

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE ZOOTECNIA

Efecto de la suplementación con granos de destilería de maíz secos con solubles (DDGS) en novillos en pastoreo, encastados con Brahman; sobre características de crecimiento, canal y perfil lipídico de la carne en la zona de San Carlos, Alajuela.

Keylor Jesús Aguilar Alfaro

**Tesis presentada para optar por el título en el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2019

HOJA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia.

_____ Director de tesis

M.Sc. Augusto Rojas Bourrillon.

_____ Miembro del tribunal

Lic. Carlos Campos Granados.

_____ Miembro del tribunal

M.Sc. Olger Murillo

_____ Miembro del tribunal

M.Sc. Carlos Arroyo Oquendo.

_____ Director de Escuela

M.Sc. Rodolfo WingChing Jones

_____ Sustentante

Bach. Keylor Jesús Aguilar Alfaro.

DEDICATORIA

A Dios, porque sólo él puede ser responsable de esto.

A mi madre Elena por su eterno amor y paciencia.

A mi padre José Antonio, por ser la razón de todo esfuerzo.

*A mis hermanos; Michael, Rosibel, Antonio, Juan y mi sobrino Andrés,
porque sin ellos nada tendría razón de ser.*

*A mis dos grandes amigos y quienes me empujaron a tomar este camino:
Alex Solís y Roger Duran, gracias por significar tanto en mi vida, por
apoyarme y darme el consejo en el momento justo. Que la amistad perdure
para siempre.*

*A quienes nos dejaron en el camino, pero su huella perdura eterna e
inquebrantable; Abue, Patri, Tía Haydee y Don Alexander Solís.*

*A mi colega y compañero Maikol Astua; a mi profesor, tutor y amigo Carlos
Campos y a mi amigo Oscar Leandro González Araya, por su gran ayuda y
acompañamiento en el desarrollo de este proyecto, sin ustedes esto no hubiera
sido posible.*

*A la que es como una segunda familia para mí; Greivin Monge, María José
Torres y Valentina, por el apoyo incondicional y cariño en tantos años de
amistad, gracias por significar tanto, por ser tanto y por apoyarme tanto.*

*Y a todos los que, de una u otra forma, me brindaron el empujón que me
permite estar hoy aquí.*

AGRADECIMIENTO

A mi madre, Elena Alfaro Barrantes, por luchar incansablemente por sus hijos, por su eterna confianza y amor a este servidor y por creer en mí cuando incluso yo no lo hacía.

A mi padre, José Antonio Aguilar Gamboa, por hacerme ver lo que soy.

A mis Tíos Eugenio Chacón y Jaime Aguilar por todo su apoyo, confianza y cariño brindado a lo largo de mi vida, por darme el respiro en el momento exacto, por ser ejemplos para mí y por su invaluable apoyo a lo largo de este “trajín”.

A Carlos Campos Granados por su amistad, confianza y apoyo incondicional en este proyecto, por la confianza puesta en mí y los consejos en el ámbito profesional y personal; gracias por la amistad y enseñanzas a lo largo de la carrera.

A Augusto Rojas Bourrillon por apoyarme en este proyecto y confiar en mí para su desarrollo, por todas las enseñanzas a lo largo de la carrera y su excelencia como profesor, tutor y amigo.

A Julio Rodríguez, Milton Villareal, Olger Murillo, Sergio Salazar, Arturo y “Jeffry” Huertas por la ayuda brindada durante el proyecto.

A los profesores Luis Villalobos y Rodolfo WingChing por los consejos de vida, las enseñanzas a lo largo de la carrera y sobre todo por su invaluable amistad y apoyo a mí persona.

A mis amigos y colegas de clase Maikol Astúa y Emanuel Arias por todo el apoyo a lo largo de la carrera, las palmadas y trabajos juntos, por enseñarme que la amistad vale más que un título.

A Águeda Serrano, de Asuntos estudiantiles, por su extraña forma de decir “te quiero”; por su apoyo y consejos. Gracias por evitar que la embarrara aun cuando ya era demasiado tarde.

Como solía decir Gustavo Cerati: “Gracias totales”.

ÍNDICE

HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. <i>Características y tipos de sistemas productivos.....</i>	3
2.2. <i>Situación actual de la ganadería en Costa Rica.....</i>	3
2.3. <i>Mercado nacional e internacional de la carne de res</i>	4
2.4. <i>Ganado bovino.....</i>	8
2.5. <i>Generalidades de la raza Brahman.....</i>	11
2.6. <i>Factores que afectan el crecimiento.....</i>	12
2.7. <i>Mediciones de ultrasonido.....</i>	13
2.7.1. <i>Profundidad muscular (PM).....</i>	13
2.7.2. <i>Marmoleo</i>	13
2.7.3. <i>Espesor de la grasa dorsal (EGD)</i>	14
2.7.4. <i>Grasa de la grupa (GG).....</i>	14
2.8. <i>Suplementación en sistemas de pastoreo.....</i>	14
2.9. <i>Efecto de la fibra en la salud ruminal y su relación con los lípidos de la dieta.</i>	

2.10.	<i>Granos de destilería de maíz secos con solubles (DDGS).</i>	16
2.11.	<i>Efecto del uso de DDGS en la alimentación de rumiantes.</i>	17
2.12.	<i>Composición de la carne de res.</i>	18
2.13.	<i>Lípidos: características y clasificación.</i>	21
2.14.	<i>Ácidos grasos (AG).</i>	22
2.15.	<i>Digestión de lípidos y biohidrogenación ruminal.</i>	24
2.16.	<i>Características del ácido linoleico conjugado (ALC).</i>	25
2.17.	<i>Efecto del ALC en la salud humana.</i>	27
2.18.	<i>pH de la canal.</i>	28
3.	OBJETIVOS.	31
3.1.	<i>General.</i>	31
3.2.	<i>Específicos.</i>	31
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.	32
4.1.	<i>Generalidades del sistema y ubicación del experimento.</i>	32
4.2.	<i>Animales y dietas.</i>	33
4.2.1.	<i>Características y distribución de los animales.</i>	33
4.2.2.	<i>Formulación y distribución de las dietas.</i>	35
4.2.3.	<i>Disponibilidad de agua.</i>	36
4.3.	<i>Procedimiento en finca:</i>	36
4.3.1.	<i>Alimentación, rotación de pasturas y manejo diario.</i>	36
4.3.2.	<i>Producción, composición y aprovechamiento de la pastura.</i>	38
4.3.3.	<i>Pesaje y condición corporal (CC).</i>	39
4.3.4.	<i>Mediciones de ultrasonido.</i>	39
4.3.5.	<i>Prueba de mezclado en el alimento.</i>	40
4.3.6.	<i>Control del consumo de los suplementos.</i>	41

4.4.	<i>Procedimiento en planta de sacrificio:</i>	42
4.4.1.	<i>Merma de finca a planta y rendimiento en canal.</i>	42
4.4.2.	<i>Evaluación de la canal.</i>	42
4.4.3.	<i>Edad cronológica y dentaria.</i>	44
4.4.4.	<i>Estado de vísceras.</i>	45
4.4.5.	<i>Área del ojo del lomo (AOL), espesor de grasa y marmoleo.</i>	46
4.4.6.	<i>Temperatura y pH de la canal.</i>	47
4.4.7.	<i>Color de músculo y toma de muestra.</i>	48
4.5.	<i>Perfilado de ácidos grasos y EE.</i>	49
4.6.	<i>Análisis químico y bromatológico.</i>	50
4.7.	<i>Análisis estadístico.</i>	50
4.7.1.	<i>Descripción del análisis de varianza (ANDEVA).</i>	50
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
5.1.	<i>Características nutricionales de los componentes de la dieta:</i>	51
5.1.1.	<i>Composición botánica de las pasturas.</i>	51
5.1.2.	<i>Producción de biomasa y aprovechamiento aparente de las pasturas</i>	52
5.1.3.	<i>Caracterización nutricional de las pasturas</i>	53
5.1.4.	<i>Caracterización nutricional de los suplementos utilizados en el engorde de novillos</i> 55	
5.1.5.	<i>Balance energético y proteíco, aporte nutricional y de AG para ambas dietas</i> 56	
5.2.	<i>Resultados de prueba de mezclado</i>	62
5.3.	<i>Características productivas y ultrasonográficas:</i>	62
5.3.1.	<i>Ganancia diaria de peso (GDP), condición corporal y edad.</i>	62
5.3.2.	<i>Profundidad de músculo (PM) y espesor de grasa dorsal (EGD)</i>	65

5.3.3.	<i>Grasa de la grupa (GG) y marmoleo</i>	66
5.3.4.	<i>Peso salida en finca, peso en planta y merma de finca a planta</i>	69
5.4.	<i>Características de la carne y perfilado de AG:</i>	70
5.4.1.	<i>Rendimiento en canal (RC), merma canal (MC) y pesos canal caliente y fría.</i> 70	
5.4.2.	<i>Temperatura, pH y color de la canal.</i>	72
5.4.3.	<i>Área del ojo de lomo (AOL), grosor de grasa de cobertura (GGC) y nivel de marmoleo según la guía fotográfica de la USDA</i>	74
5.4.4.	<i>Estado de vísceras (Fasciola hepática)</i>	76
5.4.5.	<i>Clasificación visual de la canal</i>	77
5.4.6.	<i>Perfil de ácidos grasos.</i>	79
5.5.	<i>Correlaciones:</i>	82
6.	CONCLUSIONES	83
7.	RECOMENDACIONES.....	84
8.	LITERATURA CITADA	85
9.	ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Titulo	Pagina
1	Principales diferencias fenotípicas de las especies bovinas; <i>Bos indicus</i> vs <i>Bos taurus</i> .	9
2	Procedencia de algunas razas bovinas de interés productivo.	11
3	Factores que afectan el crecimiento y desarrollo en animals antes y despues del nacimiento.	13
4	Características nutricionales promedio de los DDGS.	17
5	Valores promedio brindados para carnes de diferentes especies en términos de agua, proteína, grasa, energía y colesterol en gramos por cada 100g de carne.	19
6	Valores promedio de los aportes de minerales en carnes de diferentes especies.	19
7	Valores promedio de los aportes de vitaminas en carnes de diferentes especies.	20
8	Valores promedio de los aportes de ácidos grasos (AG) en carnes de diferentes especies.	21
9	Ácidos grasos poliinsaturados que son precursores de omega 3 y 6: clasificados entre esenciales y no esenciales.	23
10	Distribución de los novillos utilizados en el proyecto de engorde de acuerdo al grupo y tratamiento.	34
11	Fórmula cuali-cuantitativa de los alimentos balanceados utilizados en el experimento.	35
12	Clasificación de la edad cronológica a la evolución de la dentición bovina.	45
13	Composición botánica presente en el área empleada para la rotación de los novillos en etapa de engorde.	51
14	Resultados de 12 estimaciones de biomasa, aprovechamiento y consumos aparentes por lote y animal.	52
15	Resultados de los análisis bromatológicos realizados a diferentes pasturas presentes en el módulo de engorde.	54
16	Características nutricionales realizados al suplemento control (T2) a lo largo del experimento.	55
17	Características nutricionales del suplemento experimental (T1) con DDGS, a lo largo del experimento.	56
18	Aporte nutricional de la dieta con el suplemento experimental (T1) de acuerdo al nutriente analizado.	57
19	Aporte nutricional de la dieta con el suplemento control (T2) de acuerdo al nutriente analizado.	57
20	Balance energético de acuerdo a los promedios obtenidos de los suplementos y el valor del forraje comparado con los requerimientos del NRC 2016.	58

21	Resultados del perfilado de ácidos grasos, como porcentaje del extracto etéreo, de ambos suplementos utilizados en el proyecto y el valor promedio de los forrajes del módulo de engorde.	59
22	Aporte diario en gramos en la dieta de los principales ácidos grasos de cada una de los suplementos empleados y el valor promedio de las pasturas.	60
23	Resultados obtenidos del aporte diario del contenido de AG proveniente de cada uno de los tratamientos y la diferencia entre los mismos.	61
24	Ganancia de peso (GDP) y edad promedio de los novillos de acuerdo a su grupo y dieta (tratamiento).	64
25	Diferencia en la condición corporal (CC) entre el inicio y el final del engorde y CC final de los novillos.	65
26	Valores promedio iniciales, finales y la diferencia obtenida durante el Proyecto de las variables ultrasonográficas de profundidad de músculo (PM) y espesor de grasa dorsal (EGD), de acuerdo al tratamiento brindado.	66
27	Valores promedio iniciales, finales y la diferencia obtenida durante el proyecto, de las variables ultrasonográficas de grasa de la grupa y marmoleo, de acuerdo al tratamiento brindado.	67
28	Valores de marmoleo de acuerdo con la escala del software para ultrasonografía de la Universidad Estatal de Kansas.	68
29	Valores promedio, mínimos y máximos de las variables productivas: peso en finca, peso en planta, merma finca-planta y pérdida en kilogramos (Kg) en transporte y corral de espera.	69
30	Valores promedio, mínimos y máximos para las variables rendimiento canal, merma canal y peso canal fría y caliente.	71
31	Valores promedio, mínimo y máximo de la temperatura, pH y color del músculo longissimus dorsi a las 24 horas post-mortem.	72
32	Valores obtenidos en la planta de cosecha sobre el área de ojo del lomo (AOL) y grosor de grada de cobertura (GGC).	74
33	Detalles sobre el nivel de infección por fasciola hepática del lote de novillos utilizados en el experimento con los valores promedio de GDP y ALC.	76
34	Resultados obtenidos para las variables de clasificación de canal realizadas en la planta de cosecha.	77
35	Perfilado de ácidos grasos de los novillos del Proyecto, en términos de ácido linoleico (AL), ácido linoleico conjugado (ALC) isómeros c9 t11 y c9 c15.	80
36	Valores obtenidos del perfilado de ácidos grasos para mono insaturados (MUFAS), poliinsaturados (PUFAS) y saturados (SAGS).	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Consumo per cápita de carne de res en Costa Rica del año 2013 al 2018.	5
2	Volumen de exportaciones de carne de res para Costa Rica del 2011 a 2017.	6
3	Precio promedio del kg en canal de res, pagado al productor en los últimos cinco años, por sexo del animal en Costa Rica (para el 2019 se incluyen los valores hasta el mes de octubre).	6
4	Comportamiento mensual del precio canal, precio subasta, precio al consumidor de la carne de res y precio "Chuck" 85% del 2014 al 2016.	7
5	Balanza comercial, volumen de exportaciones e importaciones de productos cárnicos bovinos en Costa Rica.	8
6	A la izquierda grupo de animales de la raza Angus característico Bos taurus y a la derecha, grupo de animales característicos de Bos indicus.	10
7	Toro Bos indicus de la raza Brahman.	12
8	Escala fotográfica de colores para calificar el daño por calor de los DDGS.	17
9	Estructura común de los triglicéridos: glicerol unido a tres ácidos grasos (palmítico (saturado); oleico (monoinsaturado); y alfa-linolenico (poliinsaturado)).	22
10	Diferencia entre los ácidos grasos saturados e insaturados.	23
11	Digestión ruminal de los lípidos de la dieta hasta su deposición en forma de ácidos grasos en carne y leche.	24
12	Síntesis del ácido linoleico conjugado a nivel ruminal de los bovinos.	25
13	Estructura del ácido linoleico y de los isómeros cis-9 trans-11 y trans-10 cis-12 del ALC.	26
14	Proceso de biohidrogenación del ácido linoleico normal y su respectiva ruta alterada causante del síndrome de baja grasa en leche.	27
15	Relación del pH con el color en la carne de res.	30
16	Módulo de engorde del PPA del Tecnológico de Costa Rica con sus respectivos canales de agua demarcados de color azul, ubicado en la Vega de San Carlos.	32
17	Canales que cruzan el módulo de engorde y batería de alimentación central.	33
18	Novillos del grupo A (Izquierda) y B (Derecha) mientras son alimentados en la batería central del módulo de engorde.	34
19	Novillos del grupo A (Izquierda) y B (Derecha) utilizados en el proyecto de engorde con sus respectivos aretes.	35
20	Aparto recién pastoreado con cepas de guinea no consumidas por el animal (derecha) y apartado de guinea recién chapeado al frente y al fondo uno sin chapear que muestra la altura del forraje (izquierda).	36
21	Nuevo sistema de rotación empleado durante el proyecto de engorde de los novillos (en rojo se ubican los apartos no utilizados).	37

22	Determinación de disponibilidad forrajera diaria mediante dos técnicas.	38
23	Equipo y toma de mediciones ultrasonográficas realizadas en el proyecto al inicio y final de la fase de engorde.	39
24	Regiones utilizadas en la evaluación de las características de canal mediante la técnica de ultrasonido.	40
25	Mezcladora horizontal utilizada en la elaboración de los alimentos balanceados del grupo de novillos del proyecto.	41
26	Suplementos utilizados en el engorde de novillos del proyecto: izquierda suplemento control (T2) y derecho suplemento a base de DDGS (T1).	41
27	Puntos a evaluar en una canal bovina.	43
28	Ejemplos de las cuatro clasificaciones de canal de acuerdo a la profundidad de músculo.	43
29	Ejemplos de las tres clasificaciones de acuerdo al grado de cobertura de grasa de la canal.	44
30	Ejemplos de las tres clasificaciones de acuerdo al color de la grasa de cobertura de grasa de la canal.	44
31	Cronología de los dientes en bovinos.	45
32	Estado de uno de los hígados de un novillo del proyecto infestado con fasciola hepática a la entrada del hígado.	46
33	Corte transversal del músculo Longissimus dorsi lumbarum en media canal y determinación de AOL con la plantilla oficial del USDA.	46
34	Medición del espesor de grasa de cobertura y determinación del nivel de marmoleo presente, en el músculo Longissimus dorsi lumbarum.	47
35	Punta de acero inoxidable, calibración y método de utilización del pH-metro para la medición de pH y temperatura a las 24 horas post mortem.	47
36	Calibración y uso del espectrofotómetro para determinar el color del músculo a las 24 horas post-mortem.	48
37	Muestra del músculo Longissimus dorsi lumbarum empacada al vacío para su posterior transporte al CINA.	49
38	Preparación de las muestras para su posterior extracción de grasa.	49
39	Comportamiento de las ganancias de peso promedios a lo largo del proceso de engorde.	63
40	Propuesta visual de evaluación del color de la carne.	74
41	"Nivel Slight" (Derecha) y "Small" (izquierda) de marmoleo de acuerdo a la plantilla del USDA, comparados con una de las canales del proyecto.	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Título	Página
1	Guía para la clasificación de la condición (CC) corporal de los bovinos de carne de acuerdo a la escala americana.	101
2	Rotación propuesta para el proyecto mediante el uso de un sistema de pastoreo en franjas.	102
3	Valores de calificación de las canales de acuerdo a los valores brindados por la planta de cosecha de la Cooperativa Montecillos.	103

RESUMEN

Se cuantificó el rendimiento productivo, la calidad de la canal mediante la técnica de ultrasonido y el perfil de ácidos grasos de la carne en un conjunto de novillos encastados con Brahman, en un sistema de pastoreo rotacional, en el trópico húmedo de Costa Rica, mediante la suplementación diaria, durante 114 días de finalización; de dos suplementos nutricionales, el tratamiento 1 (T1) con un suplemento basado en granos de destilería de maíz secos con solubles (DDGS) como fuente alta en AG insaturados y el tratamiento 2 (T2) con uno de uso comercial en el país, esto hasta alcanzar un peso promedio de 503,81 kg. Durante el sacrificio se revisó el estado de vísceras, principalmente del hígado, con el fin de determinar el estado parasitario de los animales; también se registró el peso del animal en planta para determinar la merma de transporte, la cual fue de 7,57 % y 7,49 %, con pérdidas alrededor de los 38kg, con rendimientos en canal con promedios de 57,30 % y 57,44 % y la merma canal de 1,98 y 1,95 %, para los tratamientos 1 y 2, respectivamente. A las 24 horas post-mortem se determinó el área del ojo de lomo (AOL) obteniendo medias de 68,35 cm² y 73,59 cm²; temperatura con valores 3,39 °C y 3,67 °C; pH con medias de 5,73 y 5,69; color, altura de giba y grosor de grasa de cobertura, además se calificaron de acuerdo a la guía fotográfica brindada por CORFOGA y se calificó el nivel de marmoleo de acuerdo a la guía fotográfica del USDA y se extrajo una muestra del músculo *longissimos dorsi* de cada canal para su posterior perfilado de ácidos grasos (AG) en el laboratorio de química del Centro de investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica. En general el tratamiento empleado (T1) no tuvo diferencia significativa en las características productivas, ultrasonográficas ni de clasificación ($p>0,05$). Sin embargo; si se encontraron diferencias significativas en términos de perfil de AG, más específicamente en la concentración de ácido linoleico conjugado (ALC) isómero cis-9 trans-11, con 0,58 g/100g de carne en promedio para el tratamiento base de DDGS versus 0,04 g/100g para el control.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Woods y Fearon (2009) se estima que en los próximos veinte años habrá un aumento en el consumo de la carne de res, de forma lineal respecto al incremento de la población mundial. Además, la OMS (2003) cataloga la carne como uno de los productos que aporta la mayor parte de los nutrientes necesarios para el ser humano en su dieta diaria, al ser una fuente de proteína de alto valor biológico y de micronutrientes esenciales, como minerales y vitaminas. El valor nutricional y demás características propias de la carne se utilizan para determinar la calidad de la misma.

Entre las características de calidad se pueden mencionar las de apariencia visual como: el color de la carne y la grasa subcutánea, firmeza, textura, marmoleo y la cantidad de exudados. Además de las características en términos comestibles como la jugosidad, ternura, aroma y sabor (Teira et al. 2006). También es importante considerar el precio, tamaño de la porción y el valor nutricional entre las principales características analizadas por el consumidor para determinar la calidad de la carne. Por otro lado, Raes y Balcaen (2003) resaltan la importancia de analizar las diferencias en la calidad de la carne, en términos del consumidor con respecto a los aspectos mencionados, ya que cada vez más, éste demanda productos con parámetros de calidad más elevados, especialmente en términos de inocuidad y sus efectos positivos en la salud.

Desde el 2011, el consumo per cápita anual en Costa Rica ha venido decreciendo, cuando el promedio de consumo era de 18,58 kg por año, mientras que para el 2018 el dato descendió hasta 14,27 kg (CORFOGA 2019). Entre los factores que se asocian a esta caída del consumo están las campañas negativas respecto al consumo de carne y su relación con enfermedades crónicas y con algunos tipos de cáncer. Esto ha generado interés por corroborar el efecto de la carne en la salud humana, hasta que en 1987 un grupo de investigadores en su intento por detectar sustancias cancerígenas en la carne descubrieron el ácido linoleico conjugado (ALC).

El acrónimo de ALC se refiere a un grupo heterogéneo de isómeros de posición y geométricos del ácido linoleico (C18:2 n-6), en los cuales los dobles enlaces se encuentran conjugados (Alfaia et al. 2007). Estos isómeros se encuentran de manera natural en los productos derivados de rumiantes, ya que son compuestos intermedios formados durante la

lipólisis y biohidrogenación del ácido linoleico en el rumen (Teira et al. 2006). De los ácidos grasos conjugados (ALC) que existen de manera natural en la carne proveniente de rumiantes (Moreno et al. 2007), el isómero que predomina es el C18:2 cis-9, trans-11 (C18:2c9T11), para el cual existe evidencia científica de sus efectos benéficos en la salud humana (Muchenje et al. 2009).

Pero desde hace muchos años también se discrimina la carne de res debido al supuesto alto contenido de grasa total, grasas saturadas, colesterol, ácidos grasos trans y otros que contribuyen con la aparición de enfermedades crónicas. Sin embargo, de acuerdo con Rearte (2002); Hocquette y Gigli (2003) y Kraft et al. (2008), la composición de la grasa en los productos de origen animal varía considerablemente dependiendo del sistema de producción empleado y de la estrategia de alimentación.

Dichas estrategias incluyen: el aporte de lípidos en la dieta (con un máximo de 6 a 8% del consumo de materia seca [CMS]); ya que una de las principales limitantes en la digestibilidad de la grasa es el nivel de consumo (Plascencia et al. 2005; Sutton 1989); además la calidad de la grasa va a jugar un papel fundamental, ya que fuentes altas en ácidos grasos libres (AGL) suelen ser menos digestibles e inhiben la tasa de biohidrogenación ruminal (Noble et al. 1974; Czerkawski 1973). Por otro lado, la proporción de ácidos grasos saturados e insaturados presentes en la dieta son muy importantes para la calidad de la misma, dado que los insaturados son más digestibles e inhiben las bacterias ruminales, principalmente celulolíticas, aumentando la cantidad de estos ácidos que llega a nivel intestinal (Henderson 1973; Maczulak et al. 1981). Por último, la relación forraje:concentrado es otra de las estrategias de gran relevancia en la deposición de grasa, debido a que niveles menores del 50% de forraje en la dieta causan depresión en la grasa láctea (Thomas y Martin 1988).

Al analizar la situación actual del mercado de la carne en Costa Rica, así como los factores que determinan la calidad de la misma por parte del consumidor, surge la importancia de la elaboración de este proyecto, el cual radica principalmente en el hecho de que el ALC tiene efectos positivos sobre la salud del ser humano actuando como anti-cancerígeno, anti-arteriosclerótico, anti-diabético, entre otras. Además, es importante para el sector ganadero e industrial generar datos e investigación sobre la posibilidad de darle valor agregado a la carne para competir en el mercado.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características y tipos de sistemas productivos

La ganadería de carne es denominada como el sistema comercial de producción que incluye la crianza, reproducción y/o engorde de bovinos para consumo humano. La misma puede desarrollarse en tres tipos de sistemas de producción los cuales van a variar dependiendo de la intensidad del manejo y el nivel de tecnología aplicado, afectando de manera directa el nivel de producción y los costos productivos (OIE 2017):

- **Intensivo:** En estos sistemas los animales se encuentran completamente confinados en un área determinada y dependen por completo del hombre para cubrir necesidades básicas como alimentación, refugio y agua.
- **Extensivo:** Son sistemas en que el ganado tiene la libertad de desplazarse libremente al aire libre con cierta autonomía en la selección del alimento mediante el pastoreo, razón por la que según Bellido et al. (2001) se buscan especies adaptadas a las diferentes zonas, capaces de aprovechar eficazmente los recursos naturales, el consumo de agua y el refugio.
- **Semi-intensivo:** En sistemas los semi-intensivos en que el ganado está sometido en cierto grado a cualquier combinación de métodos productivos entre intensivo y extensivo, de forma simultánea o alterna, de acuerdo a las condiciones climáticas o fisiológicas del ganado.

El sistema de producción extensivo es el comúnmente encontrado en Costa Rica (Martínez 2009). Se caracteriza por animales con autonomía de selección de su alimento, refugio y agua, ya que se manejan en un ambiente libre y con decisión propia de desplazamiento (OIE 2017). Usualmente son sistemas con bajo número de animales por hectárea, baja producción por animal y por hectárea, alimentación basada en grandes extensiones de pastoreo y la suplementación con subproductos agrícolas. Por esta serie de propiedades, poseen una rentabilidad baja pero también pueden tener una relación positiva con el ambiente y la conservación si es manejado adecuadamente (Bellido et al. 2001).

2.2. Situación actual de la ganadería en Costa Rica

De acuerdo con los datos preliminares del Banco Central de Costa Rica (BCCR), el producto interno bruto (PIB) para el 2018 fue ₡34 691 057 millones de colones, con una variación del 5,1%, respecto al año anterior. El sector agropecuario tuvo un aporte de de ₡1

589 163 millones (4,7%) del PIB, mientras que el aporte de la cría de ganado vacuno, para el 2018 fue de un 18,3% del valor agregado para el sector agropecuario, cerca de ₡290 991,3 millones (SEPSA 2019).

El 47,1% del territorio nacional (2.406.418,4 ha) se dedica a la producción agropecuaria, distribuido entre 93.017 sistemas de producción de los cuales un 39,96% (37.171) tiene alguna relación con la actividad ganadera y un 28,47% (26.489) de las fincas totales tiene como actividad principal la producción de ganado vacuno, demostrando que la ganadería es la principal actividad pecuaria del país, con fincas de tamaño promedio de 25,87 ha. Además, es importante detallar que del territorio dedicado a la producción agropecuaria, un 43% se encuentra cultivado con pasturas, lo que refleja que los sistemas en pastoreo son los predominantes en nuestro país (INEC 2017; Rojas 2017).

El hato nacional es de 1.497.551 cabezas de ganado, del cual aproximadamente 30,96% son machos y 69,04% hembras, distribuidas en cerca de 37.171 fincas, para un promedio de 34,4 cabezas de ganado por finca. Las fincas están distribuidas a lo largo del país, siendo San Carlos y Pérez Zeledón los cantones con más sistemas de producción, con alrededor de 8.059 y 5.093, respectivamente (INEC 2017; Rojas 2017).

El sistema productivo que predomina en el país es la producción de carne, con aproximadamente el 52,29% del hato nacional dedicado a la cría y engorde de ganado. Los sistemas doble propósito representan un 31,33%, la producción lechera un 16,36% y los bovinos de trabajo con un 0,02% (Rojas 2017; INEC 2017).

2.3. Mercado nacional e internacional de la carne de res

Se estima que el consumo de carne vacuna va a aumentar de manera gradual durante los próximos 10 años, ya que para el 2026 se espera que en los países desarrollados el consumo aumente en un 6% y un 17% en las regiones en desarrollo, para un consumo esperado de 6,7 kg per cápita en el 2025 (OCDE/FAO 2017; FIRA 2017).

En el año 2016 la producción mundial de la carne de res fue de 60,5 millones de toneladas con una tasa de crecimiento anual de 0,3% desde el 2007; siendo Estados Unidos (EUA), Brasil y China los mayores productores (FIRA 2017).

En el año 2017 el consumo promedio per cápita, a nivel mundial, fue de 6,5 kg con una considerable tendencia a decrecer desde el 2007 con una tasa promedio del 0,6%; esto se

debe a una menor inversión en el sector ganadero y reducción en el inventario por parte de algunos países, además de un incremento en el consumo per cápita a nivel mundial, de otras carnes: cerdo (12,4 Kg) y pollo (13,8 Kg). Donde los países con mayor consumo per cápita son Uruguay, Argentina, Paraguay y Estados Unidos (FIRA 2017).

Para el año 2016, el consumo per cápita de carne de res en Costa Rica fue de 14,03 Kg, el cual ha venido decreciendo desde el 2011 de manera lineal cada año, comportamiento similar al que enfrenta con el consumo a nivel mundial (Figura 1) (CORFOGA 2019).

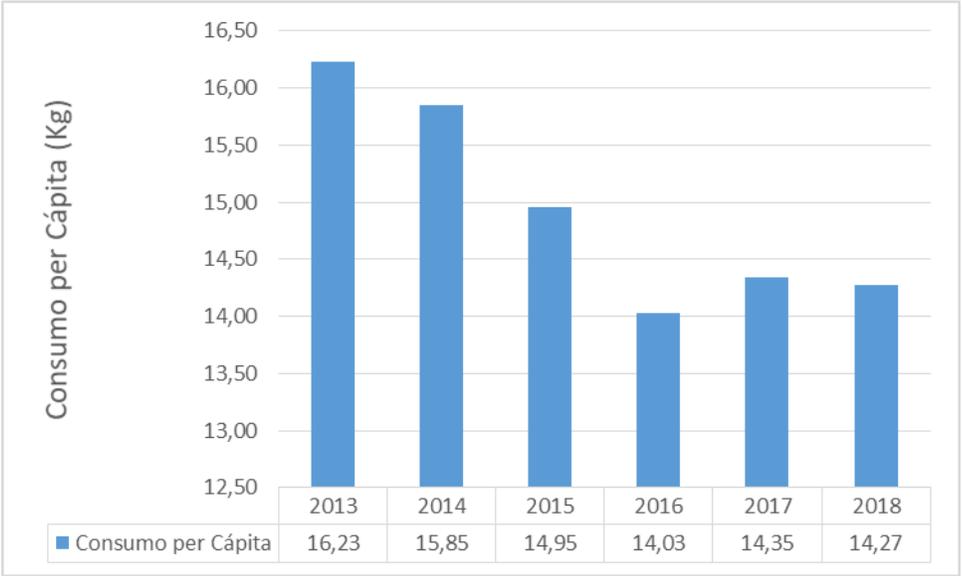


Figura 1. Consumo per cápita de carne de res en Costa Rica del año 2013 al 2018.

Fuente: Elaboracion propia a partir de los datos de CORFOGA (2019).

En Costa Rica las exportaciones de carne de res presentaron un crecimiento desde el año 2013 hasta el año 2016, año en el que se dio una caída en las exportaciones del 9,8% respecto al 2015 (Figura 2). Para el 2017 las exportaciones mejoraron hasta alcanzar las 18.443,1 toneladas (T) (CORFOGA 2017).

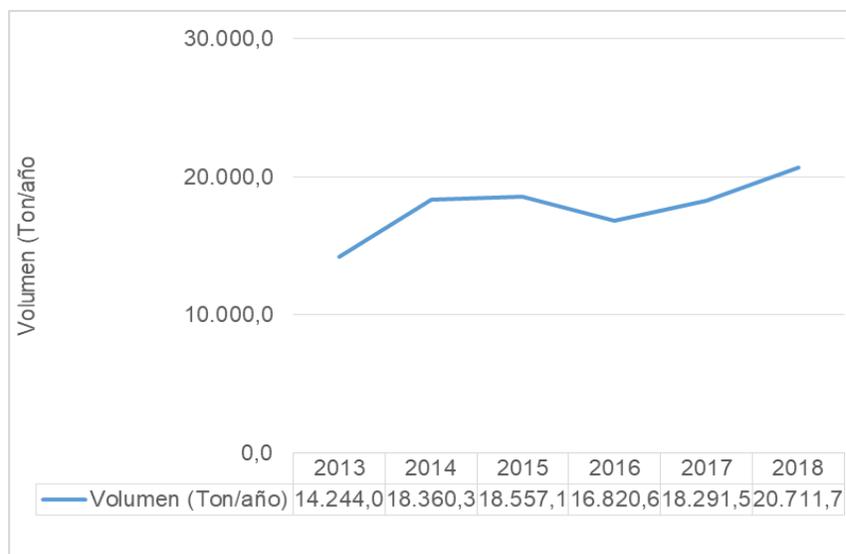


Figura 2. Volumen de exportaciones de carne de res para Costa Rica del 2013 a 2018.

Fuente: Elaboracion propia a partir de los datos de CORFOGA (2019).

En Costa Rica el precio promedio del kg de carne en canal pagado al productor ha decrecido en los últimos cinco años (Figura 3), alcanzando un valor promedio de ₡1.801,22 en hembras y ₡2024,73 en machos, para el 2019. Esto se puede explicar debido a un ajuste en los precios internacionales (CORFOGA 2019; Rojas 2017).

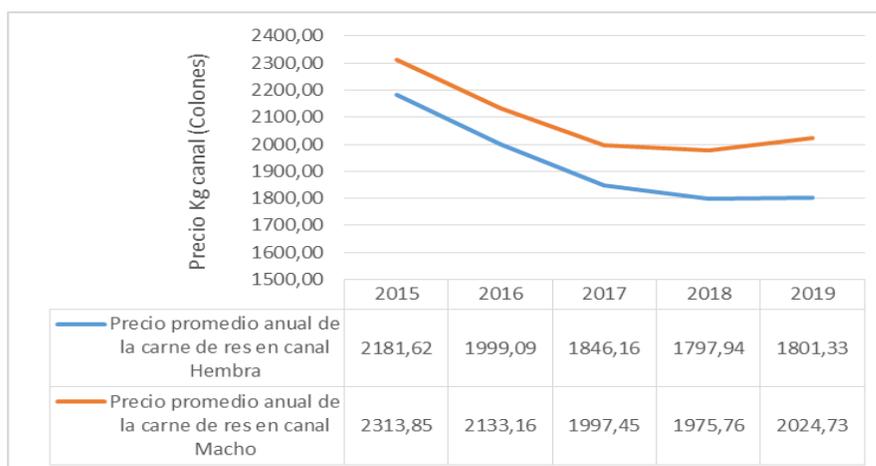


Figura 3. Precio promedio del kg en canal de res, pagado al productor en los ultimos cinco años, por sexo del animal en Costa Rica (para el 2019 se incluyen los valores hasta el mes de octubre).

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CORFOGA (2019).

La disminución en el precio al productor no se ha visto reflejada en lo pagado por el consumidor, ya que este experimentó un crecimiento lineal entre el año 2014 y 2016 (Figura 4) (Rojas 2017).

Nuestro país experimentó un descenso en el sacrificio de animales del 2014 al 2016, de alrededor de 66.000 cabezas menos. De igual forma el sacrificio de hembras, novillas y terneras ha disminuido considerablemente, efecto de una retención de las hembras en el hato nacional. Esto puede tener un efecto positivo en la sostenibilidad del hato nacional y un posterior incremento del mismo (Rojas 2017).

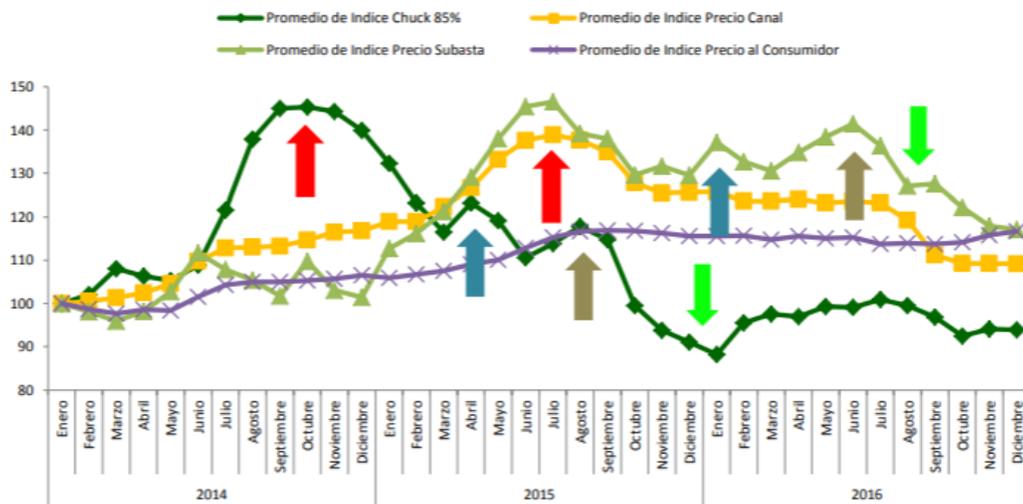


Figura 4. Comportamiento mensual del precio canal, precio subasta, precio al consumidor de la carne de res y precio "Chuck" 85% del 2014 al 2016.

Fuente: Rojas (2017).

Las importaciones de productos cárnicos bovinos presentaron un considerable aumento a partir del año 2014, como se observa en la Figura 5, pasando de 5.829 t a 12.478 t en el año 2016 (Rojas 2017).



Figura 5. Balanza comercial, volumen de exportaciones e importaciones de productos cárnicos bovinos en Costa Rica.

Fuente: Rojas (2017).

2.4. Ganado bovino

En general se tiene consenso de que el ganado bovino desciende de un único antecesor, el toro salvaje *Bos primigenius*, llamado Uro o Urux, el cual era originario de la India y se extendió por todo Asia, Europa y el norte de África. El urox era más grande que las razas actuales de bovinos, con gran alzada de los miembros anteriores y la cruz, pero eran deficientes de los cuartos traseros, lo que favorecía la velocidad en la carrera. Se dice que la domesticación de los primeros bovinos se dio en la India, cercano oriente y Egipto entre los años 6000 y 4000 antes de Cristo (FAO 1975).

Actualmente los bovinos se subdividen en dos grandes especies, según su procedencia; las cuales se denominan como *Bos taurus* y *Bos indicus*, la primera es originaria de las zonas templadas del continente europeo y la segunda de animales provenientes de las regiones de la India y África. Entre estas existen diferencias físicas que permiten mejor adaptación a diferentes condiciones ambientales y que son características propias de ambas especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales diferencias fenotípicas de las especies bovinas *Bos indicus* vs *Bos taurus*.

Característica	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>
Apariencia	Corpulentos, musculosos. Poca deposición de grasa subcutánea. Esqueleto de huesos largos y finos, índices de fortaleza física.	Voluminosos y con abundante carne y grasa. Esqueleto de huesos cortos y gruesos, signos de gran precocidad.
Temperamento	Activo y vivaz	Tranquilo o apático
Cabeza	Proporción mediana, larga y estrecha	Pequeña, corta y ancha
Orejas	Largas, puntiagudas, móviles y/o hacia abajo	Cortas y erectas hacia los lados.
Cuernos	Grandes y fuertes (excepto en el Nelore)	Cortos y finos
Cuello	Mediano y largo	De corto a mediano
Línea dorsal	Cruz alta y el dorso-lomo más caído	Es una sola línea horizontal
Torác	Algo estrecho pero profundo y largo	Amplio y con costillas bien arqueadas
Pecho	Estrecho y profundo	Ancho y profundo
Espaldas	No muy musculosas	Musculosas
Grupa	Ancha, corta y oblicua	Amplia y horizontal
Cola	Implantada alta, larga y con forma de látigo	Insertada a nivel de la línea dorso lumbar, corta y gruesa
Giba	Implantada en la cruz o dorso, muy voluminosa	Carece de giba
Miembros	Largos de huesos finos	Cortos y de huesos gruesos
Piel	Fina y de mayor área formando pliegues colgantes en papada, vientre y prepucio intensamente pigmentada	Textura espesa, por lo general sin pigmentar. (Razas negras Aberdeen Angus, etc)
Pelos	Pelos cortos, finos, lacios y muy suaves	Pelos relativamente largos, rizados y ondulados

Fuente: Adaptado de FAO (1975); Briggs y Briggs (1980); Bavera (2011); UC (2019).

En términos generales, el ganado *Bos indicus* (Figura 6) se caracteriza por animales grandes, nerviosos y de poco desarrollo muscular que tiende a almacenar menor cantidad de grasa, pero que cuentan con gran resistencia a parásitos, climas adversos y condiciones desfavorables de alimentación. Por otro lado, el *Bos taurus* (Figura 6) son animales compactos, voluminosos y de buen desarrollo muscular con mayor almacenamiento de grasa intramuscular, generalmente tranquilos y con mejores índices productivos (Turner et al. 2011; Zamora 2016).



Figura 6. A la izquierda grupo de animales de la raza Angus característico *Bos taurus* y a la derecha, grupo de animales característicos de *Bos indicus*.

Fuente: Rubio et al. (2013a).

Otro método de clasificación posterior del ganado bovino normalmente utilizado es de acuerdo a su objetivo productivo, es decir; si los mismos son animales enfocados a la producción de leche, carne o animales de doble propósito (Leche y carne) (FAO 1975).

En animales de interés cárnico se busca que tengan buen desarrollo muscular, buenos porcentajes de grasa de acuerdo al mercado, precocidad y mejores rendimientos productivos en términos de ganancias diarias de peso (GDP), rendimientos a canal, entre otros. Mientras que en animales lecheros se clasifican más por la conformación de la ubre, nivel de producción, entre otros (UC 2019).

Entre las razas utilizadas para la producción cárnica se pueden mencionar Angus, Charolais, Santa Gertrudis, limousine, Belgian Blue, Hereford entre otras, todas estas son especies *Bos taurus*, mientras que entre los bovinos *Bos indicus* se pueden mencionar algunas como Nelore, Gyr, Indubrasil y Brahman, provenientes de diferentes partes del mundo (Ver cuadro 2).

Cuadro 2. Procedencia de algunas razas bovinas de interés productivo.

Continente	Países	Nombre de las razas
Europa	España	Criolla. Retinta.
	Inglaterra	Shorthorn. Hereford. Abedeen Angus.
	Francia	Charolaise. Limousin. Normando. Maine Anjou. Blonde D'aquitaine.
	Italia	Chianina. MarchigiN. Romagnola. Maremmana. Piamontese.
	Alemania	Gelbvieh. Rotbunt.
	Suiza	Pardo suizo.
	India	Fleckvieh.
América	EE.UU	Nelore. Gir. Guzerá.
	Brasil	Indubrasil.

Fuente: Zeballos (2016).

Animales con temperamentos más tranquilos se asocian a mayores tasas de crecimiento, calidades superiores de carne, mayor jugosidad y color. Esta característica está ligada al genotipo del animal por lo que razas de la especie *Bos indicus* son más temperamentales que los *Bos taurus* aún bajo las mismas condiciones (Turner et al. 2011; Zamora 2016).

2.5. Generalidades de la raza Brahman

La raza Brahman es originaria de Estados Unidos y fue desarrollada a partir del año 1860, como resultado del cruzamiento genético de varias razas de ganado *Bos indicus* importados de la India (Guzerá, Nelore, Krishna Valley y Gyr) en un inicio y de la cual se incorporaron posteriormente las razas Red Polled y Red Sindhi, en la Figura 7 se puede apreciar un semental de dicha raza (Okstate 2000; ASOCEBU 2019; Akerman 1982).



Figura 7. Toro *Bos indicus* de la raza Brahman.

Fuente: Rubio et al. 2013a.

La raza Brahman se caracteriza por su excelente adaptación a sistemas de producción cárnica en países con condiciones tropicales. Entre sus características físicas están: buen tamaño, cabeza ancha, cuello corto y grueso, cuernos cortos, medianamente gruesos y dirigidos hacia atrás y hacia afuera; las orejas son de tamaño mediano, con costillas arqueadas y separadas entre sí, pecho profundo y ancho; un vientre amplio que muestra su gran capacidad de consumo, de tronco cilíndrico, caderas amplias y musculosas y con un anca ligeramente inclinada y cola de inserción suave; existiendo coloraciones blancas con cenizo principalmente en la región anterior del cuerpo, cuello y giba; y animales de coloración roja (ASOCEBU 2019).

2.6. Factores que afectan el crecimiento

El crecimiento y desarrollo de los animales es multifactorial y dependiendo la etapa de los mismos va tener mayor o menor influencia, en animales post-destete, factores como el genotipo, el sexo, el peso al que fueron destetados, la dieta, el manejo y el clima juegan un papel fundamental en su desarrollo existiendo variables entre razas, con animales más precoces que otros, en el Cuadro 3 (Bavera et al. 2017).

La edad en bovinos es uno de los grandes factores a tomar en cuenta, ya que el crecimiento de los animales tiene una curva exponencial, hasta cerca de los 26 meses, cuando su crecimiento empieza a mermar, por lo que varios autores recomiendan entre los 18 y 26 meses de edad como la mejor fecha para el sacrificio (Ruiz et al. 1967; Herrera et al. 2008; Sánchez 2016).

Cuadro 3. Factores que afectan el crecimiento y desarrollo en animals antes y despues del nacimiento.

Prenatal	Postnatal	
	Pre-destete	Post-destete
Genotipo del feto	Genotipo	Genotipo
Sexo del feto	Sexo	Sexo
Tamaño de la madre	Peso al nacer	Peso al destete
Edad y desarrollo de la madre	Aptitud materna	Equilibrio hormonal
Numero de fetos	Edad y desarrollo de la madre	Alimentación disponible
Nutrición de la madre	Estado nutritivo de la madre	Manejo
Temperatura ambiental	Producción de leche materna	Clima
	Alimentación al pie de la madre	Adaptabilidad
	Edad y desarrollo al destete	Sanidad
	Estado sanitario madre y cría	

Fuente: Adaptado Bavera et al. 2017

2.7. Mediciones de ultrasonido

El ultrasonido es una técnica *in vivo*, no invasiva, basada en ondas acústicas que se encuentran por encima del espectro auditivo del oído, que permite tomar gran cantidad de medidas de la canal permitiendo predecir y monitorear las condiciones de desarrollo muscular y engrasamiento de las canales bovinas (Orozco et al. 2010; Villa et al. 2012). Entre estas mediciones se encuentra el contenido de grasa intramuscular (marmoleo), la profundidad de músculo, el grosor de la grasa de cobertura y la grasa de la grupa. Sin embargo, Orozco et al. (2010), resalta la importancia de la calibración del equipo y del técnico, en términos del punto de acoplamiento y la detección de los puntos de medición.

2.7.1. Profundidad muscular (PM)

La PM se mide a la altura de la 12va y 13va costilla del animal y su importancia radica en la relación directa que tiene la PM del musculo *Longissimus dorsi lumbarum* con la composición de la canal, en términos de desarrollo muscular (Blanco et al. 2008)

2.7.2. Marmoleo

El marmoleo es indicador del nivel de deposición de grasa intramuscular la cual se relaciona con una mayor palatabilidad de los cortes de carne y es un parámetro utilizado en muchos países para determinar la calidad de las canales (Cardona 2016). En Costa Rica, Rodríguez et al. (2018) ha determinado valores trazas de marmoleo en animales Brahman, Charolais y cruces entre ellos, de

acuerdo a la clasificación brindada por el software de la Universidad Estatal de Kansas.

2.7.3. Espesor de la grasa dorsal (EGD)

La importancia de la EGD radica en que esta es la grasa que recubre la canal evitando así el acortamiento por frío durante el manejo post-mortem, además que tiene una relación negativa con la acumulación de grasa intramuscular y el rendimiento muscular (Ramírez 2014; Rodríguez et al. 2018). Se mide en la misma región que la PM y % marmoleo, específicamente en las $\frac{3}{4}$ partes finales del músculo *Longissimus dorsi* (Cardona 2016).

2.7.4. Grasa de la grupa (GG)

La GG es de suma importancia entre las mediciones in vivo, mediante la técnica de ultrasonido, esta se realiza en la grupa del animal y presenta gran correlación con el EGD (Superior a 0,70), relacionándose con el porcentaje de la grasa de la canal y los rendimientos cárnicos de los animales (Mirzaei et al. 2009).

2.8. Suplementación en sistemas de pastoreo

La suplementación estratégica en sistemas de pastoreo es una opción viable para aumentar las ganancias de peso de los animales en etapa de engorde, mejorando la eficiencia y por ende la productividad del sistema (Rojas-Bourrillon y Campos-Granados 2015). Los sistemas completamente en pastoreo limitan considerablemente la ganancia de peso de los animales, debido a la limitante en términos de energía de los forrajes tropicales; con valores entre 300-600 g/día, mientras que en sistemas con suplementación, no solo se aumenta la ganancia de peso, sino además, acelera el tiempo a cosecha aumentando la cantidad de ciclos productivos por año y reduciendo la edad de cosecha del animal, generando por ende carnes de mayor calidad (Arronis 2003; Rojas-Bourrillon y Campos-Granados 2015). La importancia de la suplementación estratégica cobra más fuerza en sistemas tropicales de bajura donde de acuerdo con Barahona y Sánchez (2005), existe una inadecuada relación energía: proteína lo que vuelve más atractivo la suplementación en dichos sistemas (Sosa y Barahona 2015; Rojas-Bourrillon y Campos-Granados 2015).

La suplementación es una herramienta para aliviar la presión de pastoreo y promover la vida útil de las pasturas, sin embargo, al aumentar la suplementación en canoa se va

reducir el consumo de las mismas y por consiguiente su aprovechamiento (Sosa y Barahona 2015). Esto se conoce como efecto de sustitución y puede generar un problema de manejo de pasturas al reducir el consumo de las mismas sino se ajusta la carga animal, ya que genera un aumento en el material senescente y lignificado que va quedando en las pasturas, disminuyendo su digestibilidad, causando así una baja en el consumo de MS debido a un mayor tiempo de retención en el rumen (Livas-Calderón 2000; Rojas-Bourrillon y Campos-Granados 2015). Esto es de suma importancia ajustar la carga animal de los sistemas productivos con el fin de aprovechar mejor el recurso forrajero y mejorar la calidad que se ofrece al animal. En dichos sistemas en pastoreo se recomienda suplementar con base en el porcentaje de peso vivo (%PV) del animal, donde los valores recomendados van desde 0,3% hasta 1% PV para obtener los mejores rendimientos productivos (Livas-Calderón 2000; Dórea 2011).

Por último, en una sociedad con un mayor poder adquisitivo y conciencia ambiental, los criterios de selección de productos demandan fuentes más amigables con el ambiente y la vida natural, esto abre espacio a la instauración de sistemas más eficientes ya que la implementación de sistemas de suplementación estratégica permite mejorar el aprovechamiento del área productiva de la finca, liberando zonas que pueden ser utilizadas para reforestación y regeneración natural; y reduciendo así el impacto ambiental negativo, en términos de compactación, erosión y degradación de suelos. Generando así producciones ganaderas más amigables con el ambiente (Arronis 2003; Rojas-Bourrillon y Campos-Granados 2015).

2.9. Efecto de la fibra en la salud ruminal y su relación con los lípidos de la dieta.

En relación al forraje es muy importante considerar el tamaño de partícula (entre 0,6 a 0,8 cm) para mantener la calidad de la fibra efectiva a nivel ruminal (Sutton 1989; Allen y Beéde 1996; Woodford et al. 1986). La fibra juega un papel fundamental, en términos de salud ruminal, ya que permite niveles altos de inclusión de grasas (hasta un 10% del CMS), principalmente ácidos grasos insaturados como los presentes en granos de destilería con solubles (DDGS), esto se debe a su efecto como estimulador de la rumia lo que favorece la producción de bicarbonato y por ende regulación del pH en rumen, ya que este es uno de los factores de mayor importancia por su efecto negativo sobre la tasa de biohidrogenación a nivel ruminal (Van Nevel y Demeyer 1996; Doreau et al. 1991; Mir 1988; Smith et al. 1992 y Firkins 2008).

Por otro lado, Harfoot y Hazlewood (1997) y Latham et al. (1972), indican que es importante considerar la población microbiana presente, la naturaleza de los lípidos consumidos (Byers y Shelling 1988) y la tasa de pasaje, es decir el recambio ruminal de ácidos grasos.

2.10. Granos de destilería de maíz secos con solubles (DDGS).

Los subproductos de destilería se obtienen mediante el proceso de fermentación del almidón a partir de ingredientes como maíz, trigo, sorgo y cebada, con el fin de generar alcohol para bebidas o etanol como biocombustible. El proceso genera dos subproductos, los granos de destilería (DG) y los llamados solubles (DS), los cuales son constituidos de residuos no fermentados de los granos originales y por levaduras, nutrientes solubles y las partículas más finas del grano, respectivamente. En la mayoría de los casos ambos subproductos se comercializan juntos, a razón de 75% DDG y 25% DDS, conocidos como DDGS (FEDNA 2012; USGC 2012).

Algunos factores que afectan el contenido de nutrientes en los DDGS son: eficiencia en la fermentación y destilación, diferencias en los procesos y temperaturas de secado, cantidad de solubles, entre otros (Tjardes y Wright 2002).

Los DDGS son una fuente importante de proteína no degradable en el rumen (PNDR) o sobre-pasante, ya que debido al proceso de secado estos pueden quemarse experimentando las reacciones químicas de Maillard (reacción de encafecimiento o pardeamiento) lo que causa que los carbohidratos y las proteínas se ligen en forma química (Pastoriza 2013), reduciendo su disponibilidad para el animal a nivel ruminal. Sin embargo, se puede convertir en fuentes importantes de nutrientes a nivel intestinal. Se busca utilizar los DDGS de color claro, olor dulce y fermentado (Clasificación 1 y 2), para lograr mejores rendimientos productivos, de acuerdo a la escala de la Figura 8 (USGC 2012). Erickson et al. (2005) indicaron que altos valores de proteína no degradable a nivel ruminal (PNDR) se deben principalmente a características propias de la proteína en vez de secado y contenido de humedad de los DDGS.

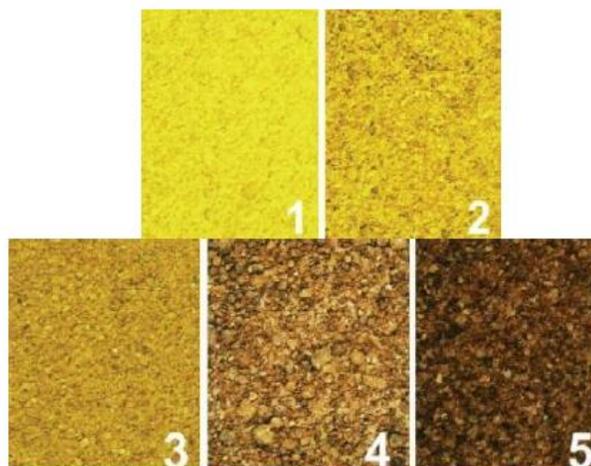


Figura 8. Escala fotográfica de colores para calificar el daño por calor de los DDGS.

Fuente: USGC (2012).

La calidad nutricional de los DDGS que llegan a nuestro país se puede observar en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Características nutricionales promedio de los DDGS.

Materia Seca (%)	87,20
Proteína Cruda	26,70
Extracto Etéreo	10,10
Fibra Cruda (% de la MS)	8,40
Energía Digestible (Mcal/Kg)	3,27
Energía Metabolizable (Mcal/Kg)	2,62
Grasa Verdadera (% del EE)	75,00
Ácido linoleico C18:2 (% de los AG)	55,00

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Arias (2017) y FEDNA (2012).

De acuerdo con FEDNA (2012), un 75% del EE es grasa verdadera y el 55% de los ácidos grasos presentes en la misma están como ácido linoleico (C18:2), por lo que los DDGS se consideran una fuente alta en dicho ácido graso.

2.11. Efecto del uso de DDGS en la alimentación de rumiantes.

Los DDGS son una excelente fuente de energía y proteína para el ganado de engorde con excelentes desempeños en el crecimiento y calidad de la canal y de la carne de los animales suplementados con hasta un 40% del consumo de materia seca, sin embargo; se debe considerar el exceso de proteína y fósforo en la dieta en niveles altos de inclusión (USGC 2012).

Al utilizar niveles de inclusión de hasta un 75% de DDGS en la dieta de novillos estabulados no se afectó el consumo de materia seca (CMS) (Scott 2010). Sin embargo, los mejores resultados, en términos de ganancia diaria de peso, se obtuvieron con el uso de un 40% de DDGS en la dieta, sin obtener efectos en términos de % de pérdida de cocción, la fuerza de corte, contenido de ácidos grasos saturados (SFA) totales, los ácidos grasos mono-insaturados (MUFA) y la actividad lipogénica no se vieron afectados (Scott 2010).

El mismo autor reporta un aumento lineal en el contenido del isómero de ALC cis-9 trans-11, con niveles de hasta un 70% de DDGS, alcanzando valores de 0,44 g/100g de carne en novillos estabulados, además que altos niveles (70%) de inclusión no tuvieron efecto adverso sobre el crecimiento, rendimiento o calidad de la carne (Scott 2010).

La producción láctea y la persistencia en la curva de lactancia, fue mayor en vacas suplementadas con un 32% de inclusión de DDGS, en condiciones tropicales, con valores de 22,42 Kg y 94,42%, respectivamente. Sin embargo, la grasa, proteína, sólidos totales y el nivel de nitrógeno ureico en leche (MUN) tienden a disminuir conforme se aumenta la inclusión de DDGS en la dieta (Macaya-Quirós y Rojas-Bourrillón 2009).

En novillas en finalización suplementadas, hasta con un 75% de DDGS en la dieta, se observó un leve mejoramiento lineal en la suavidad de la carne al incluir niveles crecientes de DDGS (Gordon y Reicks 2002).

2.12. Composición de la carne de res

La carne se define como todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano. Esta se compone de agua, proteínas y aminoácidos, minerales, grasas y ácidos grasos, vitaminas y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de carbohidratos (OMS 2005). En los Cuadros 5, 6, 7 y 8 se presentan los valores promedios para los aportes nutricionales en términos de vitaminas, minerales, perfil de AG, entre otros, de la carne de res y de cuatro especies más.

Cuadro 5. Valores promedio brindados para carnes de diferentes especies en términos de agua, proteína, grasa, energía y colesterol en gramos por cada 100 g de carne.

Nutriente	Res	Cordero	Cerdo	Pollo	Pavo	Hígado	
						Res	Cordero
Agua (g)	71,90	70,60	74,00	75,10	75,30	70,40	70,80
Proteína (g)	22,50	20,20	21,80	22,30	22,60	20,50	20,70
Grasa (g)	4,30	8,00	4,00	2,10	1,60	4,10	4,90
Energía (kj)	542,00	639,00	519,00	457,00	443,00	494,00	529,00
Colesterol (mg)	58,00	74,00	63,00	90,00	70,00	254,00	386,00

g: gramos; Kj: kilojulios; mg: miligramos

Fuente: Adaptado de Wood (2017).

Desde el punto de vista nutricional, su importancia deriva de su aporte de proteínas de alta calidad, que contienen todos los aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas de elevada biodisponibilidad. Además, de su alto valor en vitamina B12 y hierro (Cuadro 6 y 7), los cuales no están fácilmente disponibles en las dietas vegetarianas (FAO 2018).

Cuadro 6. Valores promedio de los aportes de minerales en carnes de diferentes especies.

Mineral (mg)	Res	Cordero	Cerdo	Pollo	Pavo	Hígado	
						Res	Cordero*
Sodio	63,00	70,00	63,00	77,00	68,00	70,00	79,00
Potasio	350,00	330,00	380,00	380,00	340,00	350,00	300,00
Calcio	5,00	12,00	7,00	6,00	5,00	8,00	9,00
Magnesio	22,00	22,00	24,00	26,00	25,00	24,00	23,00
Fosforo	200,00	190,00	190,00	160,00	220,00	380,00	350,00
Hierro	2,70	1,40	0,70	0,70	0,60	12,20	11,30
Cobre	0,03	0,08	0,05	0,03	0,05	23,86	0,52
Zinc	4,10	3,3	2,10	1,20	1,90	15,90	3,80
Selenio	7,00	4,00	13,00	13,00	13,00	27,00	ND

*ND: No detectable.

Fuente: Adaptado de Wood (2017).

En el Cuadro 6 y 7 se observan los valores en términos de minerales y vitaminas que aporta la carne de res por cada 100 g de carne, es importante resaltar que la carne de res se considera una fuente rica en zinc y vitaminas B3, B6 y B12 (Wood 2017).

Cuadro 7. Valores promedio de los aportes de vitaminas en carnes de diferentes especies.

Vitamina	Res	Cordero	Cerdo	Pollo	Pavo	Hígado	
						Res	Cordero
B1 (Tiamina) (mg/100g)	0,10	0,09	0,98	0,14	0,07	0,61	0,63
B2 (Rivoflavina) (mg/100g)	0,21	0,20	0,24	0,18	0,22	2,89	2,72
B3 (Niacina) (mg/100g)	5,00	5,40	6,90	7,80	8,00	13,60	12,90
B5 (Acido pantoténico) (mg/100g)	0,75	0,92	1,46	1,16	0,7	4,10	5,90
B6 (Piridoxina) (mg/100g)	0,53	0,30	0,54	0,38	0,61	0,89	0,55
B7 (Biotina) (µg/100g)	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	50,00	216,00
B9 (Ácido fólico) (µg/100g)	19,00	6,00	3,00	19,00	17,00	110	1350,00
B12 (Cobalamina) (µg/100g)	2,00	2,00	1,00	TR	2,00	58,00	45,00
A (Retinol) (µg/100g)	TR	6,00	TR	11,00	TR	25200	10500,00
C (Ácido ascórbico) (µg/100g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00	23,00
D (Colecalciferol) (µg/100g)	0,50	0,40	0,50	0,10	0,30	0,30	TR
E (alfa-tocoferol) (µg/100g)	0,13	0,09	0,05	0,15	0,01	0,50	0,34

TR: trazas

Fuente: Adaptado de Wood (2017).

Por ultimo, en el cuadro 8 se presentan los valores promedios del aporte de AG a la dieta de carnes de 4 especies diferentes donde se observa el gran aporte de AG saturados de la carne de res.

Cuadro 8. Valores promedio de los aportes de ácidos grasos (AG) en carnes de diferentes especies.

Ácido graso (% del EE)	Res	Cordero	Cerdo	Pollo
Lauríco 12:0	0,08	0,31	0,12	ND
Mirístico 14:0	2,66	3,30	1,33	0,37
Palmítico 16:0	25,00	22,20	23,20	17,40
Palmitoleíco 16:1 cis	4,54	2,20	2,71	2,68
Estearíco 18:0	13,40	18,10	12,20	5,42
Oleico 18:1 n-9	36,10	32,50	32,80	39,00
18:1 trans	2,75	4,67	ND	ND
Vaccenico 18:1 n-7	2,33	1,45	3,99	3,52
Linoleico 18:2 n-6	2,42	2,70	14,20	24,50
Alfa-linolénico 18:3 n-3	0,70	1,37	0,95	4,18
Eicosadienoico 20:2 n-6	ND	ND	0,42	0,20
DGLA 20:3 n-6	0,21	0,05	0,34	0,07
Eicosatrienoico 20:3 n-3	0,01	ND	0,12	ND
Araquidónico 20:4 n-6	0,63	0,64	2,21	1,30
Eicosatetraenoico 20:4 n-3	0,08	ND	0,01	ND
Eicosapentaenoico 20:5 n-3	0,28	0,45	0,31	0,20
Adrénico 22:4 n-6	0,04	ND	0,23	ND
Docosapentaenoico 22:5 n-3	0,45	0,52	0,62	0,56
Docosahexaenoico 22:6 n-3	0,05	0,15	0,39	0,28

ND: No detectado.

Fuente: Adaptado de Wood (2017).

Además, la carne bovina posee gran cantidad de isómeros de ácido linoleico, principalmente del ácido linoleico conjugado (ALC), el cual actúa como un factor anticancerígeno (Carvajal 2001).

2.13. Lípidos: características y clasificación

Los lípidos son biomoléculas orgánicas de gran importancia en la nutrición de los mamíferos, estas están constituidas principalmente por carbono (C), hidrogeno (H) y oxígeno (O), este último en menor proporción, así mismo, compuestos por glicerol, ácidos grasos y otros derivados que brinda la característica de compuesto no polar, es decir; que son insolubles en agua (hidrofóbicos), pero solubles en disolventes orgánicos como éter y benceno (UNAM 2017).

Los lípidos tienen funciones vitales en los organismos ya que participan en el transporte de vitaminas, mejorando así su absorción; además se pueden encontrar formando parte principal de las membranas celulares, como reservas energéticas vitales, como hormonas, antioxidantes, pigmentos o factores de crecimiento (McKee y McKee 2014)

De acuerdo con Carbajal (2013), los lípidos se clasifican en tres grupos: los triglicéridos, más conocidos como grasas y aceites; los fosfolípidos y los esteroides (colesterol). Donde los triglicéridos están compuestos por tres moléculas de ácidos grasos y una de glicerol (Figura 9), las diferencias en la molécula están determinadas por la composición de los ácidos grasos presentes, los cuales varían entre sí por el número de átomos de carbono y la cantidad de dobles enlaces que posea.

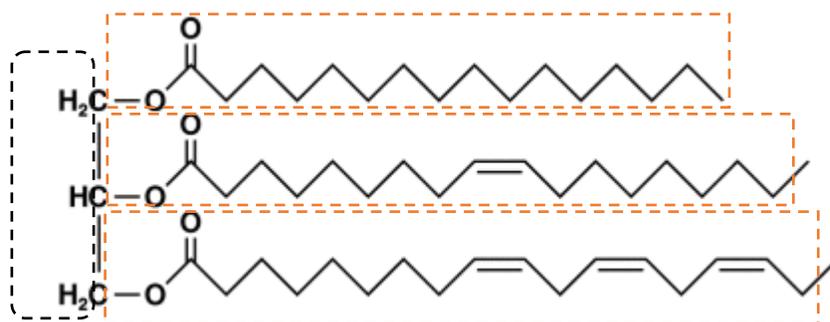


Figura 9. Estructura común de los triglicéridos: glicerol unido a tres ácidos grasos (palmítico (saturado); oleico (monoinsaturado); y alfa-linolenico (poliinsaturado)).

Fuente: Adaptado de McKee y McKee 2014.

2.14. Ácidos grasos (AG)

Estos se definen como cadenas hidrocarbonadas de longitud variable, siempre de número par; que contienen un grupo funcional carboxilo (-COOH) en su extremo y mantienen las características hidrofóbicas (Hoyos y Rosales 2014; UNAM 2017).

Los AG se pueden clasificar de acuerdo al nivel de saturación de los enlaces presentes en la cadena de carbonos, es decir: la cantidad de dobles enlaces presentes en la misma. De esta manera, se clasifican en ácidos grasos saturados (AGS) o ácidos grasos insaturados (AGI); el cual se subdivide en poliinsaturados (PUFAS) y ácidos grasos monoinsaturados (MUFAS), (Figura 10) (Carbajal 2013; Hoyos y Rosales 2014).

Los AGS son las cadenas de carbonos que únicamente poseen enlaces sencillos entre los átomos de carbono adyacentes, es decir no poseen ningún doble enlace, lo que les brinda una gran estabilidad y la característica de ser sólido a temperatura ambiente; estos se encuentran en gran medida en los productos de origen animal. Caso contrario, los AGI son moléculas que poseen uno (MUFA), o varios enlaces dobles (PUFA) entre las moléculas de carbono adyacentes. La presencia de estos enlaces dobles los hace inestables teniendo la

posibilidad de reaccionar con el aire causando rancidez de la grasa (Carbajal 2013; UNAM 2017).



Figura 10. Diferencia entre los ácidos grasos saturados e insaturados.

Fuente: McKee y McKee (2014).

Los PUFA'S son muy importantes en la nutrición de los mamíferos, ya que algunos se consideran esenciales, puesto que el organismo es incapaz de sintetizarlos metabólicamente y necesita del aporte exógeno mediante la dieta para obtenerlos (Aires et al. 2005). El alfa-linolenico (18:3) y el ácido linoleico (18:2), son los precursores de los AG conocidos como Omega 3 (n-3) y 6 (n-6), (Cuadro 9); dicho nombre se le brinda debido al número de carbono en el que se encuentra el primer enlace doble (Carbajal 2013).

Cuadro 9. Ácidos grasos poliinsaturados que son precursores de omega 3 y 6: clasificados entre esenciales y no esenciales.

Clasificación	Omega-3	Omega-6
Esencial	Ácido alfa-linoléico (ALn)	Ácido linoleico (AL)
No esencial	Ácido eicosapentanoico (EPA) Ácido docosahexanoico (DHA)	Ácido gamma-linoléico (GLA) Acido araquidónico (AA)

Fuente: Adaptado de Aires et al. (2005).

El ALn y el AL son considerados esenciales ya que el organismo no los puede sintetizar y son utilizados como precursores de los omegas de cadena larga, como el EPA, DHA, GLA y AA. Estos juegan papeles fundamentales en el desarrollo y mantenimiento de la correcta función cerebral en la visión, respuestas inmunes e inflamatorias, entre otros (DSM 2016).

2.15. Digestión de lípidos y biohidrogenación ruminal

El proceso de digestión en rumiantes es muy diferente al de los monogástricos debido a las diferencias en el tracto gastrointestinal presente en los rumiantes, ya que en estos se da un proceso de fermentación microbiana donde la microbiota ruminal realiza la saturación de los ácidos grasos insaturados (AGI) lo cual es un mecanismo de defensa de las bacterias ya que altos niveles de AGI son tóxicos para las mismas (Martínez et al. 2010).

A nivel ruminal las grasas sufren dos procesos: el primero es la lipólisis de las grasas, que es la liberación de los AG de los ésteres presentes en los ingredientes de la dieta mediante la hidrólisis, en este proceso es comandado por las especies bacterianas *Anaerovibrio lipolítica*, *Butirivibrio fibrisolvens* y *Butirivibrio LM8/1B*, mientras la participación de los protozoos es reducida (Castillo et al. 2013); el segundo paso se conoce como la biohidrogenación ruminal en el cual una serie de bacterias, principalmente *Ruminococcus albus*, *Eubacterium* y *Fusocillus*, saturan los AG insaturados que fueron liberados de la molécula de glicerol mediante una serie de procesos de hidrogenación e isomerización, en el cual saturan los dobles enlaces presentes en estos. Durante este proceso se pueden generar subproductos, dependiendo del AG, como los isómeros procedentes de la saturación del Ácido linoleico (Figura 11).

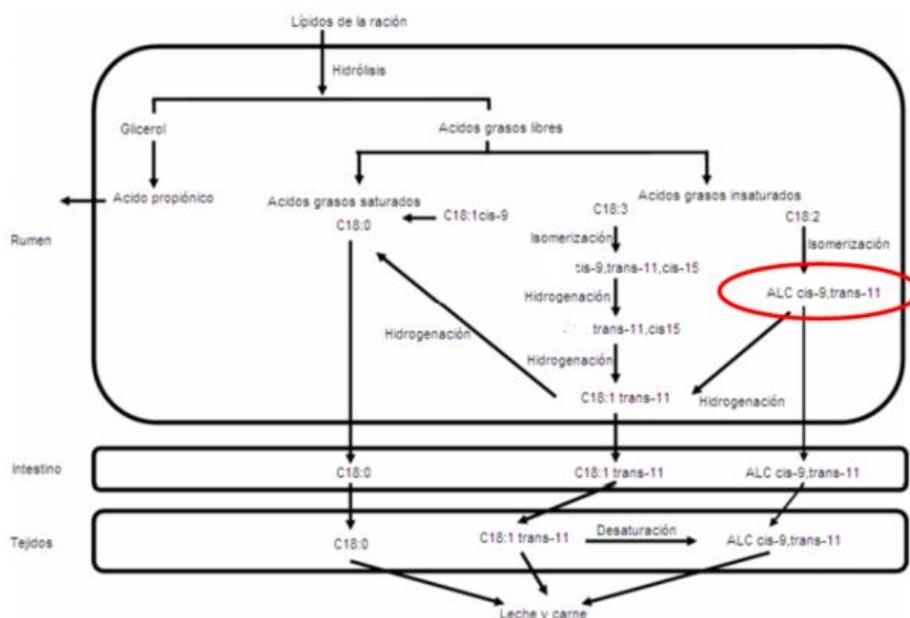


Figura 11. Digestión ruminal de los lípidos de la dieta hasta su deposición en forma de ácidos grasos en carne y leche.

Fuente: Martínez et al. (2010).

En la Figura 12 se ejemplifica el mecanismo de síntesis de los isómeros del ALC, como se puede observar en la imagen la formación de este se puede realizar tanto a nivel ruminal mediante el proceso de hidrogenación como a nivel de tejidos, mediante la desaturación del ácido trans-vaccénico (ATV) por medio de la enzima delta-9 desaturasa, la cual se encuentra a nivel intestinal, glándula mamaria y tejido adiposo (Fernández-Quintela et al. 2004).

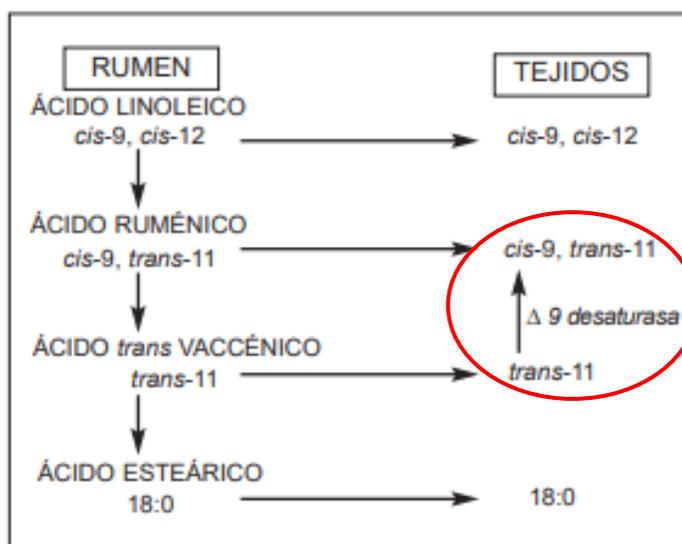


Figura 12. Síntesis del ácido linoleico conjugado a nivel ruminal de los bovinos.

Fuente: Fernández-Quintela et al. (2004).

2.16. Características del ácido linoleico conjugado (ALC)

El ácido linoleico conjugado (ALC), fue descubierto por primera vez cuando se investigaba la grasa de la leche de bovinos pastoreando en primavera (Belury 2002). Hasta entonces se pensaba que el ALC solo se encontraba en la leche, cuando por accidente en 1987, un equipo liderado por el Dr. Pariza lo descubrió en una investigación enfocada en detectar las propiedades cancerígenas de productos generados por la carne asada, pero el resultado fue el contrario; ya que descubrieron que dicho grupo de isómeros inhibían el crecimiento de tumores en la piel de ratones (Pariza, et al. 2001, Obregón y Valenzuela 2011; Fernandez-Quintela et al. 2004).

Gracias a este estudio pionero, se pudo aislar los diferentes isómeros de ALC e identificarlos por sus características anticancerígenas (Pariza y Hagraves 1995). Actualmente existe un sinnúmero de investigaciones acerca de sus efectos anticancerígenos, potenciadores de la función inmune, inhibidor del catabolismo asociado a la estimulación del

sistema inmune, antiaterosclerosis, promotor de crecimiento y modificador de la composición corporal (Fernandez-Quintela et al. 2004).

El ALC es una mezcla de ácidos grasos (AG) de cadena larga, derivados del ácido linoleico (C18:2, c9c12, omega-6) en que el término "conjugado" se emplea para describir un grupo de isómeros posicionales y geométricos cuyos dobles enlaces no está separado por un grupo metilénico (Figura 13), sino en posición contigua (Obregon y Valenzuela 2011; Fernandez-Quintela et al. 2004).

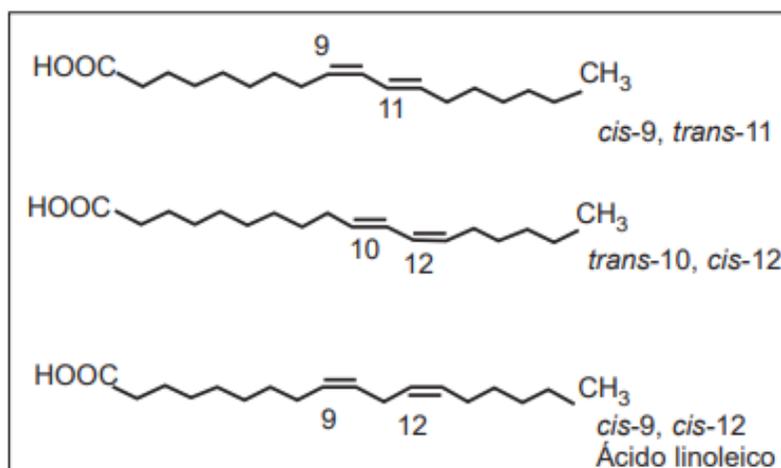


Figura 13. Estructura del ácido linoleico y de los isómeros cis-9 trans-11 y trans-10 cis-12 del ALC.

Fuente: Fernandez-Quintela et al. 2004.

El ALC en forma natural se presenta en diferente isomería estructural, existiendo más de 28 isómeros distintos descubiertos (Roche et al. 2001); siendo el isómero predominante el cis-9 trans-11 (Figura 14), conocido como ácido ruménico, con un rango entre el 73 a 94% del total de los isómeros presentes (Bauman et al. 1999; Rochfort et al. 2008; Dhiman et al. 2005).

De acuerdo con Obregón y Valenzuela (2011) los isómeros que constituyen el ALC se producen de manera natural en rumiantes como intermediarios de la biohidrogenación del ácido linoleico mediado principalmente por la bacteria *Butyrivibrio fibrisolvens* en el rumen de estos animales, y que da como resultado una mezcla de ácidos grasos monoinsaturados y saturados. Sin embargo, una vía metabólica de síntesis endógena la cual representa el mayor porcentaje de la deposición final del ALC en tejido o leche (Barton et al. 2007); ocurre por medio de la desaturación del ácido trans-vaccénico (ATV) (18:1, trans-11) en el tejido

graso de los rumiantes. Otra forma de obtener de manera sintética el ALC se da a través de la hidrogenación parcial del aceite de soya, maíz o cártamo (Chin et al. 1992). Por ende, la fuente principal de ALC, de manera natural, son los productos cárnicos, grasos y lácteos derivados de los rumiantes (Miller et al. 1994; Fernandez-Quintela et al. 2004).

En dietas altas en carbohidratos fermentables se da una alteración del proceso normal de biohidrogenación dando como resultado la formación del isómero trans-10 cis-12, el cual modifica el efecto de la energía reduciendo la deposición de grasas lo cual resulta positivo en la salud del ser humano ya que reduce el aporte de grasas en la dieta. Sin embargo, en los sistemas de producción lechera la presencia de este compuesto genera el síndrome de reducción de grasa en leche, al alterar el metabolismo en la glándula mamaria, limitando la captura de los precursores a nivel sanguíneo necesarios para la síntesis de grasa en leche, lo cual tiene efecto negativo en el precio que se le paga al productor y los rendimientos a nivel industrial (Figura 14) (Silva et al. 2007; Rojas-Bourrillon y Campos-Granados 2017b).

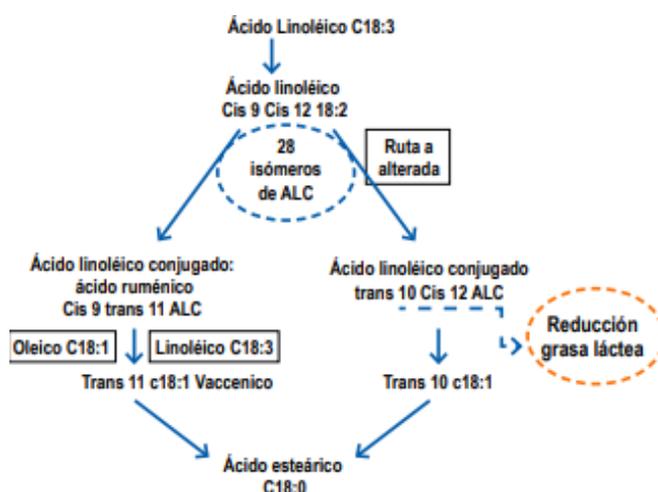


Figura 14. Proceso de biohidrogenación del ácido linoleico normal y su respectiva ruta alterada causante del síndrome de baja grasa en leche.

Fuente: Rojas-Bourrillon y Campos-Granados (2017b).

2.17. Efecto del ALC en la salud humana

Los efectos beneficiosos del ALC son atribuidos principalmente a los isómeros cis-9 trans-11 y trans-10 cis-12 (Pariza et al. 2001; Chin et al. 1994). Estudios realizados en humanos y animales con diferentes condiciones fisiológicas y nutricionales han demostrado que el ALC tiene efectos inmunomoduladores (Miller et al. 1994), antidiabéticos (Houseknecht et al. 1998), reguladores de peso y condición corporal (Chin et al. 1994; Park

et al. 1997) y anti-ateroscleróticos (Lee et al. 1994), disminución de la acumulación de grasa, disminución de la inflamación y aumento de la masa muscular (Miranda et al. 2014).

Se ha establecido el requerimiento de ALC para el ser humano en 5 g diarios, mientras que el aporte en la carne de res se encuentra entre 0,40 g y 2,2 g por cada 100 g de grasa, para animales en pastoreo; mientras que en sistemas de alimentación es más dependiente de granos, desciende a un rango entre 0,26 y 0,82 g de ALC c9 T11 por cada 100 g de grasa consumida (Acevedo et al. 2006).

En Costa Rica, dichos valores rondan entre 0,02 g hasta 0,55 g de ALC (c9 T11) por cada 100 g de grasa, lo cual significa un aporte entre el 2% y el 100% de los requerimientos diarios (Rojas-Bourrillon y Campos-Granados 2017a). Por otro lado, Shaeffer (2000), señala que es posible variar las concentraciones de ALC en el músculo, mediante la incorporación de fuentes altas en ácido linoleico en la dieta.

2.18. pH de la canal

El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de protones, el cual se clasifica en una escala de 0 a 15, donde 7 es un valor neutro y datos superiores a este se consideran alcalinos e inferiores suponen valores ácidos (Rubio et al. 2013b).

El pH del músculo de animales vivos ronda los 7,05 y una vez que se da el sacrificio del animal se detiene el flujo de oxígeno a los músculos. El ciclo de Krebs se ve detenido debido a las condiciones anaeróbicas favoreciendo la formación de ácido láctico, por la enzima lactato deshidrogenasa causando la acumulación de dicho ácido, lo que genera una caída en el pH muscular, alcanzando valores entre 5,8 y 6,5 (Chacón 2004; Rubio et al. 2013b).

El tiempo que transcurre entre el sacrificio y la medición de pH es de suma importancia ya que como se mencionó anteriormente la acumulación de ácido láctico va aumentando con el tiempo y se ve afectada por los niveles iniciales de glucógeno muscular los cuales reflejan el tiempo de ayuno, el manejo y estrés ante-mortem y la temperatura de la canal (Rubio et al. 2013b; Aquino et al. 2013).

Según Chacón (2004) y Rubio et al. (2013b), animales expuestos a maltratos previos al faenado pueden ser presas de estrés, lo que genera la activación de la producción en vida de ácido láctico, reduciendo las reservas de glucógeno disponible y afectando posteriormente la calidad de la carne. De igual forma, animales que no experimentan el

ayuno de 24 horas previo al sacrificio tienen altos niveles de energía en forma de glucógeno almacenado en el músculo, el cual se podrá transformar en ácido láctico durante el "rigor mortis", generando mayor contracción muscular y pH's muy bajos. Siento el manejo pre y post-mortem de los factores críticos en el pH final.

De acuerdo con Swatland (1999), la caída en el pH tiene influencia directa en la capacidad de retención de agua del músculo, la cual disminuye a pH's bajos y además altera las interacciones entre las proteínas miofibrilares, lo que afecta la fragmentación de las mismas y por ende aumentando la dureza final.

Otros factores que influyen, en menor medida, en la variación del pH de la carne son la genética del animal, su metabolismo, la susceptibilidad al estrés, la raza, entre otros (Rubio et al. 2013b).

Existen dos complicaciones causadas por la bajada inadecuada del pH de la carne que afectan la calidad de la misma. Estas son la generación de las carnes pálidas, suaves y exudativas (PSE, por sus siglas en inglés) las cuales son más comunes en ganado porcino y se da por un agudo estrés pre-mortem del animal gastando las reservas de glucógeno muy rápido, cuando las temperaturas de la canal son muy altas lo que causa una desnaturalización de las proteínas y por ende la liberación de agua; La otra complicación se conoce como carnes secas, firmes y oscuras (DFD por sus siglas en inglés), las cuales se originan cuando la caída del pH es mínima causada por una deficiente reserva de glucógeno a nivel muscular disponible para convertirse en ácido láctico (Chacón 2000). Entre las razones que pueden causar deficiencia en las reservas energéticas está el someter animales a transportes largos bajo estrés térmico, tiempos extensos de ayuno (más de 36 horas) y malos manejos antes del faenado, lo que ocasiona un pH final elevado a las 24h post-mortem, superior a 6,0 cuando el valor normal en la carne se encuentra en el rango de 5,6 a 5,8 (Rubio et al. 2013b). La relación del pH con el color de la carne se puede ver en la Figura 15.

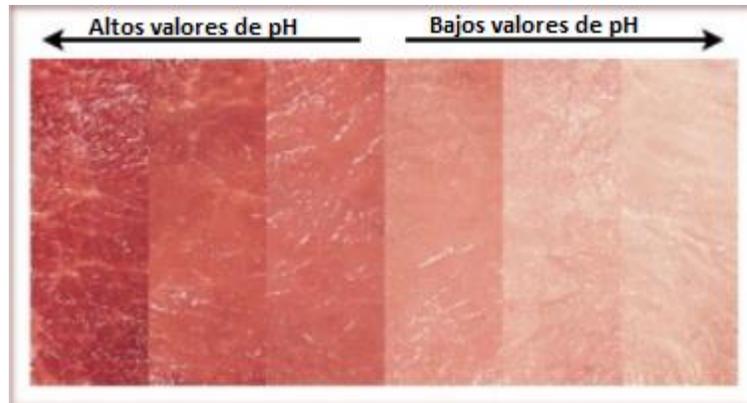


Figura 15. Relación del pH con el color en la carne de res.

Fuente. Adaptado de Rubio et al. (2013b).

Bajo la importancia que tiene el consumo de carne en la población mundial y la demanda de la misma por productos que tengan mayor beneficio en la salud y debido a la escasa información sobre el tema de los ácidos grasos presentes en la carne y sus aportes nutricionales, se genera la necesidad de generar de realizar investigación en las condiciones propias del país que permita al consumidor conocer la calidad de los productos nacionales y su diferenciación con el resto del mercado.

3. OBJETIVOS

3.1. General

Determinar el efecto de la suplementación con granos de destilería de maíz secos con solubles (DDGS), como fuente rica en ácido linoleico, sobre las características de crecimiento, canal y el perfil lipídico de la carne derivada de novillos encastados Brahman en pastoreo.

3.2. Específicos

- Evaluar el efecto de la suplementación con DDGS sobre las características de crecimiento y de la canal mediante la técnica de ultrasonografía de novillos en pastoreo.

- Evaluar el efecto de la suplementación con DDGS sobre las características de la canal en novillos en pastoreo.

- Evaluar el efecto de la suplementación con DDGS sobre el perfil lipídico y la concentración del ácido linoleico conjugado (ALC) en la carne de novillos en pastoreo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Generalidades del sistema y ubicación del experimento

El proyecto se desarrolló durante los meses de agosto a noviembre del 2018, en la Finca La Vega, de la Unidad de Ganado de Carne, del Programa de Producción Agropecuaria (PPA) de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos. Dicha finca se encuentra ubicada en el distrito de Florencia, en las coordenadas 10° 46' 47" latitud norte y 84° 51' 76" longitud oeste. La zona cuenta con una altitud media de 72 m.s.n.m y una temperatura promedio de 26,5°C, con una humedad relativa del 84% y una precipitación media anual de 3062 mm (Ramírez-Barboza et al. 2016).

El módulo de engorde del PPA cuenta dos sistemas de rotación, mediante el uso de cerca eléctrica, que convergen en una batería techada de alimentación central y pileta con agua para ambos grupos, con capacidad para 32 animales; uno de los sistemas de rotación cuenta con 11 apartos con un área promedio de 8314m² cada uno y el otro con 10 apartos con un área promedio de 9077m², para un área total del módulo de 18,22 hectáreas (ha) (Figura 16).

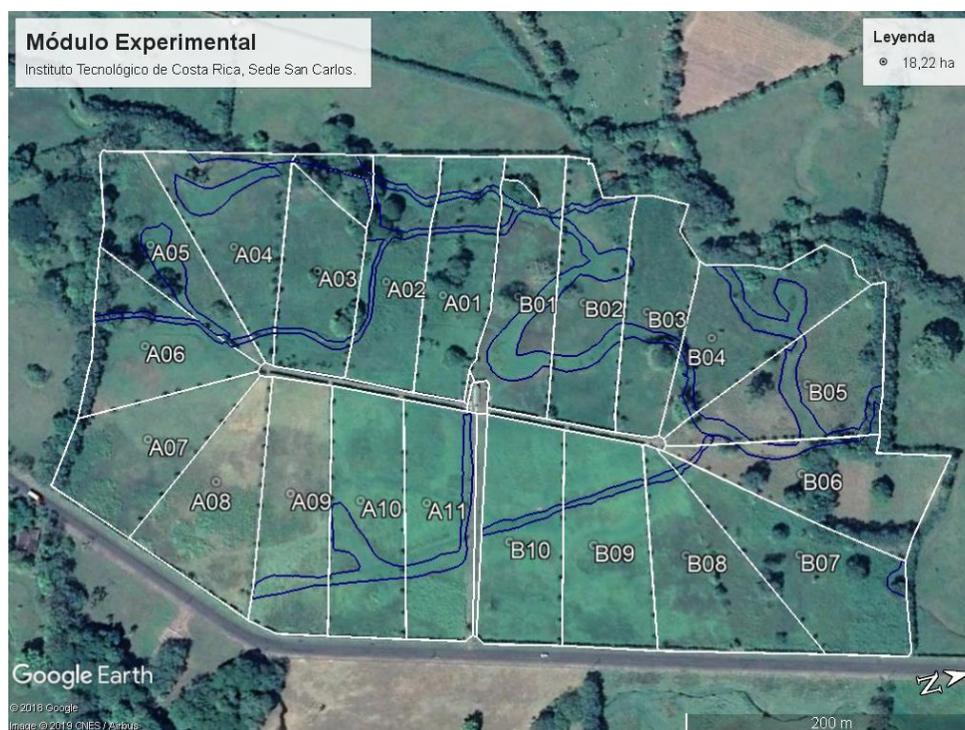


Figura 16. Módulo de engorde del PPA del Tecnológico de Costa Rica con sus respectivos canales de agua demarcados de color azul, ubicado en la Vega de San Carlos.

La presencia de pasturas en los sistemas de rotación es muy heterogénea por lo que se pueden encontrar forrajes como Ratana (*Ischaemum indicum*), Toledo (*Brachiaria brizantha*), Tanner (*Brachiaria radicans*) y guinea (*Megathyrsus maximus*). Ambos sistemas de rotación cuentan con canales de agua que sirven como fuente de dicho nutrimento a los animales, sin embargo, presentan un riesgo sanitario debido al estancamiento de la misma que puede favorecer el desarrollo de parásitos como la fasciola hepática (Figura 17).



Figura 17. Canales que cruzan el módulo de engorde y batería de alimentación central.

4.2. Animales y dietas

4.2.1. Características y distribución de los animales

En total se trabajó con 32 animales, castrados y encastados con de Brahman, con un peso inicial promedio de 395,19 kg. De manera aleatoria se repartieron el total de novillos con el fin de obtener 16 novillos por cada uno de los dos grupos que contenían ambos tratamientos, los cuales se integraron a un sistema de rotación distinto los cuales convergían en un módulo de alimentación central donde se alimentaron una vez al día (Cuadro 10).

Cuadro 10. Distribución de los novillos utilizados en el proyecto de engorde de acuerdo al grupo y tratamiento.

Grupos	Experimental	Control	Total
A	8	8	16
B	8	8	16
Total de animales:			32

Cada uno de los grupos fue subdividido a la mitad durante la alimentación (Figura 18), de manera que 8 animales por grupo fueron destinados al consumo del suplemento 1 (T1), dieta experimental; y 8 animales al suplemento 2 (T2), dieta control; esto con el fin de evitar el efecto que pudiese ocasionar el módulo de pasturas en el que permanecieron mediante la incorporación de ambos tratamientos en ambos sistemas de rotación.



Figura 18. Novillos del grupo A (izquierda) y B (derecha) mientras son alimentados en la batería central del módulo de engorde.

Para lograr diferenciar los novillos se utilizaron aretes de color diferente, donde el grupo A tenía los 8 novillos de la dieta experimental (T1) con arete amarillo y 8 novillos de la dieta control (T2) sin arete, mientras que el grupo B los novillos de la dieta experimental tenían igualmente arete amarillo y la dieta control tenían arete verde. De igual forma todos los animales tenían además el arete amarillo del sistema de trazabilidad de la finca (Figura 19).



Figura 19. Novillos del grupo A (izquierda) y B (derecha) utilizados en el proyecto de engorde con sus respectivos aretes.

Ambos tratamientos se suplementaron por un período de 110 días hasta alcanzar un peso promedio de 503 kg.

4.2.2. Formulación y distribución de las dietas

Los animales se suplementaron diariamente con 3,0 kg de alimento balanceado (AB) por animal, de acuerdo al tratamiento propuesto. De manera que al final se tuvieron 16 novillos suplementados con el T1 el cual tenía un nivel de inclusión del 23% de DDGS y los restantes con el T2 sin la inclusión de DDGS en sus ingredientes (Cuadro 11).

Cuadro 11. Fórmula cuali-cuantitativa de los alimentos balanceados utilizados en el experimento.

Ingrediente	% de inclusión	
	T1	T2
Maíz	60,00	43,77
Harina de Soya	--	4,34
Harina de negra de coquito de palma africana	--	30,00
DDGS	23,00	--
Grasa de Sobrepasso	--	2,50
Urea	0,65	0,65
Acemite de trigo	1,60	8,00
Melaza	12,00	8,00
Carbonato de Calcio	2,00	2,00
Sal	0,50	0,50
Premix de vitaminas y minerales	0,25	0,25
	100,00	100,00

Dichos suplementos fueron formulados para tener similar valor energético y proteico con el fin de probar si la inclusión de los DDGS aumenta el contenido de ALC en la carne.

Para garantizar el consumo de la cantidad determinada de suplemento, cada animal tuvo acceso a un comedero individual techado. Además, se les brindó minerales a libre consumo, en ambos tratamientos. Por último, desde el punto de vista sanitario los animales se desparasitaron interna y externamente, al inicio del período de engorde.

4.2.3. Disponibilidad de agua

El consumo de agua se garantizó con una pileta central, ubicada en los comederos del módulo, regulada con una boya para evitar desperdicios, en la cual los animales tenían acceso en todo momento. Esta se limpió semanalmente para garantizar la calidad del agua, sin embargo, es importante destacar que al no garantizar la disponibilidad de agua a nivel de potrero y con disponibilidad de charcas y riachuelos los animales solo lo utilizaban cuando eran alimentados en la batería de comederos.

4.3. Procedimiento en finca:

4.3.1. Alimentación, rotación de pasturas y manejo diario.

Debido a que la carga animal era muy baja y con el fin de garantizar que los novillos consumieran la mayor cantidad de forraje y de la mejor calidad posible; se realizó una adaptación en ambos sistemas de rotación del módulo y la chapea de los apartos que contaban con cepas del pasto guinea, ya que dicho forraje se encontraba pasado de su edad de cosechay a alturas que no eran aprovechables para el animal, reduciendo su consumo y el aprovechamiento del área en pastoreo (Figura 20).



Figura 20. Aparto recién pastoreado con cepas de guinea no consumidas por el animal (derecha) y apartado de guinea recién chapeado al frente y al fondo uno sin chapear que muestra la altura del forraje (izquierda).

Se seleccionaron 7 apartos de cada sistema, con un área promedio de 8867m², buscando siempre que fueran lo más homogéneos posibles entre sí y garantizaran buena disponibilidad de biomasa para los animales. Como se puede observar en la Figura 21, los apartos disponibles se dividieron varias veces con cerca eléctrica, simulando un pastoreo en franjas, es decir; cada aparto fue dividido entre cuatro o cinco veces, de acuerdo a su tamaño, con el fin de aumentar el aprovechamiento de la pastura. Cada división representa un día de pastoreo hasta obtener 30 días de rotación por grupo, con áreas promedio de 1988 m² para el grupo A y 2171 m² para el grupo B.



Figura 21. Nuevo sistema de rotación empleado durante el proyecto de engorde de los novillos, en rojo se ubican los apartos no utilizados.

Con esto se garantizó un área promedio diaria por animal de 124 m² en el grupo A y 136 m² para el grupo B. Al final, se tuvo un período de 29 días de descanso a las pasturas con un día de ocupación.

Diariamente los animales fueron llevados al módulo de alimentación, ubicado en el centro de ambos de sistemas de rotación durante las horas de la mañana (entre 6 y 8 am) para evitar una reducción en el consumo por efecto del estrés calórico debido al incremento del calor metabólico. En dicho módulo de alimentación cada grupo fue separado por la mitad de acuerdo al tratamiento asignado, sin mezclar los grupos, y se les brindaba de manera individual el suplemento alimenticio, de acuerdo al tratamiento destinado. Posterior a esto los animales seguían pastoreando por el resto del día.

4.3.2. Producción, composición y aprovechamiento de la pastura.

La producción de biomasa de las pasturas fue calculada de manera periódica empleando la técnica de Botanal[®] (Hargraves y Kerr 1978) y sus adaptaciones según las características propias de los apartos, esta se realizaba de manera previa al pastoreo en el área en que iban a ingresar los animales.

En las apartos de características rastreras y con composición más heterogénea, se empleó la técnica Botanal[®], mediante el uso de un cuadro de 0,25 m² (Figura 22); se determinaron 5 sustratos, calificados de menor a mayor producción de biomasa, se cosecharon, pesaron y empacaron por separado para su posterior análisis de MS y nutricional. Una vez calificados los sustratos, se realizaron de 30 a 50 repeticiones de manera que el área de pastoreo fuera abarcada de manera aleatoria. En cada repetición se calificaba el nivel de sustrato presente y la composición botánica de la pastura en tres niveles: donde 1 es pastura principal (70,2%), 2 es la pastura secundaria (21,1%) y otros presentes (8,7%); tomando en cuenta la presencia de malezas, leguminosa y material senescente.

En el caso de los apartos cultivados con pasturas con crecimiento erecto, de la especie guinea, se empleó la adaptación de la técnica, utilizando un cuadro de un 1 m², en el cual se cosecharon 6 cuadros seleccionados aleatoriamente de manera representativa de las condiciones de la pastura, se pesaron individualmente y se registró el dato para posteriormente aleatorizar las sub-muestras y generar una muestra final de aproximadamente 500 g para realizar los análisis nutricionales y de MS del forraje (Figura 22).



Figura 22. Determinación de disponibilidad forrajera diaria mediante dos técnicas.

El aprovechamiento se realizó siguiendo los mismos criterios de selección de la técnica y con la misma cantidad de repeticiones mencionadas anteriormente, esta se aplicó en el aparto una vez que salían los animales de pastoreo. El cálculo se realizó mediante la diferencia entre material disponible obtenido por la determinación en pre pastoreo respecto a lo encontrado posterior al paso de los animales.

4.3.3. Pesaje y condición corporal (CC).

Los animales se pesaron al inicio del proyecto, utilizando una prensa y una romana Tru-test XR-3000®; y una vez al mes durante los 110 días aproximados que duró el proceso de engorde, con el fin de medir la ganancia diaria de peso (GDP). Además, durante los días de pesaje se evaluó la CC de los animales utilizando la escala americana de 1 a 9, presente en el Anexo 1.

4.3.4. Mediciones de ultrasonido.

Al inicio y final del proceso de engorde, se evaluó la composición de la canal por medio de la ultrasonografía utilizando el equipo ALOKA 500 UST-5044-3.5 LINEAR, Med Wow, (Nicosia, Chipre), y el software desarrollado por la Universidad de Kansas (Figura 23).



Figura 23. Equipo y toma de mediciones ultrasonográficas realizadas en el proyecto al inicio y final de la fase de engorde.

Con dicho software se evaluó el nivel de marmoleo, profundidad muscular, grasa de grupa (rumpfat) y espesor de grasa cobertura/dorsal (backfat) en el anca y a la altura del lomo, como se ve en la Figura 24.

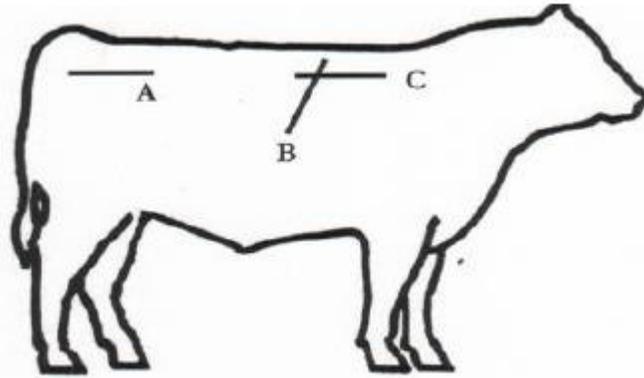


Figura 24. Regiones utilizadas en la evaluación de las características de canal mediante la técnica de ultrasonido. (**A:** Grasa de grupa [RumpFat]; **B:** Imagen transversal de AOL y espesor grasa dorsal [Backfat] a nivel de la 12^a a 13^a costillas; **C:** profundidad de músculo e imagen longitudinal para obtener el grado de marmoleo).

Fuente: Adaptado de Guitou (2007).

4.3.5. Prueba de mezclado en el alimento.

Se realizó una prueba de mezclado del alimento en una mezcladora horizontal (Figura 25) del Programa de Producción Animal (PPA), con capacidad aproximada de 500 kg de AB, utilizada para la elaboración de las dietas manejadas en el proyecto; como marcador se utilizó el hierro (Fe), a razón de 20 g/ton de AB. Este se mezcló con el premix de minerales y posteriormente fue incorporado a la mezcla en la adición de materias primas. Posteriormente, durante el enfarde se tomó una muestra de aproximadamente 100 g de cada saco, para un total de 7 sub-muestras. Dicho proceso se repitió para ambas dietas. Luego las 7 sub-muestras de cada dieta fueron transportadas al laboratorio del CINA para su revelado de acuerdo a la metodología propuesta por Microtracer (2017). Luego se realizó el cálculo del coeficiente de variación (CV) de la muestra para determinar la variación del mezclado.



Figura 25. Mezcladora horizontal utilizada en la elaboración de los alimentos balanceados del grupo de novillos del proyecto.

4.3.6. Control del consumo de los suplementos.

Se realizaron controles semanales en los pesos de los sacos al momento del enfarde del alimento, se monitoreó el transporte del mismo y almacenamiento en el módulo de engorde con el fin de garantizar las mejores condiciones del AB brindado y la cantidad estipulada por lote. Además, se aforó un balde a la medida exacta de 3 kg para alimentar a los novillos diariamente con cada uno de los suplementos asignados según su tratamiento (Figura 26).



Figura 26. Suplementos utilizados en el engorde de novillos del proyecto: izquierda suplemento control (T2) y derecho suplemento a base de DDGS (T1).

Para controlar el aporte nutricional brindado por el suplemento se realizaron muestreos aleatorios del alimento balanceado y se enviaron las muestras al Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica (UCR), para su correspondiente análisis nutricional mediante la técnica del NIRS y química húmeda.

4.4. Procedimiento en planta de sacrificio:

4.4.1. Merma de finca a planta y rendimiento en canal.

Con ayuda de la balanza Tru-test XR-3000[®], se pesaron los animales a la salida de la finca y antes del sacrificio de los mismos, con el fin de calcular la pérdida de peso durante el transporte y espera en los corrales de la planta de sacrificio (%merma finca/planta). Los animales se procesaron en la planta de la Cooperativa Montecillos a una distancia de 98,5 km de la finca. De igual forma se obtuvo el peso de la canal caliente con el fin de estimar el rendimiento de canal respecto al peso vivo en planta. Se determinó el tiempo transcurrido desde la salida de la finca hasta el aturdimiento de los animales, incluyendo transporte y tiempo de espera en corrales.

4.4.2. Evaluación de la canal.

Una vez faenados los animales, en la línea de pesado de la canal caliente se analizaron visualmente las características de la canal en términos de conformación muscular, grado y color de la grasa; esto según los parámetros de clasificación brindados por la guía fotográfica del programa de Clasificación de canales de CORFOGA (2002), los cuales se detallan a continuación:

- **Conformación muscular (CM).**

En términos de conformación se evaluaron las canales en perfil y amplitud en las tres regiones mediales de la canal tomando en cuenta el costillar, lomo y paleta con el fin de ver la presencia o ausencia de músculo en dichas zonas, calificándose entre 1 y 4. El uno es una canal de perfil convexo-rectilíneo, amplio en ambos cuartos y el lomo prominente; mientras que un cuatro representa una canal cóncava-ultracóncava y son descarnadas y angulosas, muy característicos de vacas lecheras. Los puntos a analizar en la canal se observan en la Figura 27 y ejemplos de dicha clasificación se ven en la Figura 28.

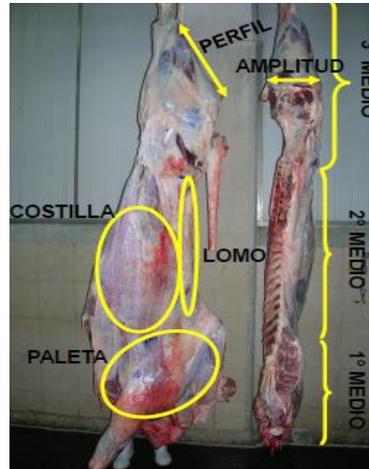


Figura 27. Puntos a evaluar en una canal bovina.

Fuente: CORFOGA (2002).



Figura 28. Ejemplos de las cuatro clasificaciones de canal de acuerdo a la profundidad de músculo.

Fuente: CORFOGA (2002).

- **Nivel de grasa de cobertura**

Para el grado de grasa de cobertura se brindó una calificación de 1 a 3, de acuerdo al nivel de grasa subcutánea presente en la canal bovina en el cual una canal 1 se caracteriza por presentar de nula a una ligera capa de grasa, mientras que el grado 3 es una canal con buena presencia de grasa (con más de 1cm de grasa subcutánea) y una amplia distribución a lo largo de la canal, ejemplos de la clasificación se presentan en la Figura 29.



Figura 29. Ejemplos de las tres clasificaciones de acuerdo al grado de cobertura de grasa de la canal.

Fuente: CORFOGA (2002).

- **Color de grasa**

Por último, se calificó la canal de acuerdo al color presente en la grasa de cobertura, brindando valores entre 1 y 3; donde un uno se traduce en una canal con grasa blanca a ligeramente rosada y un tres es una grasa amarillo intenso, como se aprecia en la Figura 30.

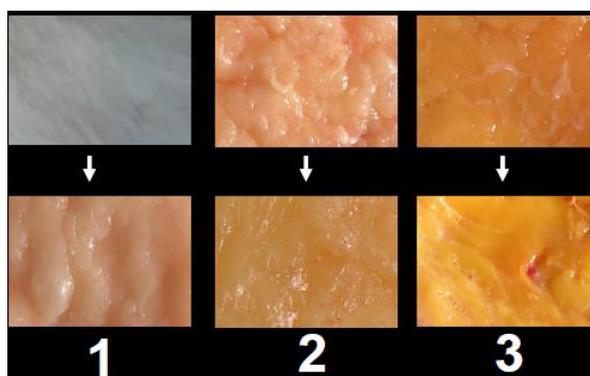


Figura 30. Ejemplos de las tres clasificaciones de acuerdo al color de la grasa de cobertura de grasa de la canal.

Fuente: CORFOGA (2002).

4.4.3. Edad cronológica y dentaria.

La edad cronológica se obtuvo mediante la verificación de registros de finca (edad real) y la evolución de la dentición de cada uno de los novillos, esto posterior al sacrificio de los animales, donde se analizó el desarrollo bucal de los mismos de acuerdo a la Figura 31 y se

comparó con la clasificación utilizada por Ledic (2011) y CORFOGA (2002), presente en el Cuadro 12, tomando en cuenta un dato intermedio entre animales de razas más precoces y tardías, debido a que los animales utilizados en el proyecto son cruces de ambas.

Cuadro 12. Clasificación de la edad cronológica a la evolución de la dentición bovina.

Dientes permanentes presentes	Edad en meses según desarrollo	
	Precoz	Tardío
Pinzas	22	27
Primeros Medios	27	36
Segundos Medios	36	48
Extremos	48	60

Fuente: Adaptado de Ledic (2011) y CORFOGA (2002).

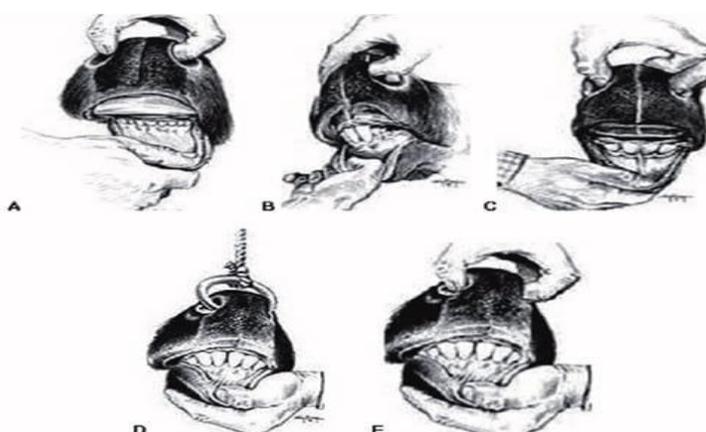


Figura 31. Cronología de los dientes en bovinos. (A = 0 dientes permanentes, B = 2 dientes permanentes (pinzas), C = 4 dientes (primeros medios), D = 6 dientes (segundos medios), E = 8 dientes o boca llena (extremos)).

Fuente: Ledic (2011).

4.4.4. Estado de vísceras.

A las 24 horas post-mortem se midió la altura de la giba (*romboideus*) desde la parte caudal del ligamento *nuchae*, al punto máximo de la misma. Por otro lado, luego del faenado de los animales se analizó visualmente el estado de las vísceras, principalmente hígado y pulmones, en busca de la presencia de parásitos como la fasciola hepática en hígado,

clasificándose como ausencia o presencia de los mismos (Figura 32), sin medir el grado de infección de los animales.

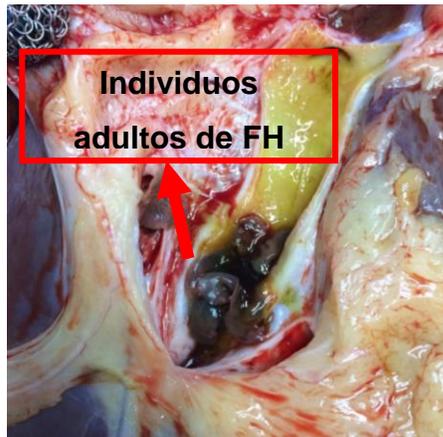


Figura 32. Estado de uno de los hígados de un novillo del proyecto infestado con fasciola hepática a la entrada del hígado.

4.4.5. Área del ojo del lomo (AOL), espesor de grasa y marmoleo.

A las 24 horas post mortem para cada animal se utilizó una media canal en la que se realizó un corte transversal, a nivel de la 12^a a 13^a costilla (Figura 33), con el fin de exponer el músculo *Longissimos dorsi lumbarum*, región donde se realizaron las mediciones de AOL mediante el uso de la plantilla oficial del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, (USDA por sus siglas en inglés) (Figura 35) (Rubio et al. 2013b).



Figura 33. Corte transversal del músculo *Longissimos dorsi lumbarum* en media canal y determinación de AOL con la plantilla oficial del USDA.

Con una regla de acero inoxidable se midió el espesor de grasa de cobertura y con la ayuda de la guía fotográfica de la USDA se clasificó de acuerdo al nivel de marmoleo presente (Figura 34).



Figura 34. Medición del espesor de grasa de cobertura y determinación del nivel de marmoleo presente, en el músculo *Longissimus dorsi lumbarum*.

4.4.6. Temperatura y pH de la canal.

Para obtener las mediciones de temperatura y pH se utilizó el pH-metro HANNA-HI 99163 (HANNA instruments, Woonsocket., RI), previamente calibrado con buffer 4,01 y 7,01. El proceso de medición se realizó con el electrodo especial para carne con punta de acero inoxidable, el cual se introdujo en la región del AOL como se muestra en la Figura 35. Dicho procedimiento se realizó tres veces esto con el fin de calcular un valor promedio de pH y temperatura (Rubio et al. 2013b).



Figura 35. Punta de acero inoxidable, calibración y método de utilización del pH-metro para la medición de pH y temperatura a las 24 horas post mortem.

4.4.7. Color de músculo y toma de muestra.

Para evaluar el color de músculo, se utilizó la misma región del AOL ubicada en el corte transversal del *Longissimus dorsi lumbarum*, mediante el espectro-fotómetro HunterLab Mini Scan EZ 45/0 LAV, (Reston, VA). Donde primeramente se procedió a calibrar el equipo con el lente negro y con el blanco, en dicho orden; una vez calibrado se colocó el cono del mini-scan en la superficie del músculo de forma hermética con el fin de obtener las mediciones de color (Figura 36).



Figura 36. Calibración y uso del espectrofotómetro para determinar el color del músculo a las 24 horas post-mortem.

Dichas mediciones de color se evaluaron de acuerdo al sistema CIELAB de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) (Rubio et al. 2013b; Konica-Minolta 2016); donde las mediciones obtenidas en términos de L^* , a^* , b^* ; se definen como:

- L^* o índice luminosidad; con valores de 0 (negro) a 100 (Blanco).
- a^* o índice rojo/verde; donde un valor + indica rojo y - indica verde).
- b^* o índice amarillo/azul; donde un valor + indica amarillo y - indica azul).

Por último, mediante la incorporación en la cadena de deshuese de la planta de faenado, se tomó una muestra de aproximadamente 100 gramos del músculo *Longissimus dorsi lumbarum*, la cual fue identificada con el número de la canal y empacada al vacío (Figura 37), para ser transportado en hielera hasta el laboratorio de química del CINA, para su posterior análisis de extracto etéreo (EE) y perfil lipídico.



Figura 37. Muestra del músculo *Longissimus dorsi lumbarum* empacada al vacío para su posterior transporte al CINA.

4.5. Perfilado de ácidos grasos y EE.

En el laboratorio de química del CINA, se realizaron las pruebas de laboratorio para determinar el extracto etéreo de acuerdo al método 940.28 propuesto por la AOAC (2019), en el cual se molieron las muestras de carne y colocaron en beaker individuales y rotulados con el número de la canal donde se agregó el éter para realizar la extracción de la grasa y obtener el EE (Figura 38).



Figura 38. Preparación de las muestras para su posterior extracción de grasa.

Luego de obtenido y determinado el EE de cada muestra, este se utilizó para el perfilado de ácidos grasos, incluyendo al ácido linoleico conjugado (ALC), mediante la metodología propuesta por Stanton et al. (1997), con ayuda del espectrofotómetro de gases del CINA.

4.6. Análisis químico y bromatológico.

El valor nutricional del forraje se evaluó de manera periódica mediante los análisis bromatológicos realizados en el laboratorio de bromatología de forrajes del Centro de Investigación en Nutrición Animal, por medio de las técnicas de química húmeda y NIRS.

4.7. Análisis estadístico.

4.7.1. Descripción del análisis de varianza (ANDEVA).

Modelo Estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + M_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación que corresponde a la i-ésima suplementación del j-ésimo módulo.

μ = Media poblacional.

S_i = Efecto de la i-ésima suplementación.

M_j = es el efecto del j-ésimo módulo

E_{ij} = Error experimental asociado a la observación Y_{ijk}

Se utilizó un diseño de bloques (grupos) al azar con dos tratamientos y 16 repeticiones por tratamiento, en el cual se analizaron las características de crecimiento (ganancia de peso diaria), mediciones por ultrasonografía, rendimiento a canal, merma finca/planta, características de la canal y concentración de ácido linoleico en carne por medio de ANDEVA y la separación de las medias por medio de la prueba de Tukey con un 95% de confianza ($p \leq 0.05$). En el caso de la condición corporal se midió el efecto del tratamiento y la comparación de medias se hizo utilizando métodos no paramétricos respecto a la diferencia generada al inicio y final del engorde según la dieta. Por último, se realizaron dos correlaciones, una de las mediciones de grasa de cobertura (Backfat) mediante ultrasonido respecto a las mediciones realizadas a nivel de planta de cosecha con la regla pie de rey y la otra para correlacionar la dentaria respecto a la edad cronológica obtenida mediante los registros de nacimientos de la finca.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Características nutricionales de los componentes de la dieta:

5.1.1. Composición botánica de las pasturas.

Para la clasificación de la composición botánica se realizó la caracterización de las pasturas presentes en el módulo de engorde durante la realización de las estimaciones de biomasa, con el fin de detectar la composición botánica de la pastura y conocer a manera general el aporte forrajero que reciben los animales. En el Cuadro 12 se muestra la composición botánica promedio de los apartos empleados en la rotación de los novillos, en el caso de las malezas se encuentran principalmente el Gamalote (*Paspalum fasciculatum*), Dormilona (*Mimosa pudica*) y navajuela (*Scleria melaleuca*). En el caso de las leguminosas la que se encontraba principalmente era el Kudzú (*Pueraria lobata*).

Cuadro 13. Composición botánica presente en el área empleada para la rotación de los novillos en etapa de engorde.

Especie forrajera	% Presente
<i>Megathyrsus maximum</i> (Guinea)	44,97%
<i>Echinochloa polystachya</i> (Pará Alemán)	8,44
<i>Ischaemun indicum</i> (Ratana)	13,89
<i>Brachiaria arrecta</i> (Tanner)	27,10
Malezas	0,52
Leguminosas	0,57
Senescente	4,51
Total	100,00%

Como se apreciar en el Cuadro 13, las principales pasturas presentes en el módulo son la guinea, el tanner y la ratana, este último en menor porcentaje. La importancia en la composición botánica de las pasturas radica en la variabilidad nutricional de cada una de las especies forrajeras presentes y su posible efecto en el aporte de nutrientes a la dieta del animal y reducción del consumo de materia seca (CMS), limitando el potencial productivo de los animales (González et al. 2004). Sin embargo, dichos autores no encontraron diferencias significativas en términos nutricionales de la pastura, pero reportan una relación lineal positiva entre el valor relativo del forraje (VRF) y el porcentaje de leguminosas e inverso en términos de VRF con el porcentaje de malezas presentes. Aquí es importante destacar que para este caso la presencia de leguminosas fue mínima (0,57%) por lo que la variación principal se debe a términos de contenido y calidad de la fibra de las gramíneas presentes en el proyecto.

5.1.2. Producción de biomasa y aprovechamiento aparente de las pasturas

En el Cuadro 14 se muestran los resultados obtenidos para las mediciones de disponibilidad de forraje en los apartos, la eficiencia aparente en el uso de la pastura con base en esto la cantidad de animales manejados en el proyecto se determinó la oferta de forraje diario por lote y animal.

Cuadro 14. Resultados de 12 estimaciones de biomasa, aprovechamiento y consumos aparentes por lote y animal.

Estimación	Producción (Kg MS/Día)	Eficiencia en el uso de la pastura (%)	Oferta total (kg MS)	Oferta animal/día (kg MS)
1	997,30	35,33	352,38	22,02
2	730,40	22,67	165,56	10,35
3	839,00	29,67	248,90	15,56
4	874,19	32,33	282,66	17,67
5	382,13	40,00	152,85	9,55
6	158,80	43,50	69,08	4,32
7	199,66	39,33	78,53	4,91
8	525,10	37,50	196,91	12,31
9	289,62	39,53	114,50	7,16
10	481,39	43,50	209,41	13,09
11	369,63	36,67	135,53	8,47
12	416,71	59,67	248,64	15,54
Promedio	521,99	38,31%	187,91	11,74

De acuerdo a las estimaciones de biomasa realizadas a lo largo de la fase de engorde, se tiene como promedio una disponibilidad diaria de 521,99 kg de MS con un aprovechamiento aparente de la pastura del 38,31%, considerando que cada lote se manejaba en grupos de 16 novillos se tiene como resultado un consumo aparente promedio 187,91 kg MS/día; para un valor promedio de 11,74 kg MS/día/animal; tomando en cuenta el peso promedio a final del ciclo (503,66 kg), representa un consumo aparente promedio del 2,33% del peso vivo del animal en términos de forraje. Este valor es similar al obtenido por González et al. (2004) al conseguir consumos del 2,3% del PV en novillos que pastoreaban áreas con una composición botánica variable (alfalfa *Medicago sativa* L. [40 %], "orchardgrass" *Dactylis glomerata* L. [28 %], festuca *Festuca arundinacea* Schreb [11 %], bromo *Bromus inermis* Leyss [11 %] y malezas [10 %]).

Este valor de aprovechamiento se encuentra en el rango obtenido por Villalobos et al. (2019), al analizar el efecto de la eliminación del material senescente, en las características nutricionales del mombasa (*Megathyrus máximum* Jacq.) y su posterior aprovechamiento,

en un sistema de lechería especializada, con resultados del 30% para el control y 48% de la pastura con el tratamiento. Esto bajo condiciones ambientales muy similares a esta investigación, lo que podría reflejar una tendencia de manejo en condiciones tropicales.

Estos valores de aprovechamiento de la pastura (Cuadro 14) se explican por la disminución en el contenido de fibra del forraje, lo que estimula el consumo de los animales en el potrero (Villalobos et al. 2019). Esto podría explicar los valores de aprovechamiento del trabajo debido a la aplicación de dicha técnica en las zonas cultivadas con guinea (*Megathyrus máximum*) las cuales representan el 44,97% de las pasturas presentes en el sistema.

De acuerdo con Mertens (1987) y NRAES (1995); el consumo de fibra detergente neutro (FDN) oscila entre 1,1 y 1,4% del peso vivo. Para este caso el valor de FDN promedio del forraje disponible fue de 67,92% (Cuadro 15), al realizar el cálculo, se obtiene un consumo máximo de 2,06% del PV, esto tomando en cuenta el peso promedio final de los novillos, es decir de 10,38 kg MS por animal de acuerdo a la limitante física debido al contenido de fibra del forraje. Estos valores se mantienen entre el rango determinado por el NRC (2000), el cual indica que los consumos diarios en novillos de engorde rondan entre los 30 y 50 gramos de MS por kg de PV, es decir entre 3 y 5% del PV.

5.1.3. Caracterización nutricional de las pasturas

A lo largo del período en el que se desarrolló el experimento se recolectaron muestras de los forrajes presentes en el módulo y se enviaron al laboratorio de forrajes del CINA para sus respectivos análisis en términos de proteína cruda (PC), materia seca (MS), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), extracto etéreo (EE), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y de la fibra detergente neutro (DIVFDN), así como, los carbohidratos no fibrosos (CNF), nutrientes digestibles totales (TND) y la energía digestible (ED) y neta de ganancia (ENg). con el fin de caracterizar el aporte de este complemento de la dieta. En el Cuadro 15 se muestran los resultados de las 6 muestras analizadas.

Cuadro 15. Resultados de los análisis bromatológicos realizados a diferentes pasturas presentes en el módulo de engorde.

Material	1	2	3	4	5	6	Promedio
%MS	16,50	19,60	19,70	14,58	16,48	13,46	16,72
%PC	11,88	12,14	7,31	11,74	12,73	10,05	10,98
%FDN	65,90	68,10	72,30	66,80	64,80	69,60	67,92
%FDA	36,50	38,40	41,80	36,10	35,40	38,10	37,72
% cenizas	10,30	11,63	7,61	9,01	12,13	-	10,14
% EE	3,09	2,65	2,34	1,94	1,83	-	2,37
% lignina	2,40	1,80	3,40	2,30	2,00	-	2,38
% DIVMS	75,70	76,70	65,30	74,30	72,30	-	72,86
% DIVFDN	63,30	65,70	52,00	61,50	57,20	-	59,94
% CNF	13,83	9,92	13,57	14,32	13,39	-	13,01
% TND	60,27	59,19	57,92	60,33	58,58	-	59,26
ED Kcal/kg	2660	2610	2550	2660	2580	-	2612
ENg Mcal/kg	0,79	0,75	0,70	0,79	0,73	-	0,75
CMS (%PV)	2,12	2,06	1,94	2,10	2,16	2,01	2,06
% VRF	124,67	122,23	98,02	120,71	121,09	-	117,34

*EI VRF= CMS*DIVMS/1,29

Como promedio se tienen valores de 10,98% de PC, 67,92% de FDN y un aporte promedio de 2,37% de EE en el forraje, esto es importante considerando el gran aporte a nivel de volumen que significa este componente y considerando un mayor aporte AG, principalmente insaturados. En el caso de la PC, es importante ya que suele aceptarse como una posible causa en la reducción del consumo de forraje, sin embargo en la mayoría de los casos los valores se encontraron por encima del umbral estimado entre 6 y 8% (NRC 2000). Los valores de PC y fibra promedio son similares a los reportados por Villalobos y WingChing-Jones (2019), en pasto mombasa, con valores entre 6,28-9,98% PC y 66-72% de FDN, respectivamente. Sin embargo, el valor de digestibilidad de la fibra fue ligeramente mayor en este proyecto al rango reportado por dichos autores (57-65% DIVFDN).

Al analizar los valores obtenidos de VRF, de acuerdo con el FEDNA (2018) las pasturas se encuentran entre segunda (103-124) y tercera calidad (87-102), lo que puede explicar los altos consumos de MS obtenidos en esta investigación (Cuadro 15).

5.1.4. Caracterización nutricional de los suplementos utilizados en el engorde de novillos

A lo largo del período de engorde se tomaron cinco muestras de cada uno de los alimentos elaborados semanalmente, estas fueron enviadas al laboratorio de química del CINA donde se realizaron los análisis pertinentes para determinar el aporte nutricional de ambos suplementos.

Cuadro 16. Características nutricionales realizados al suplemento control (T2) a lo largo del experimento.

Muestra	1	2	3	4	5	Promedio
%MS	88,30	88,98	87,20	88,54	88,37	88,28
%PC	13,47	13,46	13,04	11,67	12,02	12,73
% FC	9,58	-	-	9,21	8,51	9,10
%FDN	-	25,30	28,80	-	-	27,05
%FDA	-	13,70	15,50	13,34	12,93	13,87
% CE	5,10	4,88	5,18	4,32	4,18	4,73
% EE	4,92	5,84	6,08	6,06	6,04	5,79
% lignina	-	3,30	4,30	-	-	3,80
% CNF	-	52,94	50,43	-	-	51,68
% TND	-	79,15	76,92	-	-	78,04
ED Kcal/kg	2860	3490	3390	2935	2955	3126
ENg Mcal/kg	-	1,43	1,36	-	-	1,40

En el Cuadro 16 y 17 se observan los resultados obtenidos de cinco muestreos aleatorios, realizados para ambos alimentos balanceados, a lo largo del proceso de engorde de los animales. Si bien las dietas estaban formuladas para contener similar valor de energía y proteína, los resultados muestran lo contrario, asociado a la variabilidad en la fabricación de los alimentos. Como se puede ver existe una diferencia entre los valores promedio de PC y ENg a favor de T1 de 2,22 puntos porcentuales y 0,16 Mcal/Kg, respectivamente. Sin embargo, esta diferencia no se ve reflejada en las GDP's ya que dicha dieta presenta las ganancias de peso promedio menores, aunque no significativas.

Cuadro 17. Características nutricionales del suplemento experimental (T1) con DDGS, a lo largo del experimento.

Muestra	1	2	3	4	5	Promedio
%MS	85,49	85,85	84,59	86,50	86,79	85,84
%PC	15,74	14,03	14,44	15,26	15,26	14,95
% FC	4,35	-	-	3,54	2,78	3,56
%FDN	-	13,7	14,60	-	-	14,15
%FDA	-	4,30	4,30	6,05	4,37	4,76
% CE	4,94	4,58	5,08	4,70	4,39	4,74
% EE	3,22	3,62	3,76	3,74	3,98	3,66
% lig	-	0,90	0,90	-	-	0,90
% CNF	-	67,45	64,06	-	-	65,76
% TND	-	83,83	82,88	-	-	83,36
ED Kcal/kg	3060	3700	3365	3105	3140	3274
ENg Mcal/kg	-	1,57	1,54	-	-	1,56

5.1.5. Balance energético y proteico, aporte nutricional y de AG para ambas dietas

En el cuadro 18 y 19 se presentan los consumos estimados y los aportes de cada uno de los ingredientes de la dieta, en este se pueden observar consumos de proteína muy similares para ambos grupos. Con 1,45 y 1,40 kilogramos (Kg) para los tratamientos y un aporte de 11,30 y 10,99 Mcal de energía neta de ganancia diaria para las dietas empleadas. Si bien una dieta presentaba un ligero aumento el aporte de PC y ENg, este tratamiento no fue precisamente el que presentó las ganancias más altas.

Es importante analizar el consumo de FDN en ambas dietas, como se aprecia en el Cuadro 18 el consumo diario para el tratamiento experimental (T1) fue de 7,41 kg, es decir alrededor del 1,47% del PV final del animal, mientras que para el control (T2) (Cuadro 19) el consumo fue ligeramente más alto, debido al mayor aporte de fibra del suplemento, para un valor de 1,54% del PV final; en ambos casos los valores son superiores al 1,4% máximo propuestos por la literatura.

Cuadro 18. Aporte nutricional de la dieta con el suplemento experimental (T1) de acuerdo al nutriente analizado.

	T1	Forraje	Aporte total
CMS (Kg)	2,58	10,38	12,96
C PC (Kg)	0,38	1,14	1,52
C FC (Kg)	0,09	0,00	0,09
C FDN (Kg)	0,36	7,05	7,41
C FDA (Kg)	0,12	3,91	4,04
C cenizas (Kg)	0,12	1,05	1,17
C EE (Kg)	0,09	0,25	0,34
C lignina (Kg)	0,02	0,25	0,27
C CNF (Kg)	1,69	1,35	3,04
C TND (Kg)	2,15	6,15	8,29
C ENg Mcal/kg	4,00	7,80	11,81

Cuadro 19. Aporte nutricional de la dieta con el suplemento control (T2) de acuerdo al nutriente analizado.

	T2	Forraje	Aporte total
CMS (Kg)	2,65	10,38	13,03
C PC (Kg)	0,34	1,14	1,48
C FC (Kg)	0,24	0,00	0,24
C FDN (Kg)	0,72	7,05	7,76
C FDA (Kg)	0,37	3,91	4,28
C cenizas (Kg)	0,13	1,05	1,18
C EE (Kg)	0,15	0,25	0,40
C lignina (Kg)	0,10	0,25	0,35
C CNF (Kg)	1,37	1,35	2,72
C TND (Kg)	2,07	6,15	8,21
C ENg Mcal/kg	3,69	7,80	11,50

Al analizar el balance energético (Cuadro 20) de la dieta a través del tiempo se puede observar que ambos tratamientos presentan una deficiencia energética la cual se vuelve mayor a medida que crece el animal, lo que puede explicar la caída en la GDP promedio de los animales (Figura 39). Sin embargo, en términos de proteína la dieta cumple los requerimientos de los animales a lo largo de su desarrollo, por lo que el valor energético es la limitante para obtener los mejores resultados.

Cuadro 20. Balance energético de acuerdo a los promedios obtenidos de los suplementos y el valor del forraje comparado con los requerimientos del NRC 2016.

	Kg PV	400	450	500
Mantenimiento	ENm (Mcal/d)	6,9	7,5	8,1
	PM (g/d)	340	371	402
Crecimiento	GDP (kg)			
ENg (Mcal/d)	0,4	1,6	1,8	1,9
	0,8	3,5	3,8	4,1
	1,2	5,5	6	6,5
PM (g/d)	0,4	120	111	102
	0,8	226	207	188
	1,2	326	296	267
* Datos del NRC 2016				
Balance energético (Eng Mcal/d)	Mant+1,2	12,4	13,5	14,6
	Aporte T1	11,81	11,81	11,81
	Balance T1	-0,59	-1,69	-2,79
	AporteT2	11,50	11,5	11,5
	Balance T2	-0,90	-2,00	-3,10
	Mant+1,2	666	667	669
Balance proteico (PM g/día)	Aporte T1	773,75	773,75	773,75
	Balance T1	107,75	106,75	104,75
	AporteT2	749,09	749,09	749,09
	Balance T2	83,09	82,09	80,09

En el Cuadro 21 se presentan los resultados obtenidos del perfilado de AG para ambos suplementos, experimental (T1) y control (T2); y el valor promedio de los forrajes de módulo. Como se puede apreciar existen diferencias considerables entre los aportes de cada uno de los suplementos, en términos de ALC (c9 T11), ácido linoleico y contenido de MUFAS y PUFAS (siempre a favor del tratamiento 1). Además, es importante resaltar que contrario a lo que se espera de las pasturas, como fuente alta en ácidos grasos insaturados (principalmente linolénico), en los perfilados realizados a las pasturas no se detectó dicho AG. Esto se puede explicar por las condiciones ambientales, ya que de acuerdo con Khan et al. (2015) temperaturas elevadas, como es el caso de esta investigación (26,5°C y 84% de humedad relativa); pueden causar una disminución en el contenido de ácido linolénico (C18:3 n-3), aumentando la cantidad de ácido linoleico (C18:2 n-6) y ácido palmítico (C16:0), como se aprecia en esta situación en la que no se detectó ácido linoleico en los forrajes,

pero sí gran contenido de ácido linoleico y palmítico, con valores de 7,07 y 34,15%, respectivamente.

Cuadro 21. Perfilado de ácidos grasos, como porcentaje del extracto etéreo, de ambos suplementos utilizados en el proyecto y el valor promedio de los forrajes del módulo de engorde.

	T1	T2	Forraje
% EE	3,69	5,96	2,37
Ac. Octanoico (% del EE)	0,13	2,27	ND
Ac. Caproico (% del EE)	ND	0,20	ND
Ac. Cáprico (% del EE)	0,15	2,07	ND
Ac. Láurico (% del EE)	1,48	28,72	ND
Ac. mirístico(% del EE)	0,58	9,11	3,68
Ac. Palmítico (% del EE)	15,29	10,58	34,15
Ac. Margárico (% del EE)	0,07	0,05	ND
Ac. Esteárico (% del EE)	2,36	2,08	6,29
Ac. Oleico (% del EE)	31,05	19,61	9,35
Ac. Linoleico (% del EE)	23,35	8,03	7,07
CLA (trans-10, cis-12)	11,05	8,73	ND
CLA (cis-9, trans-11)	14,47	4,62	ND
Suma de ác. grasos saturados %	19,96	55,27	49,10
MUFAS %	31,05	21,11	21,49
PUFAS %	49,00	21,78	29,40

ND= no detectable.

En el Cuadro 22 se presentan los aportes finales en términos de perfil de AG para cada uno de los suplementos utilizados y el valor promedio de los forrajes del módulo para cada uno de los tratamientos.

Cuadro 22. Aporte diario en gramos en la dieta de los principales ácidos grasos de cada una de los suplementos empleados y el valor promedio de las pasturas.

AG	T1	Forraje	T2
Ac. octanoico	0,12	0,00	3,48
Ac. caproico	0,00	0,00	0,31
Ac. cáprico	0,14	0,00	3,17
Ac. laúrico	1,40	0,00	44,02
Ac. mirístico	0,55	9,04	13,96
Ac. palmítico	14,42	83,97	16,21
Ac. margárico	0,07	0,00	0,08
Ac. esteárico	2,22	15,47	3,18
Ac. oleico	29,30	23,00	30,06
Ac. linoleico	22,03	17,38	12,30
CLA (trans-10, cis-12)	10,43	0,00	13,38
CLA (cis-9, trans-11)	13,65	0,00	7,07
Suma saturados	18,83	120,74	84,72
MUFAS	29,30	52,83	32,36
PUFAS	46,23	72,30	33,38
Suma Insaturado	75,53	125,14	65,74

En el Cuadro 23 se presentan los resultados del balance entre dietas obtenido de la dieta en términos de AG, en este se presenta el estimado de consumo diario de AG de los animales de acuerdo al tratamiento empleado.

Cuadro 23. Resultados obtenidos del aporte diario del contenido de AG proveniente de cada uno de los tratamientos y la diferencia entre los mismos.

Ácidos grasos	T1	T2	Diferencia por dieta
Ac. octanoico	0,12	3,48	-3,36
Ac. caproico	0,00	0,31	-0,31
Ac. cáprico	0,14	3,17	-3,02
Ac. laúrico	1,40	44,02	-42,62
Ac. mirístico	9,59	23,00	-13,42
Ac. palmítico	98,40	100,18	-1,79
Ac. margárico	0,07	0,08	-0,01
Ac. esteárico	17,69	18,65	-0,96
Ac. oleico	52,30	53,06	-0,76
Ac. linoleico	39,42	29,69	9,73
CLA (trans-10, cis-12)	10,43	13,38	-2,96
CLA (cis-9, trans-11)	13,65	7,07	6,58
Suma saturados	139,57	205,46	-65,89
MUFAS	82,13	85,19	-3,06
PUFAS	118,54	105,68	12,85
Suma Insaturado	200,67	190,87	9,79

Al final se puede apreciar que la dieta experimental (T1) brinda un mayor aporte diario de AG insaturados (+9,79 g), provenientes en su mayoría del balance positivo de PUFAS en la dieta (+12,85g); y de ALC (c9 T11) en +6,58 g/día, sin embargo, este último se podría esperar que sea biohidrogenado por la acción de las bacterias a nivel ruminal, ya que este debe ser sometido a un proceso de hidrogenación para convertirse en ATV (Figura 11).

Este último es el más importante en términos de aporte final de ALC debido al efecto de la delta-9-desaturasa en tejidos (Muller y Delahoy 2017; Griimari y Bauman 2008). La diferencia obtenida entre los tratamientos, en términos de aporte de ácido linoleico, es de 9,73 g a favor de la dieta experimental, lo anterior coincide con lo obtenido por Barton et al. (2007), utilizando razas europeas, como Chalorais y Limousine; brindando a libre consumo una ración total mezclada (RTM), en la cual lograron diferencias de 10,84 g/100 g de grasa, a favor de la dieta control, pero la diferencia en términos de ácido alfa-linolenico (C18:3n-3) fue de 16,48 g a favor de la dieta experimental, con consumos de 6,89 y 7,10 kg de MS para la dieta experimental y control, respectivamente; muy por debajo de los consumos estimados en el proyecto (Cuadros 18 y 19).

5.2. Resultados de prueba de mezclado

El fin de mezclar cualquier alimento es distribuir de manera homogénea cada uno de los ingredientes utilizados. En la nutrición, ese papel juega especial importancia ya que se requiere garantizar la cantidad óptima de cualquier nutrimento con el fin de no generar deficiencias y/o toxicidades en los animales.

De acuerdo con Vargas (2018) los rendimientos de los animales pueden aumentar al mejorar el proceso de mezclado de los alimentos balanceados brindados. El mismo autor indica que si bien, el valor aceptado para determinar un buen mezclado, es un coeficiente de variación (CV) menor al 10%, los mejores resultados se obtienen en el rango entre 12 y 23% de CV.

Al realizar la prueba de mezclado en la dieta experimental (T1), se obtuvo un CV del 63%, muy por encima del 10% recomendado (Beumer 1991; Wicker y Poole 1991), e incluso supera el rango recomendado por Vargas (2018). De igual forma al analizar el CV del control (T2), el valor obtenido fue de 25%, si bien es mucho menor que la de T1, sigue estando muy por encima de los parámetros recomendados. La diferencia entre ambas pruebas a pesar de que fueron realizadas en la misma mezcladora y con el mismo personal, se puede deber al orden en el que las realizan. No solo se preparan las dietas del proyecto, lo que puede afectar la atención que el personal le brinda al proceso. Un deficiente mezclado se traduce en una mala distribución de los nutrientes lo cual puede limitar la respuesta del animal afectando negativamente los rendimientos productivos.

5.3. Características productivas y ultrasonográficas:

5.3.1. Ganancia diaria de peso (GDP), condición corporal y edad.

Al analizar las GDP's de los novillos, durante los 110 días que duró la etapa de engorde, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ni entre grupos ($p > 0,05$). Esto puede asociarse a que ambas dietas fueron formuladas de manera que tuviesen similares valores proteicos y energéticos, con igual manejo, mismas condiciones climáticas y condiciones similares de la pastura; por lo que las diferencias se atribuyen a características propias del animal la genética, temperamento, metabolismo, entre otras.

En la Figura 39 se muestran las GDP's promedio, de todos los animales, a lo largo del proceso de engorde, en esta se puede apreciar la tendencia decreciente con el paso del

tiempo, con la excepción de la última pesa la cual corresponde al peso de salida de la finca y representa la ganancia acumulada de solo 17 días.

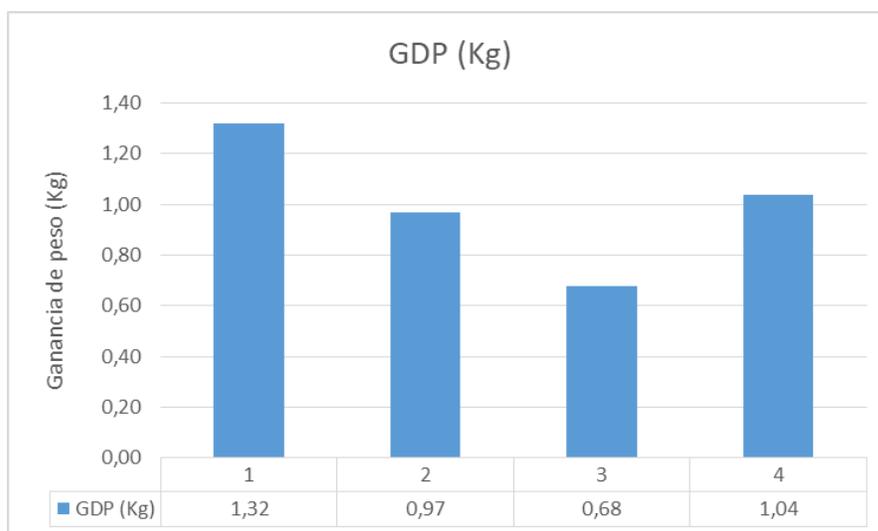


Figura 39. Comportamiento de las ganancias de peso promedio a lo largo del proceso de engorde.

En el Cuadro 24 se muestran los resultados de la ganancia de peso diaria, donde la dieta experimental obtuvo una media de 0,98 Kg de ganancia diaria, respecto a los 0,99 kg del tratamiento 2 (T2). Estos datos son similares a los reportados por Quesada (2019), en el mismo módulo de alimentación, con ganancias promedio de 0,79 Kg en novillos en pastoreo consumiendo 4 kg de suplemento. Las bajas ganancias de peso obtenidas se pueden explicar de cierta forma por la edad de los animales, ya que en promedio los novillos rondaban los 29 meses de edad al sacrificio (Cuadro 24) y de acuerdo con Ruiz et al. (1967), Herrera et al. (2008) y Sánchez (2016); la edad tiene un efecto directo en el crecimiento de los animales. Después de los 18 meses el crecimiento empieza a mermar debido a que el animal empieza alcanzar la madurez, de manera que se recomienda realizar el sacrificio entre 18 y 26 meses de edad, ya que los animales más viejos tienden a ganar menos peso, reduciendo la productividad del sistema.

Cuadro 24. Ganancia de peso (GDP) y edad promedio de los novillos de acuerdo a su grupo y dieta (tratamiento).

Variable	Tratamiento/Grupo	n	Media	Mín	Max
GDP (Kg)	T1	16	0,98	0,55	1,23
	T2	16	0,99	0,82	1,22
	A	16	0,95	0,55	1,14
	B	16	1,02	0,79	1,23
Edad (meses)	T1	16	29,52	25,91	31,79
	T2	16	29,31	23,77	32,68
	A	16	28,95	23,77	32,68
	B	16	29,88	25,94	32,65

*El T1 es la dieta experimental y el T2 la dieta control; grupo A y B.

**Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Los datos son similares a los reportados por Ramírez (2014), con animales Brahman puros y cruces F1 con razas europeas, los cuales se suplementaron con diferentes niveles de energía obteniendo ganancias entre 0,93 y 1,12 kg de acuerdo al tratamiento empleado. Al analizar el efecto de los tratamientos y/o grupos sobre la diferencia en la condición corporal (CC) durante el período de engorde, no se encontraron diferencias significativas, ni en grupos ni en tratamientos. Esto concuerda con lo reportado por Sánchez (2000), ya que existe una relación entre el incremento de peso y la condición corporal, por ende la GDPs se encuentra asociadas a los cambios en CC, es decir, al no haber diferencias en las GDP no se deberían encontrar diferencias en la variación de la CC por grupo y/o tratamiento (Cuadro 25).

Cuadro 25. Diferencia en la condición corporal (CC) entre el inicio y el final del engorde y CC final de los novillos.

Variable	*	n	Media	Mín	Max
Diferencia en CC	T1	16	2,03	1,50	3,00
	T2	16	1,94	1,00	2,50
	A	16	1,97	1,50	3,00
	B	16	2,00	1,00	2,50
CC final	T1	16	6,91	6,00	7,50
	T2	16	6,81	6,00	7,50
	A	16	6,97	6,00	7,50
	B	16	6,75	6,00	7,50

*El T1 es la dieta experimental y el T2 el control.

El promedio obtenido en la diferencia de la CC fue de 2,03 y 1,94 para T1 y T2 respectivamente, mientras que para los grupos A y B la media fue de 1,97 y 2,00, respectivamente. Como se observa en el Cuadro 25, la CC final promedio para el T1 fue 6,91 y 6,81 para T2, en el caso de los grupos la CC final fue de 6,97 para el grupo A y 6,75 para el grupo B.

5.3.2. Profundidad de músculo (PM) y espesor de grasa dorsal (EGD)

En el Cuadro 26 se aprecian los valores obtenidos para las variables de PM y EGD (Backfat), mediante la técnica de ultrasonido; medición inicial, final y diferencia a lo largo del proyecto. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los valores de profundidad de músculo ni entre tratamientos ni entre los grupos. En términos generales, los valores obtenidos para PM son similares a los reportados por Quesada (2019) los cuales oscilan entre 79,77 y 81,51 mm, en una investigación realizada en las mismas instalaciones con animales cruzados. Sin embargo; ambos valores son más altos en comparación a los reportados por Ramírez (2014) los cuales van de 53,89 a 58,60mm en animales europeos y cebuinos, esta variabilidad se puede deber a la diferencia entre razas.

Cuadro 26. Valores promedio iniciales, finales y la diferencia obtenida de las variables ultrasonográficas de profundidad de músculo (PM) y espesor de grasa dorsal (EGD), de acuerdo al tratamiento brindado.

Variable	*	n	Media Inicial	Media final	Media Dif	Mín	Max
PM (mm)	T1	16	58,22	74,03	15,82	61,36	79,55
	T2	16	60,75	71,62	10,87	55,91	79,55
	A	16	57,84	74,52	17,04	63,18	79,55
	B	16	61,48	71,13	9,65	55,91	79,55
EGD (mm)	T1	16	3,77	5,31	1,55	2,73	8,18
	T2	16	4,18	5,97	1,79	3,18	11,36
	A	16	3,90	5,94	2,04	2,73	11,36
	B	16	4,05	5,34	1,30	3,18	8,18

*El T1 es la dieta experimental y el T2 la dieta control; grupo A y B.

**Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Al analizar los resultados obtenidos sobre el espesor de grasa dorsal se obtuvo medias de 5,31 y 5,97 mm para T1 y T2; respectivamente. El grupo A fue de 5,94 y 5,34 mm para el grupo B. En ambos casos no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) y los valores reportados se asemejan a lo obtenido por Quesada (2019), con promedios entre 5,17 y 6,53 mm. Además, son superiores a los obtenidos por Ramírez (2014) el cual encontró valores que van desde 3,16 a 4,21 mm. Canales desprovistas de grasa de cobertura se relacionan con bajas calidades debido al aislamiento térmico que favorece la presencia de la misma durante el proceso de enfriamiento (Rodríguez et al. 2018).

5.3.3. Grasa de la grupa (GG) y marmoleo

En el Cuadro 27 se presentan los valores promedio obtenidos para las variables de grasa de la grupa y marmoleo, tanto al inicio, final y diferencia obtenidas durante el periodo de engorde, agrupadas por tratamiento y grupo de pastoreo. Los resultados presentaron diferencias significativas únicamente en el valor de marmoleo final entre los grupos ($p < 0,05$). Al analizar los valores iniciales y la diferencia obtenida en los mismos grupos, durante la etapa de engorde se observó, que si bien existe un aumento marcado en términos de marmoleo del grupo B respecto al A, dicha diferencia se ve favorecida al final por las diferencias existentes al inicio del proyecto.

Cuadro 27. Valores promedio iniciales, finales y diferencia de las variables ultrasonográficas de grasa de la grupa y marmoleo, de acuerdo al tratamiento brindado.

Variable	*	n	Media Inicial**	Media final**	Diferencia promedio**	Mín	Max
GG (mm)	T1	16	6,93	11,25	4,32	3,64	19,09
	T2	16	6,79	13,55	6,75	6,36	24,09
	A	16	7,02	13,64	6,61	7,27	24,09
	B	16	6,70	11,16	4,46	3,64	22,73
Marmoleo (%)	T1	16	4,96	4,78	-0,18	2,87	7,27
	T2	16	4,88	5,43	0,55	3,59	7,22
	A	16	4,61	4,56 ^a	-0,05	2,87	6,03
	B	16	5,23	5,65 ^b	0,42	3,59	7,27

*El T1 es la dieta experimental y el T2 es el control y los grupos A y B.

**Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

En el caso de la grasa de grupa se obtuvieron medias de 11,25 mm y 13,55 mm para T1 y T2 respectivamente. Mientras que la media para los grupos fue de 13,64 mm y 11,16 mm para el A y B, en dicho orden. Estos valores son similares a los promedios reportados por Quesada (2019) de 9,46 mm y 12,75 mm de acuerdo al tratamiento empleado.

Por otro lado, los valores obtenidos para la variable de marmoleo final para los tratamientos fueron de 4,78% (T1) y 5,43% (T2); mientras que para los grupos fue de 4,56% (A) y 5,65% (B), de acuerdo con la escala de software para ultrasonografía de la Universidad Estatal de Kansas (Cuadro 28). Dichos valores se ubican entre los grados de marmoleo ligero (4,0-4,9%) y poco marmoleo (5,0-5,9%), lo cual se explica ya que la característica de marmoleo se ve influenciada por otros factores como contenido energético de la dieta, desarrollo del animal, raza, entre otros (Ramírez 2014; Quesada 2019). Al utilizar dietas con valores similares de energía, manejos similares, cruces raciales similares (*Bos indicus x Bos taurus*) y edades similares, no debería haber diferencia respecto a los tratamientos.

Cuadro 28. Valores de marmoleo de acuerdo con la escala del software para ultrasonografía de la Universidad Estatal de Kansas.

Clasificación	Valor
Desprovisto	1,0 - 1,9
Prácticamente desprovisto	2,0 - 2,9
Trazas	3,0 - 3,9
Ligero	4,0 - 4,9
Poco	5,0 - 5,9
Modesto	6,0 - 6,9
Moderado	7,0 - 7,9
Ligeramente abundante	8,0 - 8,9
Moderadamente abundante	9,0 - 9,9
Abundante	10,0 - 10,9

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del software de la Universidad Estatal de Kansas.

De acuerdo con Mao et al. (2016), la deposición de grasa y desarrollo muscular compiten por el uso de energía, de modo que al aumentar el depósito muscular se tiende a reducir la deposición de grasa. Esto concuerda con lo observado en este experimento ya que en términos de tratamiento los valores de marmoleo fueron 4,78% (T1) vs 5,43% (T2); mientras que para los grupos los valores fueron de 4,56% (GA) vs 5,65% (GB). Al comparar estos valores con la profundidad muscular obtenida, se tiene que los grupos con mayor deposición de grasa intramuscular tienen en promedio menor de deposición de músculo: 74,03 mm (T1) vs 71,62 mm (T2) y 74,52 mm (GA) vs 71,13 mm (GB), como se muestra en los Cuadros 26 y 27.

Los valores de marmoleo encontrados son superiores a los reportados por Ramírez (2014) y Quesada (2019), los cuales informan valores entre 3,01-3,76% y 2,64-3,69%, respectivamente; y a los brindados por Rodríguez-González et al. (2018), en cruces F1 entre Brahman y Charolais con un valor promedio de 3,02%. El nivel de marmoleo se relaciona principalmente con el factor genético, siendo las razas *Bos taurus* las que tienen mayor deposición de grasa intramuscular; además de otras variables como la nutrición, el estrés, tiempo de engorde o finalización a los que se someten los animales, así como; el contenido energético de la dieta (FPTA 2001).

Tomando en cuenta los factores anteriores y considerando el estrés térmico que sufren los animales en condiciones tropicales, el empleo mayoritario de sistemas a base de forrajes con baja o nula suplementación de productos altamente energéticos y el valor genético

predominante en la zona (razas de origen *Bos indicus*); se entienden los resultados en términos de marmoleo, obtenidos en estos y otros estudios realizados en condiciones similares.

5.3.4. Peso salida en finca, peso en planta y merma de finca a planta

También se analizó el efecto de los tratamientos y grupos, sobre el peso final de los novillos y la merma finca-planta, sin encontrar diferencias significativas ($p>0,05$) para ninguno de los casos (Cuadro 29). Se observan los valores promedio obtenidos para el peso de los animales al final del proyecto (501 kg para T1 y 506,31 para T2), en el caso de los grupos (lote A obtuvo 503,81 kg y el B de 503,50 kg). En promedio los novillos del T1 perdieron 38,03 kg (7,57% del PV) de peso durante manejo de transporte desde la finca, el tiempo de espera en corrales y el ayuno de 16 horas a los que fueron sometidos; por otro lado el T2 tuvo una media de 38,06 kg (7,49% del PV), sin encontrar diferencias significativas entre tratamientos ni entre grupos ($p>0,05$ 36,16 kg [7,15%] vs 39,34 kg [7,90%]).

Cuadro 29. Valores promedio, mínimos y máximos de las variables productivas: peso en finca, peso en planta, merma finca-planta y pérdida en kilogramos (Kg) en transporte y corral de espera.

Variable	*	n	Media	Mín	Max
Peso Salida Finca (Kg)	T1	16	501,00	437,00	544,00
	T2	16	506,31	458,00	556,00
	A	16	503,81	445,00	546,00
	B	16	503,50	437,00	556,00
Peso pie Planta (Kg)	T1	16	462,97	407,00	511,50
	T2	16	468,25	421,00	512,50
	A	16	467,66	413,50	499,50
	B	16	463,56	407,00	512,50
Merma finca-planta (%) **	T1	16	7,57	3,70	9,38
	T2	16	7,49	2,94	11,86
	A	16	7,15	3,70	11,86
	B	16	7,90	2,94	11,62
Perdida en kg	T1	16	38,03	17,00	48,00
	T2	16	38,06	15,50	63,00
	A	16	36,16	17,00	58,00
	B	16	39,94	15,50	63,00

*El T1 es la dieta experimental y el 2 el control.

**La distancia entre la finca y la planta de cosecha es de 98,5 km.

Estas pérdidas son similares a las reportadas por Gallo et al. (2000), cuando quisieron comprobar el efecto de diferentes tiempos de transporte sobre la pérdida de peso,

el pH y la luminosidad de la carne, en dos épocas del año, obteniendo como resultados valores entre 5,0% hasta 10,5% según el tratamiento y la época del año propuesta.

Esto concuerda con lo esperado ya que las pérdidas de peso previas al sacrificio de los animales se van a ver más afectadas por otros factores como tiempo y hora de transporte, distancia del recorrido, tiempo de ayuno, manejo previo al faenado y durante el transporte, afectando incluso la calidad del producto (Gallo et al. 2000). Al exponer los animales al mismo tiempo de ayuno, transporte y manejo; las diferencias se deben principalmente al temperamento de los animales y su capacidad para sobrellevar el estrés.

5.4. Características de la carne y perfilado de AG:

5.4.1. Rendimiento en canal (RC), merma canal (MC) y pesos canal caliente y fría.

Como se puede observar en el Cuadro 30, el T1 obtuvo un rendimiento canal promedio de 57,30% y la dieta control de 57,44%, los cuales no presentan una diferencia significativa entre sí ($p > 0,05$). De igual forma, al analizar un posible efecto grupo se obtuvieron medias de 57,03% y 57,71% para el grupo A y B, respectivamente. Estos valores concuerdan con los obtenidos por Ramírez (2014) que reportó promedio desde 57,34% hasta 59,64% para diferentes razas de *Bos indicus* y *Bos taurus*, bajo diferentes niveles de suplementación energética. Por otro lado, Quesada (2019), con animales cruzados similares a los del proyecto reporta rendimientos de 56,83% y 57,74% de acuerdo al tratamiento ofrecido. Por último, los valores obtenidos son muy similares a los reportados por CORFOGA (2012), en un estudio en el que reporta un RC promedio para animales castrados de 57,6%.

Cuadro 30. Valores promedio, mínimos y máximos para las variables rendimiento canal, merma canal y peso canal fría y caliente.

Variable	*	n	Media	Mín	Max
Rendimiento canal (%)	T1	16	57,30	55,88	59,56
	T2	16	57,44	54,52	60,02
	A	16	57,71	56,14	60,02
	B	16	57,03	54,52	59,51
Peso Canal caliente (Kg)	T1	16	265,31	235,50	298,00
	T2	16	269,13	241,00	305,00
	A	16	269,84	239,50	298,00
	B	16	264,59	241,00	305,00
Peso Canal Fría (Kg)	T1	16	260,05	230,20	291,00
	T2	16	263,89	236,00	299,60
	A	16	264,86	235,60	293,00
	B	16	259,08	230,20	299,60
Merma canal (%)	T1	16	1,98	0,67	2,93
	T2	16	1,95	1,68	2,48
	A	16	1,84	0,67	2,93
	B	16	2,09	1,77	2,48

*El T1 es la dieta experimental y el T2 la dieta control; grupo A y B.

**Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

El rendimiento en canal se va ver más afectado por otros factores como la raza, donde animales más grandes con menor relación músculo hueso van a dar rendimientos inferiores; el transporte y estrés que puedan enfrentar los animales durante manejo pre mortem (Feoli 2002). En este estudio al tener razas homogéneas (*Bos indicus* x *Bos taurus*), manejados en condiciones de estrés similares, con el mismo transporte y bajo el mismo personal, no deberían encontrarse diferencias significativas en los rendimientos.

Dicho lo anterior, se entiende que existe una relación entre el rendimiento de canal y el manejo premortem donde animales bajo estrés innecesario tienden a consumir más reservas, ser más propensos a golpes y heridas lo que se traduce en bajos rendimientos y mala calidad de carne (Chacón 2000; Chacón 2005). Al analizar los valores medios de la merma transporte se puede observar que el grupo y tratamiento con menor rendimiento suele ir de la mano con los animales que más peso perdieron durante el transporte, dando como resultado una media de 7,57% y 7,49% para el T1 y T2 y de 7,90% y 7,15% para el grupo A y B, respectivamente (Cuadro 29).

Cuando los animales se someten a tiempos de espera ante-mortem prolongados de ayuno estos empiezan a gastar sus reservas corporales lo que afecta el peso final de la canal y sus condiciones de calidad de la misma (Osorio et al. 2016).

En promedio el T2 (269,13 kg) y el grupo A (269,84 kg) obtuvieron canales calientes más pesadas respecto al T1 (265,31 kg) y el B (264,59 kg), sin embargo, las diferencias provocadas entre dietas y grupos no fueron significativas ($p>0,05$). Estos datos son similares al promedio reportado por Ramírez (2014) de 265,75 kg en una prueba con tres niveles energéticos y razas cebuinas y europeas. Por otro lado, Quesada (2019) obtuvo en promedio canales de 278,96 kg en su proyecto con animales encastados Brahman.

5.4.2. Temperatura, pH y color de la canal.

De igual forma, en el Cuadro 31, se analizó el efecto de ambos tratamientos sobre algunos parámetros de calidad de la carne, como la temperatura a las 24 horas post-mortem, el pH y el color de músculo, sin encontrar diferencias significativas, ni por tratamiento ni por grupo de pastoreo ($p>0,05$).

Cuadro 31. Valores promedio, mínimo y máximo de la temperatura, pH y color del músculo *longissimus dorsi* a las 24 horas post-mortem.

Variable	*	n	Media	Mín	Max
Temperatura (°C)	T1	16	3,39	2,10	6,37
	T2	16	3,67	2,43	5,10
	A	16	3,23	2,43	6,37
	B	16	3,83	2,10	5,10
pH	T1	16	5,73	5,53	5,91
	T2	16	5,69	5,56	5,86
	A	16	5,73	5,59	5,91
	B	16	5,69	5,53	5,88
L	T1	16	36,42	31,45	40,46
	T2	16	37,41	34,48	42,29
	A	16	37,15	34,13	40,46
	B	16	36,67	31,45	42,29
Color	a	T1	18,38	14,06	21,47
		T2	18,60	15,61	22,52
	b	A	18,40	15,61	21,77
		B	18,58	14,06	22,52
	T1	T1	15,18	11,74	18,30
		T2	15,83	13,04	19,85
	A	A	15,49	13,40	18,30
		B	15,52	11,74	19,85

*El T1 es la dieta experimental y el T2 la dieta control; grupo A y B.

**Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p<0,05$)

Los valores obtenidos para la temperatura interna de la canal, a las 24 horas, fueron de 3,39°C para T1, 3,67°C para T2 y 3,23°C y 3,83°C para el grupo A y B, respectivamente. En todos los casos la temperatura se encontraba por debajo de los 7°C de temperatura interna, que se recomienda debe alcanzar la canal en un periodo menor a las 24 horas para asegurarse un correcto control del desarrollo microbiológico de la misma (Gil 2010).

De igual forma al analizar los valores obtenidos del pH de la canal a las 24 horas post-mortem se encuentran valores muy similares entre los tratamientos (T1 5,73 y T2 de 5,69) y entre grupos (A 5,73 y B de 5,6), donde todos los valores se encontraron por debajo del 5,8 que se recomienda alcancen las canales a las 24 horas con el fin de evitar el crecimiento de patógenos y garantizando un adecuado proceso de rigor mortis (Chacón 2000).

Estos valores son similares a los encontrados por Gallo et al. (2000), al probar el efecto de diferentes tiempos de transporte y su efecto sobre el pH de la canal, con valores de 5,5 hasta 5,9 según el tratamiento aplicado, concluyendo que sin importar el tiempo de transporte el pH puede verse afectado ya que depende de otros factores como el manejo pre-mortem.

Los valores de color de músculo obtenidos con el espectrofotómetro y traducidos de acuerdo al Sistema CIELAB, no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos: T1 de 36,42 (L), 18,38 (a) y 15,18 (b); y para el T2 valores de 37,41 (L), 18,60 (a) y 15,83 (b). Esto concuerda con lo esperado ya que el color se encuentra estrechamente relacionado con el pH de la canal y la edad de los animales, de manera que animales más viejos tienden a presentar carnes más oscuras debido a la mayor acumulación de mioglobina (Feoli 2002; Chacón 2000; Chacón 2005).

Además de acuerdo con la clasificación visual de color (Figura 40), realizada por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM compartido por Rubio et al. (2013b); en ambos tratamientos las carnes se califican como rojo muy oscuro, lo cual concuerda con las edades avanzadas de faenado de los novillos.

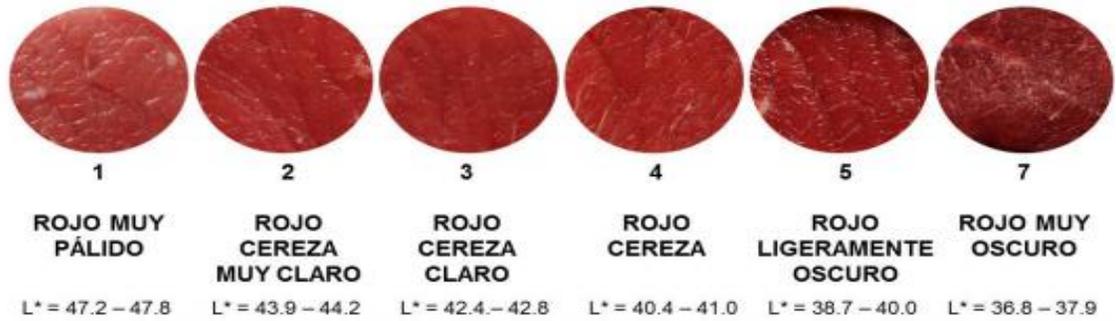


Figura 40. Propuesta visual de evaluación del color de la carne.

Fuente: Rubio et al. (2013b).

Por último, los datos de luminosidad (L) obtenidos están por encima de lo reportado por Gallo et al. (2000) el cual obtuvo valores promedio entre 23,7 y 28,5 de acuerdo al tratamiento empleado, las mediciones se realizaron en el músculo *Longissimus thoracis*.

5.4.3. Área del ojo de lomo (AOL), grosor de grasa de cobertura (GGC) y nivel de marmoleo según la guía fotográfica de la USDA.

Se analizó el efecto de los tratamientos y los grupos sobre las variables de AOL, GGC y nivel de marmoleo (Cuadro 32), sin encontrar diferencias significativas ($p > 0,05$) para ninguno de los casos, esto tiene sentido ya que estas características están más relacionadas al desarrollo del animal, la raza y los sistemas de alimentación utilizados.

Cuadro 32. Valores obtenidos en la planta de cosecha sobre el área de ojo del lomo (AOL) y grosor de grasa de cobertura (GGC).

Variable	*	n	Media	Mín	Max
AOL (cm ²)	T1	16	68,35	50,32	89,68
	T2	16	73,59	52,26	98,06
	A	16	72,86	52,26	98,06
	B	16	69,07	50,32	92,90
GGC (mm)	T1	16	4,37	1,59	7,94
	T2	16	3,18	1,59	6,35
	A	16	4,07	1,59	7,94
	B	16	3,47	1,59	6,35
Marmoleo (USDA)	T1	16	1,00	1,00	1,00
	T2	16	1,13	1,00	2,00
	A	16	1,13	1,00	2,00
	B	16	1,00	1,00	1,00

*El T1 es la dieta experimental y el T2 la dieta control; grupo A y B.

**Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Para la dieta con DDGS (T1) se obtuvo un valor promedio de 68,35 cm² respecto al 73,59 cm² del control (T2), si bien no se obtuvieron diferencias significativas relacionadas al tratamiento o grupo de manejo los datos son similares a los obtenidos por Ramírez (2014). Al analizar el efecto de niveles crecientes de energía en la dieta de novillos en pastoreo, con promedios entre 56,93 y 73,24 cm², sin encontrar diferencia significativa entre tratamientos. Por otro lado, los valores son muy superiores a los encontrados por Quesada (2019), con promedios entre 59,05 y 63,16 cm², sin diferencias significativas entre tratamientos. Carvalho et al. (2016), tampoco encontraron diferencias significativas al realizar su investigación obteniendo medias un poco más altas de 71,3 y 76,6 cm².

El promedio para GGC fue mayor para el grupo A (4,07 mm) y el T1 (4,37 mm), respecto al grupo B y el T2, sin encontrar diferencias significativas en ninguno de los casos ($p > 0,05$). Dichos valores son similares a los reportados por Quesada (2019), en las mismas condiciones, con cruces de *Bos indicus* y *Bos taurus*; quien reportó promedios de 3,75 y 4,75 mm de acuerdo al tratamiento empleado, sin encontrar diferencias significativas. Ramírez (2014), reportó valores entre 2,66 mm y 4,43 mm en novillos en pastoreo de razas cebuinas y europeas.

Por último, en el Cuadro 32 se presentan los resultados de la medición de nivel de marmoleo, mediante la implementación de las plantillas de la USDA, los cuales no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre grupos ni tratamientos. En general las canales tuvieron clasificación de marmoleo *Slight* (1), con excepción de dos canales que se clasificaron en nivel *Small* de marmoleo (2), (Figura 41). Esto se explica por las razas utilizadas en las cuales predominaban animales tipo *Bos indicus* los cuales se ven más limitados con la deposición de grasa intramuscular, además que el contenido energético de los suplementos utilizados era relativamente similar (Cuadro 16 y 17).



Figura 41. "Nivel *Slight*" (derecha) y "*Small*" (izquierda) de marmoleo de acuerdo a la plantilla del USDA, comparados con una de las canales del proyecto.

5.4.4. Estado de vísceras (Fasciola hepática)

Al analizar el estado de las vísceras, principalmente el estado del hígado en busca de parásitos internos como la fasciola hepática (FH) se encontró con que 21 animales (65,6%) estaban infectados con dicho parásito y sus hígados fueron confiscados (Cuadro 33), esto representa una pérdida económica para la planta de sacrificio debido al sistema de pago empleado en el país y no así para los productores. Al analizar el nivel de infección por tratamiento se puede observar que el T1 presentaba 10 animales infectados (62,50%) y el T2 presento 11 animales (68,75%) con ganancias de peso promedio de 0,98 Kg y 0,99 Kg, respectivamente; por lo que no se encontró una relación de la infección respecto a las GDP's ya que de acuerdo con Mazeri et al. (2017), el efecto negativo va a depender del grado de infección que posea cada animal, el tiempo de exposición, el efecto en el metabolismo del animal, la inmunidad del mismo y el costo metabólico para enfrentar la carga parasitaria. Lo cual no era el objetivo del trabajo, por lo que se basa en presencia o ausencia de parásitos.

Cuadro 33. Detalles sobre el nivel de infección por fasciola hepática del lote de novillos utilizados en el experimento con los valores promedio de GDP y ALC.

Tratamiento*	Infectados	\bar{x} GDP (Kg)	\bar{x} ALC**
1	10 (62,50%)	0,98	0,58
2	11 (68,75%)	0,99	0,04

* El tratamiento 1 es suplemento experimental (T1) y el 2 es el control (T2).

**g/100g de grasa.

Respecto al efecto de la FH sobre los parámetros productivos del animal se tienen criterios variables, un reciente estudio en Louisiana, utilizando cruces, demostró que animales infectados tienden a ganar hasta un 6% menos del peso vivo respecto a los animales no infectados (Loyacano et al. 2002). Se reporta que infecciones con FH reducen desde 0,63 hasta 3,4 kg en las canales de los novillos, teniendo efectos negativos en la conformación de la canal y la grasa de cobertura lo que llevaría a considerar que tenga algún efecto en el metabolismo de las grasas a nivel de hígado (Charlier et al. 2009; Sánchez-Vázquez y Lewis 2013).

El grado de infección respecto al contenido de ALC, agrupados por tratamientos; se encontró que la dieta con un promedio mayor de deposición de ALC a nivel de músculo, en promedio tenía menor cantidad de animales infectados (T1=10 animales infectados (62,50%) y un promedio de ALC de 0,58 g/100g de grasa) caso contrario la dieta con menor deposición poseía mayor número de animales infectados (Dieta 2: 11 animales infectados (68,75%) y en promedio 0,04g/100g de grasa).

De acuerdo con Carrada-Bravo (2007), la FH pasa gran parte de su ciclo en el hígado del hospedero, afectando el metabolismo del mismo y por ende podría tener efecto en el proceso de síntesis endógena del ALC. Según Rochfort et al. (2008) algunos mamíferos tienen la capacidad de producir ALC en el hígado, a partir del ácido trans-vaccénico, por acción de la enzima delta-9-desaturasa y de acuerdo con Muller y Delahoy (2017) y Griimari y Bauman (2008); el mayor porcentaje de ALC total depositado en los tejidos, proviene de la desaturación del ácido transvaccénico a nivel de tejido hepático o glándula mamaria. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que este no fue el objetivo del estudio y por ende se plantea la posibilidad de que la FH este interviniendo en dicho proceso y pueda influir en la deposición de ALC nivel de músculo.

5.4.5. Clasificación visual de la canal.

Al analizar el efecto de los tratamientos empleados en términos de condiciones de la canal previamente detallados, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en las variables de conformación muscular (CM), grado de grasa cobertura (GGC) ni en el color de dicha grasa, como se observa en el Cuadro 34.

Cuadro 34. Resultados obtenidos para las variables de clasificación de canal realizadas en la planta de cosecha.

Variable	*	n	Media	Mín	Max
CM	T1	16	1,94	1,00	2,00
	T2	16	2,06	1,00	3,00
	A	16	1,88	1,00	2,00
	B	16	2,13	2,00	3,00
GGC	T1	16	1,06	1,00	2,00
	T2	16	1,00	1,00	1,00
	A	16	1,06	1,00	2,00
	B	16	1,00	1,00	1,00
Color de grasa	T1	16	1,50	1,00	2,00
	T2	16	1,25	1,00	2,00
	A	16	1,38	1,00	2,00
	B	16	1,38	1,00	2,00

*El T1 es la dieta experimental y el T2 la dieta control; grupo A y B.

**Medias con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

En términos de CM se obtuvo valores muy cercanos a la clasificación 2 que se traduce en canales con perfil rectilíneo, amplios en ambos cuartos y con el costillar y lomo ligeramente rellenos. Esto concuerda con lo presentado por CORFOGA (2012), donde calificaron canales de novillos a partir del 2007 hasta marzo del 2012, obteniendo los mayores porcentajes en novillos ubicados entre la categoría 2 y 3, con 42,0-77,0% del total de los novillos ubicados en el valor 2 y un rango para la categoría 3 entre 17,4 y 53,4%.

En términos de grosor de grasa de cobertura, mediante análisis visual, en promedio las canales presentaban una capa muy delgada o ligera de grasa de cobertura, lo cual es similar a lo obtenido por el estudio de CORFOGA (2012) donde la mayoría de animales analizados se encontraron entre la clasificación 1 y 2, con un rango entre 26,6 a 52,2%, para la clasificación 1 y de 45,9-70,9 para la clasificación 2; esto del total novillos analizados entre el 2007 y marzo de 2012.

En términos de color de grasa, no fue significativa, pero se observó una diferencia numérica a favor del tratamiento experimental (T1), donde las canales están más cercanas de la categoría dos, la cual consiste en grasas crema-amarilla, esto puede deberse a la

suplementación con altos niveles de DDGS. Esto concuerda con lo presentado por CORFOGA (2012), donde la mayoría de animales se encontraron entre la categoría 1 (29,4-49,9%) y 2 (48,2-68,0), con muy pocos animales en la categoría de grasa amarilla intensa (3). En términos generales, de acuerdo a la clasificación brindada por la Cooperativa Montecillos, se obtuvieron promedios de 1,81 y 1,69 para T1 y T2, respectivamente. La importancia de este valor se debe a un mayor pago al productor, donde las canales mejor pagadas (AAA) son los valores cercanos a 1 y las peor pagadas (B) con valores cercanos a 4 (Anexo 3).

5.4.6. Perfil de ácidos grasos.

En el cuadro 35, se presentan los resultados sobre el efecto de los tratamientos sobre el perfil de ácidos grasos de los novillos utilizados en el experimento, principalmente en términos de ácido linoleico (AL), ácido linoleico conjugado, isómero cis-9 trans-11 (ALC c9 t11); ácido linoleico conjugado isómero cis9 cis 15 (ALC c9 c15), MUFAS, PUFAS y la suma de los ácidos grasos saturados (SAGS). No se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) ni por efecto del grupo ni del tratamiento, excepto en la variable ALC c9 t11 por efecto del tratamiento, donde se obtuvo una media de 0,58 g/100g grasa en la dieta experimental (T1) con respecto a 0,04 g/100g grasa del control (T2).

Cuadro 35. Perfilado de ácidos grasos de los novillos, en términos de ácido linoleico (AL), ácido linoleico conjugado (ALC) isómeros c9 t11 y c9 c15.

Variable	*	n	Media	Mín	Max
ALC c9 t11	T1	16	0,58 ^a	0,00	1,39
	T2	16	0,04 ^b	0,00	0,65
	A	16	0,40	0,00	1,39
	B	16	0,21	0,00	1,11
ALC c9 c15	T1	16	0,11	0,00	1,04
	T2	16	0,20	0,00	1,39
	A	16	0,08	0,00	0,59
	B	16	0,23	0,00	1,39
Ac. Linoleico (Omega 6)	T1	16	1,24	0,00	12,38
	T2	16	0,56	0,00	1,36
	A	16	0,46	0,00	1,11
	B	16	1,34	0,00	12,38

*El T1 es la dieta experimental y el 2 el control; y el grupo A y B.

**Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

La dieta T1 con el suplemento a base de DDGS el cual presentaba una diferencia mayor en el aporte de ácidos grasos polinsaturados respecto al T2, de 12,85 g por día con mayores contenidos de ácido linoleico (18:2), (Cuadro 22). Estos valores son superiores a los obtenidos por Barton et al. (2007), que reportaron promedios de 0,49 g y 0,38 g por cada 100 g de grasa para los isómeros totales de ALC, en sistemas estabulados. Lancaster et al. (2007) obtuvieron resultados positivos, pero no concluyentes, con la inclusión de un 16% de la MS de DDGS en la dieta de novillos de finalización logrando un aumento en el contenido de ácido linoleico (18:2) y ácidos grasos poliinsaturados a favor del tratamiento experimental. De igual forma Popova et al. (2015) reportan una disminución significativa en el contenido de AGS, aumentando el contenido de PUFAS por un mayor depósito de ácido linoleico (18:2) en corderos con dietas con hasta 37,58% de inclusión de DDGS.

Por otro lado. Quesada (2019) reporta valores promedios similares de CLA c9 t11 de 0,47 y 0,34 g/100g de grasa, sin encontrar diferencias significativas entre tratamientos. En una caracterización de los niveles de dicho AG, Rojas-Bourrillon y Campos-Granados (2017),

reportaron que los valores para diferentes zonas ganaderas de Costa Rica oscilaban entre 0,02 g hasta 0,55 g por cada 100 g de grasa.

Al analizar el efecto de los tratamientos y grupos sobre los valores finales de MUFAS, PUFAS y SAGS (Cuadro 36), se obtuvieron medias de 39,70 g y 40,57 g; 2,39 g y 1,19 g; 54,92 g y 55,79 g, para T1 y T2 respectivamente. Al compararlo con lo obtenido por Quesada (2019), se tiene que en promedio el contenido de ácidos grasos saturados fueron inferiores para este trabajo respecto a los presentados por dicho autor (57,81 g y 58,47 g según el tratamiento brindado), esto se debe al aumento en los MUFAS logrado en este proyecto respecto al 37,39 g y 37,51 g reportado por Quesada.

Cuadro 36. Valores obtenidos del perfilado de ácidos grasos para mono insaturados (MUFAS), poliinsaturados (PUFAS) y saturados (SAGS).

Variable	*	n	Media	Mín	Max
MUFAS	T1	16	39,70	26,18	57,71
	T2	16	40,57	29,52	53,48
	A	16	39,87	26,28	53,48
	B	16	40,41	29,52	57,71
PUFAS	T1	16	2,39	0,00	12,99
	T2	16	1,19	0,00	2,40
	A	16	1,29	0,00	2,56
	B	16	2,29	0,51	12,99
SAGS	T1	16	54,92	26,03	66,80
	T2	16	55,79	42,24	65,71
	A	16	56,04	42,24	66,80
	B	16	54,67	26,03	65,71

*El T1 es la dieta experimental y el 2 el control; y el grupo A y B.

**Medias con una letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Al analizar el perfil de ácidos grasos se debe tener en cuenta que el proceso de biohidrogenación ruminal busca saturar los AG presentes en la dieta por lo que los rumiantes tienden a depositar mayor cantidad de saturados a nivel de leche y carne (Castillo et al. 2013). Esto concuerda con lo observado en el experimento donde en promedio los animales poseen 55,35 g/100 g de grasa de AG saturados respecto a 42,35 g/100 g de grasa de insaturados.

5.5. Correlaciones:

- **Edad real versus edad dentaria:**

Al estimar el coeficiente de correlación de Pearson para las variables de la edad cronológica (registros de la finca); con la edad dentaria (desarrollo bucal de los novillos posterior al sacrificio), se determinó que existe una correlación directa baja, con un coeficiente de 0,34 entre ambas mediciones. Dando como promedio una edad real de 29,42 meses y una edad mediante determinación dentaria de 25,59 meses de acuerdo al número de dientes permanentes encontrados y calificándolos como razas tardías.

- **Espesor de grasa dorsal (EGD) por ultrasonido versus Grasa subcutánea mediante regla inoxidable:**

Al correlacionar el EGD final obtenido para cada una de las canales, mediante el uso de ultrasonido versus la grasa subcutánea, medida con regla inoxidable posterior al sacrificio; se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de -0,13 lo que se traduce en una asociación inversamente baja entre ambas mediciones. En promedio el valor obtenido por la EGD para las 32 canales fue de 5,64 mm versus 3,77 mm de la grasa subcutánea. Esta variación se puede deber a que el software fue desarrollado en condiciones distintas con animales en feed lot.

- **Infectados con FH versus Presencia de ALC:**

Se estimó el coeficiente de correlación de Pearson con el fin de determinar si existe alguna relación entre la presencia de fasciola hepática con la presencia del ALC en el perfilado de AG de dicha canal, obteniendo una relación inversamente baja entre ambas variables. Si bien este valor (-0,17) muestra una asociación baja, expone la posible afección de este parásito en la deposición de ALC.

6. CONCLUSIONES

- La suplementación con DDGS al 23% del suplemento balanceado como fuente rica en AG insaturados aumentó el contenido de ALC (cis 9 trans 11) en la carne, esto abre la posibilidad a los productores nacionales para generar un nicho de mercado en el cual se produzcan carnes con propiedades nutraceuticas.
- Si bien se logró aumentar el contenido de ALC en la carne de los novillos, bajo estos niveles se necesita consumir cerca de 15,62 kg de carne para alcanzar los niveles diarios recomendados de ALC (5 g de ALC/día). Sin embargo, es importante aclarar que existen otras fuentes que aportan dicho ácido graso como los lácteos y demás carnes de origen rumiante.
- El uso de suplementos con un 23% de inclusión de DDGS no generó diferencias significativas en variables productivas como GDP, RC, CC, mermas de transporte y de canal caliente-fría.
- La suplementación con DDGS no afectó las características de la canal como conformación muscular, grosor y color de grasa de cobertura ni el nivel de marmoleo presente en los mismos.
- El uso de dietas con altos niveles de inclusión de DDGS no tuvo efecto en las variables de temperatura, pH, color de músculo ni área de ojo de lomo (AOL).
- El tratamiento a base de DDGS no tuvo efecto en las mediciones de ultrasonográficas de marmoleo, profundidad muscular, espesor de grasa dorsal y de grasa de grupa.
- El mal mezclado de las materias primas durante la elaboración de los suplementos, puede ser una razón por la que no se detectaran grandes diferencias entre los suplementos, en términos de AGI.
- En términos generales las canales nacionales, se ubican entre las categorías con baja cobertura de grasa, perfil rectilíneo con buena amplitud de cuartos y costillar y lomo rellenos, pero con coloraciones entre grasas blancas y crema-amarillosa.

7. RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de futuras investigaciones utilizando el módulo se recomienda:

- a. Realizar corrales previos de manejo que faciliten la separación y distribución de los tratamientos.
- b. Evaluar la posibilidad de drenar las zonas inundadas y limpiar los canales de desagüe con el fin de reducir la incidencia de fasciola hepática mediante la eliminación de los bebederos de agua estancada.
- c. Controlar y capacitar el personal en temas relacionados a la elaboración de alimentos y las buenas prácticas de manufactura (BPM).
- d. Realizar ajustes en la carga animal del módulo con el fin de aumentar el aprovechamiento de las pasturas, considerando la variación entre las épocas del año.
- e. Utilizar el sistema de pastoreo en franjas propuesto con el fin de aumentar la carga animal y así la rentabilidad del módulo (Anexo 2).
- f. Revisar los programas de desparasitación interna y evaluar la posibilidad de aumentar la frecuencia, para evitar la incidencia de fasciola hepática en los novillos.
- g. Separar los módulos de alimentación en 4, como en este proyecto, con el fin de mejorar la posibilidad de más investigaciones como estas y evitar la competencia entre animales.
- h. Realizar investigaciones sobre el efecto de la fasciola hepática sobre el crecimiento y el metabolismo de lípidos en bovinos de engorde.
- i. Se deben realizar más investigaciones con suplementos ricos en ácidos grasos polinsaturados con el fin de conocer su efecto en términos de perfil de AG de la carne y sus beneficios para la salud humana.
- j. Se debe realizar más investigación que tome en cuenta todos los factores que afectan la deposición AG en el animal, como del efecto de la fasciola hepática en este proceso, debido a la gran incidencia de dicho parásito en los novillos del estudio y la nula información a nivel nacional en términos productivos.
- k. Se deben calibrar las mediciones de ultrasonografía a las condiciones de nuestro país ya que estas arrojan correlaciones negativas respecto a las mediciones en planta de cosecha.

8. LITERATURA CITADA

- Acevedo, N; Lawrence, J; Smith, M. 2006. Organic, Natural and Grass-Fed Beef : Profitability and constraints to Production in the Midwestern U.S. Production: 1-30.
- Aires, D; Capdevila, N; Segundo, M. 2005. Ácidos grasos esenciales: su influencia en las diferentes etapas de la vida. *Ámbito Farmacéutico: Divulgación Sanitaria* 24(4): 96-102.
- Akerman, J. 1982. American Brahman. American Brahman Breeders Association. USA. 232 p.
- Alfaia, C; Castro, M; Martins, S; Portugal, A; Alves, S; Fontes, C; Bessa, R; Prates, J. 2007. Effect of slaughter season on value of fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomers and nutritional intramuscular fat in Barrosã-PDO veal. *Meat Science* 75(1):44-52.
- Allen, M; Beéde, D. 1996. Causes, detection and prevention of ruminal acidosis in dairy cattle. *Tri-State Dairy Nutr.* 55p.
- AOAC. 2019. Official Methods of Analysis. AOAC International. 21st Edition.
- Aquino, J; Hernández, J; Rios, G. 2013. Efecto del manejo *pre-mortem* en la calidad de la carne. *Nacameh.* 7(2): 41-64.
- Arias, L. 2017. Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales. Universidad de Costa Rica. Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA). Segunda Edición.
- Arronis, V. 2003. Recomendaciones sobre sistemas intensivos de producción de carne: estabulación, semi-estabulación y suplementación estratégica en pastoreo. San José, C.R., Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Costa Rica (FITTACORI). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Sistema Unificado de Información Institucional (SUNII). 62 p.
- ASOCEBU. 2019. Brahman: Antecedentes y características. Asociación Colombiana de Criadores de Ganado Cebú. Colombia. Consultado el 06 de mayo de 2019. Disponible en: <http://asocebu.com/index.php/el-cebu/razas/brahman>

- Barahona, R.; Sánchez, M. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de los pastos tropicales y estrategias para aumentarla. CORPOICA. Cienc. Tecnol. Agropecu 6(1): 69-82.
- Barton, L; Marounek, M; Kudrna, V; Bures, D; Zahrádková, R. 2007. Growth performance and fatty acid profiles of intramuscular and subcutaneous fat from limousin and charoláis heifers fed extruded linseed. Elsevier Meat Science 76:517-523.
- Bauman, D; Baumgard, L; Corl, B; Griinari, J. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. Elsevier. 50: 179-217.
- Bavera, GA. 2011. Razas Bovinas y Bufalinas de la Argentina. Capítulo VI: Clasificación de las razas bovinas y bufalinas; cruzamientos. Imberti-Bavera. Río Cuarto. Argentina. 270p.
- Bavera, G; Bocco, O; Beguet, H; Petryna, A. 2017. Crecimiento, desarrollo y precocidad. España. Consultado el 09 de diciembre de 2019. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/crecimiento-desarrollo-precocidad-t40596.htm>.
- Bellido, M; Escribano, M; Mesías, F; Rodríguez, A; Pulido, F. 2001. Sistemas Extensivos De Producción Animal. Arch. Zootec 50:465-489.
- Belury, MA. 2002. Dietary conjugated linoleic acid in health: Physiological Effects and Mechanisms of Action (en línea). Annual Review of Nutrition 22(1):505-531.
- Beumer, I. 1991. Quality assurance as a tool to reduce losses in animal feed production. Adv. Feed Technology. 6:6.
- Blanco, N; Huba, J; Hetényi, L; Oravcová. 2008. Estimación in vivo de la composición de la canal en Bovinos utilizando mediciones Ultrasonográficas. UNAN-León, Editorial Universitaria. 1 (2): 58-63.
- Briggs, H; Briggs, D. 1980. Modern Breeds of livestock. MacMillan Publishing Company. Fourth Edition. 714p.
- Byers, F; Shelling, G. 1988. Lipids in ruminant nutrition. En Church DC (Ed.) The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition. Prentice-Hall. New Jersey, EEUU. pp. 289-

312.

OMS. 2005. Código De Prácticas De Higiene Para La Carne. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Carbajal, A. 2013. Manual de Nutrición y Dietética: Grasas y Lípidos. Universidad Complutense de Madrid. Consultado el 6 de mayo 2019. Disponible en <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-cap-6-grasas.pdf>.

Cardona, J. 2016. Efecto de la castración y la pseudocastración con elastrador al nacimiento, sobre el crecimiento, calidad la carne y de la canal, en ganado cebú comercial, bajo condiciones de trópico húmedo en la Zona Norte de Costa Rica. Instituto Tecnológico De Costa Rica. Vicerrectoría de Investigación y Extensión. 132p.

Carrada-Bravo, T. 2007. Fasciola hepatica: Ciclo biológico y potencial biótico. Rev Mex Patol Clin. 54(1): 21-27.

Carvajal, S. 2001. Valor nutricional de la carne de: res, cerdo y pollo (en línea). Fomento Ganadero. Proyecto de Investigación, San José - Costa Rica: 55. Consultado el 5 de mayo 2018. Disponible en <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Valor+nutricional+de+la+carne+de:+res,+cerdo+y+pollo#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Valor+nutricional+de+la+carne+de:+res,+cerdo+y+pollo#0>.

Carvalho, I; Fiorentini, G; Lage, J; Messana, J; Canesin, R; Rossi, L; Reis, R; Berchielli, T. 2016. Fatty acid profile, carcass traits and meat quality of Nelore steers following supplementation with various lipid sources. Animal Production Science. 57, 1170–1178

Castillo, J; Olivera, M; Carulla, J. 2013. Descripción del mecanismo bioquímico de la biohidrogenación en el rumen de ácidos grasos poliinsaturados: una revisión. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 16(2), 459-468.

Chacón, A. 2000. Estudio de la maduración, la inyección de cloruro de calcio, la cocción y el congelamiento como fundamentos de un proceso para el mejoramiento de la suavidad del solomo. Proyecto de graduación presentada para optar por el grado de licenciado en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica.

- Chacón, A. 2004. La suavidad de la carne: Implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana* 15 (2): 225-243.
- Chacón, A. 2005. Efecto de la Maduración, cocción y congelamiento sobre la suavidad, rendimiento y carga microbiana del corte de solomo (outside). *Agronomía Mesoamericana* 16 (2):199-213.
- Charlier, J; De Cat, A; Forbes, A; Vercruyse, J. 2009. Measurement of antibodies to gastrointestinal nematodes and liver fluke in meat juice of beef cattle and associations with carcass parameters. *Veterinary parasitology* 166: 235–40.
- Chin, S; Storkson, J; Albright, K; Cook, M; Pariza, M. 1994. Conjugated linoleic acid is a growth factor for rats as shown by enhanced weight gain and improved feed efficiency. *The Journal of nutrition*. 124 (12): 2344-2349.
- Chin, S; Storkson, J; Ha, Y; Pariza, M. 1992. Dietary source of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens. *J. Food Comp. Anal.* 5: 185-197.
- Corporación de Fomento Ganadero (CORFOGA).2002. Guía fotográfica: Sistema de clasificación de canales. San José, Costa Rica. 27 p.
- CORFOGA. 2012. Informe final: Clasificación de canales bovinas. San José, Costa Rica. 87p.
- CORFOGA. 2019. Consumo per cápita a octubre del 2019. Corporación para el fomento ganadero. Consultado el 25 de noviembre 2019. Disponible en: <http://www.corfoqa.org/download/consumo-per-capita-de-carne-de-res-marzo-2017/>.
- Czerkawsky, J. 1973. Effect of linseed oil fatty acids and linseed oil rumen fermentation in sheep. *J. Agric. Sci.* 81: 517-531.
- Dhiman, T. R; Nam, S. H; & Ure, A. L. 2005. Factors Affecting Conjugated Linoleic Acid Content in Milk and Meat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(6): 463–482.
- Dórea, J.R.R. 2011. Níveis de suplemento energético para bovinos em pastagens tropicais e seus efeitos no consumo de forragem e fermentação ruminal Piracicaba SP. Dissertação Mestrado. São Paulo, Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba. 108 p.

- Doreau, M; Legay, F; Bauchart, D. 1991. Effect of source and level of supplemental fat on total and ruminal organic matter and nitrogen digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:2233.
- Erickson, G; Klopfenstein, T; Adams, D; Rasby, R. 2005. Utilization of Corn Co-Products in the Beef Industry. - A joint project of the Nebraska Corn Board and the University of Nebraska-Lincoln, Institute of Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research Division, Cooperative Extension Division. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: www.nebraskacorn.org.
- Eversole, D.E; Browne, M.F; Hall, J.B; Dietz, R.E. 2009. Body condition scoring beef cows. Virginia Cooperative Extension. Publication 400-791. 6p.
- FAO. 1975. Razas Europeas de Ganado Bovino. Organización Mundial de las Naciones Unidas. Roma, Italia. 417p.
- FAO. 2018. Composición de la carne. Departamento de Agricultura y protección al consumidor. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: http://www.fao.org/aq/aqainfo/themes/es/meat/backgr_composition.html.
- FEDNA. 2012. Granos solubles de maíz (DDGS) calidad media. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/granos-y-solubles-de-ma%C3%ADz-ddgs-calidad-media-actualizado-nov-2011.
- FEDNA. 2018. Forrajes. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Consultado el 26 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://fundacionfedna.org/forrajes>
- Feoli, C. 2002. Efecto de la edad y el sexo del ganado cebuino de dos zonas del norte de Costa Rica sobre el rendimiento y las características de calidad de la carne. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 85p.
- Fernandez-Quintela, A; Rodríguez, M; Portillo, M. 2004. Ácido linoleico conjugado y grasa corporal. *Rev Esp Obes* 2 (2): 71-79.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2017. Panorama Agroalimentario: Carne de bovino. México. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200639/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_bovino_2017__1_.pdf.

Firkins, J. 2008. Protein consideration for dairy cows. Curso de actualización en nutrición de Ganado lechero. RAPCO. Atenas, Costa Rica. 4p.

Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA). 2001. Utilización de ultrasonografías para la predicción de la composición y calidad de canal. (En línea). Programa Nacional de Bovinos para carne. 95pp. Consultado 4 setiembre 2014. Consultado el 17 de septiembre de 2019. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5703/1/14432230209155402.pdf>

Gallo, C; Pérez, S; Sanhueza, C; Gasic. J. 2000. Efectos del tiempo de transporte de novillos previo al faenamiento sobre el comportamiento, las pérdidas de peso y algunas características de canal. Arch.med.vet. 32(2): 157-170.

Gil A. 2010. Tratado de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. Ed. Médica Panamericana. España. 2: 32-34.

González, S; Díaz, H; López, R; Alzpuru, E; Garza, H; Sánchez, F. 2004. Consumo, calidad nutritiva y composición botánica de una pradera de alfalfa y gramíneas perennes con diferentes niveles de asignación de forraje. Téc. Pec. Méx. 42 (1): 29-37.

Gordon, C; Reicks, A. 2002. The effect of dakota gold -brand dried distiller's grains with solubles of varying levels on sensory and color characteristics of ribeye steaks. 0(1):72-74.

Griimari, J.M., Bauman, D.E. 2008. Milk fat depression: concepts, mechanisms and management applications. En K. Sejrsen, T. Hvelplund, M.O. Nielsen Ed. Ruminat Physiology: digestion metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress. Wageningen Academic Publisher. p. 388.

Guitou, H. 2007. Interpretación y uso correcto de las diferencias esperadas entre progenie (DEP's) como herramienta de selección para la calidad de carne. Segunda parte. Rev Colom Cienc Pecua 20(3): 363-376.

Harfoot, G; Hazlewood, P. 1997. Lipid metabolism in the rumen. En Hobson PN The rumen microbial ecosystem. Elsevier. 382-426.

Henderson, C. 1973. The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. J. Agric. Sci. 81: 107-112.

Hargraves J.N.G., Kerr J.D. 1978. Botanal: a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. II. Computational package. Division of

Tropical Crops and Pastures, Tropical Agronomy, CSIRO, Australia. Technical Memorandum N^o. 9

Herrera, A; Cerón-Muñoz, M; Vergara, O; Agudelo, D. 2008. Curvas de crecimiento en bovinos cruzados utilizando el modelo brody. *Livestock Research for Rural Development* 20(9): 1-6.

Hocquette, F; Gigli, S. 2003. Indicators of milk and beef quality. *Journal of Jewish Education* 69(1):13-22.

Hoyos, M; Rosales, V. 2014. Lípidos: Características principales y su metabolismo. *Rev. Act. Clin. Med* 41: 2142-2145.

INEC. 2017. VI Censo Nacional Agropecuario: características de las fincas y de las personas productoras. San José, Costa Rica.

Houseknecht, K; Heuvel, J; Moya-Camarena, S; Carla, P; Portocarrero, C; Peck, L; Nickel, K; Belury, M. 1998. Dietary Conjugated Linoleic Acid Normalizes Impaired Glucose Tolerance in the Zucker Diabetic Fatty fa/fa Rat. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 244: 678-682.

Khan, N. A; Farooq, M. W; Ali, M; Suleman, M; Ahmad, N; Sulaiman, S. M; Cone, J. W; Hendricks, W. H. 2015. Effect of species and harvest maturity on the fatty acids profile of tropical forages. *The Journal of Animal & Plant Sciences.* 25(3): 739-746.

Konica-Minolta. 2016. Entendiendo El Espacio de Color CIE L*A*B*. Nueva Jersey, Estados Unidos de América. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>.

Kraft, J; Kramer, J; Schoene, F; Chambers, J; Jahreis, G. 2008. Extensive analysis of long-chain polyunsaturated fatty acids, CLA, trans-18:1 isomers, and plasmalogenic lipids in different retail beef types. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(12):4775-4782.

Lancaster, P. A; Corners, J. B; Thompson, L. N; Fritsche, K. L; Williams, J. E. 2007. Case Study: Distiller's dried grains with solubles affects fatty acid composition of beef. *The Professional Animal Scientist.* 23: 715-720.

Latham, M; Storry, J; Sharpe, M. 1972. Effect of low-roughage diet on the microflora and lipid metabolism in the rumen. *Appl. Microbiol.* 24: 871-877.

- Ledic, I. 2011. Cronología dentaria de los bovinos. Engormix. Consultado el 6 de mayo de 2019. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/cronologia-dentaria-bovina-T28393.htm>
- Lee, K., Kritchevsky, D., Pariza, M. 1994. Conjugated linoleic acid and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis*. 108: 19-25.
- Livas-Calderón, F. 2000. Engorda de ganado bovino en condiciones de trópico. Memorias del XXIV Congreso Nacional de Buiatría. AMMVEB. Conferencia Magistral. Guadalajara, Jalisco, México, AMMVEB. P. 71- 75.
- Loyacano, F; Williams, C; Gurie, J; DeRosa, A. 2002. Effect of gastrointestinal nematode and liver fluke infections on weight gain and reproductive performance of beef heifers. *Veterinary parasitology* 107: 227–34.
- Macaya-Quirós, S; Rojas-Bourrillon, A. 2009. Uso de granos secos con solubles (DDGS) provenientes de la destilería del maíz en suplementos para vacas lactantes en pastoreo de Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis*). *Revista Agronomía Costarricense* 33(2):237-248.
- Maczulak, A; Dehority, B; Palmquist, D. 1981. Effects of long-chain fatty acids on growth of rumen bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 42: 856-862.
- Mao, Y; Hopkins, D; Zhang, Y; Li, P; Zhu, L; Dong, P; Luo, X. 2016. Beef quality with different intramuscular fat content and proteomic analysis using isobaric tag for relative and absolute quantitation of differentially expressed proteins. *Meat science*, 118, 96-102.
- Martínez, J. 2009. Análisis del mejoramiento y competitividad en la ganadería de carne ante la apertura comercial en Costa Rica. Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Economía Agrícola y Agronegocios. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 73p.
- Martínez, A; Pérez, M; Pérez, A; Gómez, G; Carrión, D. 2010. Metabolismo de los lípidos en los rumiantes. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria*. 11 (08): 1 – 21.
- Mazeri, S; Rydevik, G; Handel, I; Bronsvort, B; Sargison, N. 2017. Estimation of the impact of fasciola hepática infection on time taken for UK beef cattle to reach slaughter weight. *Scientific Reports*. 7:7319. 15p.

- Mckee, T; Mckee, J. 2014. Bioquímica: Las bases moleculares de la vida. Quinta Edición. McGRAW-HILL Interamericana Editores, S.A. México.
- Mertens, D.R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J. of Animal Sci.* 64:1548-1558.
- Microtracers. 2017. Manual para su utilización en alimentos concentrados para animales. Micro-Tracers Inc. Estados Unidos. Consultado el 06 de mayo de 2019. Disponible en: <https://microtracers.com/wp-content/uploads/2017/05/Manual-Para-Su-Utilizacion-En-Alimentos-Concentrados-Para-Animales-7-24-13-ZE.pdf>.
- Miller, C; Park, Y; Pariza, M; Cook, M. 1994. Feeding conjugated linoleic acid to animals partially overcomes catabolic responses due to endotoxin injection. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 198: 1107-1112.
- Mir, Z. 1988. A comparison of canola acidulated fatty acids and tallow as supplements to a ground alfalfa diet for sheep. *Can. J. Ani. Sci.* 68:761.
- Miranda, J; Arias, N; Fernández-Quintela, A; Portillo, M. 2014. ¿Son los isómeros del ácido linoleico conjugado una alternativa a isómeros del ácido linoleico conjugado en la prevención de la obesidad? *Endocrnol Nutr.* 61(4): 209-219.
- Mirzaei, H; Deland, M; Pitchford, W. 2009. Describing Variation in Rump P8 Fat Depth of Crossbred Cattle from Birth to Slaughter. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 17: 557-560.
- Moreno, T; Varela, A; Portela, C; Pérez, N; Carballo, JA; Montserrat, L. 2007. The effect of grazing on the fatty acid profile of longissimus thoracis muscle in Galician Blond calves. *Animal* 1(8):1227-1235.
- Muchenje, V; Dzama, K; Chimonyo, M; Strydom, PE; Hugo, A; Raats, JG. 2009. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. *Food Chemistry* 112(2):279-289.
- Muller, L.D., Delahoy, J.E. 2017. Conjugated Linoleic Acid (CLA): Implications for Animal Production and Human Health. Penn State Extension. Code: DAS 04-88. p 5.
- Noble, R; Moore, J; Harfoot, C. 1974. Observations of the pattern of biohydrogenation of sterified and unsterified linoleic acid in the rumen. *Br. J. Nutr.* 31: 99-108.

- Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES). 1995. Dairy reference manual. Third Edition. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. United States. 293p.
- NRC. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. National Research Council. 7th revised ed. Washington, DC, USA: National Academic Press.
- NRC. 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Research Council. 8th revised ed. Washington, DC, USA. National Academic Press
- DSM. 2016. Ácidos grasos esenciales. Suiza. DSM Nutritional Products Europe Ltd. Consultado el 06 de mayo de 2019. Disponible en: https://www.nutrifacts.org/content/dam/nutrifacts/pdf/nutrients-pdf-es/acidos_grasos_esenciales.pdf
- Obregón R, M; Valenzuela, A. 2011. Ácido linoleico conjugado, metabolismo de lípidos y enfermedad cardiovascular. Rev. Chil. Nutr. 36:258-268.
- Organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE/FAO). 2017. Perspectivas Agrícolas 2017-2026: Carne (en línea). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). París, Francia. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i7465s.pdf>
- Organización Mundial de la Sanidad Animal (OIE). 2017. Capítulo 7.9: Bienestar animal y sistemas de producción de ganado de carne (en línea). Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/chapitre_aw_beef_cattle.pdf.
- Oklahoma State University (OKState). 2000. Breeds of livestock- Brahman cattle. Oklahoma State University. Consultado el 6 de mayo de 2019. Disponible en <http://afs.okstate.edu/breeds/cattle/brahman/>.
- OMS. 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. World Health Organization technical report series 916: i-viii-1-149-backcover. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42665/WHO_TRS_916.pdf;jsessionid=2A26E5ED2F6266015CB5B4173DE40031?sequence=1.

- Orozco, JA; Berrío, S; Barahona, R. 2010. Uso de la ultrasonografía en tiempo real para la estimación de la deposición de grasa y rendimientos de canales bovinas cebuinos provenientes de diferentes fincas de Colombia. *Rev Ces Med Vet Zootec.* 5(1): 36-44.
- Osorio, K; Restrepo, D; Barahona, R. 2016. Efecto del tiempo de ayuno sobre el rendimiento en canal y el pH en canales bovinas. *Revista Lasallista de investigación* 13(2): 80-87.
- Pariza, M; Hagraves, W. 1995. A beef derived muta-genesis modulator inhibits initiation of mouse epidermal tumors by 7,12-dimethylbenz(a) anthracene. *J. Carcinogenesis.* 6: 591-593.
- Pariza, M; Park, Y; Cook, M. 2001. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Prog. Lipid Res.* 40: 283-298.
- Pastoriza, S. 2013. Efecto de la ingesta de compuestos avanzados de la reacción de maillard sobre el metabolismo gastrointestinal. Tesis Doctoral para optar por el grado de Doctor por la Universidad de Granada. Universidad de Granada. España. 203p.
- Park, Y., Albright, K., Liu, W., Storkson, J., Cook, M., Pariza, M. 1997. Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice. *Lipids.* 32: 853-858.
- Plascencia, A; Mendoza, G; Vásquez, C; Avery, R. 2005. Factores que influyen en el valor nutricional de las grasas utilizadas en las dietas para bovinos de engorda en confinamiento: Una revisión. *INCI.* 30(3): 134-142. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000300006&lng=es.
- Popova, T; Yossifov, M; Kozelov, L; Marinova, P. 2015. Effect of various preprotein sources on feed on the fatty acid composition of adipose depots in lambs. *Emirates Journal of Food and Agriculture.* 27(6): 527-532.
- Quesada, M. 2019. Efecto de la suplementación con semolina de arroz en el desarrollo, composición de la canal y perfil lipídico de la carne en novillos de encaste brahman en pastoreo en la Vega, San Carlos. Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. 80p.
- Raes, K., Balcaen, A. 2003. Meat quality, fatty acid composition and flavour analysis in belgian retail beef. *Meat Science.* 65 (4): 1237-1246.

- Ramírez-Barboza, J; Valverde-Abarca, A; Rojas-Bourrillón, A. 2016. Efecto de raza y niveles de energía en la finalización de novillos en pastoreo. *Agron. Mesoam.* 28(1): 43-57.
- Ramírez, J. 2014. Evaluación de niveles crecientes de energía en la suplementación de novillos de engorde en pastoreo. Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. 84p.
- Rearte, D. 2002. Calidad de Carne en los Sistemas Pastoriles. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/64-calidad_carne_pastoril.pdf
- Roche, H; Noone, E; Nugent, A; Gibney, M. 2001. Conjugated linoleic acid: a novel therapeutic nutrient. *Nutr. Res. Rev.* 14: 173-187.
- Rochfort S; Parker A. J; Dunshea F.R. 2008. Plant bioactives for ruminant health and productivity, *Phytochemistry* 69: 299–322
- Rodríguez-González, K; Valverde-Abarca, A; Rodríguez-González, J; Murillo-Bravo, O; Camacho-Calvo, M. 2018. Efecto del genotipo y alimentación final sobre cortes cárnicos comerciales y calidad de canal en novillos. *Agron. Mesoam.* 29(1):105-122
- Rojas, B. 2017. Informe Estadístico 2017 (en línea). San José, Costa Rica. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en <http://www.corfoga.org/>.
- Rojas-Bourrillon, A., Campos-Granados, C 2015. Hacia sistemas más intensivos en la producción de carne bovina: pastoreo con suplementación, semiestabulación y estabulación. *Revista UTN Informa.* Edición número 74: 14-24.
- Rojas-Bourrillon, A., Campos-Granados, C. 2017a. Ácido linoleico conjugado (ALC) en carne bovina en Costa Rica: diagnóstico de la presencia de factor anticancerígeno. *Revista UTN Informa.* Edición número 80.
- Rojas-Bourrillon, A., Campos-Granados, C 2017b. Problemas de sólidos lácteos en la producción lechera debido al Síndrome de Baja Grasa Láctea. *Revista UTN Informa.* Edición número 80.

- Rubio, M; Braña, D; Méndez, D; Delgado, E. 2013a. Sistemas de producción y calidad de carne bovina. SAGARPA. México. Consultado el 07 febrero de 2019. Disponible en: <http://www.anetif.org/files/pages/0000000034/18-sistemas-de-produccion-y-calidad-de-carne-bovina.pdf>.
- Rubio, M; Braña, D; Médez, D; Torrescano, G; Sánchez, A; Pérez, C; Figueroa, F; Delgado, E. 2013b. Guía práctica para la estandarización y evaluación de las canales bovinas mexicanas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Querétaro, México.
- Ruiz, M; Posada, R; Mariño, M. 1967. Curvas de crecimiento del ganado bovino en la sabana de Bogotá y Valle de Tunja. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Revista Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia 30(1).
- Sánchez, F. 2016. Crecimiento y desarrollo. Departamento de Producción Animal. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Consultado el 5 de mayo de 2019. Disponible en: http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/Zootecnia/images/crecimiento_y_desarrollo_-_zootecnia.pdf
- Sánchez, J. 2000. Nutrición energética del ganado lechero. Nutrición Animal Tropical 6(1): 97-127.
- Sánchez-Vázquez, J; Lewis, I. 2013. Investigating the impact of fasciolosis on cattle carcass performance. Veterinary parasitology 193: 307–11.
- Scott W. 2010. Effects of distiller's grains on performance and meat quality in steers at 70% inclusion. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master of Science. Universidad de Illinois. Estados Unidos de America. 54 p.
- SEPSA. 2019. Indicadores Macroeconómicos 2015-2019. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). San José, Costa Rica.
- Shaeffer, D. 2000. Potential for altering quality of muscle and milk ruminant. In Dekker E, Faustman C. Lopez-Bote C., Antioxidants in Muscle Foods. pag 155. John and Willey & Sons Inc. Publication.

- Silva, E; Jácome, M; Lee, R; Nakano, T; Ozimek, L; Guzmán, I. 2007. Alto contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) en leche y productos derivados al incorporar semillas de girasol a la dieta vacuna. Implicaciones sobre el riesgo trombo/aterogénico. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 57(2):173-178.
- Smith, W; Harris, B; Van Horn, H. 1992. Effect of forage type on production performance of dairy cows supplemented with different dietary fats. J. Dairy Sci. 75(1): 300.
- Sosa, C.P.; Barahona, R. 2015. Comportamiento productivo de novillos pastoreando en trópico de altura con y sin suplementación energética. Rev. Med.Vet. Zoot. 62(1): 67-80.
- Stanton, C; Lawless, F; Kjellmer, G; Harrington, D; Devery, R; Connolly, JF; Murphy, J. 1997. Dietary Influences on Bovine Milk cis-9, trans-11-Conjugated Linoleic Acid Content. Journal of Food Science 62(5):1083-1086.
- Sutton, J. 1989. Altering Milk Composition by Feeding. J Dairy Sci 72: 2801-2814.
- Swatland, J. 1999. Growth & structure of meat animals (en línea). Consultado 6 de mayo de 2019. Disponible en: <http://www.aps.uoquelpa.ca/~swatland/gasman.html>
- Teira, G; Perlo, F; Bonato, P; Tisocco, O. 2006. Calidad de carnes bovinas: Aspectos nutritivos y organolépticos relacionados con sistemas de alimentación y prácticas de elaboración (en línea). Ciencia, docencia y tecnología 2006(33):173-193. Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=T1851-17162006000200008&script=sci_arttext&lng=en%0Ahttp://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=T1851-17162006000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Thomas, P. C; Martin, P. A. 1988. The influence of nutrient balance on milk yield and composition. Page 97 in Nutrition and lactation in the dairy cow. P. C. Garnsworthy, ed. Butterworths, London, Engl.
- Tjardes, K; Wright, C. 2002. Feeding Corn Distiller's Co-Products to beef cattle. Extension Extra. 5 p.
- Turner, S; Navajas, E; Hyslop, J; Ross, D; Richardson, R; Prieto, N; Bell, M; Jack, M; Roehe, R. 2011. Associations between response to 50 handling and growth and meat quality in frequently handled Bos Taurus beef cattle. Journal of Animal Science. 89 (12):4239-4248

- Pontificia Universidad Católica de Chile (UC). 2019. Producción de mamíferos de interés comercial: Bovinos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. Consultado el 04 de febrero de 2019. Disponible en: http://www7.uc.cl/sw_educ/prodanim/mamif/siii.htm.
- UNAM. 2017. Unidad 1 Biomoléculas: funciones de los lípidos. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Consultado el 6 de mayo de 2019. Disponible en: <https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad1/biomoleculas/funcioneslipidos>.
- USGC. 2012. DDGS: manual del usuario. Consejo Norteamericano de Granos: 129 p.
- Vargas, E. 2018. Problemas de mezclado y uniformidad en la industria de alimentos para animales. Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA). Costa Rica. Consultado el 4 de mayo de 2019. Disponible en: http://www.cina.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista/problemas_de_mezclado_y_uniformidad_en_la_industria_de_alimentos_para_animales.pdf
- Villa, N; Duque, P; Jiménez, A; Ceballos, A. 2012. Evaluación ultrasonográfica de las medidas dorsales y del anca y su relación con metabolitos lipídicos en ganado Brahman. Rev.MVZ Córdoba 17(3): 3154-3161.
- Villalobos, L; Alfaro, D; Conejo, F; WingChing-Jones, R. 2019. ¿Cómo incrementar el aprovechamiento en pasturas de piso? Evaluación de una estrategia en pastos Estrella africana y Mombasa. Revista Ventana Lechera. 43: 24-34
- Van Nevel, C; Demeyer, D. 1996. Influences of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents in vitro. *Reprod. Nutr. Dev.* 36: 53-63.
- Wicker, D; Poole, D. 1991. How is your mixer performing. *Feed Manag.* 42(9): 40.
- Wood, J. D. 2017. Meat Composition and Nutritional Value. *Lawrie's Meat Science*, 635–659.
- Woods, V; Fearon, A. 2009. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review. *Livestock Science* 126 (1-3):1-20.
- Woodforf, J; Jorgensen, N; Barrington, G. 1986. Impact of dietary fiber and physical form on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69: 1035.

Zamora, L. 2016. Evaluación del rendimiento productivo de la canal y calidad de carne de animales Brahman, Brangus (negro) y el cruce Wagýú x Charbray; enteros y castrados, en un sistema estabulado. Tesis presentada para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica.

Zeballos H. 2016. Origen del Bovino: Razas. Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires. Argentina. Consultado el 5 de mayo de 2019. Disponible en: http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/Zootecnia/images/Origen_del_Bovino_Razas.pdf.

9. ANEXOS

Anexo 1. Guía para la clasificación de la condición (CC) corporal de los bovinos de carne de acuerdo a la escala Americana.

Fuente: Adaptado de Eversole et al. (2009)

	Gravemente demacrado	Extremadamente Delgado	Muy Delgado	Limite	Moderado	Ligeramente Regordete	Regordete	Obeso	Muy Obeso
Criterio clasificación	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Debilidad Física	Sí	No							
Atrofia muscular	Sí		Leve	No					
Contorno de la columna vertebral visible	Sí			Leve	No				
Costillas visibles	Todas			3 - 5	1 - 2	Ninguna			
Puntas visible de la cadera	Sí						Leve	No	
Grasa en el pecho y en los Flancos	No					Un poco	lleno		Extrema
Grasa irregular a cada lado de la base la cola y Ubre gorda	No						Leve	Sí	Extrema
Escala 5 grados:	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Anexo 2. Rotación propuesta para el Proyecto mediante el uso de un Sistema de pastoreo en franjas.



Anexo 3. Valores de calificación de las canales de acuerdo a los valores brindados por la planta de cosecha de la Cooperativa Montecillos.

Tratamiento	Grupo	# Canal	Calificación canal Montecillos	Calificación canal
1	A	6156	AA	2
		6142	AA	2
		6146	AAA	1
		6145	AAA	1
		6143	A	3
		6158	AAA	1
		6144	AA	2
		6151	AAA	1
	B	6163	AAA	1
		6165	A	3
		6173	AA	2
		6167	AAA	1
		6160	AA	2
		6161	A	3
		6159	AA	2
		6172	AA	2
			Promedio T1	1,81
2	A	6148	AAA	1
		6147	AAA	1
		6154	AAA	1
		6153	AAA	1
		6149	AAA	1
		6155	AA	2
		6152	AAA	1
		6150	AAA	1
	B	6168	A	3
		6164	AAA	1
		6170	AA	2
		6171	B	4
		6157	AAA	1
		6169	A	3
		6166	AAA	1
		6162	A	3
			Promedio T2	1,69

*El T1 es la dieta experimental y el 2 el control; para los promedios la clasificación es 1(AAA), 2 (AA), 3(A) y 4 (B).