH, capacidad de retención de agua (CRA), colágeno total e insoluble (obteniendo por diferencia la solubilidad del colágeno), así como el índice de fragmentación miofibrilar, siguiendo las técnicas que se describen a continuación:

Pérdida de Peso por Cocción (PPC)

El análisis de pérdida de peso por cocción (PPC) se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Torrescano et al. (2003), en la que se

consideró el peso inicial y final de la muestra cocinada. El resultado se obtuvo mediante la siguiente fórmula: $PPC = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$.

Textura Instrumental

La evaluación de textura consistió en determinar la fuerza necesaria para cortar un trozo de carne, midiendo el esfuerzo al corte (EC). La carne, de 4 cm de espesor, fue cocinada previamente en una plancha hasta alcanzar una temperatura interna de 71°C. Después de ser cocinadas, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente (25°C a 30°C) y posteriormente refrigeradas a 4°C por 24 h (AMSA, 1995). Transcurridas 24 h en refrigeración, la carne se cortó en prismas de 1x1 cm de ancho por 3 cm de largo. El EC se midió de forma perpendicular a las fibras musculares, utilizando el accesorio de Warner-Bratzler montado en un texturómetro Texture Analyzer TAXT Plus. El valor de EC se expresó en kgF, y realizándose al menos 8 repeticiones por muestra.

Medición Instrumental de Color

La evaluación del color se realizó utilizando un espectrofotómetro modelo CM508D (Konica Minolta, Japón). La determinación del color incluyó los valores L^* , que determina la luminosidad del producto (100 para un blanco perfecto hasta 0 para el negro); el valor a^* (color rojo); el valor b^* (color amarillo; tendencia de la deposición de grasa). Las mediciones se realizaron en cinco diferentes zonas de la muestra, las cuales contaban con al menos 1.5 cm de espesor. De igual forma se evaluó el valor de C^* , indicando la saturación y H^* para la determinación del ángulo de matiz del color.

Medición de pH

Para la determinación del pH se utilizó un potenciómetro digital HANNA portátil modelo 205 con electrodo de penetración. La metodología consistió en introducir el electrodo en la muestra de la carne sin cocinar; se realizaron tres determinaciones por muestra.

Capacidad de Retención de Agua

El análisis de la capacidad de retención de agua (CRA) se llevó a cabo mediante el procedimiento descrito por Sutton et al. (1997), el cual consistió en pesar 5 g de cada muestra, los cuales se colocaron sobre una malla fina de nylon, los que se introdujeron en tubos para centrifuga de 100 ml con tapa de rosca, para posteriormente centrifugarse a 3600 rpm a 4°C durante 5 min. Una vez centrifugada la muestra se pesó nuevamente ya que el cálculo se hace por diferencia de peso.

Colágeno Total e Insoluble

El contenido de colágeno total e insoluble se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Bergman y Loxley (1963) y modificada por Bonnet y Kopp (1986). Este análisis se basa en la concentración de hidroxiprolina, ya que este es un aminoácido característico del colágeno. La determinación de éste se obtiene mediante la formación de un cromógeno rosa, el cual es leído en un espectrofotómetro a 558 nm. Los resultados se expresan como mg de hidroxiprolina por g de músculo.

La determinación se llevó a cabo pesando 2 g de muestra perfectamente homogenizada, la cual se colocó en tubos de vidrio de 25 x 200 con tapa de

rosca, y se le agregaron 15 ml de ácido perclórico (70%). Posteriormente, las muestras se digirieron en un baño con aceite mineral por 4 h a 100 °C; al finalizar el periodo de tiempo se filtró y transfirió el contenido de cada tubo a matraces volumétricos de 100 ml y se aforaron para proseguir con la colorimetría.

Para la determinación de colágeno insoluble se realizó una digestión previa, para lo cual se colocaron 2 g de muestra en tubos de vidrio de 25 x 200 mm y se agregaron 15 ml de solución TRIS-HCL-NaCL (pH =7.0). Posteriormente los tubos se calentaron a 90°C durante 2 horas en baño María y se concluyó con la metodología descrita para colágeno total.

Para el cálculo de la concentración de hidroxiprolina se elaboró una curva estándar, para lo cual se tomó 1 ml de solución madre, la cual se preparó utilizando 1g de 4-L-hidroxiprolina con 5 ml de ácido HClO₄ 1.8N. De igual forma se tomó 1ml de cada dilución obtenida del filtrado de la digestión de las muestras, y se les agregó hidróxido de sodio 1.8 N, solución buffer, cloramina T, ácido perclórico 1.8 N y p-DAB, los cuales se agitaron durante 30 segundos. Finalmente, se colocaron en baño María a 60 °C por un lapso de tiempo de 20 minutos, para a continuación realizar la lectura de la densidad óptica en un espectrofotómetro a 558 nm.

Índice de Fragmentación Miofibrilar

El índice de fragmentación miofibrilar (IFM) se determinó de acuerdo a la metodología de Culler et al. (1978), cuya técnica consistió en picar finamente la muestra y pesar 4 g, la cual se colocó en vasos de precipitados. La muestra debe mantenerse fría la mayor parte del tiempo posible. Posteriormente se agregó a cada muestra 40 ml de solución buffer (14.91 g de KCL, 2.72 g KH₂PO₄, 3.50 g. K₂HPO₄, 0.76 g EDTA, .41 g MgCL₂ y .13 g NaN₃). Una vez

adicionado el buffer a cada muestra se procedió a homogenizar en el ultraturrax durante 30 segundos para continuar con la centrifugación a 1000 g por 15 minutos a 2°C. Finalizando esta primera centrifugación se conservó el precipitado de cada muestra, a las cuales de nuevo se agregaron 40 ml de solución buffer, para repetir el proceso de centrifugación y el lavado de la muestra, agregando 10 ml de buffer.

Inmediatamente después se llevó a cabo la cuantificación de proteína mediante el método de Biuret, en el sedimento de carne resultante del proceso de centrifugación. Para lo cual se tomó 0.25 ml de muestra y se agregó 0.75 ml de la solución buffer y 4 ml del reactivo de Biuret (3.0 g de $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$ 12 g $\text{NaKC}_4\text{H}_6 + 4\text{H}_2\text{O}$, 1500 ml agua deionizada, 60 g NaOH), se incubó en la oscuridad durante 20 minutos. A la par se realizó la curva estándar de albúmina de bovino (BSA) para llevar a cabo el cálculo de la concentración de proteína, mediante la ecuación de regresión lineal apoyados en el programa Excel.

Para la realización de la curva se elaboró una solución de trabajo la cual consistió de 20 ml de solución stock (56 mg/ml de BSA, en 100 ml). Se tomaron volúmenes de 0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 0.80 y 1.0 ml de solución de trabajo, se agregó 4 ml de reactivo de Biuret a la par de las muestras. La lectura de la absorbancia se realizó en un espectrofotómetro a 540 nm.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3X2, donde los factores fueron (1) estación del año (invierno, verano y otoño) y (2) aditivo (prueba y control), durante la primera etapa. Mientras que para la segunda etapa el diseño fue completamente al azar con arreglo factorial 3X2X2,

donde los factores fueron (1) estación del año (invierno, verano y otoño), (2) aditivo (prueba y control), y (3) tiempo de almacenamiento (0 y 14 días).

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA), y con el fin de establecer diferencias entre los tratamientos se llevó a cabo la prueba de Duncan, con un nivel de significancia del 95%, utilizando el paquete estadístico NCSS (2007).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de Bienestar Animal

Evaluación del Transporte del Corral al Rastro

Los animales fueron transportados en jaulas diseñadas para este propósito, con una densidad de carga de 1.8 m^2 por animal, lo que supera los valores recomendados por Grandin (1997) de $1.2 \text{ m}^2/\text{animal}$. De acuerdo a la distancia y tiempo empleados el viaje fue considerado como corto, ya que la distancia de recorrido fue de 27 km y tuvo una duración de 46 min. Una vez instalados en los corrales del rastro, los animales descansaron por un periodo de 12 h, lo cual cumplió con lo establecido en la norma NOM-009-ZOO-1994. Además, el manejo de los animales durante el transporte se llevó a cabo de manera correcta, es decir los conductores de los vehículos evitaron al máximo el frenado y acelerado de manera brusca. En la Figura 2 se muestra la ruta del recorrido realizado desde los corrales de engorda hasta la planta de sacrificio, siendo siempre el mismo en cada una de las evaluaciones realizadas.

Respecto a estos resultados, Grandin (2004) enfatiza acerca de la importancia de que el transporte se lleve a cabo de forma adecuada, ya que si los conductores son conscientes de su trabajo evitarán frenar y acelerar bruscamente, lo que disminuirá la caída del ganado y reducirá los golpes, y por lo tanto posibles mermas en la calidad de la canal y la carne. Siendo durante el transporte por carretera donde los animales destinados a comercialización sufren la mayoría de las lesiones, afectando la calidad final del producto (Minka y Ayo, 2007).



Figura 2. Ruta de recorrido del transporte de animales desde los corrales hasta la planta de sacrificio.

Evaluación Durante Embarque y Desembarque del Ganado

En la Tabla 1 se muestra el resultado de la evaluación del bienestar animal durante el transporte del ganado bovino, donde se aprecia claramente la diferencia en los porcentajes de uso de picana, gritos, silbidos y golpes durante el embarque y desembarque, siendo este último menos estresante para los animales, ya que no se emplearon gritos durante éste. Así como la reducción total en el caso de verano y otoño de picana eléctrica y una notable reducción durante el invierno. Tampoco se presentaron ruidos excesivos durante el desembarque y ningún animal se regresó, ya que éstos tendieron a descender del transporte por si solos. A diferencia del momento del embarque en el que el uso de picana eléctrica incluso sobrepasa lo aceptable, que de acuerdo a Grandin (1998) se establece como máximo el 25%.

Actualmente se tiene mayor conocimiento acerca de la facilidad de los animales a familiarizarse tanto con situaciones positivas como negativas. De acuerdo a Rossner (2010) las buenas técnicas de manejo mejoran el crecimiento y desarrollo de los animales, reduciendo dolor, miedo y reacciones fisiológicas de estrés. En estudio realizado por Amtmann et al. (2006) se encontró incidencia de $\text{pH} \geq 5.8$ en canales provenientes de ganado que fue sometido a tiempos de transporte y tiempos de ayuno prolongados. Por otro lado Romero et al. (2011), destacaron la importancia de evaluar indicadores de comportamiento, tales como el número de animales que reposan o se paran, montas, cornadas, vocalizaciones (mugidos), defecación, caídas y otras interacciones, con la finalidad de entender con mayor claridad la respuesta fisiológica y endocrina de los bovinos sometidos a manejos estresantes como puede ser el proceso de embarque y desembarque, transporte y proceso de sacrificio (Romero et al., 2013).

Tabla 1. Evaluación de bienestar animal durante el transporte de los animales al rastro.

	Verano		Otoño		Invierno	
	Embarque	Desembarque	Embarque	Desembarque	Embarque	Desembarque
Picana eléctrica (%)	65.38	0.00	51.25	0.00	57.14	9.52
Gritos y silbidos (%)	310.26	48.72	90.00	35.00	41.67	27.38
Golpes (%)	69.23	0.00	0.00	0.00	40.48	0.00
Reúsan o regresan (%)	55.13	0.0	0.00	0.00	55.95	0.00

Evaluación del Índice de Temperatura y Humedad (ITH)

Para conocer el estrés calórico al que fue sometido el ganado durante el manejo, se llevó a cabo el monitoreo de temperatura y humedad, y establecer el ITH, obteniéndose valores de 71.5, 87.2 y 69.1 para invierno, verano y otoño, respectivamente (Tabla 2).

De acuerdo a Mader y Davis (2004) y Thom et al. (1959), si el ITH presenta valores >77 , expone al ganado a un estrés calórico severo; si es <70 , se considera en la zona termo neutral, y si los valores se encuentran entre 70 y 74, es señal de estrés moderado.

En base a los resultados obtenidos es posible establecer que durante el invierno el ganado se expuso a estrés moderado; durante el verano sufrió de estrés calórico severo, y fue durante el otoño que se encontró en la zona termo neutral. Lo anterior muestra que el estudio se llevó a cabo bajo condiciones desérticas, con la presencia de climas extremos durante invierno y verano.

Evaluación del Bienestar Durante el Sacrificio de los Animales

Para la evaluación de cada época del año se conformaron grupos de 78, 80 y 84 animales para verano, otoño e invierno, respectivamente; todos con tendencia predominante a encaste de 80 % *Bos taurus*.

Respecto al proceso de sacrificio, este da inicio con la insensibilización, la cual se llevó a cabo utilizando una pistola de perno cautivo de penetración, tal como se establece en la NOM-033-ZOO-1995. En la Tabla 3 se presentan los resultados de la evaluación del bienestar animal durante éste, donde se muestran los parámetros evaluados, así como la incidencia de cada uno. También se puede observar en la misma tabla, el manejo inadecuado de los

Tabla 2. Determinación del índice de temperatura y humedad (ITH) durante el manejo.

	Temperatura (°C)	HR (%)	ITH
Invierno	26.5	32.5	71.5
Verano	37.8	45.0	87.2
Otoño	25.2	23.5	69.1

Tabla 3. Indicadores de bienestar animal durante el sacrificio de bovino.

Parámetros	Verano (%)	Otoño (%)	Inverno (%)	% Aceptable⁽¹⁾
Golpe físico	15	5	100	10
Arreo eléctrico	79	75	81	25
Inclinación de cabeza	14	31	18	0
Precisión de tiro	77	24	73	14
Repetición de tiro	8	14	11	0
Fase tónica	27	43	25	98
Fase clónica	73	66	67	2
Sensibilidad al degüello	19	56	33	0.2

¹Grandin, 1998.

animales, ya que en el caso del alto porcentaje que “inclinan la cabeza”, referido al momento en que el animal es dirigido y entra en el cajón, se muestra la carencia de infraestructura adecuada. Además, pudo observarse que la iluminación entre el pasillo de espera y el cajón de aturdimiento es diferente, provocando sombras que generan nerviosismo y temor en los animales, reflejándose en porcentajes de 14, 31 y 18 % de inclinación de cabeza, respectivamente, para cada estación del año.

Aunado a lo anterior, también se manifiesta imprecisión al momento de realizar el disparo, ya que 77, 24 y 73 % de los tiros fueron realizados de manera inadecuada. De acuerdo a Grandin (1998), sólo es permisible un 14 % de imprecisión, por lo cual para realizar esta evaluación se diseñó una diana, la cual se muestra en el Anexo 1.

En estos resultados destacan los altos porcentajes encontrados en la mayor parte de los parámetros evaluados, con respecto a lo recomendado por Grandin (1998), concluyendo en la necesidad de capacitar al personal, principalmente sobre el manejo adecuado de los animales en la engorda, y sus repercusiones que la falta de bienestar animal durante su sacrificio tendrá sobre la calidad de la canal y la carne producida.

Los resultados también mostraron que no se observó reflejo corneal, ni respiración agitada posterior al aturdimiento.

Otra de las evaluaciones realizadas se refiere al tiempo de espera de los animales, desde su entrada al cajón previo al noqueo, así como el intervalo entre este último y el momento en que se lleva a cabo la punción para realizar el desangrado.

En la Tabla 4, primeramente se observan los resultados del tiempo de espera en el cajón de aturdimiento, siendo este superior a lo recomendado, lo

Tabla 4. Evaluación de tiempo (segundos) de espera al noqueo y desangrado.

Parámetro	Verano	Otoño	Invierno	Tiempo recomendado
Tiempo de espera en cajón	22 ± 17	33 ± 28	32 ± 28	5 seg ⁽¹⁾
Intervalo de tiempo: Noqueo - Degüello	71 ± 21	82 ± 29	100 ± 28	30 seg ⁽²⁾

¹ Ewbank et al. (1992).

² Warris, 2004.

cual sucedió durante las tres estaciones del año, ya que se sobrepasaron los 5 segundos establecidos como máximo para considerarse como aceptable (Ewbank et al., 1992), lo que aumenta la inseguridad, y por lo tanto el nerviosismo del animal.

Por otro lado, el intervalo de desangrado, que consiste en el periodo de tiempo desde la insensibilización del animal hasta el momento en que se realiza la sangría, es superior a los 30 segundos recomendados por Warriss (2004). Además, Gregory (1998) recomienda que si durante los primeros 5 a 15 segundos de la insensibilización el animal presenta patalos, esto indica que el animal manifiesta sensibilidad. Sin embargo, tanto el bienestar del animal como la seguridad de los operarios se ponen en riesgo conforme aumenta el intervalo de tiempo entre el noqueo y el desangrado, ya que el animal puede recuperar la conciencia en los próximos 20 a 90 segundos (Miranda de la Lama, 2013). En la misma tabla se observa que no se presentó diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las estaciones del año.

La Tabla 4 también se muestra que en el presente estudio se registró el grado de sensibilidad al momento de realizar el desangrado, observándose 19, 56 y 33%, para las estaciones de verano, otoño e invierno, respectivamente, lo que puede confirmar lo anteriormente mencionado, ya que el intervalo de tiempo entre el noqueo y el desangrado fue de 71, 82 y 103 segundos para cada estación del año, respectivamente. Al respecto, Gallo et al. (2000), establecen que un noqueo efectivo se reconoce principalmente porque el animal se desploma y cesa la respiración rítmica, presentándose una expresión fija y vidriosa en la mirada, así como ausencia de reflejo corneal. Ríos-Rincón y Acosta-Sánchez (2008) enfatizan en que una insensibilización efectiva con pistola de perno cautivo depende de la fuerza del proyectil y de que el golpe se efectúe en la parte correcta del cráneo, resultados que en este estudio no fueron aceptables ya que se presentó un cierto grado de imprecisión del tiro, sobre todo en invierno y otoño (Tabla 3).

Análisis Sanguíneos

Los resultados de los análisis realizados a las muestras de sangre, obtenidas al momento del sangrado, se muestran en la Tabla 5, en la cual no se observan diferencias significativas ($p > 0.05$) para los valores de CK y LDH, tanto entre los tratamientos como entre las estaciones del año. Sin embargo, los valores encontrados presentan una tendencia mayor en los lotes control. Lo anterior puede ser causado por un efecto positivo del modulador alostático, ya que los valores se encuentran muy por encima de los parámetros considerados como normales para bovino en el caso de CK, esto, de acuerdo a lo reportado por Gasque (2008) quien establece que para bovino los niveles normales se encuentran en 30-50 U/l. Los resultados de CK elevados coinciden con los reportados por Tadich et al. (2000), quienes encontraron valores de 1260.9 ± 997.8 y 622.7 ± 476.3 en animales evaluados para medir el efecto de 36 horas de transporte, y que fueron sacrificados sin descanso y con descanso, respectivamente. En el caso de Aranís (2003), reportó valores promedio de 500 U/l en ganado expuesto a diferentes densidades de carga durante el transporte, aunque manifestando efecto por el transporte en los niveles de este indicador.

Por otra parte el parámetro de LDH si se encuentra en rangos cercanos a la normalidad de acuerdo a lo referido por Gasque (2008) los cuales son de 300 a 600 U/l. Aun cuando no se encontraron diferencias ($p > 0.05$), se observa una tendencia hacia valores mayores en el grupo control. En un estudio realizado por Mas et al. (2010) se reportaron valores que van de 2832.6 ± 512.86 a 3550.8 ± 1210.3 U/l en toros de lidia en situaciones estresantes, se observa la gran diferencia en los valores, lo cual puede ser influido por la variación de temperamentos que presentan las razas bovinas. En otro estudio realizado por Coppo et al. (1993) en el que se evaluó el efecto de modificar la dieta, en becerros, se encontraron valores sanguíneos de 427 ± 36 y 429 ± 43 U/l en el grupo control.

Tabla 5. Resultados de análisis de creatinfosfoquinasa (CK), lactatodeshidrogenasa (LDH) y glucosa en sangre.

		CK (U/l)	LDH (U/l)	Glucosa (mmol/l)
Invierno	Control	529.8 ± 194.8 Aa	519.0 ± 280.8 Aa	8.92 ± 2.92 Ab
	Prueba	510.0 ± 196.6 Aa	460.6 ± 354.8 Aa	9.06 ± 3.15 Ab
Otoño	Control	617.0 ± 221.3 Aa	403.5 ± 312.2 Aa	6.57 ± 1.70 Aa
	Prueba	540.3 ± 224.2 Aa	394.8 ± 352.3 Aa	6.92 ± 1.72 Aa
Verano	Control	689.5 ± 327.5 Aa	786.9 ± 250.5 Aa	6.53 ± 1.24 Aa
	Prueba	540.3 ± 209.3 Aa	613.8 ± 264.6 Aa	6.97 ± 1.17 Aa

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre columnas.

A,B muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por tratamiento.

Los resultados de glucosa presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) durante la estación de invierno, en comparación a la estaciones de otoño y verano. No se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre los tratamientos de cada estación. Los resultados son similares a los reportados por Tadich et al. (2003) quienes encontraron valores de 5.7 mmol/l para tiempos de transporte de 3 y 16 horas. En otro estudio (Tadich et al., 2000) reportaron valores de 6.95 a 10.65 mmol/l.

Evaluación de Calidad de la Canal

Conformación y Distribución de Grasa de las Canales

La evaluación de la conformación se realiza para estimar la cantidad de carne que se obtendrá de la canal. La medición de este parámetro se llevó a cabo en el cuarto trasero, en base a las escalas incluidas en el Anexo 2, las cuales son: cóncavo, recto, convexo y convexo redondo. En la Figura 3 se muestran los resultados de la evaluación de la conformación de las canales incluidas en este estudio, donde se observa que la mayor cantidad correspondió a la convexa; comportamiento que se repite en cada una de las estaciones de año.

Estos resultados coinciden con los de Ávila (2012), quien encontró un 48% de conformación convexa al evaluar 200 canales de bovino (con encaste *Bos Taurus*) similares a las del presente estudio, a excepción del grupo control de la época de invierno, que presentó 81% de conformación convexa, el resto sobrepasó el 90%, siendo los grupos control de verano y otoño los de mayor número, con un 100% de conformación convexa. Por lo anterior, las canales evaluadas pueden ser consideradas como “aceptables”.

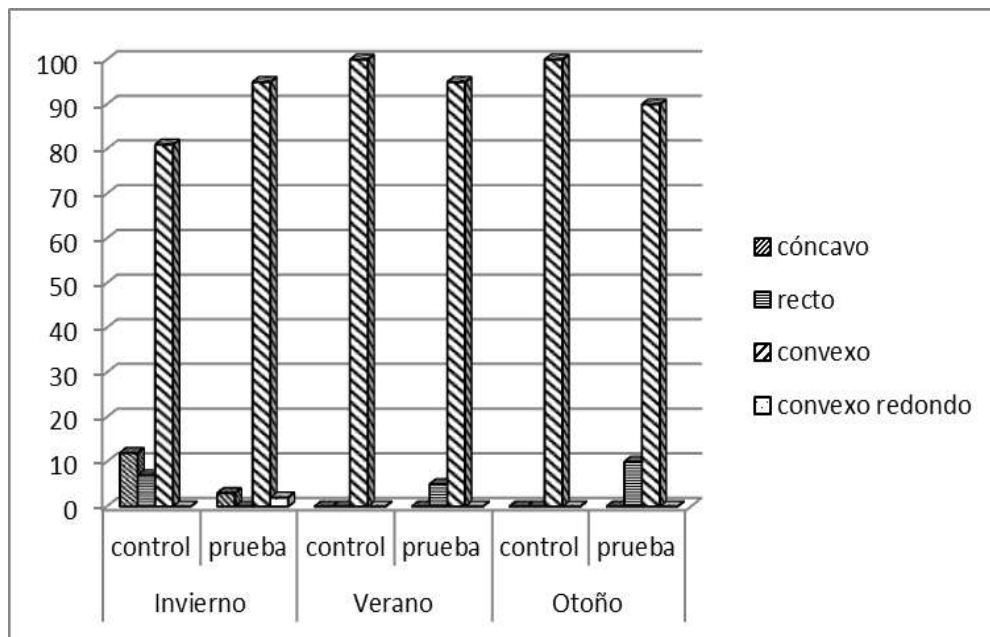


Figura 3. Distribución (%) de las canales evaluadas de acuerdo a su conformación.

En relación a los resultados obtenidos en la evaluación de la distribución de la grasa en las canales (Figura 4), estos muestran concordancia con los resultados obtenidos en la evaluación de conformación, ya que canales con una conformación buena se encuentran relacionadas con una apropiada distribución de grasa. Los resultados muestran que del total de canales del estudio la mayor cantidad se presenta en las de distribución uniforme; observándose un comportamiento similar en cada una de las estaciones del año y en cada grupo, tanto control como prueba. Sin embargo, al realizar la comparación entre los grupos control y prueba los resultados muestran un porcentaje mayor en el caso de lote de prueba durante el invierno con 81 y 95% en control y prueba, respectivamente.

Evaluación Subjetiva del Color de la Carne y la Grasa

Los resultados de la evaluación subjetiva del color de la carne en las canales se muestran en la Tabla 6, en la cual no se observan diferencias ($p > 0.05$) entre los lotes control y prueba en cada una de las estaciones evaluadas, presentando en ambos casos un mayor porcentaje en la apreciación del color rojo. La evaluación se llevó a cabo de manera subjetiva, por lo que fue necesario tener cuidado de realizarla con una iluminación adecuada, debido a que el color que se observa en la carne, depende del tipo de luz que se refleja en la superficie de la misma (Rubio et al., 2013).

Para interpretar la evaluación subjetiva del color, se han establecido escalas, las cuales pueden dar una idea de la concentración de mioglobina presente en la carne, y el estado químico en que ésta se encuentra (Lawrie, 1998). Por lo anterior, es posible establecer que la carne evaluada presentó a la mioglobina en estado de oximioglobina, ya que se observó el color rojo característico provocado por la oxigenación de la mioglobina.

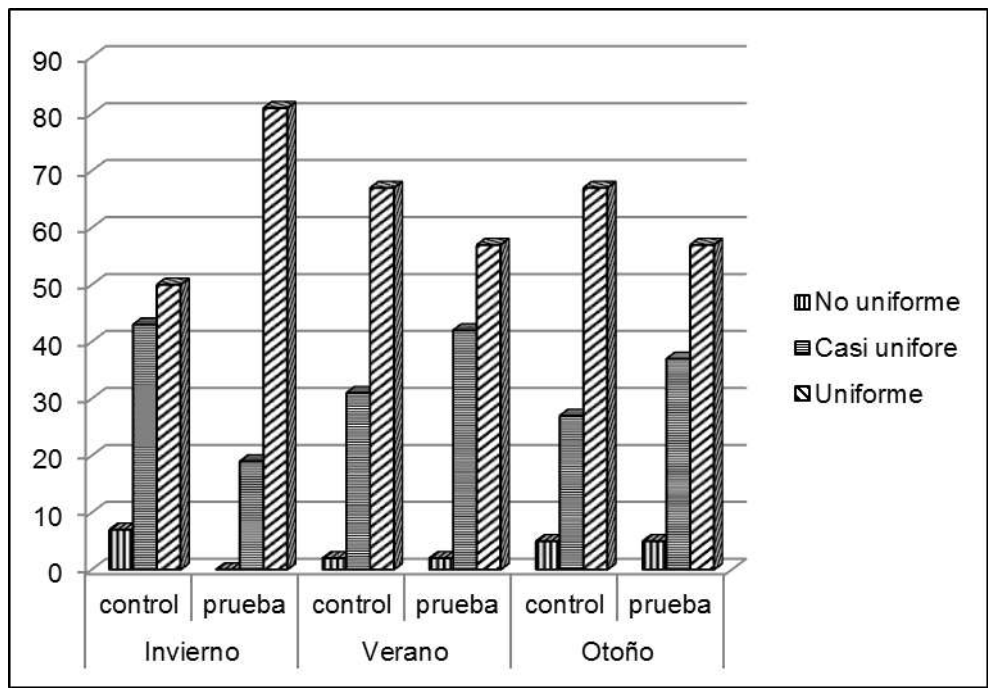


Figura 4. Distribución (%) de las canales de acuerdo a la evaluación de la distribución de la grasa.

Tabla 6. Evaluación subjetiva del color de la carne en las canales.

		Roja Oscura	Roja (%)	Roja Clara
		(%)		(%)
Verano	Control	0	100	0
	Prueba	0	100	0
Otoño	Control	0	100	0
	Prueba	0	100	0
Invierno	Control	0	97	3
	Prueba	0	95	5

* Los resultados muestran la distribución (%) para cada tratamiento.

Adicionalmente, se realizó la evaluación subjetiva del color de la grasa en la canal, lo cual se llevó a cabo observando toda la superficie de la canal. Los resultados se muestran en la Tabla 7, donde se observa que la gran mayoría de las canales se sitúan dentro de la clasificación establecida para grasa “blanca”. Dichos resultados se pueden atribuir a que se trata de animales criados en un sistema intensivo de engorda, destinado a la producción de carne, donde la alimentación se basa en granos y concentrados, lo que disminuye el nivel de β -carotenos presentes en la dieta, ya que estos se encuentran básicamente en el pasto, lo que genera tonalidades amarillas en la grasa, no siendo este el caso (Zea et al., 2007).

Evaluación Subjetiva de Firmeza y Textura de la Canal

La evaluación subjetiva de la firmeza, se refiere a la firmeza relativa y suavidad de la carne, evaluada a nivel del ojo de la costilla. Esta se lleva a cabo presionando el dedo contra la superficie de la carne, la cual al recobrar su forma da la sensación de elasticidad y firmeza; en caso contrario, se interpretaría como carne suave o no deseable. En la Figura 5 se presentan los resultados de la evaluación de este parámetro, los cuales se encuentran dentro del rango de firme (+ a -), lo que se relaciona con animales jóvenes (Ávila, 2012), siendo el parámetro “firme” el que se presentó mayormente en las canales evaluadas con porcentajes superiores al 50% durante las estaciones de verano y otoño, presentando diferencia significativas ($p < 0.05$) para la estación de invierno, lo cual pudo ser causado por un efecto positivo del modulador alostático, ya que minimizó el efecto del estrés por frío evitando el gasto energético e impidiendo la aparición de carne DFD.

Los resultados de la evaluación subjetiva de la textura se presentan en la Figura 6. Esta evaluación consiste en la apreciación de finura o tosquedad de la carne, la cual se realiza haciendo pasar el dedo índice sobre la superficie del

Tabla 7. Evaluación subjetiva del color de la grasa en las canales.

		Amarilla (%)	Crema (%)	Blanca (%)
Verano	Control	0	0	100
	Prueba	0	5	95
Otoño	Control	7	0	93
	Prueba	0	9	91
Invierno	Control	0	5	95
	Prueba	0	0	100

* Los resultados muestran la distribución (%) para cada tratamiento.

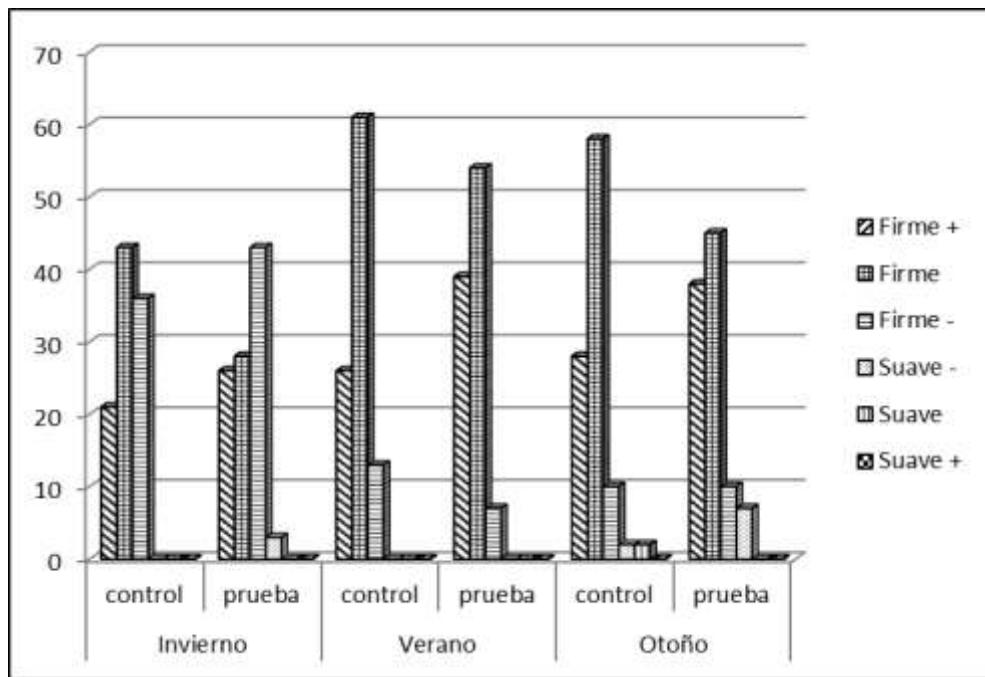


Figura 5. Distribución (%) de la firmeza de la carne en las canales.

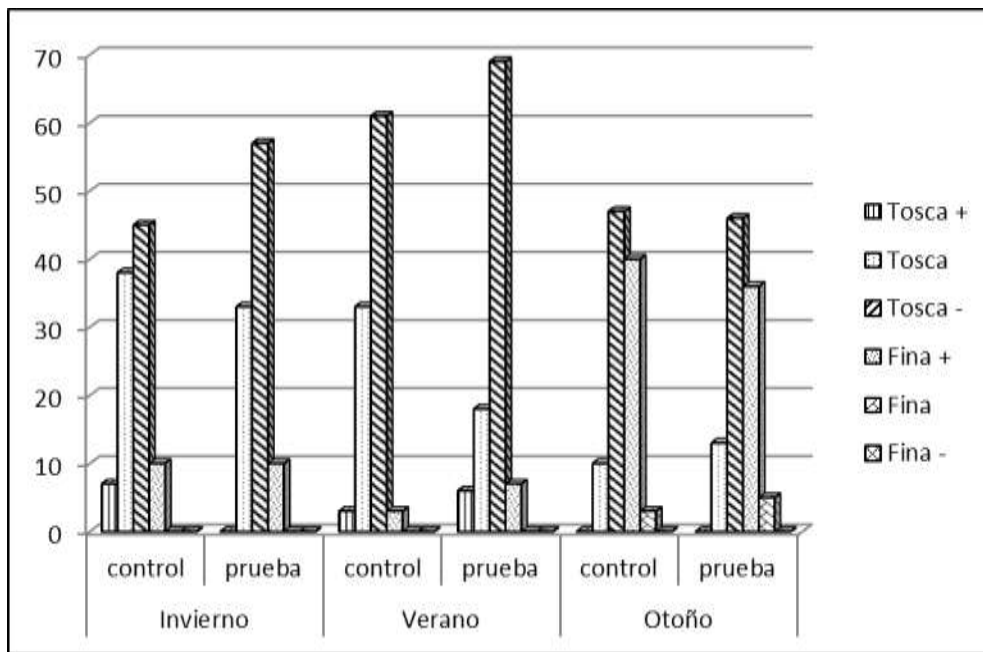


Figura 6. Distribución (%) de la textura de la carne en las canales.

del músculo LT, una vez que ha sido cortado previo a la evaluación del color. Los resultados muestran que para este grupo experimental la textura predominante correspondió a “tosca”, lo que se refiere al estado de las fibras musculares, y pudo deberse a la madurez de los animales (Rubio et al., 2013).

Evaluación USDA

Esta evaluación se llevó a cabo de acuerdo a lo establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la cual se basa en la estimación del rendimiento y grado de calidad (Huerta-Leidenz y Morón-Fuenmayor, 1996), considerando las evaluaciones de marmoleo en base a estándares establecidos (Anexo 6), madurez, KPH, espesor de grasa y grasa ajustada.

Marmoleo

Los resultados de marmoleo se presentan en la Figura 7, en la cual se observa que durante la estación de invierno el grado de marmoleo moderado fue el de mayor porcentaje, en ambos tratamientos; sin embargo, este es mayor en el tratamiento control con 40% con respecto a la prueba, que fue de 33%. Durante el verano y otoño se presentaron porcentajes más altos para el marmoleo modesto, siendo éstos mayores durante el otoño, con valores que alcanzan el 73% y 50% para control y prueba, respectivamente.

Los resultados coinciden con los reportados por Ávila (2012), quien encontró la mayor incidencia de marmoleo en los niveles de moderado y modesto; sin embargo, difieren a lo reportado por Cerno-Limón et al. (2012), quienes solo reportaron valores de ligero a pequeño, lo anterior para novillos engordados en sistemas intensivos.

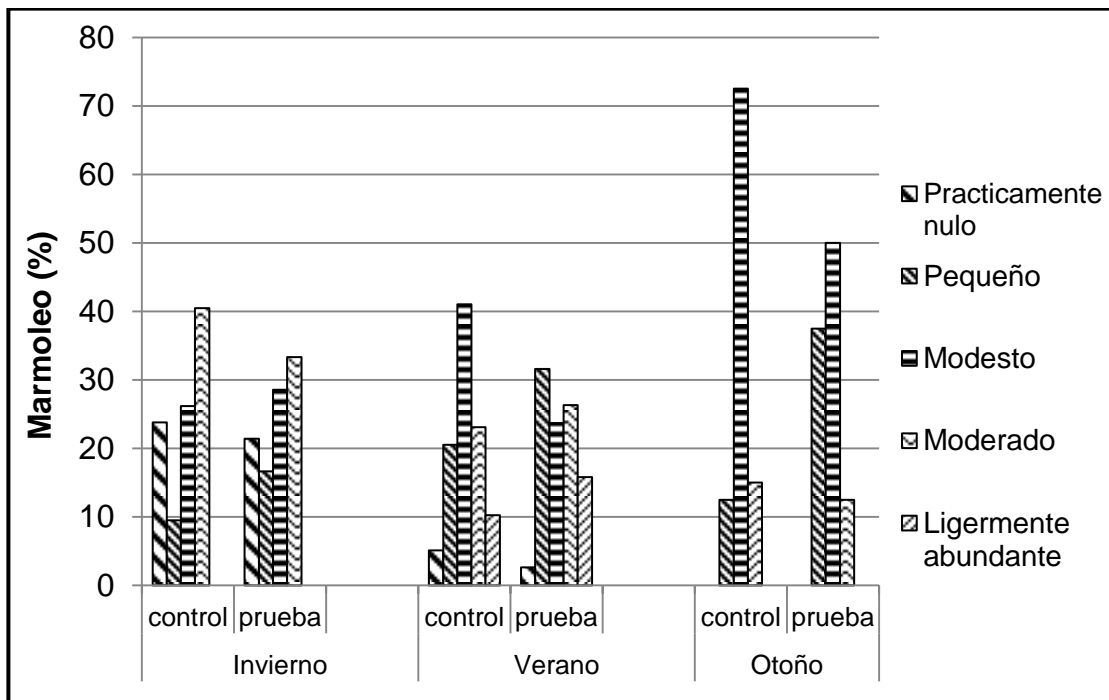


Figura 7. Distribución (%) del grado de marmoleo en las canales evaluadas.

Madurez

Para la evaluación de madurez se considera: A: animales de 9 a 30 meses, y B: de 30 a 4 meses. En la Figura 8 se observa que la mayor cantidad de animales se encontraban en el rango de 9 a 30 meses, lo cual se determinó mediante el grado de osificación en el cartílago de las puntas de las apófisis vertebrales (Torrescano et al., 2012). En el trabajo realizado por Ávila (2012) se encuentra coincidencia con lo reportado en el presente trabajo, siendo mayor el porcentaje de madurez en la clasificación de 9 a 30 meses.

KPH (grasa perirrenal), Grasa Ajustada y Grosor de Grasa

Los resultados de la evaluación de KPH, presentados en la Tabla 8, no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos para cada estación; sin embargo, si se presentaron diferencias ($p < 0.05$) entre las estaciones, siendo menores los valores obtenidos durante el otoño. Este valor se relaciona con la grasa que será recortada durante el proceso de deshuese, que normalmente representa el 1-5% del peso de la canal fría (Rubio et al, 2013). Estos valores se deben encontrar por lo general entre 4.1 a 6 kg por canal (Ávila, 2012), por lo que en base a lo anterior es posible establecer que los valores mostrados en la Tabla 8 pueden considerarse como aceptables; lo cual coincide con lo reportado por Sami et al. (2004), ya que estos autores encontraron valores de 4 a 10 kg, lo cual dependió del sistema de alimentación implementado. En relación a los resultados de grosor de grasa y grasa ajustada (Tabla 8) no se presentaron diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos, lo que muestra la similitud del ganado evaluado.

Con base a los resultados obtenidos en la evaluación de madurez y marmoleo (Anexo 5) es posible obtener la clasificación de las canales evaluadas, los cuales se presentan en la Figura 9, observándose que durante

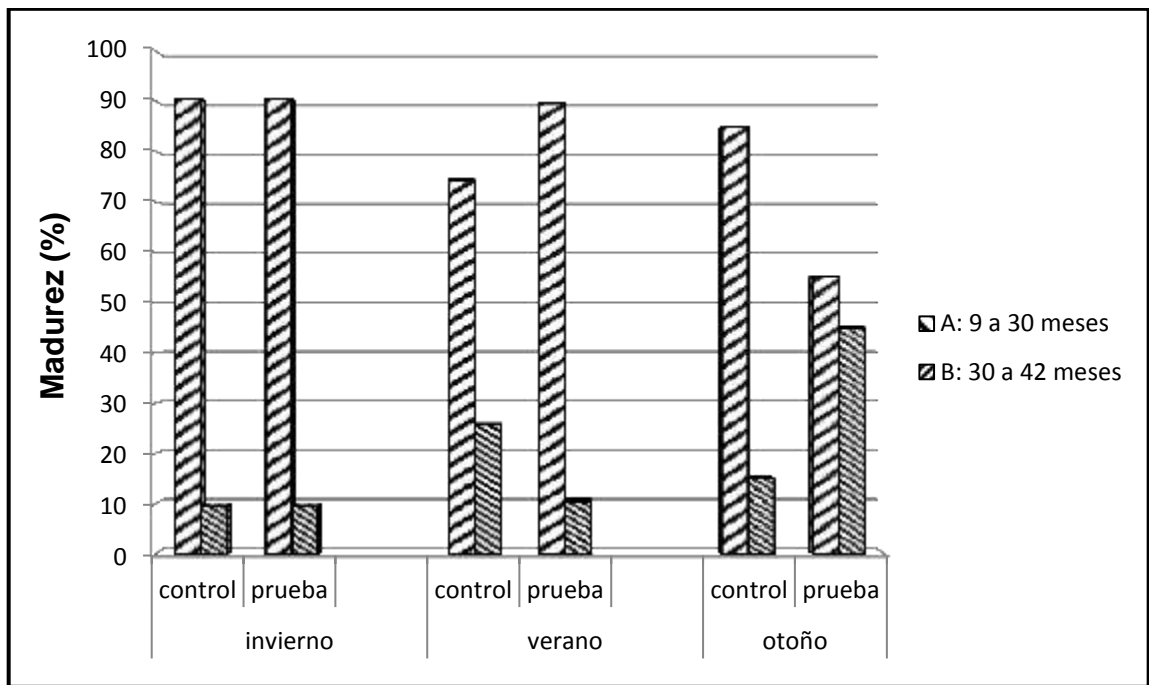


Figura 8. Distribución (%) del grado de madurez en las canales evaluadas.

Tabla 8. Resultados de la evaluación de parámetros USDA (grosor de grasa, grasa ajustada y KPH).

		Grosor grasa (cm)	Grasa ajustada (cm)	KPH (Kg)
Invierno	Control	1.12 ± 0.58 aA	1.39 ± 0.57 aA	7.73 ± 1.38 aA
	Prueba	1.41 ± 0.70 aA	0.51 ± 0.58 aA	8.09 ± 1.10 aAC
Verano	Control	1.48 ± 0.65 aA	1.52 ± 0.64 aA	7.00 ± 1.10 aC
	Prueba	1.25 ± 0.66 aA	1.30 ± 0.58 aA	6.82 ± 0.94 aC
Otoño	Control	0.97 ± 0.65 aA	1.15 ± 0.58 aA	6.22 ± 1.76 aB
	Prueba	1.12 ± 0.63 aA	1.19 ± 0.58 aA	5.72 ± 1.84 aB

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos.

A,B muestran diferencias ($p < 0.05$) entre estaciones.

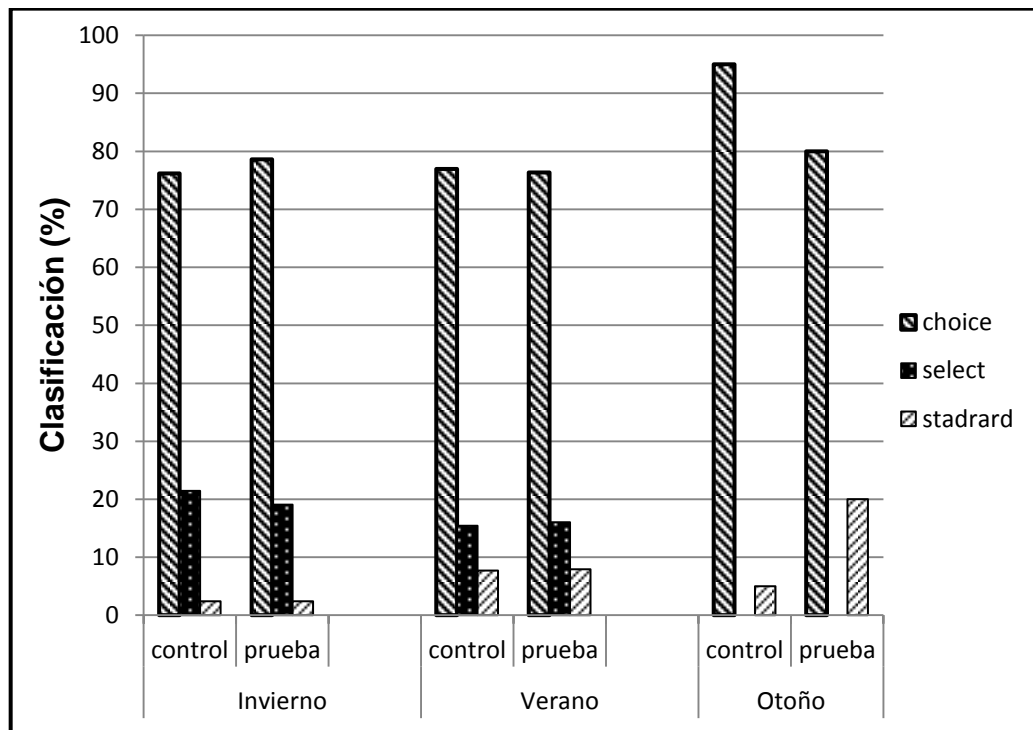


Figura 9. Distribución (%) de la clasificación asignada a las canales evaluadas.

las tres estaciones evaluadas sobresale el porcentaje de clasificación Choice, lo anterior en base a la evaluación USDA, encontrándose porcentajes superiores a 70% en todos los casos. De igual forma, es durante la estación de otoño donde el porcentaje de dicha clasificación se presentó en mayor grado, seguido por la clasificación Select para invierno y verano, y standard en el caso de la evaluación realizada en otoño.

Hematomas

La evaluación de la presencia de hematomas (Tabla 9) ayuda a generar una idea del manejo previo y durante el sacrificio, así como la capacitación y trato del personal, en base a la forma, profundidad, y extensión de la contusión (Romero et al., 2013). Se observa que el mayor porcentaje de presencia de hematomas es en la cadera (Anexo 4), destacando el 50% que se presentó durante el otoño, con respecto al total de hematomas presentes. Estos pueden ser ocasionados por golpes durante el transporte, caída de los animales durante el embarque, desembarque o estancia durante el descanso de los animales, así como el uso de la picana eléctrica, y el manejo durante el ingreso al cajón de aturdimiento (Aisua, 2013). En la presente investigación se observó una caída agresiva de los animales una vez realizado el disparo de noqueo, lo cual se ve reflejado en los hematomas encontrados en el dorso.

Evaluación de Temperatura y pH

Para poder definir una carne como PSE o DFD se debe considerar ampliamente los valores de pH medidos a los 45 min y 24 h *post mortem* (Warriss, 2003). La variabilidad en los valores de pH puede deberse a gran número de factores, tanto intrínsecos del animal como es la genética, así como

Tabla 9. Evaluación de presencia de hematomas (%) en la canal.

	PIERNA	FALDA Y LOMO	COSTILLAR	ESPALELLA Y CUJELLO	DORSO ANTERIOR	DORSO MEDIO	DORSO POSTERIOR	CADERA	NALGA	BRAZO	COLA
Invierno	control	0.00	13.16	18.42	13.16	1.32	11.84	28.95	1.32	11.84	0.00
	prueba	0.00	9.65	21.05	12.28	5.26	12.28	28.95	0.88	7.89	0.88
Verano	control	2.88	22.30	15.11	8.63	11.51	17.99	17.99	1.44	2.16	0.00
	prueba	0.91	13.64	13.64	13.64	13.64	21.82	18.18	2.73	0.91	0.00
Otoño	control	0.00	5.00	0.00	10.00	15.00	30.00	20.00	0.00	0.00	0.00
	prueba	0.00	5.56	0.00	0.00	5.56	27.78	50.00	5.56	5.56	0.00

factores externos a él, como es el manejo y la exposición al estrés durante horas previas al sacrificio (Rubio et al., 2013).

Los resultados del análisis de pH a los 45 min se muestran en la Figura 10, donde puede apreciarse que no se presentaron diferencias ($p>0.05$) entre lotes para una misma estación del año. Sin embargo, en la estación de otoño se observaron diferencias significativas ($p<0.05$), con valores cercanos a 6.8, en contraste con las estaciones de invierno y verano, cuyo pH alcanzó valores promedio de 6.65. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Torrescano et al. (2010), quienes encontraron valores similares para la evaluación del músculo LT en canales bovinas con características similares a las utilizadas en el presente estudio, en la región centro de Sonora.

Con respecto a los valores obtenidos durante la estación de otoño es importante destacar los altos valores observados, lo cual puede ser ocasionado por estrés previo o durante el sacrificio, lo que ocasiona una baja en las reservas de glucógeno muscular, disminuyendo la producción de ácido láctico lo cual no provoca una reducción de los niveles de pH. Lo anterior es importante ya que al considerar el valor de pH a los 45 min, puede evitarse una inadecuada instauración del *rigor mortis*, si el enfriamiento de las canales es inadecuado, esto es, exponer las canales con $\text{pH} \geq 6.8$ a temperaturas entre 0 y 14°C, puede ocasionar acortamiento por frío (Torrescano et al., 2008).

Los resultados obtenidos durante la evaluación de pH a las 24 horas se muestran en la Figura 11, en la cual no se observan diferencias significativas ($p>0.05$), tanto entre lotes como entre estación del año. Los valores obtenidos, se encontraron en el promedio de 5.6, lo cual es considerado como aceptable, ya que después del sacrificio los valores de pH pasan de la neutralidad a valores cercanos a 5.5-5.8 en canales de bovino (Huff-Lonergan et al., 2010). Los resultados coinciden con los reportados por Ávila (2012), quien encontró un 88% de las 200 canales evaluadas con un pH entre 5.4 y 5.8.

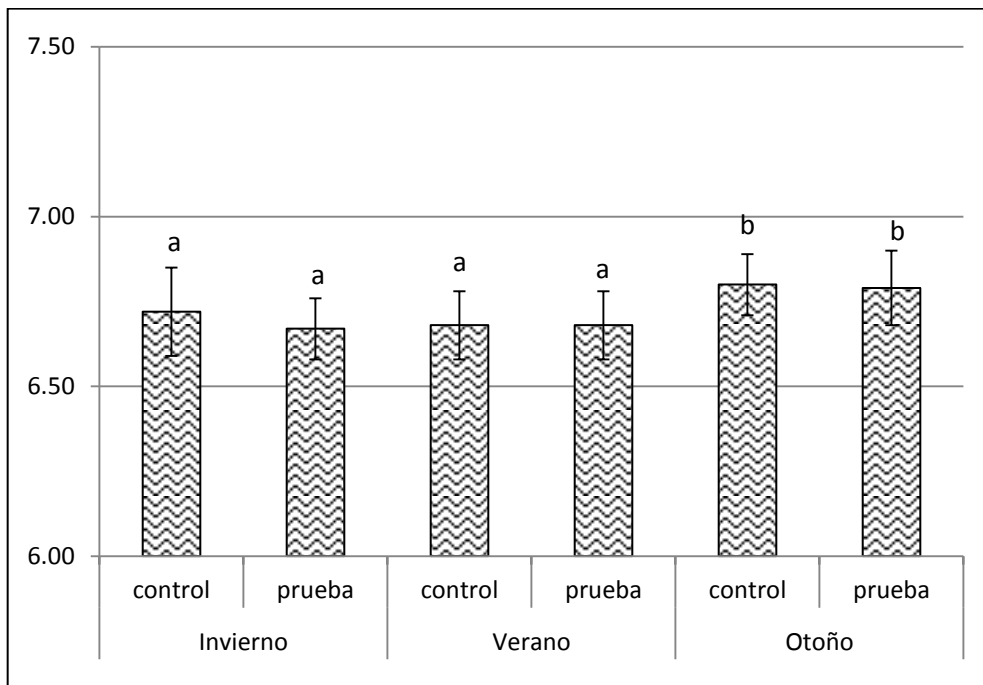


Figura 10. Análisis de pH de las canales a los 45 min *postmortem*.

*Diferentes literales muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

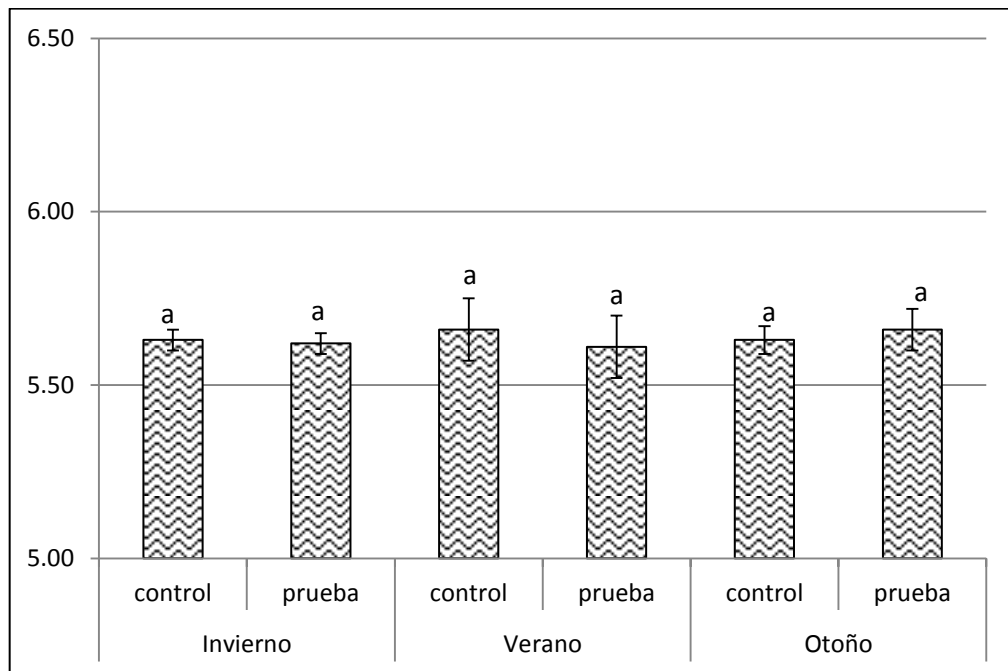


Figura. 11. Análisis de pH de las canales a las 24 h *postmortem*.

*Mismas literales, no se presentan diferencia significativa ($p > 0.05$).

Con respecto a los resultados obtenidos en la evaluación de temperatura a los 45 min, los cuales se presentan en la Tabla 10, no se observaron diferencias significativas ($p>0.05$) tanto entre tratamientos como entre las estaciones del año. El análisis se llevó a cabo en el músculo SM, obteniendo valores promedio de alrededor de 40 °C, lo cual coincide con lo obtenido por Torrescano et al. (2010). Mientras que para la evaluación a las 24 h (Tabla 11) se observan diferencias significativas ($p<0.05$) entre las estaciones del año evaluadas, así como entre los tratamientos de la estación de verano.

Durante el enfriamiento el objetivo es lograr alcanzar una temperatura de 4°C en el cuarto trasero de acuerdo a la norma PC-003-2004 de calidad Suprema para exportación, la cual establece esta temperatura como mínimo (Torrescano et al., 2010). Las diferencias observadas en este parámetro pueden ser ocasionadas por la variabilidad de las condiciones de refrigeración dentro de las canaleras y el manejo mismo de las canales, así como la carga de las canaleras (número de canales almacenadas) y el sistema de ventilación. Las condiciones de temperatura y humedad durante las tres estaciones del año presentaron condiciones de enfriamiento similares (Figuras 12, 13 y 14). No obstante, en base a los resultados obtenidos se enfatiza la necesidad de realizar lecturas de velocidad de viento en el interior de las canaleras, ya que de esto depende el correcto y uniforme enfriamiento de las canales.

Evaluaciones Morfométricas de la Canal

Los resultados de la evaluación morfométrica de las canales se presentan en la Tabla 12, donde destaca la uniformidad de los lotes utilizados en el estudio, no presentándose diferencias significativas ($p>0.05$) entre longitud de la canal, ancho y alto de giba; lo que demuestra una genética similar. También es posible corroborar lo anteriormente mencionado sobre el encaste *Bos taurus* que presentan los animales incluidos en el proyecto.

Tabla 10. Evaluación de temperatura (°C) de las canales a los 45 min *postmortem*.

	Tratamiento	Promedio ± DE
Invierno	Control	40.10 ± 0.65 a
	Prueba	40.23 ± 0.81 a
Verano	Control	39.98 ± 0.69 a
	Prueba	40.21 ± 0.85 a
Otoño	Control	40.19 ± 0.59 a
	Prueba	40.20 ± 0.59 a

*Diferentes literales muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tabla 11. Evaluación de temperatura (°C) de las canales a las 24 h *postmortem*.

	Tratamiento	Promedio ± DE
Invierno	Control	2.57 ± 0.81 a
	Prueba	2.55 ± 1.04 a
Verano	Control	4.25 ± 0.27 c
	Prueba	5.35 ± 1.04 b
Otoño	Control	5.49 ± 1.22 b
	Prueba	5.69 ± 1.62 b

*Diferentes literales muestran diferencias significativa ($p < 0.05$).

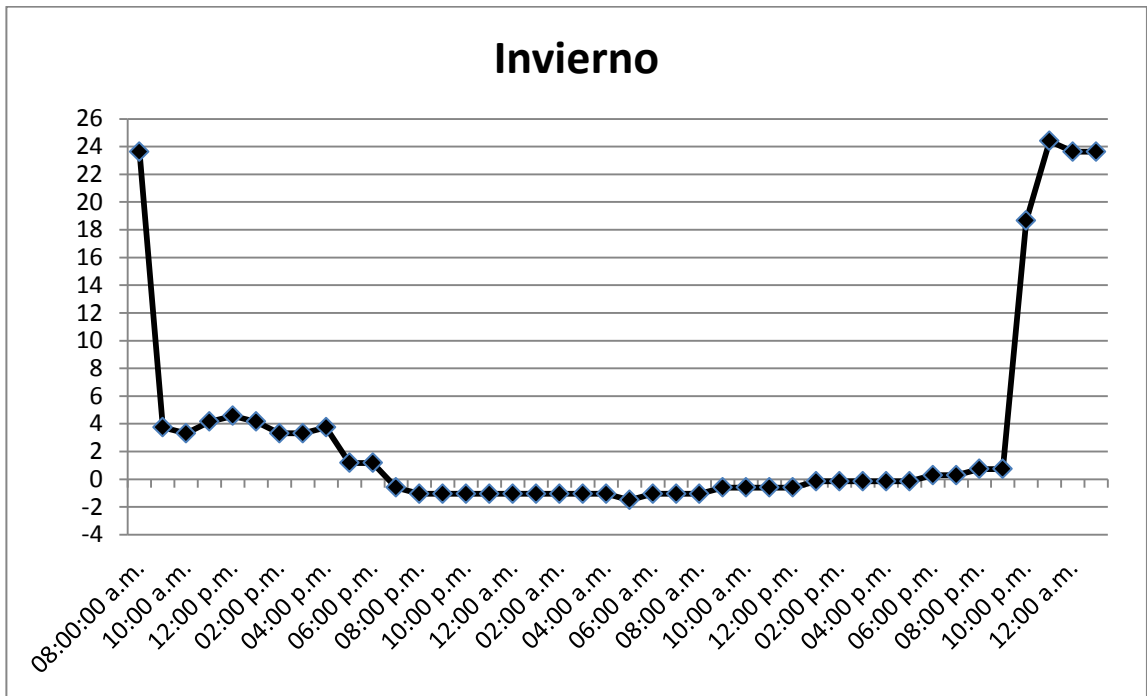


Figura 12. Monitoreo de temperatura de las canaieras durante invierno.

Temperatura (°C)	
Promedio	3.11
Minima	-1.51
Maxima	24.4

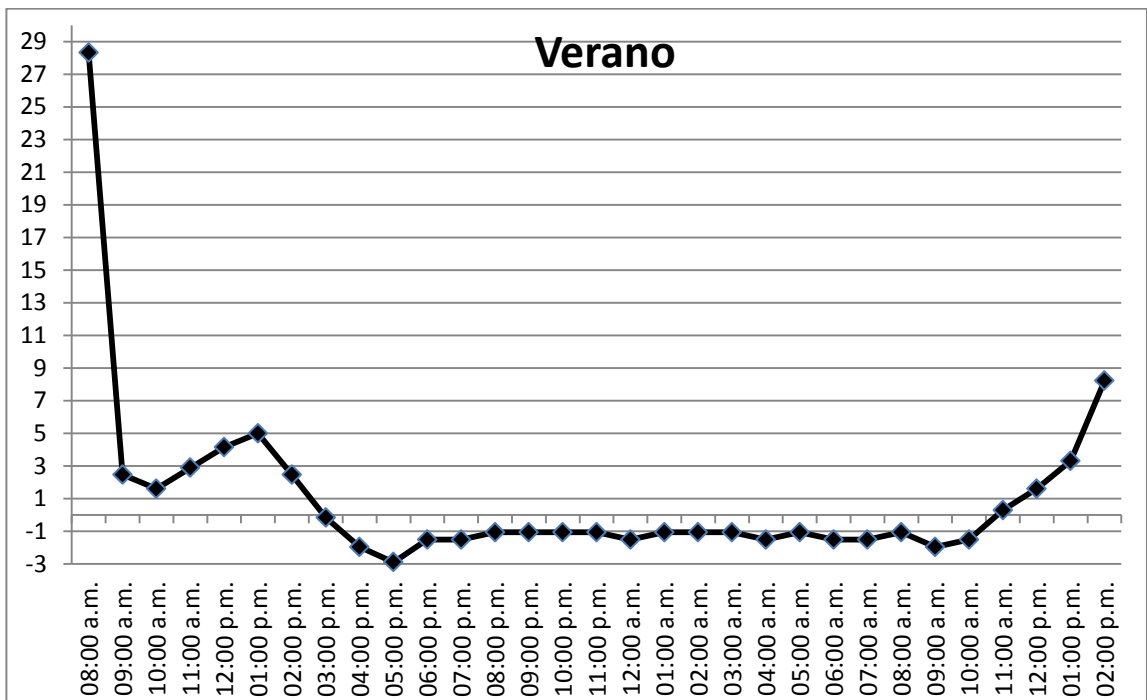


Figura 13. Monitoreo de temperatura de las canaleras durante verano.

Temperatura (°C)	
Promedio	1.07
Minima	-2.9
Maxima	28.31

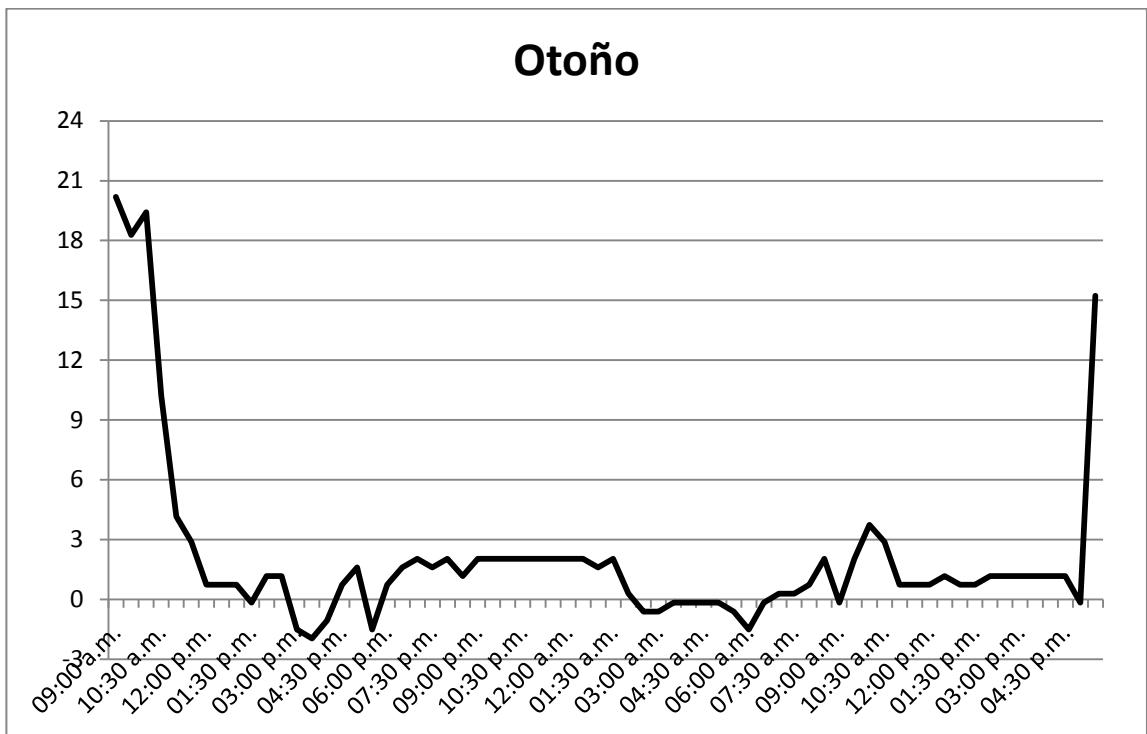


Figura 14. Monitoreo de temperatura de las canaleras durante otoño.

Temperatura (°C)	
Promedio	2.12
Minima	-1.97
Maxima	20.19

Tabla 12. Resultados de las evaluaciones morfométricas (cm) realizadas en las canales.

		Largo de Canal	Alto de Giba	Ancho Giba
		Promedio ± DE	Promedio ± DE	Promedio ± DE
Invierno	Control	136.60 ± 4.94 a	7.98 ± 1.71 a	24.54 ± 2.88 a
	Prueba	136.36 ± 4.20 a	7.30 ± 1.34 a	24.33 ± 2.50 a
Verano	Control	136.46 ± 4.96 a	7.72 ± 1.38 a	24.15 ± 3.98 a
	Prueba	135.72 ± 4.41 a	8.18 ± 1.73 a	24.69 ± 3.20 a
Otoño	Control	134.15 ± 6.06 a	7.20 ± 1.50 a	24.45 ± 2.89 a
	Prueba	135.82 ± 2.16 a	7.75 ± 1.48 a	24.6 ± 2.15 a

*Diferentes literales muestran diferencias significativas (p<0.05).

De acuerdo a los resultados obtenidos, la longitud de la canal tuvo un promedio de 135 cm, mientras que la giba presentó dimensiones de 7 cm de alto y 24 cm de ancho. Con estos parámetros es posible determinar la incidencia racial del ganado, deduciéndose por lo tanto que las razas que se utilizaron para el experimental contaban con un encaste de menos de $\frac{1}{4}$ de *Bos indicus* (Rubio et al., 2013). Lo anterior coincide con los resultados reportados por Ávila (2012).

Área del Ojo de la Costilla (Músculo LT)

En México, las cruza comerciales de abasto han resultado con un ojo de la costilla de alrededor de $74.6 \pm 11.0 \text{ cm}^2$ (Rubio et al., 2013), lo cual coincide con los resultados obtenidos durante las evaluaciones de este estudio, donde se observó diferencia significativa ($p < 0.05$), ya que durante la evaluación de invierno, el área del ojo de costilla obtuvo valores de 83 y 82 cm^2 , para control y prueba respectivamente. Sin embargo, no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre los lotes de cada estación del año (Tabla 13). Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Torrescano et al. (2010), quienes encontraron valores de 80.7 y 82.2 cm^2 , en un estudio realizado a dos productores de ganado bovino en la región de Sonora.

Color de Carne y Grasa de la Canal

El estrés provoca cambios *postmortem* medibles a nivel muscular, tanto en la carne como en la canal, lo cual se relaciona con el nivel final de glucógeno, el pH y el color. El pH tiene una gran influencia sobre el resultado del análisis de color; ya que a niveles altos de pH, es decir, valores iguales o superiores a 6, pueden generarse cortes o carne oscuras, afectando a su vez la retención de agua (Gallo y Tadich, 2005). Los resultados del análisis de color

Tabla 13. Evaluación de área del ojo de costilla (LT) en canales bovinas.

		Promedio (cm ²) ± DE	Valor Mínimo	Valor Máximo
Invierno	Control	83 ± 7.10 b	69	98
	Prueba	82 ± 7.50 b	71	100
Verano	Control	75 ± 8.80 a	53	90
	Prueba	77 ± 12.2 a	50	106
Otoño	Control	72 ± 8.40 a	51	91
	Prueba	74 ± 6.60 a	63	93

*Diferentes literales muestran diferencias significativas (p<0.05).

instrumental en la canal se muestran en la Tabla 14, donde es posible observar que no existieron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos control y prueba de cada una de las estaciones en los parámetros de luminosidad (L^*) e índice de amarillo (b^*). Tampoco se presentaron diferencias ($p > 0.05$) entre las diferentes estaciones del año evaluadas para los parámetros de L^* y b^* .

El parámetro de color denominado valor a^* , el cual se refiere al índice de rojo, presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos prueba y control en la estación de invierno, siendo de 23.90 y 25.81 para control y prueba, respectivamente. Sin embargo, para las estaciones de verano y otoño no se mostraron diferencias ($p > 0.05$), tanto entre tratamientos de la misma estación como entre estaciones. Los resultados obtenidos muestran valores intermedios para este parámetro, en relación a los reportados por Torrescano et al. (2010) y Ávila (2012), quienes evaluaron canales de bovino bajo condiciones similares, encontrando valores de 21 y 28, respectivamente.

En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos para la evaluación instrumental de color de grasa, en la cual se observa que el valor b^* , el cual hace referencia a la tonalidad amarilla, no presentó diferencias ($p > 0.05$) entre las estaciones evaluadas, ni entre los tratamientos prueba y control de cada una de ellas. Los resultados para el valor L^* también se muestran en dicha tabla; sin embargo, no coinciden con los reportados por Ávila (2012), quien encontró valores más altos para este indicador de color, es decir 79 en promedio.

Las preferencias por parte del consumidor respecto al color de la grasa son que ésta presente una coloración blanca. La tonalidad amarilla es debida a la presencia de compuestos carotenoides derivados de las plantas (Rubio et al., 2013). En este estudio los animales tuvieron una alimentación que permitió que el color de la grasa se encontrara dentro de los parámetros con tendencia al color blanco, ya que la alimentación fue a base de grano, principalmente maíz.

Tabla 14. Evaluación instrumental de color de la carne en las canales.

		L*	a*	b*
Invierno	Control	36.20 ± 1.67 a	23.90 ± 1.48 b	13.97 ± 1.11 a
	Prueba	35.66 ± 1.81 a	25.81 ± 1.88 b	14.21 ± 1.63 a
Verano	Control	37.20 ± 2.35 a	20.54 ± 1.63 a	13.49 ± 1.00 a
	Prueba	36.67 ± 1.47 a	21.17 ± 2.14 a	13.50 ± 0.95 a
Otoño	Control	35.89 ± 3.35 a	25.15 ± 2.50 a	13.58 ± 1.17 a
	Prueba	34.94 ± 2.48 a	23.39 ± 3.62 a	13.33 ± 2.10 a

*Diferentes literales muestran diferencias significativa (p<0.05).

Tabla 15. Evaluación instrumental de color de la grasa en las canales.

		L*	b*
Invierno	Control	74.26 ± 2.22 a	13.57 ± 1.69 a
	Prueba	75.72 ± 1.95 a	13.42 ± 1.68 a
Verano	Control	77.54 ± 3.01 a	12.66 ± 1.74 a
	Prueba	76.97 ± 3.09 a	12.14 ± 2.02 a
Otoño	Control	75.25 ± 3.96 a	12.22 ± 1.86 a
	Prueba	67.87 ± 9.11 a	16.89 ± 13.94 a

*Diferentes literales minúsculas muestran diferencias significativas (p<0.05).

Análisis de pH en Carne

Los resultados del análisis de pH de la carne se presentan en la Tabla 16, observándose diferencias significativas ($p < 0.05$), ya que durante la estación de verano los valores de pH fueron más bajos, difiriendo con las estaciones de invierno y otoño. También es posible observar la diferencia ($p < 0.05$) que se presenta en la estación de verano durante los días de almacenamiento con valores de 5.4 y 5.5 para los tratamientos prueba y control, respectivamente en el día 0, y valores de 5.6 para ambos tratamientos, en el día 14.

Los valores promedio que se obtuvieron durante el análisis de pH se encuentran entre 5.4 y 5.6, lo cual es característico de la carne de bovino, valores considerados como normales (Swatland, 2003). El pH está relacionado con factores determinantes de la calidad de la carne como el color y la capacidad de retención de agua (Braña et al., 2011). También es un parámetro importante a considerar al momento de incurrir en la presencia de problemas de calidad como son la condición DFD y PSE en carne (Warriss, 2003).

Viljoen et al. (2012), determinaron la aceptabilidad por parte del consumidor de cortes DFD, tomando como base cortes con valores de pH superiores o iguales a 5.8, encontrando preferencia por parte de los panelistas hacia cortes catalogados como normales, los cuales presentaron un pH menor a 5.8.

Al ser el pH un factor importante en calidad de carne, este es considerado por diversos autores. Mach et al. (2008) realizaron una investigación en la que evaluaron la influencia de algunos factores como el transporte y su relación con el pH final, encontrando que el 86% del total de animales ($n = 5,494$) evaluados bajo diversas condiciones, a las 24 h

Tabla 16. Evaluación de pH de la carne de bovino.

Tiempo de Almacenamiento (días)	Tx	Invierno	Verano	Otoño
0	Prueba	5.59 ± 0.08 bAx	5.43 ± 0.05 aAx	5.60 ± 0.03 bAx
	Control	5.64 ± 0.03 bBy	5.50 ± 0.07 aAy	5.59 ± 0.05 bAx
14	Prueba	5.58 ± 0.08 bAx	5.67 ± 0.03 aAz	5.57 ± 0.06 bAx
	Control	5.57 ± 0.03 bAx	5.69 ± 0.06 aAz	5.58 ± 0.05 bAx

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre columnas.

A,B muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por tratamiento.

x,y,z muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por día de almacenamiento.

Tx: Tratamiento.

postmortem presentaron valores menores a 5.8, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Los resultados de nuestro estudio también coinciden con los obtenidos por De la Rosa (2009) quien obtuvo valores de 5.4 y 5.6 para la evaluación de pH del músculo LT, así como con los de Sañudo et al. (1998) quienes reportaron valores de 5.4-5.6, para diferentes razas españolas.

Capacidad de Retención de Agua

En la Tabla 17, se muestran los resultados del análisis de CRA para las muestras de carne del músculo LT durante los días 0 y 14 de almacenamiento, observándose diferencias ($p < 0.05$) para los días de almacenamiento en las estaciones de invierno y otoño, lo cual no se presentó ($p > 0.05$) durante la estación de verano, así como entre los tratamientos control y prueba; lo cual, si se manifestó en las estaciones de invierno y otoño, con porcentajes mayores en el día 0 respecto al día 14 de almacenamiento. Estos resultados coinciden con los reportados por De la Rosa (2009), quien encontró porcentajes de 86-91% para la CRA.

Por otro lado, el músculo está constituido por aproximadamente 75% de agua, la mayoría de la cual se encuentra dentro de la estructura muscular, específicamente dentro de las miofibrillas y en el sarcolema (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005). Por lo anterior, se considera que la CRA está, hasta cierto punto, influenciada por el pH último del músculo, entre más alejado se encuentre el pH del punto isoeléctrico de las proteínas del músculo, más agua retendrá (Braña et al., 2011). La pérdida de agua es de gran importancia a nivel comercial, ya que puede afectar la rentabilidad del negocio a causa de dichas pérdidas, dado que aproximadamente el 10 % del agua se acumula mediante uniones débiles entre las moléculas de proteína (Swatland, 2003).

Tabla 17. Efecto del uso del modulador alostático sobre la capacidad de retención de agua (%) de la carne obtenida durante tres estaciones del año y almacenada en refrigeración.

	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)	
		0	14
Invierno	Control	91.49 ± 0.66 bAx	89.24 ± 1.21 aAx
	Prueba	92.30 ± 1.82 bAx	88.87 ± 1.41 aAx
Verano	Control	87.83 ± 3.95 aAx	89.53 ± 2.64 aAx
	Prueba	89.54 ± 2.07 aAx	89.64 ± 2.18 aAx
Otoño	Control	91.45 ± 2.42 bAx	89.29 ± 2.10 aAx
	Prueba	92.63 ± 2.26 bAx	89.78 ± 2.26 aAx

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por estación.

A,B muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por tratamiento.

x,y, muestran diferencias ($p < 0.05$) entre columnas por día de almacenamiento.

Tx: Tratamiento.

Pérdida de Peso por Cocción (PPC)

En la Tabla 18 se muestran los resultados de la PPC, en la cual se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) para este parámetro, siendo el lote prueba de la estación de invierno y verano del día 14 los que presentaron los porcentajes más bajos de pérdidas.

Guerrero et al. (2011) analizaron el efecto del sistema de producción semi-intensivo y extensivo sobre parámetros de calidad, entre los cuales se encuentra la pérdida por cocinado, obteniendo valores menores a los reportados en nuestro trabajo de investigación, con 18.8 y 17.1% para semi-intensivo y extensivo, respectivamente. Sin embargo, dicha diferencia puede ser ocasionada por la diferencia en la metodología utilizada durante la cocción de las muestras, ya que el experimento de Guerrero et al. (2011), se utilizó baño María hasta alcanzar la temperatura interna de 70°C, lo que genera variación en la exposición al calor de las muestras.

Por otro lado, Sañudo et al. (1998), realizaron el análisis de PPC a la carne de siete razas españolas, colocando la carne en baño María a 75°C por 45 minutos, obteniendo valores entre 11 y 13% de PPC. Por otro lado, Lindón et al. (2011) evaluaron la PPC de carne de bovino mediante horneado de las muestras, utilizando un horno eléctrico a 170 °C, hasta que la temperatura interna alcanzó 70°C, obteniendo como resultado una PPC de 18.36%± 2.05.

Los resultados reportados por De la Rosa (2009), siguiendo la misma metodología de este estudio para la evaluación de PPC, coinciden con los encontrados en este trabajo de investigación, con porcentajes de 23 a 30%.

Tabla 18. Efecto del uso del modulador alostático sobre la pérdida de peso por cocción (%) de la carne obtenida durante tres estaciones del año y almacenada en refrigeración.

Tratamiento		Tiempo de almacenamiento (días)	
		0	14
Invierno	Control	27.62 ± 0.80 aAy	29.28 ± 0.77 aBz
	Prueba	30.88 ± 0.87 aBz	22.34 ± 0.81 aAx
Verano	Control	26.40 ± 5.34 aAx	26.43 ± 1.37 aBx
	Prueba	28.39 ± 4.93 aBx	23.50 ± 3.66 aAx
Otoño	Control	28.00 ± 1.13 aAy	24.02 ± 1.04 aAx
	Prueba	28.45 ± 1.95 aAy	29.55 ± 3.85 aBy

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por estación.

A,B muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por tratamiento.

x,y, muestran diferencias ($p < 0.05$) entre columnas por día de almacenamiento.

Tx: Tratamiento.

Análisis Instrumental de Color

Desde el punto de vista comercial el color de la carne es muy importante, ya que la mayoría de los consumidores han desarrollado una fuerte preferencia con respecto al aspecto de la carne fresca (Swatland, 2003).

El valor de L^* se representa como la claridad y va de negro a blanco (Albertí et al., 2005); los resultados del valor L^* se presentan en la Tabla 19, donde se observa que se encontraron diferencias ($p < 0.05$) durante la estación de verano para el día 14 de almacenamiento en ambos tratamientos.

Los valores obtenidos en este estudio son mayores a los reportados por Rubio et al. (2005), quienes evaluaron las características de calidad en base a la división de tres regiones de México, reportando valores de 39.4, 39.1 y 38.3 para el norte, centro y sur del país, respectivamente. Albertí et al. (2005), realizaron un estudio que consistió en incluir antioxidantes en la dieta finalizadora de becerros, obteniendo valores promedio de 38-39 de L^* , para el día 14 del estudio. Los resultados coinciden con los mostrados por De la Rosa (2009), quien encontró valores dentro del rangos de 42.09 a 44.97.

En la misma Tabla 19 se presentan los resultados del valor a^* , donde se observa que no se presentaron diferencias ($p > 0.05$) entre estaciones para un mismo día. Sin embargo, si se observaron diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos durante las estaciones de verano y otoño en el día 0 de almacenamiento; mismo comportamiento observado en el día 14 del muestreo de otoño. Por otro lado, no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre los días de almacenamiento de cada estación; no obstante, la tendencia de los valores va en aumento del día 0 al 14 de almacenamiento, lo cual coincide con lo publicado por McKenna et al. (2005), quienes analizaron a diario la evolución del valor a^* de 19 músculos de bovino durante cinco días, observando un

Tabla 19. Evaluación de color instrumental de la carne.

Color Valor	Tiempo de Almacenamiento		Tx	Invierno			Verano			Otoño						
	0	14		Prueba	Control	Prueba	Control	Prueba	Control	Prueba	Control	Prueba	Control			
L*	0		Prueba	36.00 ±	2.76 aAx	39.30 ±	2.13 aAx	41.76 ±	2.10 bAx	Control	39.28 ±	2.37 aAx	38.97 ±	2.49 aAx	39.69 ±	3.31 aAx
	14		Prueba	44.41 ±	2.49 bAy	40.99 ±	1.83 aAy	44.49 ±	1.94 bAy	Control	43.75 ±	2.18 aAy	42.18 ±	1.53 aBy	43.84 ±	2.38 aAy
a*	0		Prueba	18.08 ±	1.20 aAx	18.13 ±	1.53 aAx	19.43 ±	1.60 aAx	Control	18.47 ±	1.03 aAx	14.67 ±	1.40 bBy	18.69 ±	1.40 abAx
	14		Prueba	23.61 ±	1.49 aAy	20.54 ±	1.83 aAz	24.68 ±	1.20 bAy	Control	23.23 ±	1.30 aAy	19.91 ±	1.53 bAz	21.75 ±	0.88 cBz
b*	0		Prueba	11.32 ±	2.18 aAx	10.68 ±	1.49 aAx	12.51 ±	2.14 aAx	Control	11.75 ±	1.55 aAx	8.43 ±	1.25 bBy	12.21 ±	2.17 abAx
	14		Prueba	16.85 ±	1.51 aAy	13.39 ±	2.55 bAz	17.72 ±	1.69 aAy	Control	16.43 ±	1.78 aAy	13.64 ±	2.16 bAz	15.51 ±	1.04 aBz
C*	0		Prueba	21.31 ±	3.01 aAx	21.05 ±	2.00 aAx	22.70 ±	2.64 aAx	Control	21.73 ±	2.43 aAx	16.93 ±	1.77 bBy	22.63 ±	2.89 aAx
	14		Prueba	29.01 ±	2.05 aAy	24.53 ±	2.55 bAz	29.87 ±	2.70 aAy	Control	28.46 ±	2.79 aAy	24.15 ±	2.16 bAz	26.89 ±	1.45 bBz
h*	0		Prueba	31.99 ±	2.30 aAx	30.38 ±	2.11 bAx	34.02 ±	2.05 cAy	Control	32.20 ±	1.13 aAx	29.77 ±	2.11 bAx	31.87 ±	2.26 aBx
	14		Prueba	35.47 ±	1.08 aAy	32.96 ±	1.55 bAx	36.37 ±	1.03 cAz	Control	35.25 ±	0.96 aAy	34.31 ±	1.87 bBy	35.22 ±	0.99 bBz

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre columnas.

A,B muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por tratamiento.

x,y,z muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por día de almacenamiento.

Tx: Tratamiento.

aumento en los valores de a^* durante el paso del tiempo de almacenamiento en el músculo *Longissimus thoracis*.

Aun cuando no se presentaron diferencias significativas en todas las evaluaciones para las estaciones de verano y otoño, el lote prueba mostró una tendencia hacia valores mayores con respecto al control, en la mayoría de los casos (Tabla 19).

De acuerdo a Wolfgang (1992), citado por Hernández-Bautista y Ríos-Rincón (2009) los valores de color par una carne de bovino fresca son de $L^*=44.1$, $a^*=26.1$ y $b^*=16.6$. Los resultados obtenidos durante este estudio para a^* están por arriba de los reportados por Tansawat et al. (2013), quienes suplementaron la dieta de ganado de pradera con grano, encontrando valores de 10 hasta 15 para el valor a^* .

En la evaluación del valor b^* se encontraron diferencias ($p<0.05$) entre estaciones, siendo el verano la estación que presentó los valores más bajos, para el día 0 y día 14 de almacenamiento. De igual forma se presentaron diferencias ($p<0.05$) entre tratamientos (prueba, control) para el día 0 del muestro de verano y el día 14 de otoño, presentando valores mayores en el tratamiento prueba.

Los resultados obtenidos muestran valores mayores a los observados por Mamani-Linares y Gallo (2011) para carne de bovino (8.26 ± 1.37), al igual que los reportados por Ripoll et al. (2012) ($6.74 \pm .81$) a las 24 horas de almacenamiento, quienes analizaron la relación entre la apreciación visual y los valores de CIElab; sin embargo, coinciden con los reportados por De la Rosa (2009) quien encontró valores superiores a 15.

Para las evaluaciones de Cromo (C^*) y Hue (h^*) el comportamiento fue similar al valor de b^* , presentando diferencias ($p<0.05$) durante el verano con

respecto a invierno y otoño, presentando diferencias entre los tratamientos del día 0 de verano y el día 14 de otoño para C^* , mientras que para el valor de h^* las diferencias ($p < 0.05$) se manifestaron durante el día 0 de otoño, entre los tratamientos y el día 14 de las estaciones de verano y otoño.

Análisis de Textura Instrumental

Algo que el consumidor percibe primeramente en relación a la calidad de la carne, está estrechamente relacionado con la satisfacción sensorial, la cual se caracteriza por tres atributos principales: sabor, jugosidad y terniza (D'Alessandro et al., 2012). En la industria de la carne se le conoce a estos atributos como palatabilidad, lo que se refiere a la percepción de gusto en la boca del consumidor. En los últimos años se ha reconocido a la terniza como un atributo de suma importancia en la calidad de la carne, por lo que se ha sugerido que el establecer un nivel aceptable de terniza, daría un nuevo valor agregado en los sistemas de comercialización (Fluharty et al., 2009), generando una reiteración de compra por determinadas marcas o productores.

En la Tabla 20 se muestran los resultados del análisis de textura, donde se observan diferencias ($p < 0.05$) entre las estaciones del año para cada día de almacenamiento. También se presentaron diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada estación en el día 0 de almacenamiento, presentando los valores más bajos en el lote de prueba, durante las tres estaciones del año, lo cual se traduce en una mayor terniza. En un estudio realizado por Sitz et al. (2006), en el cual emplearon dos métodos de maduración (húmedo y seco) durante un periodo de 7 días, en un corte de bovino, no encontraron diferencias entre ambos métodos empleados, obteniendo valores de 2.96-2.93 kg/f; resultados que resultan ser menores a los obtenidos en el presente trabajo. Por otro lado Dow et al. (2011), analizaron la textura de filetes en relación al grado de marmoleo, no encontrando diferencias con respecto al grado de marmoleo, y

Tabla 20. Efecto de la inclusión del modulador alostático sobre la textura instrumental (Kgf) de la carne obtenida en tres estaciones del año y almacenada en refrigeración.

	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)	
		0	14
Invierno	Control	10.37 ± 0.71 aBy	4.73 ± 1.46 aAz
	Prueba	8.60 ± 1.20 aAx	4.51 ± 1.14 aAz
Verano	Control	9.53 ± 1.66 bBx	5.96 ± 1.51 bAy
	Prueba	7.97 ± 0.51 bAw	5.35 ± 1.78 bAy
Otoño	Control	7.14 ± 1.54 cBy	3.78 ± 1.17 cAz
	Prueba	4.91 ± 0.67 cAx	3.42 ± 0.72 cAz

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por estación.

A,B muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por tratamiento.

x,y, muestran diferencias ($p < 0.05$) entre columnas por día de almacenamiento.

Tx: Tratamiento.

obtuvieron valores de 2.8 y 3.3 kg/f para un marmoleo ligeramente abundante y pequeño, respectivamente.

En un estudio realizado por Hwang et al. (2004), se evaluó el acortamiento muscular en los músculos *Longissimus* y *Semitendinosus*, realizando análisis de textura mediante el método de WBSF. Los resultados mostraron valores de 9.29, 5.90 y 4.20 Kg/f para una temperatura de almacenamiento de 5, 15 y 36°C, respectivamente, para el músculo *Longissimus*; resultados que coinciden con lo reportado en la Tabla 20 del presente trabajo, donde los valores se encuentran de 4.91 a 8.6 para los lotes de prueba.

Durante el día 14 de almacenamiento no se presentaron diferencias ($p>0.05$) entre tratamientos y entre estaciones del año evaluadas. Este comportamiento coincide con lo publicado por Monsón et al. (2004), quienes evaluaron el tiempo de maduración y su efecto en la terneza, destacando que a partir del día 14 la terneza tiende a homogenizarse en carne bovina.

Índice de Fragmentación Miofibrilar (IFM)

Los resultados incluidos en la Tabla 21 corresponden a la evaluación del IFM, donde se pueden observar diferencias ($p<0.05$) entre las estaciones de año. También se observan diferencias ($p<0.05$) entre los tratamientos (prueba y control) para cada una de las estaciones del año. Esto, durante el análisis del día 0, siendo el tratamiento prueba el que presentó los valores más elevados.

Riley et al. (2003) reportaron valores de 40.94 y 65.79 para los días 0 y 14, respectivamente, lo anterior coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo durante las evaluaciones del día 0, siendo los valores más elevados los correspondientes al tratamiento prueba.

Tabla 21. Evaluación del índice de fragmentación miofibrilar.

	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)	
		0	14
Invierno	Control	30.72 ± 0.95 aBy	53.03 ± 1.85 aAz
	Prueba	43.66 ± 1.20 aAx	52.56 ± 0.53 aAz
Verano	Control	38.02 ± 1.11 bBy	48.20 ± 1.00 bAz
	Prueba	46.35 ± 1.60 bAx	48.90 ± 0.97 bAz
Otoño	Control	46.18 ± 1.50 cBy	55.09 ± 0.63 cAz
	Prueba	51.55 ± 0.64 cAx	54.04 ± 0.75 cAz

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por estación.

A,B muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por tratamiento.

x,y, muestran diferencias ($p < 0.05$) entre columnas por día de almacenamiento.

Tx: Tratamiento.

Por otra parte, los resultados reportados durante el día 14 no coinciden con los observados por Riley et al. (2003), lo cual puede ser atribuido a la genética, ya que durante la investigación realizada por estos autores, solamente se analizó carne de ganado Brahman.

Nuestros resultados coinciden con los reportados por Vestergaard et al. (2000), quienes encontraron diferencias en los valores de IFM entre ganado alimentado bajo un sistema intensivo, con respecto al sistema extensivo, mostrando valores de 24.1 y 33.2, respectivamente. De igual manera, el comportamiento de los resultados de IFM coincide con lo encontrado por De la Rosa (2009) para el día 14 de almacenamiento, ya que este aumentó en relación al día 0. Lo anterior se relaciona positivamente con la ternura de la carne, siendo más tierna a través del tiempo de almacenamiento, ya que de acuerdo a Culler (1978), las muestras de este trabajo de investigación presentan una ternura de ligera a menor, considerando que valores superiores a 60 son muy tiernos, cercano al 50, se catalogan como ligeramente tiernos, y menores de 50, como de escasa ternura. Cabe destacar que el efecto de la maduración se observa durante todo el experimental.

Colágeno

Los resultados obtenidos para el análisis de colágeno se presentan en la Tabla 22, donde no se observaron diferencias ($p > 0.05$), ni entre estaciones ni entre tratamientos. Tampoco el tiempo de almacenamiento influyó en los resultados, no observándose diferencias ($p > 0.05$) en los valores de colágeno total e insoluble. Y en relación a la solubilidad del colágeno, no se presentó diferencia ($p > 0.05$) entre tratamientos, estación o tiempo de almacenamiento. Sin embargo, es posible observar un aumento en la solubilidad durante el día 14 en las muestras obtenidas en las tres estaciones; no obstante, no se encontraron diferencias estadísticas ($p > 0.05$).

Tabla 22. Resultados de la evaluación de colágeno total, insoluble y porcentaje de solubilidad en carne.

		Tiempo de Almacenamiento (Días)	Tx	Invierno			Verano			Otoño				
Colágeno Total (mg hxp/g)	0	Prueba	0.52	±	0.14	aAx	0.53	±	0.12	aAx	0.52	±	0.15	aAx
		Control	0.50	±	0.16	aAx	0.51	±	0.10	aAx	0.51	±	0.17	aAx
	14	Prueba	0.58	±	0.15	aAx	0.56	±	0.22	aAx	0.54	±	0.18	aAx
		Control	0.54	±	0.13	aAx	0.54	±	0.18	aAx	0.51	±	0.12	aAx
Colágeno Insoluble (mg hxp/g)	0	Prueba	0.30	±	0.13	aAx	0.34	±	0.13	aAx	0.35	±	0.13	aAx
		Control	0.33	±	0.14	aAx	0.32	±	0.14	aAx	0.36	±	0.12	aAx
	14	Prueba	0.31	±	0.18	aAx	0.34	±	0.13	aAx	0.38	±	0.13	aAx
		Control	0.32	±	0.07	aAx	0.33	±	0.24	aAx	0.37	±	0.19	aAx
Solubilidad del Colágeno (%)	0	Prueba	39	±	4.3	aAx	38	±	3.7	aAx	35	±	4.5	aAx
		Control	38	±	3.4	aAx	37	±	1.4	aAx	33	±	1.9	aAx
	14	Prueba	42	±	2.7	aAx	39	±	2.1	aAx	37	±	5.2	aAx
		Control	41	±	3.5	aAx	41	±	3.5	aAx	34	±	5.0	aAx

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre columnas.

A,B muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por tratamiento.

x,y,z muestran diferencias ($p < 0.05$) entre líneas por día de almacenamiento.

Tx: Tratamiento.

De la Rosa (2009) y Torrescano et al. (2003) realizaron el análisis de colágeno mediante la misma metodología empleada en el presente trabajo, encontrándose resultados similares. De la Rosa (2009) reportó valores de colágeno total, insoluble y solubilidad de 0.55 a 0.76 mg de Hypro/g músculo, 0.34 a 0.53 mg de Hypro/g músculo y 39.8 a 43.7%, respectivamente, para el día 0 de almacenamiento. Mientras que Torrescano et al. (2003), realizaron evaluaciones en diferentes músculos de bovino, encontrando entre estos, una variabilidad en la solubilidad que va de 16.24 a 55.32%. Sin embargo, los valores reportados para los músculos *Longissimus lumborum* y *thoracis* son de 0.61 y 0.51 mg de Hypro/g músculo, respectivamente; y de 0.42 y 0.38 mg de Hypro/g músculo para el colágeno insoluble, respectivamente, lo cual coincide con los resultados encontrados en esta investigación.

Con respecto a los valores del día 14 estos no coinciden con los obtenidos por De la Rosa (2009) quien analizó el efecto del tiempo de almacenamiento, reportando valores de 0.72 a 0.85 mg de Hypro/g músculo para colágeno total, a diferencia de lo reportado en la Tabla 22 que se encuentran entre 0.51 y 0.58 mg de Hypro/g músculo para el mismo periodo de almacenamiento. Así, también el contenido de colágeno insoluble es menor, ya que De la Rosa (2009), reportó valores de 0.47 a 0.56 mg de Hypro/g músculo.

Existen otros estudios donde se realizó la evaluación del contenido de colágeno en base a diversas metodologías. Vestergaard et al. (2000) reportaron valores de colágeno total de 0.49 a 0.50 mg de Hypro/g músculo para ganado de 300 kg, así como de 19.8 hasta 26.1% de solubilidad, lo cual es cercano a lo encontrado en la presente investigación. Por otro lado, Wheeler et al. (2000) y Wojtysiak (2013), que utilizan el factor 7.25 para obtener el contenido de Hypro/g de muestra húmeda, reportan valores de 4.1 de colágeno total, en el caso de cerdo, y 5.48, 4.69 y 3.85 para ganado bovino de 90, 150 y 210 días, respectivamente. También se considera una solubilidad de 22.74, 18.23 y 13.65% en el mismo orden. Cabe resaltar que estos resultados no difieren en

gran medida de los encontrados, aun cuando las muestras fueron tomadas en tiempo de 45 minutos *postmortem*.

Interacciones entre Factores

Durante el presente estudio se realizó la evaluación del efecto de la adición del modulador alostático, de la estación del año en el que este fue suministrado al ganado bovino; y para el análisis de carne también se tomó en cuenta el efecto del tiempo de almacenamiento (días 0 y 14). Los parámetros evaluados en la etapa de bienestar animal durante el sacrificio (Tabla 23), presentaron efecto por la interacción doble, considerando los factores tratamiento y estación, resultando significativa ($p < 0.05$) esta interacción en los parámetros por golpe físico, inclinar la cabeza del animal a la entrada del cajón, el tiempo de espera en el cajón, intervalo de desangrado y tiempo de sangrado.

En los resultados destaca que la mayoría de los parámetros están relacionados con acciones realizadas durante la operación de faenado por operadores, durante las etapas previas y en el sacrificio, lo cual, quizá puede ser causado por la constante rotación de personal, problemas técnicos en los equipos, falta de capacitación y de conocimiento para desarrollar el puesto asignado e incluso problemas de diseño de las instalaciones.

En cuanto al tiempo de desangrado, Grandin (2014) enfatiza la importancia de realizar de manera correcta la punción y con los instrumentos adecuados, a fin de evitar dolor a causa de sensibilidad y posibles problemas como aspiración de sangre por la tráquea, así como contaminación microbiológica y de putrefacción debido al alto contenido de proteínas presentes en la sangre, por lo que un sangrado mal realizado puede limitar la calidad de la carne (Oliveir, 2002).

Tabla 23. Resumen del análisis de varianza (valores p) para las interacciones de dos factores¹.

Parámetro	Interacciones						
	AB	Parámetro	AB	Parámetro	AB	Parámetro	AB
Arreo Eléctrico	0.156161	pH 45 min	0.006297*	KPH	0.078535	CGL	0.000000*
Golpe Físico	0.000225*	Temp. 45 min	0.443448	Grosor grasa	0.034226*	CGA	0.000000*
Agachar cabeza	0.015691*	Conformación	0.000855*	Grasa ajustada	0.184263	CGB	0.011215*
Tiempo espera en cajón	0.028912*	Distribución grasa	0.006350*	Longitud canal	0.929668	Madurez	0.144927
Posición de tiro	0.720404	Color carne	0.727658	Alto giba	0.291986	CK	0.891655
Numero de tiros	0.380864	Color grasa	0.558771	Ancho giba	0.780782	LDH	0.892828
Edo. Tónico	0.785593	Firmeza	0.583758	pH 24 hrs	0.058552	Glucosa	0.993266
Edo. Clónico	0.555620	Textura	0.645555	Temp. 24 hrs	0.007617*		
Intervalo a sangrado	0.021125*	Marmoleo	0.381243	CCL	0.810613		
Tiempo desangrado	0.000000*	Área Rib cm ²	0.343744	CCA	0.102345		
Sensibilidad al corte	0.371381	Clasificación	0.232304	CCB	0.533800		

¹ Factores: A: tratamiento, B: estación.

*Efecto significativo de la interacción doble ($p < 0.05$).

Interacciones: tratamiento-estación (AB).

CCL= color carne valor L*, CCA= color carne a*, CCB= color carne b*.

CGL= color grasa valor L*, CGA= color grasa a*, CGB= color grasa b*.

Por otro lado, los parámetros evaluados en relación a la calidad de la canal y que presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) se encuentra el pH a los 45 min, conformación y distribución de grasa en la canal, así como el grosor de grasa y temperatura a los 24 horas. Respecto a los valores L^* , a^* y b^* de la grasa, estos presentaron significancia ($p < 0.05$) en la interacción de los factores tratamiento y estación del año. En lo relacionado a la conformación de las canales se presentó un mayor número de canales con conformación convexa durante las estaciones de verano y otoño, en contraste con el invierno, que incluso presentó canales con conformación cóncava y recta.

El efecto presentado por la interacción sobre la temperatura a las 24 horas puede deberse a las condiciones en que el personal opera las cámaras de enfriamiento, así como la velocidad y distribución del aire dentro de éstas, lo cual es importante ya que es durante las primeras 24 horas cuando suceden en el músculo cambios bioquímicos y estructurales importantes, influyendo sobre la terneza y color de la carne (Savell et al., 2005).

También se realizó un análisis de varianza considerando las interacciones para los parámetros de calidad de carne (Tabla 24), donde se observa el efecto constante de las interacciones para los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C^* y h^*), presentado efecto las interacciones tratamiento-estación, estación-días y tratamiento-estación-días; sin embargo, para las interacciones tratamiento-días no se observó efecto significativo ($p > 0.05$) en los valores a^* , b^* C^* .

Por otro lado, el pH presentó un efecto significativo ($p < 0.05$) para todas las interacciones. Mientras que el parámetro de textura sólo presentó efecto ($p < 0.05$) en las interacciones tratamiento-días y estación-días, lo cual se vio reflejado en los resultados anteriormente citados, donde se mostró que el tratamiento al cual se adicionó el aditivo presentó valores más bajos con respecto al control, lo cual se traduce en una mayor terneza.

Tabla 24. Resumen del análisis de varianza (valores p) para las interacciones de los diferentes factores¹ a través del tiempo.

Parámetros	INTERACCIONES			
	AB	AC	BC	ABC
L*	0.000461*	0.011703*	0.001022*	0.001534*
a*	0.000001*	0.901096	0.004596*	0.000000*
b*	0.000935*	0.732034	0.003336*	0.000000*
C*	0.000125*	0.863314	0.000775*	0.000000*
h*	0.000000*	0.001793*	0.146494	0.019533*
pH	0.000799*	0.000390*	0.000000*	0.000093
CRA	0.707266	0.031976*	0.000000*	0.788888
PPC	0.008951*	0.000749*	0.216298	0.000004*
Textura	0.492616	0.000000*	0.000000*	0.160376
IFM	0.000000*	0.000000*	0.000000*	0.000007*
Colágeno total	0.033729*	0.000000*	0.000000*	0.000249*
Colágeno insoluble	0.001762*	0.049929	0.234834	0.075498
Solubilidad del colágeno	0.001724*	0.181676	0.148269	0.004113*

¹Factores: A: tratamiento, B: estación, C: días.

*Efecto significativo de la interacción doble ($p < 0.05$): tratamiento-estación (AB), tratamiento-días (AC), estación-días (BC).

Por otra parte, tanto el IFM como el colágeno total presentaron efecto ($p < 0.05$) en las interacciones dobles y triple, lo cual puede ser influenciado por el tratamiento. Para este parámetro, los valores obtenidos entre tratamientos (control y prueba) presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo mayores en el grupo prueba. Además, se observó aumento en los valores de IFM en ambos grupos, al transcurrir el tiempo de almacenamiento.

Para las interacciones realizadas en base a los días de almacenamiento (Tabla 25), los parámetros que mostraron efecto significativo para la interacción tratamiento-estación, fueron los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C^* y h^*), pH e IFM. Los valores de a^* aumentaron de acuerdo a los días de almacenamiento, y durante el otoño el grupo tratado presentó valores más elevados que el control. El IFM aumentó por efecto del tiempo, y el grupo tratado presentó valores mayores con respecto al control, siendo durante la estación de otoño cuando el grupo prueba presentó los valores más altos, en el día 0. En el caso del contenido de colágeno insoluble, se presentó efecto por la interacción tratamiento-estación al inicio del almacenamiento (día 0), y en el caso de la solubilidad durante el día 14 d almacenamiento presentó efecto significativo ($p < 0.05$).

Tabla 25. Resumen del análisis de varianza (valores p) para las interacciones de dos factores¹ bloqueando el tiempo.

Parámetro	Interacciones (AB)	
	0	14
L*	0.009349*	0.000081*
a*	0.000000*	0.000000*
b*	0.000002*	0.000001*
C*	0.000000*	0.000118*
h*	0.004087*	0.000000*
pH	0.002380*	0.000028*
CRA	0.781077	0.704286
PPC	0.204666	0.000000*
Textura	0.145961	0.573837
IFM	0.000000*	0.044790*
Colágeno total	0.124592	0.000033*
Colágeno insoluble	0.00028*	0.456738
Solubilidad del colágeno	0.940189	0.000052*

¹ Factores: A: tratamiento, B: estación.

*Efecto significativo de la interacción doble ($p < 0.05$); tratamiento-estación (AB).

VI. CONCLUSIONES

El personal de la engorda y el rastro manifiesta poco interés con respecto al manejo adecuado de los animales para promover el bienestar animal, probablemente ocasionado por la falta de conocimiento o cierto grado de desinterés.

El uso de picana eléctrica es aun el instrumento más utilizado para el manejo y movilización de los animales, ya que facilita el avance de estos; sin embargo, esto puede traer repercusiones en la presencia de hematomas heridas en la canal.

Al momento del sacrificio se presentó un bajo control del proceso de noqueo, el cual pudo ser ocasionado por rotación o falta de capacitación del personal, lo cual se vio reflejado en valores inaceptables en los parámetros evaluados para medir la presencia de bienestar animal durante el sacrificio.

Para la región de Hermosillo, Sonora, se encontró que las condiciones idóneas de índice de temperatura y humedad (ITH) para el transporte y manejo de los animales es durante la estación de otoño, confirmando el estrés climático que sufren los animales expuestos al clima desértico del estado.

Los resultados de la evaluación de las canales no presentaron diferencias en los parámetros morfométricos, lo cual indica que el uso del aditivo no repercute sobre estas variables. La similitud presente entre los grupos tratados y control, demuestra la homogeneidad del encaste de los animales incluidos en los experimentos.

La medición del parámetro de área de Rib eye no presentó diferencia entre el uso del modulador y el grupo control, por lo cual no influye en dicha variable.

Durante el verano la capacidad de retención de agua para el día 0 de almacenamiento, se vio disminuida, en comparación con las estaciones de invierno y otoño; sin embargo, entre las muestras de animales tratados y control no se presentó diferencia. Por lo que no se atribuye a la adicción del modulador.

Los valores de pH se encontraron dentro de los rangos aceptables, tanto en el grupo tratado como en el control, por lo que se concluye que la inclusión del modulador no afectó dicho parámetro de calidad.

La implementación del modulador alostático provocó un aumento en la ternura de la carne; comportamiento fue observado durante las tres estaciones del año evaluadas, presentando siempre mejoras en la ternura del grupo tratado, atribuyendo dicho cambio a la adición del modulador alostático. No obstante, fue durante la estación de otoño cuando se observaron los valores más bajos de esfuerzo al corte.

El Índice de fragmentación miofibrilar (IFM) manifestó los valores más elevados en los grupos tratados, durante las tres estaciones del año evaluadas. Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos para la evaluación de textura instrumental. Presentando mejores resultados las muestras de carne obtenidas a partir del grupo tratado con el modulador.

VII. RECOMENDACIONES

La transmisión del conocimiento sobre el bienestar animal al personal que trabaja directamente con ellos es primordial, destacando los beneficios que esto conlleva en la calidad de la carne, y demostrando que el manejo adecuado y con paciencia de los animales, puede ser menos estresante, tanto para los animales como para los trabajadores.

Es recomendable implementar objetos que no causen la presencia de hematomas o lesiones en la canal. Disminuyendo el uso de palos y picana eléctrica.

Tener cuidado durante el transporte, en puntos como la velocidad y densidad de carga, ya que esto puede disminuir las lesiones, y el estrés que representa el viaje para los animales.

Es ampliamente recomendable considerar contar con personal que se encargue sólo de un punto del sacrificio, de ser necesario, se puede capacitar a personal exclusivo para cubrir en caso de ausencia, evitando que un solo trabajador desarrolle dos acciones, o que alguien que no sepa realizar el trabajo adecuadamente lo cual pueda afectar la calidad final del producto.

Se recomienda poner atención a las instalaciones de la planta de sacrificio, y si se incluyen nuevos equipos, capacitar de manera adecuada al personal.

Para evitar problemas de calidad, se debe poner atención y monitorear la temperatura de las cámaras de enfriamiento, así como la ventilación y aspersión de agua dentro de éstas.

Una correcta comunicación y orden en la entrada, salida y transporte de las canales, evitará mermas posteriores, o atrasos en la producción.

En caso de realizar posteriores estudios se recomienda lo siguiente:

Probar con varias concentraciones de modulador en la formulación del alimento.

Comparar el efecto entre bovinos de diferentes encastes.

Considerar un mayor monitoreo a lo largo del periodo de almacenamiento de la carne.

En la evaluación de parámetros sanguíneos (de ser posible realizar este único estudio) con un grupo mayor de animales, ya que estos parámetros presentan valores muy dispersos al tratarse de seres vivos cuyas condiciones fisiológicas y biológicas presentan diferencias.

Continuar realizando investigación para establecer el efecto que presenta el modulador sobre la terneza de la carne en lo relacionado con la cantidad de colágeno soluble y la actividad enzimática endógena del músculo.

VIII. REFERENCIAS

- Acevedo-Salinas, M. (2004). Evaluación de los atributos principales de calidad de la carne de res de origen local e importada, según se ofrece al consumidor. Tesis de maestría en ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad de Puerto Rico recinto universitario de Mayagüez.
- Alberti, P., Ripoll, G., Casasús, I., Blanco, M., Chapullé, J.L.G. y Santamaría, J. (2005). Efecto de la inclusión de antioxidantes en dietas de acabado sobre la calidad de la carne de terneros. *Información Técnica Economía Agraria*.101 2): 91-100.
- Allen, V.G., Fontenot; J.P., Kelley, R.F. y Notter, D.R. (1996). Forage systems for beef production from conception to slaughter III. Finishing systems. *Journal of Animal Science*, 74: 625-638.
- AMSA. (1995). Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. Chicago, IL. American Meat Science Associations and National Livestock and Meat Board.
- Amtmann, V.A., Gallo, C., VanSchalk, G. y Tadich, N. (2006). Relaciones entre el manejo antemortem, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. *Archivos Médicos de Veterinaria*, 38 (3): 259-264.
- Aranis-Fuentes A.G. (2003). Efecto de dos densidades de carga sobre indicadores sanguíneos de estrés, en novillos transportados por tres horas vía terrestre. Tesis de Licenciatura. Universidad austral de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias.
- Ávila-Espinosa, E.A. (2012). Evaluación del bienestar animal durante el sacrificio de bovinos y su relación con la calidad de las canales producidas en una planta TIF de Hermosillo, Sonora. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de Yucatán.

- Bavera, G.A., Bocco, O.A. y Beguet, H.A. (2002). Producción bovina de carne. Equivalencias ganaderas. 382 p. Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Berg, R. y Butterfield, R. (1976). New concepts of cattle growth. Sydney University Press Australia.
- Bergman, M. y Loxley, R. (1963). Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hidroxiprolina. *Analytical Chemistry*, 35(12): 1961-965.
- Bianchi, G, Garibotto, G., Franco, J., Ballesteros, F., Feed, O., Betancur, O. (2008). Calidad de carne ovina: Impacto de decisiones tomadas a lo largo de la cadena. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 20-48.
- Boles, J.A. y Pegg, R. (2011). Color de la Carne. Universidad del estado de Montana y Saskatchewan Food Product Innovation Program. Mundo lateo y cárnico. Enero-febrero.
- Bonnet, M. y Kopp, J. (1986). Dosage du collagene dans les tissues conjonctifs de la viande et les produits cernés. *Viandes Prod. Carnés*, 7(6): 263-26.
- Braña, D., Vélez, A., Espinosa, J.A., López, G.M., Pérez, M.M., Jolalpa, J.L., Martínez, G. y Esparza, A.L. (2012). Calidad en puntos de venta de carne. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y mejoramiento animal. INIFAP. Folleto técnico número 22.
- Céspedes, T.C. y Sánchez, D.S. (2000). Algunos aspectos sobre el estrés oxidativo, el estado antioxidante y la terapia de suplementación. *Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular*. 14(1): 55-60.
- Coppo, J.A., Maccio, O.A., Scorza, S.H. y Coppo, N.B. (1993). Desordenes metabólicos en bovinos suplementados con semilla entera de algodón. *Archivos de Zootecnia*. 42 (159): 301-303.
- Culler, R.D., Smith, G.C., y Cross, H.R. (1978). Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. *Journal of Food Science*, 43(4): 1177-1180.
- D'Alessandro, A., Rinalducci, S., Marrocco, C., Zolla, V., Napolitano, F., y Zolla, L. (2012). Love me tender: An Omics window on the bovine meat tenderness network. *Journal of Proteomics*, 75(14): 4360-4380.
- Damez, J.L. y Clerjon, S. (2008). Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure. *Meat Science*, 80: 132-149.

- De la Rosa, M. A. (2009). Efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre las características de calidad de la carne de bovino de dos productores de Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Vida. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de los Lagos.
- Depetris, J. (2000). Calidad de la carne vacuna. Sitio Argentino de Producción – Animal. www.produccion-animal.com.ar
- Díaz-Chirón, M.T.D. (2001). Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos: correlaciones y ecuaciones de predicción. Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid, España.
- Dow, D.L., Wiegand, B.R., Eilersieck, M.R. y Lorenzen, C.L. (2011). Prediction of fat percentage within marbling score on beef longissimus muscle using three different fat determination methods. *Journal of Animal Science*, 89: 1173-1179.
- Duckett, S.K., Wagner, D.C., Yates, L.D., Dolezal, H.G., May, S.G. (1993). Effects of time on feed on beef nutrient composition. *Journal of Animal Science*, 71: 2079-2088.
- Eldridge, G. y Winfield, C. (1988). The behaviour and bruising of cattle during transport at different space allowances. *Animal Production Science*, 28(6): 695-698.
- Ferguson, D. y Warner, R. (2008). Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*, 80(1): 12-19.
- Fluharty, F.L., Relling, A.E., Zerby, H.N., Kuber, P.F. y Miller, M.L. (2009). Ganado vacuno terminado en sistemas pastoriles: Nutrición, crecimiento, Características de la Carcasa, Clasificación y Palatabilidad. <https://smallfarminstitute.file.wordpress.com/2009/09/seccion-6-ganado-vacuno-terminado-en-sistemas-pastoriles.pdf>
- Forrest, J.C., Aberle, E.D., Hedrick, H.D., Judge, M.D. y Merkel, R.A. (1979). *Fundamentos de ciencia de la carne*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Franco, J.; Feed, O.; Bianchi, G.; Garibotto, G.; Ballesteros, F.; Nan, F.; Percovich, M.; Piriz, M. y Bentancur, O. (2008) Parámetros de calidad de carne en cinco músculos de novillos Holando durante la maduración post-mortem. *Agrociencia*, 7 (1): 61-68.
- Gallo, C. y Tadich, N. (2005) Transporte terrestre de bovino: efecto sobre el bienestar animal y la calidad de la carne. ISSN 0716-1689. *Revista de Agrociencia*, 21(2): 37-49.

- Gallo, C. y Tadich, N. (2008). Bienestar animal y calidad de carne durante los manejos previos al faenamiento en bovinos. Revista electrónica de Veterinaria (REDVET), 9 (10B).
- Gallo, C., Pérez, S., Sanhueza, C. y Gasic, J. (2000). Efectos del tiempo de transporte de novillos previo al faenamiento sobre el comportamiento, las pérdidas de peso y algunas características de la canal. Chile. *Arch. Med. Vet.* 32(2):157-170.
- Gasque-Gómez, R. (2008). Enciclopedia Bovina. México DF. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Ciudad Universitaria México. 437 pp.
- Gil, M., Serra, X., Gispert, M., Olivier, M.A., Sañudo, C., Panea, B., Olleta, J.L., Campo, M., Olivan, M., Osoro, K., García-Cachan, M.D., Cruz-Sagredo, R., Izquierdo, M., Espejo, M., Martín, M., Piedrafita, J. (2001). The effect of breed production system on the myosin heavy chain, the biochemical characteristics and the color variables of *Longissimus thoracis* from seven Spanish beef cattle breeds. *Meat Science*, 58: 181-188.
- Gómez-González, B. y Escobar, A. (2006). Estrés y sistema inmune. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 7(1): 30-8.
- Grandin, T. (1997). Assessment of stress during handling and. *Journal of Animal Science*, 75: 249-257.
- Grandin, T. (1998). Buenas prácticas de manejo para el arreo e insensibilización de animales. *Informativo sobre carne y productos cárnicos*, (22): 124-136.
- Gregory, N.G. (1998). *Animal welfare and meat science*. CABI Publishing – a division of CAB international. New York, NY 10016.
- Guerrero, A., Albertí, P., Sañudo, C., Campo, M.M., Olleta, J.L., Panea, B., Ripoll, G., Monge, P. y Santolaria, P. (2011). Efecto del sistema de producción previo al cebo sobre la calidad instrumental de la carne de vacuno. *XIV Jornadas Sobre Producción Animal*, (2): 661-663.
- Hernández-Bautista, J. y Ríos-Rincón, F.G. (2009). Efecto de los grupos raciales bovinos en las características de la calidad de la carne, *Nacameh*, 3(1):1-20.
- Hoffman, L.C., y Lühl, J. (2012). Causes of cattle bruising during handling and transport in Namibia. *Meat Science*, 92 (2): 115-124.
- Honikel, K.O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49: 447-457.

- Hopkins, D.L. (1994). Predicting the weight of lean meat in lamb carcasses and the suitability of this characteristic as a basis for valuing carcasses. *Meat Science*, 38: 235-241.
- Huerta-Leidenz, N: y Morón-Fuenmayor, O. (1996). Variación de características en pie y en canal de bovinos en Venezuela y su relación con el rendimiento de cortes valiosos. *Revista Científica FCV-LUZ*, 6(1): 53-57.
- Huff-Lonergan, E. y Lonergan, S.M. (2005) Mechanisms of water – holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71: 194-204.
- Huff-Lonergan, E., Zhang, W. y Lonergan, S.M. (2010). Biochemistry of postmortem muscle - lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*, 86: 185-195.
- Hwang, I.H., Park, B.Y., Cho, S.H. y Lee, J.M. (2004). Effect of muscle shortening and proteolysis on Warner-Bratzler shear force in beef longissimus and semitendinosus. *Meat Science*, 68: 497-505.
- Iñiguez, A.F. (2006). Efecto del período de espera, previo a la refrigeración de la canal de res, sobre sus características *postmortem*. Tesis de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Lawrie, R.A. (1998). Glucólisis *posmortem*. En: *Ciencia de la Carne*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España. Pp 77-79.
- Lawrie, R.A. (1991). *Meat science*. 5ª Edición. Pergamon Press, Oxford, UK.
- Mach, N., Bach, A., Velarde, A. y Devant, M. (2008). Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Science*, 78: 232-238.
- Mader. T.L y Davis, M.S. (2004). Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: Feed and water intake. *Journal of Animal Science*, 82: 3077-3087.
- Mamani-Linares, L.W y Gallo, C. (2011). Composición química y calidad instrumental de carne de bovino, llama (*Lama glama*) y caballo bajo un sistema de crianza extensiva. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 22(4): 301-311.
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J. y Culebras, J.M. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*, 17(6): 271-278.

- Mas-Soler, A., Sanes, J.M., Reyes, J.A., Cerón, J.J., Pallares, F.J. y Seva J.I. (2010). Influencia de diferentes situaciones de estrés en la actividad enzimática muscular en bovino de lidia (*Bos taurus*). *Anales de Veterinaria de Murcia*, 26: 33-41.
- McKenna D.R., Mies P.D., Baird B.E., Pfeiffer K.D., Ellebracht J.W. y Savell J.W. (2005). Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Science*, 70: 665-682.
- Minka, N.S. y Ayo, J.O. (2007). Effects of loading behaviour and road transport stress on traumatic injuries in cattle transported by road during the hot-dry season. *Livestock Science*, 107: 91-95.
- Miranda-de la Lama, G.C. (2013). Transporte y logística pre-sacrificio: principios y tendencias en bienestar animal y su relación con la calidad de la carne. *Veterinaria México*, 44 (1): 31-56.
- Miranda-de la Lama, G.C., Villarroel, M., Olleta, J.L., Alierta, S., Sañudo, C., y Maria, G.A. (2009). Effect of the pre-slaughter logistic chain on meat quality of lambs. *Meat Science*, 83(4): 604-609.
- Monsón, F., Sañudo, C., y Sierra, I. (2004). Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Science*, 68(4): 595-602.
- Montgomery, J.L., Krehbiel, C.R., Cranston, J.J., Yates, D.A., Hutcheson, J.P., Nichols, W.T. y Montgomery, T.H. (2009). Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 87(4): 1374-1383.
- NMX-FF-078-SCFI- (2002). Norma Oficial Mexicana. NMX-FF-078-2002. Productos pecuarios. Carne de bovino en canal. 2002.
- NOM-008-ZOO-1994. Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales para abasto y los dedicados a la industrialización de productos y subproductos de origen animal, acuícolas y pesqueros, 2004.
- NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres, secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural. Pesca y alimentación, México, D.F. 1995.
- Pearson, A.M. y Dutson, T.R. (1994). Quality attributes and their measurements in meat, poultry and fish products, 1st edition. Blackie Academic & Profesional, New York.

- Pérez-Juan, M., Vitale, M., Lloret, E., Arnau, J., y Realini, C. (2011). Efecto de la maduración en la vida útil de la carne de vacuno envasada en atmósfera modificada. *Eurocarne*, 198: 74-78.
- Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F. y Barrera-Serrano, A. (2008). Factores de manejo asociados a carne DFD en bovinos en clima desértico. *Archivos de Zootecnia*, 57 (220): 545-547.
- Raes, K.A., Balcaen, P., Dirinck, A., De Winne, E., Claeysa, D., Demeyera, S. de Smieta. 2003. Meat quality, fatty acids composition and flavour analysis in Belgian retail beef. *Meat Science*, 65: 1237-1246.
- Riley, D.G., Chase, C.C., Pringle, T.D, West, R.L., Johnson, D.D., Olson, T.A., Hammond, A.C. y Coleman, S.W. (2003). Effect of sire on μ - and m-calpain activity and rate of tenderization as indicated by myofibril fragmentation indices of steak from Brahman cattle. *Journal of Animal Science*, 81: 2440-2447.
- Ríos-Rincón, F.G. y Acosta-Sánchez, D.C. 2008. Sacrificio humanitario de ganado bovino e inocuidad de la carne. *Nacameh*, 2(2): 106-123.
- Ripoll García, G., Panea Doblado, B., y Albertí Lasalle, P. (2012). Apreciación visual de la carne bovina y su relación con el espacio de color CIE Lab. *Información Técnica Económica*, 108 (2): 222-232.
- Romero, M.H., Uribe-Velásquez, L.F. y Sánchez, J.A. (2013). Indicadores conductuales y signos de sensibilidad usados para evaluar el bienestar animal durante el sacrificio de bovinos. *Veterinaria y Zootecnia*, 7(2): 8-27.
- Romero, M.H. Sánchez, J.A. y Gutiérrez, C. (2011). Evaluación de prácticas de bienestar animal durante el transporte de bovinos para sacrificio. *Revista de Salud Pública*, 13(4): 684-690.
- Romero, M.H., Uribe-Velásquez, L.F., Sánchez, J.A. y Miranda-de la Lama, G. C. 2013. Risk factors influencing bruising and high muscle pH in Colombian cattle carcasses due to transport and pre-slaughter operations. *Meat Science*, 95(2): 256-263.
- Roseiro, L.C., Santos, C. y Melo, R.S. (1994). Muscle pH, colour (L,a,b) and water-holding capacity and the influence of postmortem meat temperature. *Meat Science*, 38: 353-359.
- Rossner, M., Aguilar, N. y Koscinezuk, P. (2010). Bienestar animal aplicado a la producción bovina. *Revista Veterinaria*, 21(2): 151-156.

- Rubio, M.S., Braña, D., Méndez, R.D., Torrescano-Urrutia, G.R., Sánchez-Escalante, A., Pérez, C., Figueroa, F. y Delgado, E. (2013). Guía práctica para la estandarización y evaluación de las canales bovinas mexicanas. Folleto Técnico Número 23. INIFAP.
- Rubio, M.S., Delgado, E.J., Iturbe, F.A., Méndez, R.D., Cassís, L. y Rosiles, R. (2005). Composición y calidad de la carne nacional e importada en el mercado formal de México. II Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia.
- Sami, A.S., Augustini, C. y Schwarz, F.J. (2004). Effect of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls. *Meat Science*, 67: 195-201.
- Sañudo, C., Albertí, P., Campo, M.M., Olleta, J.L. y Panea, B. (1998). Calidad instrumental de la carne de bovino de siete razas españolas. *Archivos de Zootecnia*, 48: 397-402.
- Shackelford, S.D., Wheeler, T.A. y Koohmaraie, M. 1997. Tenderness classification of beef: I. Evaluation of beef Longissimus shear force at 1 or 2 days postmortem as a predictor of aged beef tenderness. *Journal Animal Science*. 75: 2417-2422.
- Sitz, B.M., Calkins, C.R., Feuz, D.M., Umberger, W.J. y Eskridge, K.M. (2006). Consumer sensory acceptance and value of wet-aged and dry-aged beef steaks. *Journal of Animal Science*, 84: 1221-1226.
- Sutton, D.S., Ellis M., Lan, Y., Mckeith, F.K. y Wilson, E.R. (1997). Influence of slaughter weight and stress gen genotype on the water-holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles. *Meat Science*, 46(2): 173-180.
- Swatland, H.J. (2003). Evaluación de la carne en la cadena de producción. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Tadich N., Gallo, C., Alvarado, M. (2000). Efecto de 36 horas de transporte terrestre con y sin descanso sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en bovinos. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 32(2): 171-183.
- Tadich, N., Gallo, C., Echeverría, R. y Van Schaik, G. (2003). Efecto del ayuno durante dos tiempos de confinamiento y de transporte terrestre sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 35(2): 171-185.
- Tansawat, R., Maughan, C.A., Ward, R.E., Martini, S. y Cornforth, D.P. (2013). Chemical characterization of pasture and grain-fed beef related to meat

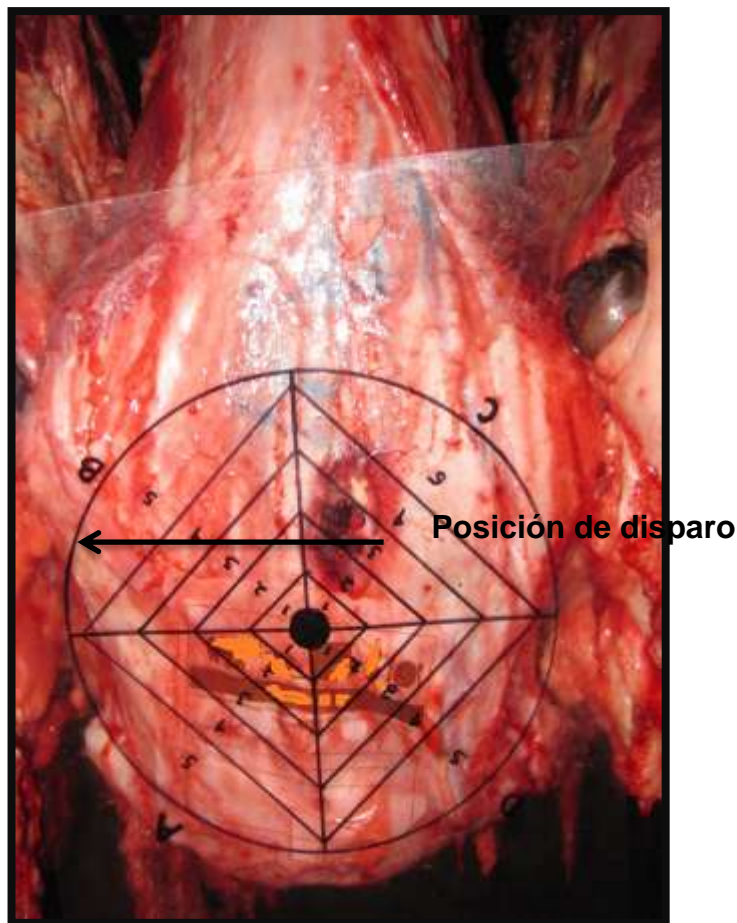
quality and flavour attributes. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(3): 484-495.

- Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*. 12(2): 57-61.
- Timm, R.R., Unruh, J.A., Dikeman, M.E., Hunt, M.C., Lawrence, T.E., Boyer Jr, J.E. y Marsden, J.L. (2003). Tenderness and Warner-Bratzler shear force of cooked steaks mechanical measures of uncooked beef longissimus muscle can predict sensory panel. *Journal of Animal Science*, 81: 1721-1727.
- Torrescano, G.R., Sánchez-Escalante, A., Vásquez, M.G., Valenzuela, M.A., Paz, R. y Pardo, D.A. (2012). Estimación de la madurez ósea en canales de bovino por fluorescencia diferencial. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(3): 299-312.
- Torrescano, U.G, Sánchez-Escalante, A., González, M.N., Camou, A.J. (2008). Tecnología e ingeniería del sacrificio y su repercusión en la calidad de la canal de animales de abasto. *Nacameh*, 2(1): 78-94.
- Torrescano, G., Sánchez-Escalante, A., Giménez, B., Roncalés, P., Beltrán, J.A. (2003). Shear values of raw samples of fourteen bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science*, 64(1): 85-91.
- Torrescano-Urrutia, G.R., Sánchez-Escalante, A., Palma-Vásquez, M.G., Paz Pellat, R., y Pardo Guzmán, D.A. (2010). Caracterización de canales y de carne de bovino de animales engordados en la zona centro de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(2): 157-168.
- Universidad de Córdoba. (2006). Incidencia de la alimentación en el engrasamiento de la canal. Departamento de Producción Animal. Documentos de trabajo. ISSN: 1698-4226 Dt 1, vol. 1.
- Vestergaard, M., Therkildsen, M. Henckel, P., Jensen, L.R., Andersen, H.R. y Sejrsen, K. (2000). Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and he relationship between muscle fibre characteristics, fibre fragmentation and meat tenderness. *Meat Science*, 54(2): 187-195.
- Viljoen, H.F., de Kock, H.L. y Webb, E.C. (2002). Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. *Meat Science*, 61: 181-185.
- Warner, R.D., Kauffman, R.G. y Russell, R.L. (1993). Quality attributes of major porcine muscle a comparison with the *Longissimus lumborum*. *Meat Science*, 33: 359.

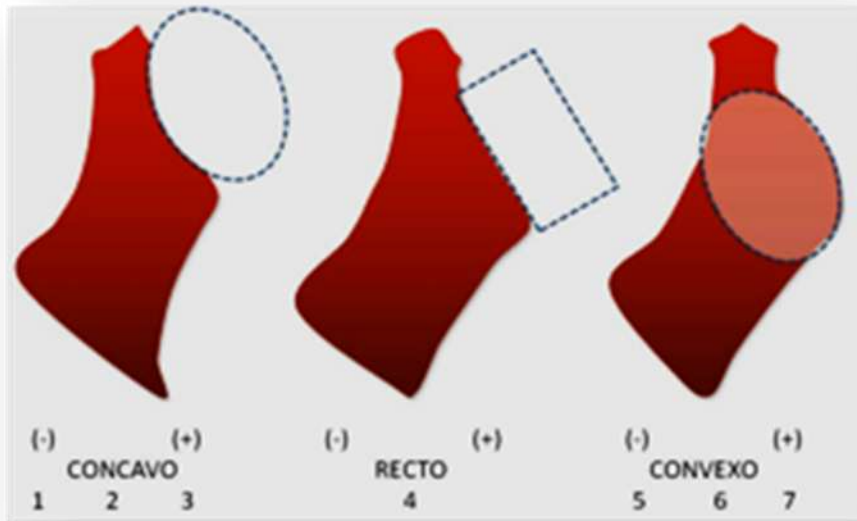
- Warriss, P.D. (2003). Ciencia de la carne. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 309 p.
- Warriss, P.D. (2004). Insensibilización y sacrificio de bovinos. Informativo sobre carne y productos cárnicos (Universidad Austral de Chile), 31: 77-79.
- Wheeler, T.L., Shackelford, S.D. y Koohmaraie, M. (2000). Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles. Journal of Animal Science, 78: 958-965.
- Wojtysiak, D. (2013). Effect of age on structural properties of intramuscular connective tissue, muscle fibre, collagen content and meat tenderness in pig *Longissimus lumborum* muscle. Folia Biologica, 61(3-4): 221-226.
- Wolfgang, R. (1994). Instrumentos de medición transportables y medidas para el control de la calidad en la fábrica. Fleischwirtsch, español. 1: 13-24.
- Wulf, D.M. y Wise, J.W. (1999). Measuring muscle color on beef carcasses using L*a*b* color space. Journal of Animal Science, 77: 2418-2427.
- Zea, J., Díaz, M. y Carballo, J. (2007). Efecto de la raza, sexo y alimentación en la calidad de la canal de vacuno. Archivos de Zootecnia, 56: 745-751.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Diana de tiro diseñada para la evaluación de la posición de tiro en las cabezas de bovino.

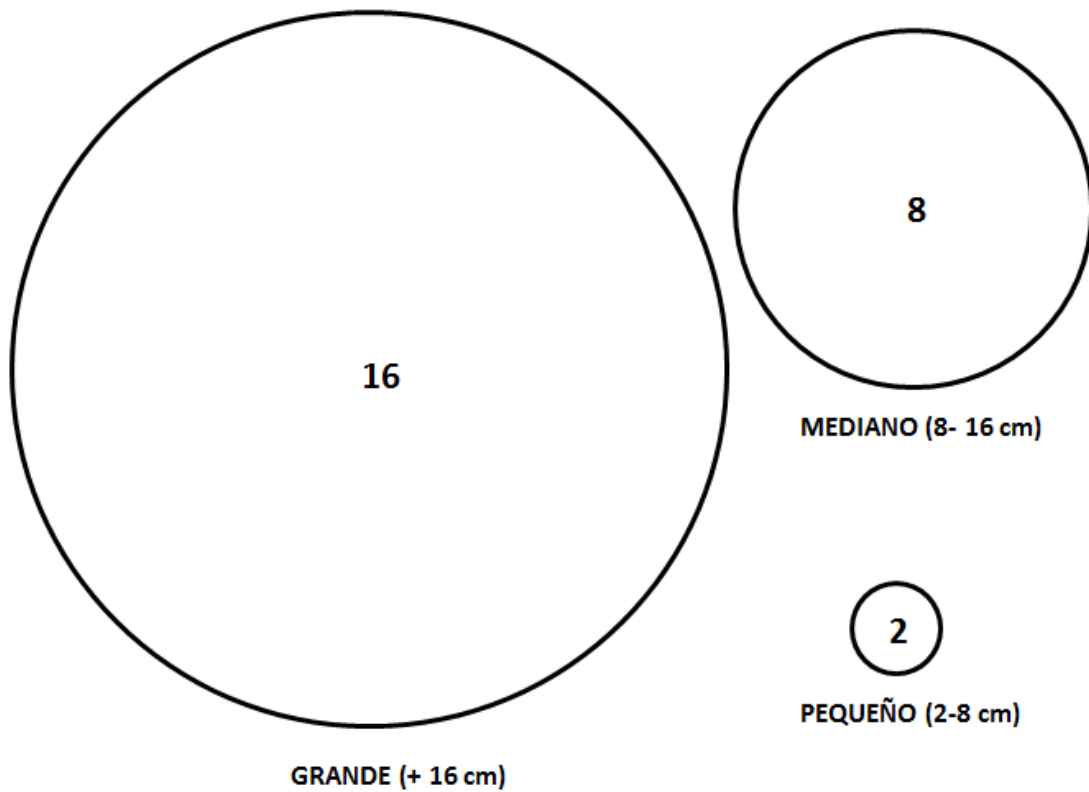


Anexo 2. Conformación del cuarto trasero de la canal bovina.



Anexo 3. Formatos de clasificación de hematomas.

1	Pequeño claro
2	Pequeño medio
3	Pequeño oscuro
4	Pequeño muy oscuro
4	Mediano claro
5	Mediano medio
6	Mediano oscuro
7	Mediano muy oscuro
7	Grande claro
8	Grande medio
9	Grande oscuro
10	Grande muy oscuro



Anexo 4. Localización de hematomas en la canal.



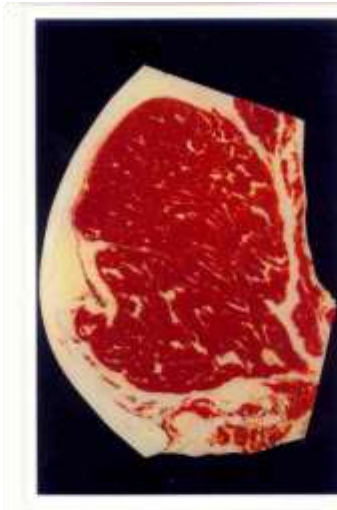
Anexo 5. Clasificación de la canal.

Degrees of Marbling	Maturity					Degrees of Marbling
	A	B	C	D	E	
Slightly Abundant	Prime					Slightly Abundant
Moderate			Commercial			Moderate
Modest	Choice					Modest
Small						Small
Slight	Select			Utility		Slightly Abundant
Traces					Cutter	Traces
Practically Devlod	Standard					Practically Devlod

Anexo 6. Grado de marmoleo



Moderadamente Abundante



Ligeramente Abundante



Moderado



Modesto



Pequeño



Ligero

Anexo 7. Experimento con Almacenamiento a 0, 7 y 14 días *postmortem*.

Durante los análisis realizados a las muestras de carne obtenidas durante la estación de otoño, se realizó el monitoreo de la calidad de la carne durante 0, 7 y 14 días. Los resultados obtenidos de muestreo se presentan en la Tabla 7.1.

En los resultados obtenidos se destaca que en la evaluación de color el valor a^* , mostró un aumento en el valor conforme transcurre el periodo de almacenamiento (Figura 7.1), presentando los valores más altos en los lotes prueba (modulador alostático), durante los días evaluados. El color deseable de la carne fresca se debe a la oximioglobina; para que este color permanezca es necesario mantener la superficie de la carne en contacto con el O_2 , y libre de contaminación microbiana, lo que evitará la formación del pigmento color marrón, denominado metamioglobina: La exposición al O_2 debe ser tal que al unirse a la mioglobina genere oximioglobina (Boles y Pegg, 2011), aunque bajo condiciones tales que eviten la formación de este pigmento indeseable en la carne fresca, ya sea por la adición de algún antioxidante o aditivo, como puede ser el modulador alostático utilizado en este estudio, o manteniendo la carne envasada al vacío.

También se observa que durante el día 7 de almacenamiento, los valores de textura (Figura 7.2) para el tratamiento prueba no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) con respecto al día 14, lo que demuestra que durante el día 7 se alcanzan los valores de dureza necesarios para que la carne se considere tierna (Shackelford et al., 1997). Dichos resultados se confirman con los obtenidos en el análisis de IFM (Figura 7.3), el cual presenta un comportamiento inverso, ya que mientras estos valores aumentan la dureza disminuye, y que al igual que los resultados obtenidos para textura, estos son

Tabla 7.1. Resultado de los análisis realizados, durante el monitoreo en días de almacenamiento 0, 7 y 14 de los parámetros evaluados.

	Tx	L*	a*	b*	C*	h*	pH	CRA	PPC	TXT	IFM	CT	CI	S
0	Prueba	41.76 ±2.10 ax	19.43 ±3.42 ax	12.51 ±2.14 ax	22.69 ±3.94 ay	34.02 ±2.96 av	55.60 ±.03 ax	92.63 ±2.26 ax	28.45 ±1.95 ax	4.91 ±0.67 aw	51.94 ±0.64 aw	.52 ±.15 ax	.35 ±.13 ax	35 ±4.5 ax
	Control	39.69 ±3.31 by	18.69 ±2.23 ax	12.21 ±2.17 ax	22.63 ±2.88 ay	31.87 ±2.26 bw	5.59 ±.05 ax	91.45 ±2.42 ax	28.00 ±1.13 ax	7.14 ±1.59 bx	46.19 ±1.53 bx	.58 ±.17 ax	.36 ±.12 ax	33 ±1.9 ax
7	Prueba	43.61 ±2.69 az	22.38 ±2.16 ay	16.10 ±1.52 ay	27.06 ±2.40 az	35.87 ±1.27 ax	5.57 ±.04 ax	91.43 ±2.29 ax	23.62 ±2.43 ay	3.61 ±0.86 ay	54.52 ±0.98 ay	.53 ±.18 ax	.36 ±.10 ax	34 ±2.7 ax
	Control	42.06 ±3.50 bx	20.6± 2.25 bw	14.78 ±1.94 bz	25.93 ±3.49 az	34.80 ±1.35 by	5.59 ±.04 ax	91.73 ±2.15 ax	22.58 ±3.56 ay	5.22 ±0.73 bwz	48.85 ±0.28 bz	.54 ±.12 ax	.35 ±.14 ax	33 ±3.2 ax
14	Prueba	44.49 ±1.94 az	24.68 ±2.20 az	17.71 ±1.69 aw	29.87 ±2.71 ax	36.37 ±1.03 ayz	5.57 ±.06 ax	89.78 ±2.26 ay	29.55 ±3.85 ax	3.42 ±0.72 ay	34.04 ±0.75 ay	.54 ±.18 ax	.38 ±.13 ax	37 ±5.2 ax
	Control	43.84 ±2.38 az	21.75 ±0.88 by	15.51 ±1.04 ay	26.89 ±1.45 bz	35.22 ±0.99 byx	5.58 ±.05 ax	89.29 ±2.10 ay	24.02 ±1.65 by	3.78 ±1.17 ay	55.10 ±0.62 ay	.51 ±.12 ax	.37 ±.19 ax	34 ±5.0 ax

Tx: Tratamiento, CRA: capacidad de retención de agua (%), PPC: pérdida de peso por cocción (%), TXT: textura (kg/f), IFM: índice de fragmentación miofibrilar, CT: colágeno total (mg de Hypro/g), CI: colágeno insoluble (mg de Hypro/g) y S: solubilidad de colágeno (%)
a,b muestran diferencias (p<0.05) entre tratamiento en el mismo día.
x,y, muestran diferencias (p<0.05) entre días.

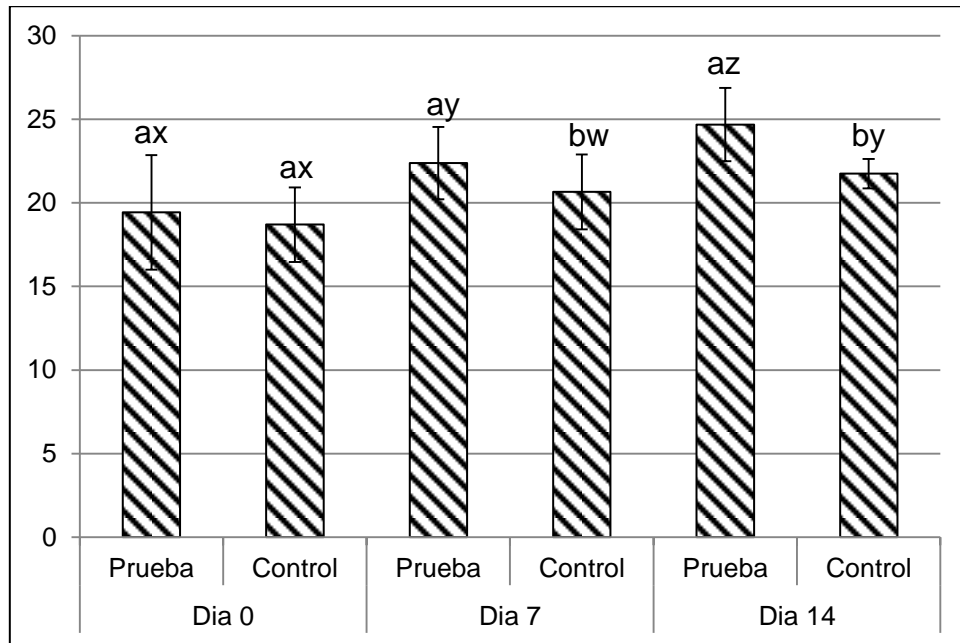


Figura 7.1. Monitoreo de valor a^* durante el almacenamiento en refrigeración de la carne envasada al vacío.

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre tratamiento en el mismo día.
 x,y, muestran diferencias ($p < 0.05$) entre días.

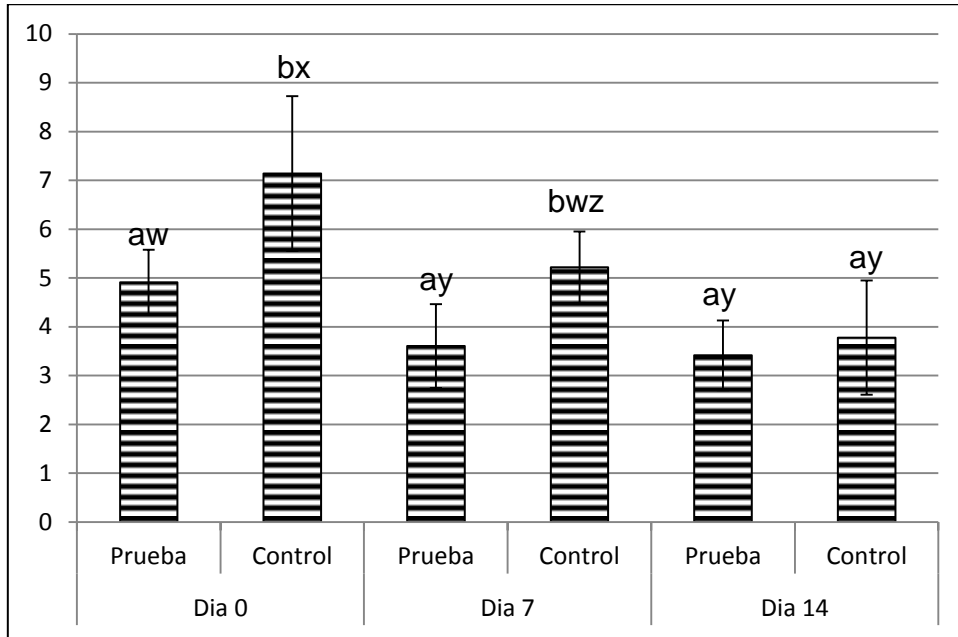


Figura 7.2. Análisis de esfuerzo al corte (WBSF, kg), durante el almacenamiento en refrigeración de la carne envasada al vacío.

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre tratamiento en el mismo día.
 x,y, muestran diferencias ($p < 0.05$) entre días.

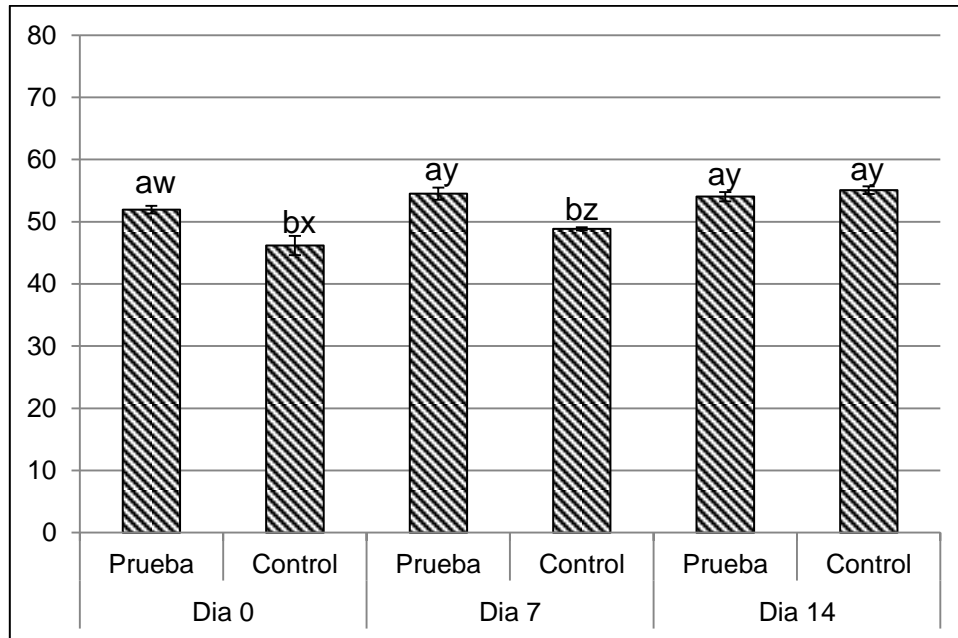


Figura 7.3. Análisis de IFM, durante el almacenamiento en refrigeración de la carne envasada al vacío.

a,b muestran diferencias ($p < 0.05$) entre tratamiento en el mismo día.
 x,y, muestran diferencias ($p < 0.05$) entre días.

iguales ($p>0.05$) en el tratamiento adicionado con el modulador alostático, para los días 7 y 14 de almacenamiento.

Franco et al. (2008) observó el efecto de la maduración en carne de novillos sobre la dureza, coincidiendo con los resultados obtenidos en este proyecto de investigación, que al aumentar los días de almacenamiento los valores de esfuerzo al corte disminuyen. Sin embargo, es notable el efecto que la utilización del modulador alostático presentó, ya que los valores que se obtienen con sólo 7 días de maduración son menores ($p<0.05$) respecto a los del grupo control.