

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS**

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA CARNE DE GANADO CEBÚ  
FINALIZADO EN SISTEMAS DE ESTABULACIÓN Y PASTOREO;  
LA FORTUNA, SAN CARLOS, 2020**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía  
como requisito parcial para optar al grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**MARÍA ALEJANDRA FERNÁNDEZ QUESADA**



Carrera de Ingeniería en Agronomía  
Campus Tecnológico Local  
San Carlos  
2019 - 2023

**SANTA CLARA, SAN CARLOS**

**2021**

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA CARNE DE GANADO CEBÚ  
FINALIZADO EN SISTEMAS DE ESTABULACIÓN Y PASTOREO; LA  
FORTUNA, SAN CARLOS, 2020

MARÍA ALEJANDRA FERNÁNDEZ QUESADA

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Julio Rodríguez González, M.Sc.



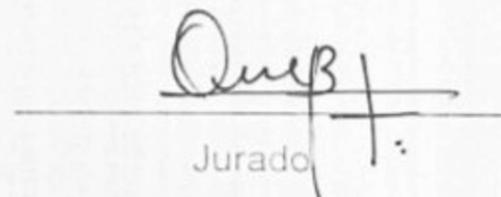
Asesor interno

Ing. Zoot. Jeffry Sánchez Salas, M.Sc.



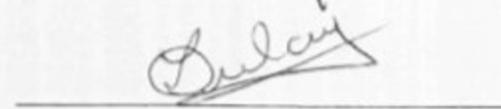
Jurado

Ing. Agr. Olger Murillo Bravo, M.Sc.



Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.



Coordinadora

Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, PhD.



Director

Escuela de Agronomía

## DEDICATORIA

A mis papás... Por darme de lo suyo, motivarme a ser mejor, apoyarme y creer en mí.

A mi *alma máter*, el TEC San Carlos... Por todo lo que representa y ser un hogar donde forjé recuerdos que permanecerán conmigo siempre.

*Y a mi... Porque hay que tener fe en uno mismo, ¡ahí reside el secreto!*

## **AGRADECIMIENTO**

A la familia Retana Gamboa – Ganadera Don Fernando... Por abrirme las puertas, ofrecer su tiempo y recursos para la ejecución de esta investigación.

A Bayer S.A... Por cubrir el costo de las muestras y análisis de composición de la carne.

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica... Por cubrir costos de materiales y equipos utilizados en los análisis de laboratorio.

Al Ing. Agr. Julio Rodríguez González, M.Sc... Por coordinar actividades en finca, planta de cosecha y laboratorio; ¡también por adoptarme, asesorarme y motivarme a investigar esta pequeña parte del exquisito mundo de la carne!

## INDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
INDICE DE CONTENIDO .....	i
ÍNDICE DE CUADROS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general .....	3
1.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Hipótesis .....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1. Ganadería en Costa Rica .....	5
2.2. Tendencias del consumidor .....	6
2.3. Sistemas de engorde en Costa Rica .....	8
2.3.1. Sistemas de pastoreo intensivo.....	9
2.3.2. Sistemas de estabulación .....	10
2.4. Patrón de crecimiento en bovinos.....	10
2.4.1. Ondas de crecimiento .....	11
2.4.2. Curva del crecimiento .....	12
2.5. Ganancia diaria de peso (GDP).....	13
2.5.1. Ultrasonografía para la evaluación del crecimiento .....	14

2.6.	Factores asociados a la calidad de canal y calidad de carne .....	15
2.6.1.	Genética .....	16
2.6.2.	Condición sexual .....	19
2.6.3.	Edad .....	21
2.6.4.	Alimentación y suplementación .....	24
2.6.5.	Estrés ante mortem .....	27
2.6.6.	Estimulación eléctrica .....	28
2.6.7.	Irrigación de la canal .....	29
2.6.8.	Proceso de enfriamiento .....	30
2.6.9.	Área de Ojo del Lomo .....	32
2.6.10.	Maduración .....	32
2.6.11.	Componentes estructurales del músculo esquelético.....	34
2.7.	Otros métodos para medir la calidad de la carne .....	36
2.7.1.	Análisis de composición lipídica de la carne .....	36
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	39
3.1.	Ubicación .....	39
3.2.	Periodo de estudio .....	40
3.3.	Población .....	40
3.4.	Área y Unidad experimental .....	40
3.5.	Descripción de los tratamientos .....	41
3.6.	Variables de respuesta .....	42
3.6.1.	Etapa de Engorde .....	42
3.6.2.	Etapa de Cosecha .....	44

3.6.3.	Etapa de Análisis en laboratorio.....	50
3.7.	Diseño experimental.....	53
3.8.	Análisis estadístico.....	54
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.1.	Etapa de Engorde.....	55
4.2.	Etapa de Cosecha.....	61
4.2.1.	Variables de rendimiento de la canal.....	61
4.2.2.	Variables asociadas a la calidad de la canal.....	66
4.2.3.	Composición de la canal.....	74
4.3.	Etapa de Análisis en laboratorio.....	76
4.3.1.	Composición grasa y Perfil lipídico.....	77
4.3.2.	Pérdidas por goteo.....	83
4.3.3.	Color del músculo ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ).....	86
4.3.4.	Pérdidas por cocción.....	91
4.3.5.	Fuerza de corte.....	95
5.	CONCLUSIONES.....	103
6.	RECOMENDACIONES.....	105
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	106
8.	ANEXOS.....	117

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Descripción	Pág.
1	Cantidad de ganado vacuno en Costa Rica para el año 2019, por sexo y propósito*.....	6
2	Edad promedio de ganado <i>Bos taurus</i> de acuerdo con la aparición y desarrollo completo de los dientes incisivos permanentes.....	21
3	Edad promedio y clasificación fisiológica de ganado <i>Bos indicus</i> de acuerdo con la cantidad de dientes incisivos permanentes. ....	22
4	Requerimientos nutricionales en ganado de carne con ganancias de peso de 0,6 kg/animal/día y 1,0 kg/animal/día.....	24
5	Escala de marmoleo para la evaluación <i>in vivo</i> de bovinos mediante el software desarrollado por Kansas State University; Kansas, EE. UU. ....	44
6	Edad promedio de ganado <i>Bos indicus</i> de acuerdo con la edad de aparición de dientes incisivos permanentes y su clasificación fisiológica. ....	45
7	Descripción del grado de cobertura grasa a partir de su grosor y distribución en la canal bovina. ....	45
8	Descripción del grado muscular en canales bovinas a partir de la observación del lomo, costillar, paleta, cuartos posteriores y anteriores.....	46
9	Descripción del grado de color de la grasa subcutánea en canales bovinas.....	46

10	Descriptores del crecimiento de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. ....	55
11	Evaluación del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> mediante ultrasonido en ganado cebú engordado en un sistema de estabulación; La Fortuna, San Carlos, 2020. ....	58
12	Variables del rendimiento de la canal medidas <i>ante</i> y <i>post mortem</i> en ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	61
13	Variables de calidad de la canal medidas en ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	67
14	Composición de la canal (%) de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. ....	74
15	Composición lipídica del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	77
16	Evaluación de las pérdidas por goteo (%) del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	83
17	Evaluación del espectro de color L* del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	87

18	Evaluación del espectro de color a* del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	89
19	Evaluación del espectro de color b* del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	90
20	Evaluación de pérdidas por cocción (%) del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	92
21	Evaluación de la fuerza de corte (kg) del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Descripción	Pág.
1	Consumo per cápita (kg) de carne de res en Costa Rica en el periodo 2016-2020 (CORFOGA 2020). ....	7
2	Porcentaje de toros (machos), hembras y novillos cosechados en Costa Rica durante el periodo 2004 - 2012, clasificados por grado de conformación muscular (CORFOGA 2012). ....	20
3	Porcentaje de toros, hembras y novillos cosechados en Costa Rica en el periodo 2004 - 2012, clasificados por cronometría dentaria (CORFOGA 2012). ....	23
4	Porcentaje de toros (machos), hembras y novillos cosechados en Costa Rica durante el periodo 2004 - 2012, clasificados por grado de color de la grasa de cobertura (CORFOGA 2012). ....	23
5	Porcentaje de toros (machos), hembras y novillos cosechados en Costa Rica durante el periodo 2004 - 2012, clasificados por grado de cobertura grasa (CORFOGA 2012). ....	31
6	Ultrasonografía del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> de ganado Cebú engordado en sistemas de estabulación; La Fortuna, San Carlos, 2020. A) Posicionamiento de la sonda en el dorso del animal, B) Ultrasonido observado desde el monitor del equipo. ....	43
7	Medición del Área del Ojo de Lomo (AOL) sobre el músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> en la caracterización de la canal de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. ....	47

8	Determinación del marmoleo en el músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> para la caracterización de la canal de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	48
9	Medición de grasa dorsal en el músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> para la caracterización de la canal de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	49
10	Medición de las pérdidas por goteo del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> para la caracterización de la carne de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. A) Pesaje de la bolsa sellada, B) Pesaje de la bolsa húmeda, C) Pesaje de la bolsa seca. ....	51
11	Determinación del color en el músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> para la caracterización de la carne de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	52
12	Preparación de muestras (AB) y medición de la fuerza de corte (C) del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	53
13	Evaluación de pérdidas por goteo según tratamientos y periodos de maduración en húmedo del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. <i>Letras diferentes indican diferencias entre días de maduración (p=0,0144)</i> .....	85

14	Evaluación de los parámetros de color L*, a* y b* según tratamientos y periodos de maduración en húmedo del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. <i>Letras diferentes en la misma variable indican diferencias entre días de maduración (<math>p &lt; 0,05</math>), según la prueba DGC.....</i>	90
15	Evaluación de pérdidas por cocción según tratamientos y periodos de maduración en húmedo del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. <i>Letras distintas indican interacción entre tratamientos y días de maduración (<math>p &lt; 0,05</math>), según la prueba DGC.....</i>	92
16	Evaluación de la fuerza de corte (kg) del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. <i>Letras minúsculas en común para la interacción tratamiento × días de maduración y mayúscula entre días de maduración no son significativamente diferentes (<math>p &gt; 0,05</math>), según la prueba DGC.....</i>	97

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo No.	Descripción	Pág.
1	Composición de los núcleos minerales ofrecidos al T2 (200 mg/día) y T3 (70 mg/día) en la evaluación del rendimiento y calidad de la carne de ganado cebú finalizado en dos sistemas de pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. ....	117
2	Guía para el conteo de dientes incisivos permanentes en bovinos <i>B. indicus</i> , la estimación de edad en meses y clasificación del animal. A) 0 Dientes, <20 meses, joven; B) 2 Dientes, 20-24 meses, joven; C) 4 Dientes, 24-36 meses, adulto joven; D) 6 Dientes, 36-48 meses, adulto; E) 8 Dientes, >48 meses, adulto. CORFOGA (2012). ....	118
3	Guía para la determinación del grado de cobertura grasa en canales bovinas. 1) Grado 1, desprovista o con una capa muy ligera y delgada; 2) Grado 2, capa de <1 cm de grosor, parcialmente distribuida; 3) Grado 3, capa de >1 cm de grosor, extensamente distribuida. CORFOGA (2002).....	119
4	Guía para la determinación del grado muscular en canales bovinas. 1) Grado 1, perfil convexo o rectilíneo, lomo prominente y amplitud en cuartos; 2) Grado 2, perfil rectilíneo, amplitud en cuartos, lomo y costillar rellenos; 3) Grado 3, perfil cóncavo, costillas marcadas, lomo descarnado, cuartos sin amplitud; 4) Grado 4, perfil ultra cóncavo, canal descarnada y angulosa. CORFOGA (2002) .....	120
5	Guía para la determinación del color de la grasa de cobertura en canales bovinas. 1) Grado 1, grasa entre blanco y rosa; 2) Grado 2, grasa entre rosa cremoso y amarillo claro; 3) Grado 3, grasa entre amarillo claro e intenso. CORFOGA (2002). ....	121

6	Calificación de la carne de res de acuerdo con el marmoleo y su clasificación en el estándar estadounidense. A) Moderadamente abundante, prime; B) Ligeramente abundante, prime; C) Moderado, choice; D) Modesto, choice; E) Poco, choice; F) Ligerero, select. USDA (2015b).....	122
7	Clasificación de cortes extraíbles de la canal bovina de acuerdo con su ubicación, con el respectivo nombre en español e inglés y músculos que los conforman.....	123
8	Clasificación de cortes cárnicos y composición de la canal (kg) de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	124
9	Clasificación de cortes cárnicos y composición de la canal (%) de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.....	125
10	Composición (%) de ácidos grasos del músculo <i>Longissimus dorsi lumborum</i> de ganado cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. ....	126

## RESUMEN

Con el objetivo de analizar el crecimiento, características de la canal y calidad de carne de ganado Cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo, se distribuyó 26 novillas *B. indicus* en tres tratamientos (T1: estabulado, T2: pastoreo rotacional (PR) + núcleo DF y T3: PR + suplemento Stella Beef®). Al T1 se le ofreció 25 kg/animal/día de una dieta compuesta por pasto Cuba OM-22, maíz molido y destilados de maíz, melaza, urea, silo-paca de pasto Massai y núcleo DF. El T2 y T3 consumieron exclusivamente pasto estrella (*C. nlemfuensis*); al T2 se ofreció 200 g mineral/animal y al T3 70 g/animal, ambos mezclados con 3,8 L melaza/ día. Los grupos permanecieron en tratamiento durante 65 (T1) o 94 días (T2-T3) hasta alcanzar el acabado deseado por el productor. Las variables se analizaron con el software InfoStat/P (Di Rienzo *et. al.* 2018) bajo un diseño completamente al azar de efectos fijos con covariables como peso en planta de cosecha.

Debido a la agrupación por peso al inicio del ensayo, el T1 presentó mayor GDP, peso en planta de cosecha, merma por transporte, peso de canal caliente y canal fría ( $p<0,05$ ); mientras que el T2 y T3 se comportaron igual. En la composición de la canal, el T1 presentó menor desperdicio respecto al T2 - T3 y los superó en kilogramos de pescuezo, regiones delantera y central, recortes y tejido muscular ( $p<0,05$ ). La proporción que representó cada componente en la canal fue similar en los tres tratamientos. En el análisis de laboratorio T2 y T3 presentaron un perfil lipídico de la carne superior al T1; no hubo relación entre tratamientos y días de maduración en pérdidas por goteo o color del músculo; y el T3 presentó la mejor respuesta ante la maduración para la suavidad de la carne ( $p<0,05$ ). El desempeño del T1 fue superior en el crecimiento *in vivo* y rendimiento de la canal; sin embargo, en atributos de calidad de la carne T2 y T3 demostraron superioridad. Además, se observó que las variaciones en la cantidad de antioxidantes en dieta pueden influenciar características como concentración de PUFA, pérdidas por goteo, color y suavidad de la carne.

*Palabras clave: Calidad de carne, cebú, estabulado, minerales, pastoreo, perfil lipídico*

## ABSTRACT

YIELD AND BEEF QUALITY OF CEBU CATTLE FINISHED IN FEEDLOT AND GRAZING SYSTEMS; LA FORTUNA, SAN CARLOS, 2020. In order to analyze live growth, carcass characteristics and meat quality of Zebu cattle finished in feedlot and grazing systems, 26 Brahman heifers were distributed in three treatments (T1: feedlot, T2: rotational grazing with DF minerals and T3: rotational grazing with Stella Beef® nutritional supplement). A 25 kg/animal ration of a diet composed by Cuba OM-22 grass, ground corn and distillers dried grain with solubles, molasses, urea, Massai grass silage and DF minerals, was given daily to T1. T2 and T3 exclusively consumed Star grass (*C. nlemfuensis*) during their stay on the farm; the amount of mineral offered per day to T2 was 200 g/animal and for T3 70 g/animal; both rations were mixed with 3,8 L molasses/day. The groups remained in treatment for 65 (T1) or 94 days (T2-T3) until reaching the desired body condition by the producer. Data analysis was carried out with InfoStat/P statistical software (Di Rienzo *et al.* 2018) under a completely randomized design of fixed effects, with covariates such as harvest plant weight.

Due to the initial classification of the groups, T1 showed the highest average daily gain, harvest plant weight, losses due to transport, hot carcass weight and cold carcass weight ( $p < 0,05$ ); while T2 and T3 behaved the same. Referring to carcass composition, T1 had less kilograms of waste compared to T2-T3, and had more chuck, front and central regions, trimmings, and muscle tissue ( $p < 0,05$ ). The proportion that each component represented on the carcass was similar in all treatments. In the laboratory analysis, T2 and T3 showed better meat lipid profile than T1; there was no relation between treatments and aging period for drip losses or muscle color; and T3 had the best response on tenderness during aging. Growth and carcass characteristics were better for T1; however, T2 and T3 performed better on meat quality. Furthermore, it was noted that variations in the amount of antioxidants on the diet can influence characteristics such as PUFA concentration, drip losses, color and meat tenderness.

*Keywords: Meat quality, cebu, feedlot, minerals, grazing, lipid profile*

# 1. INTRODUCCIÓN

San Carlos se ubica en la Región Huetar Norte de Costa Rica, su tierra se utiliza principalmente para cultivar forrajes y el 51% de esa superficie se destina a la alimentación de especies pecuarias (INEC 2015). Específicamente, el ganado vacuno es la especie productiva más abundante de Costa Rica y el cantón que concentra la mayor cantidad del hato es San Carlos (14,6%) (INEC 2015). En Costa Rica la ganadería de carne se ha caracterizado por ser extensiva y manejada con poca tecnología, consecuentemente el suelo se ha degradado, lo que eleva costos de producción y baja la rentabilidad del sistema (Herrera *et al.* 2007; Rodríguez 2019). Se han presentado desafíos en el sector ante la necesidad de producir más y mejor carne con recursos finitos. Muchas personas critican y ejercen presión debido a la contaminación, deforestación y exceso de recursos naturales utilizados en la ganadería de carne. Además, el consumidor ha elevado sus expectativas y cada vez exige carne de mayor calidad (World Economic Forum 2018).

Debido lo anterior es necesario promover sistemas que ofrezcan más y mejor producto de manera sostenible y una de las alternativas es el pastoreo intensivo (Carrera *et al.* 2015). En Costa Rica el 96% de las fincas ganaderas utilizan el pastoreo como principal sistema de producción (INEC 2017) y cada vez más se interesan debido a los beneficios que puede ofrecer, Ganadera Don Fernando es un ejemplo de ellas. Esta empresa familiar dedicada al engorde y venta de carne de res libre de hormonas, antibióticos y aditivos promueve el bienestar animal y utiliza buenas prácticas agrícolas en sus fincas para mantenerse en un nicho de mercado exigente. Gracias a su esfuerzo en 2016 fueron reconocidos como la primera ganadería de engorde Carbono Neutro por auto compensación de Costa Rica. La misma finca, en La Fortuna de San Carlos, ha recibido Bandera Azul Ecológica desde el 2011 y para 2020 se colocaron como marca país, Esencial Costa Rica.

Bolaños (2019) analizó las bases de datos en Ganadera Don Fernando para evaluar el rendimiento productivo y características de la canal de animales engordados tanto en el sistema de estabulación como pastoreo con suplementación

que manejaba la finca en el periodo 2015-2018. El estudio concluyó que el sistema de estabulación produce animales más pesados en menos días; sin embargo, el pastoreo con suplementación genera mayor rendimiento de la canal (Bolaños 2019). Además, French *et al.* (2000) comprobaron que al introducir más forraje en la dieta disminuye la proporción de Ácidos Grasos Saturados (SFA) de la carne e incrementan los Ácidos Grasos Poliinsaturados (PUFA), conviene para el consumo humano ya que los SFA se relacionan con factores de riesgo para varios tipos de cáncer y los PUFA contribuyen a reducir el colesterol LDL o colesterol “malo” (Cabezas-Zárate *et al.* 2016).

Históricamente Ganadera Don Fernando ha utilizado sistemas de estabulación y pastoreo rotacional con suplemento en canoa para el engorde de los animales (Bolaños 2019). Empero, como parte del compromiso de mejora continua de la empresa y debido a las exigencias del consumidor por adquirir carne saludable y producida de manera sostenible, la empresa ha decidido migrar parcialmente hacia sistemas de pastoreo sin suplementación o “Grass-fed”, manteniendo aún el sistema de confinamiento debido la capacidad de producción que ofrece. La empresa desea averiguar si el pastoreo intensivo, aunado al aporte de minerales y vitaminas, genera buenos rendimientos y un producto de calidad respecto al producido en su sistema de estabulado. Considerando lo anterior, el propósito de esta investigación fue comparar el rendimiento y calidad fisicoquímica de carne de bovinos engordados en dos sistemas de pastoreo intensivo y uno de estabulación en Ganadera Don Fernando durante el periodo marzo-junio de 2020.

## **1.1. Objetivo general**

Analizar el crecimiento, características de la canal y calidad de la carne de ganado cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo en La Fortuna de San Carlos durante el 2020.

## **1.2. Objetivos específicos**

Contrastar la ganancia diaria de peso entre ganado cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo intensivo.

Comparar el espesor de grasa dorsal, marmoleo y profundidad del músculo *Longissimus dorsi lumborum* en ganado cebú al ingreso y egreso de un sistema de estabulación para engorde.

Diferenciar características de la canal entre ganado cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo intensivo con base en rendimiento, calidad y composición.

Comparar la calidad de la carne de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo intensivo, mediante la determinación de características evaluadas en el músculo *Longissimus dorsi lumborum* transcurridos 2, 14 y 28 días de maduración en húmedo.

### **1.3. Hipótesis**

El ganado cebú engordado en sistema de estabulación presenta mejores características de crecimiento, rendimiento, calidad de canal y calidad de carne que el finalizado en sistemas de pastoreo intensivo.

La carne de animales finalizados en sistemas de pastoreo presenta mejor perfil lipídico que la carne de animales finalizados en sistemas de estabulación.

El uso de diferentes suplementos minerales no tiene efecto sobre la ganancia de peso, ni sobre las variables evaluadas en la canal o la carne de animales engordados en sistemas de pastoreo intensivo.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Ganadería en Costa Rica

En la segunda década del siglo XXI el sector agropecuario ha topado con desafíos que no implicaban amenazas previamente. Uno de ellos es la necesidad de producir eficientemente a partir de una cantidad limitada de recursos; también es necesario ofrecer productos con valor agregado para ser competentes en el mercado. El difícil acceso a financiamiento, el degradado espacio para producir y el cambio climático, obligan a que los productores se actualicen e implementen tecnologías para ser resilientes y producir responsablemente (SEPSA 2015).

En 2014 la producción de ganado vacuno representó la actividad principal en 29% del total de fincas en Costa Rica, con un hato de 1,27 millones de reses de las cuales 42% era ganado de carne (INEC 2015). En 2018 se reportó un aumento del hato nacional (1,58 millones de reses) predominando también el ganado de carne (61,8%) y compuesto principalmente por hembras (71,3%) (INEC 2019b). El Cuadro 1 indica la distribución del hato para 2019, cuyo total no fue significativamente mayor al 2018; en Costa Rica es común que la mayoría de reses se destinen a producción cárnica y tanto el hato nacional como el de carne se componen principalmente por hembras (INEC 2015; INEC 2019a, INEC 2019b, INEC 2020), siendo estas quienes se sacrifican en mayor proporción desde el año 2009 (CORFOGA 2012).

Durante 2018 el Valor Agregado Agropecuario (VAA) del país tuvo un aporte de 18% (290,9 millones de colones) por parte del sector pecuario, posicionándose después del agrícola (71,5%), impulsado principalmente por la exportación de piña, banano y café (Mora 2019). La cría de ganado vacuno es la actividad que más valor agregado aporta al sector pecuario, siendo aproximadamente el 73% en el periodo 2015 - 2018 y sumando 886,3 millones de colones (Mora 2019). A pesar de significar una importante cantidad de dinero, en 2019 el VAA se estimó como 1,9% menos que en 2018, asociado a la sequía causada por el fenómeno de El Niño durante los primeros meses del año, que afectó las principales actividades productivas del sector (Mora 2019). Además, para 2020 el VAA se estimó como -1,2% comparado

al 2018 debido a la reducción en el dinamismo del comercio externo durante el primer semestre del año (SEPSA 2020).

En Costa Rica el sector cárnico se ha manejado en sistemas extensivos con pocas herramientas tecnológicas; como consecuencia los suelos se han degradado, incrementando los costos de producción y reduciendo la rentabilidad (Holmann *et al.* 2007). El promedio nacional en ganadería de carne son 0,77 Unidades Animales/ha que, comparado a las 1,62 UA/ha del ganado de leche, deja en evidencia lo indicado anteriormente (CORFOGA 2012). Afortunadamente el enfoque del país ha migrado hacia la producción ganadera eficiente e independiente de insumos externos a las fincas, promoviendo la intensificación de los sistemas y la disminución de la huella ecológica (Rodríguez 2019).

Cuadro 1. Cantidad de ganado vacuno en Costa Rica para el año 2019, por sexo y propósito\*.

Propósito	Total <sup>a</sup>	Sexo <sup>b</sup>	
		Machos	Hembras
Carne	1 023 953 (62,7%)	359 026 (35,1%)	664 927 (64,9%)
Leche	253 144 (15,4%)	13 008 (5,1%)	240 136 (94,9%)
Doble propósito	353 868 (21,7%)	77 501 (21,9%)	276 367 (78,1%)
Trabajo (Bueyes)	2 502 (0,2%)	2 502 (100%)	-
<b>Total</b>	<b>1 633 467</b>	<b>452 037 (27,7%<sup>a</sup>)</b>	<b>1 181 430 (72,3%<sup>a</sup>)</b>

\*Entre paréntesis se indica el porcentaje respecto al total del hato<sup>a</sup> o según propósito<sup>b</sup>.

Fuente: Adaptado de INEC 2020.

## 2.2. Tendencias del consumidor

La carne de res es un alimento común en los hogares costarricenses (Herrera *et al.* 2007); se posicionó en primer lugar de consumo hasta la década de los 90's y desde entonces ha sido desplazada por otras especies hasta que en 2016 por primera vez en la historia del país, el consumo de carne de cerdo la superó (Rodríguez 2019). CORFOGA (2020) indica que el consumo per cápita anual de carne de res en Costa Rica se ha mantenido con una ligera tendencia a la alza

desde 2016 (14,0 kg) hasta 2019 (14,2 kg) (Figura 1). A pesar de la sustitución por carne de otras especies, se estima que la demanda de carne a nivel mundial se duplique para el año 2050 debido al aumento de la población y mayor poder adquisitivo de la clase media (World Economic Forum 2018). Los datos actualizados a setiembre de 2020 reflejan un menor consumo desde el año 2016, probablemente debido a la situación económica causada por el SARS-CoV-2 (10,7 kg acumulados a setiembre de 2016 vs. 9,7 kg en 2020) (Figura 1) (CORFOGA 2020).

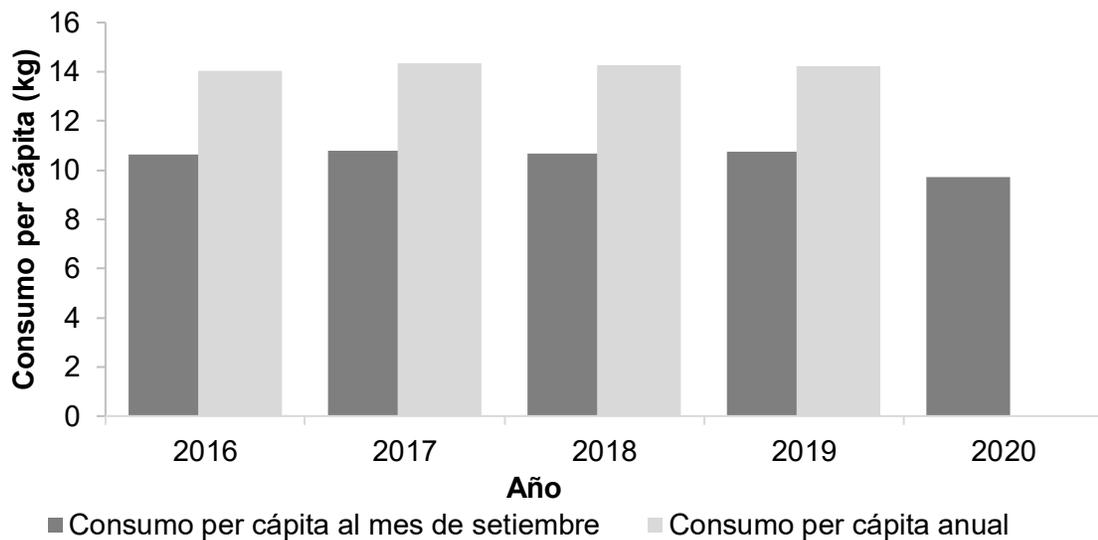


Figura 1. Consumo per cápita (kg) de carne de res en Costa Rica en el periodo 2016-2020 (CORFOGA 2020).

Existen elementos que influyen la elección del consumidor al comprar una pieza de carne destacando el factor económico, la calidad y beneficios asociados a la salud al consumir el producto. Sin embargo, a pesar de reconocer cualidades que ofrece una pieza de calidad, el consumidor costarricense no logra identificar cortes finos como el Porter House, Tomahawk o New York (CORFOGA 2017).

Además, a raíz de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 surgen preocupaciones que influyen sobre la producción y consumo de carne de res. La Organización Mundial de la Salud (OMS) externó que la ganadería tiene un papel importante en la resistencia que han generado múltiples microorganismos infecciosos por el uso indiscriminado de antibióticos; se alude que esos productos

han sido usados para promover el crecimiento del ganado y no para tratar enfermedades. Otra inquietud corresponde a la cantidad de grano usado en la alimentación de reses; sólo en 2016 se destinó un tercio de la producción mundial al sector (suficiente para alimentar cuatro mil millones de personas en un año), preocupa también la cantidad de grano que debe consumir un animal para proveer suficiente proteína en una porción de carne. Otro punto de discusión son los daños ambientales aludidos a la ganadería de carne, destacando la generación de CO<sub>2</sub> equivalente, el agua necesaria para producir un kilo de carne y la deforestación en para establecer sistemas ganaderos (6% de emisiones totales/año, 15 mil litros y 2,7 millones de hectáreas/año respectivamente) (World Economic Forum 2018).

### **2.3. Sistemas de engorde en Costa Rica**

La estadía de los animales en los sistemas de engorde más utilizados en Costa Rica se extiende de acuerdo con la edad, sexo, peso inicial y peso deseado a cosecha. Otros factores que influyen en la duración de los ciclos de finalización de bovinos son el clima, manejo y composición genética del hato. Existen varias modalidades, algunos incluso implican el periodo de desarrollo, que puede generar procesos de 1 año - 2 años (machos) y 1 año - 1,5 años (hembras). Generalmente, las fincas dedicadas exclusivamente a la etapa de finalización tienen ciclos de 0,5 a un año (machos) y tres a seis meses (hembras). El peso de ingreso a los sistemas de engorde ronda 300 kg - 350 kg en machos y 300 kg - 400 kg en hembras; mientras que los pesos de salida a mercado son entre 450 kg - 550 kg (machos) y 400 kg - 450 kg (hembras) (Pérez 2015 citado por Pérez 2017).

Numerosas herramientas tecnológicas han surgido desde la investigación de entes públicos, privados, nacionales e internacionales con el objetivo de intensificar la producción cárnica. Gracias a la globalización muchos técnicos y ganaderos han logrado implementar una o varias de esas herramientas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de producción (Holman *et al.* 2007); por ejemplo, utilizar especies forrajeras mejoradas se ha convertido en el principal sistema de alimentación de la ganadería de carne costarricense (50,3% de las fincas las utilizan) (INEC 2019b). A continuación, se caracterizan dos de los principales

sistemas de engorde adaptados a la ganadería de carne en Costa Rica.

### **2.3.1. Sistemas de pastoreo intensivo**

El pastoreo es el sistema de producción más común en la ganadería de carne costarricense, siendo utilizado por el 94,8% de las fincas (INEC 2020). El Pastoreo Rotacional Voisin (PRV), conocido como pastoreo intensivo, apunta al mejor aprovechamiento de las pasturas con el objetivo de maximizar la producción de la finca (Carrera *et al.* 2015). El sistema busca distribuir correctamente el área de los potreros según su oferta forrajera y la carga animal; en cada repasto permanece un grupo de animales durante un tiempo definido, posteriormente rota hacia otro y así sucesivamente hasta llegar al repasto inicial. El tiempo de descanso para los potreros depende, entre otros, del clima y la especie forrajera (Carrera *et al.* 2015).

El PRV se basa en cuatro leyes: i. Que exista un periodo de recuperación del forraje entre una cosecha y otra para que pueda expresar su máxima productividad; ii. Que el periodo de ocupación de los apartos no permita que una misma planta sea cosechada dos o más veces; iii. Que se ayude a que los animales con más exigencias nutricionales puedan cosechar más cantidad de forraje y iv. Para obtener el mayor rendimiento de los animales, estos no deben permanecer más de tres días en un mismo apto (Milera-Rodríguez *et al.* 2019).

Los avances en genética han permitido la provisión de mejores especies forrajeras para la alimentación de reses, lo cual contribuye a reducir los costos de producción (Holmann *et al.* 2007). A pesar de ello, Arronis (2017) señala que los sistemas de pastoreo generan poca ganancia de peso comparado a otros sistemas de engorde, por lo que recomienda suplementar con fuentes forrajeras que aporten más energía y proteína a la dieta, como *Pennisetum* sp., *Phueraria phaseoloides*, *Saccharum officinarum*, *Cratylia argentea*, *Leucaena leucocephala*; entre otros. Se ha demostrado que combinar gramíneas y leguminosas en los apartos mejora características físicas, químicas y biológicas del suelo como mayor retención de humedad, menor efecto por compactación, mejor aprovechamiento de la materia orgánica y mayor captación de carbono en el suelo; en general se mejora la

interacción suelo-planta-animal e incrementa la resiliencia frente al cambio climático (Milera-Rodríguez *et al.* 2019).

### **2.3.2. Sistemas de estabulación**

En 2018 los sistemas de producción en estabulado fueron utilizados por 1,8% de las fincas dedicadas a la ganadería de carne, superior a lo reportado en 2017 (0,3%) y 2018 (1,3%) (INEC 2019b, INEC 2020). El aumento paulatino hacia este tipo de sistemas puede deberse a que los productores buscan intensificar la producción de carne en el menor tiempo y espacio posible (Arronis 2017).

En estas explotaciones se debe ofrecer la ración diaria de forma mecánica debido a que los animales permanecen en confinamiento el 100% del tiempo. Los corrales no permiten que las reses se desplacen, por lo que su gasto energético es poco y se reduce el tiempo de engorde. El sistema demanda mano de obra continua y una importante inversión inicial debido a que los corrales deben adecuarse a la comodidad tanto de los animales como de los trabajadores (sombra, pisos empedrados o de cemento, piletas y comederos sencillos de limpiar) (Arronis 2017).

### **2.4. Patrón de crecimiento en bovinos**

El crecimiento de un ser vivo se refiere a la acumulación de tejidos desde su fecundación hasta la estabilización en la adultez, mediante procesos fisiológicos y anatómicos complejos influenciados por factores tanto inherentes como ajenos al individuo (Hammond 1960 citado por Ramírez *et al.* 2009). Además de crecer, los animales se desarrollan con el paso del tiempo; el desarrollo implica modificaciones en conformación, proporciones y funciones del cuerpo del individuo, asociados al incremento de la masa corporal. En resumen, el crecimiento son cambios cuantitativos y el desarrollo implica también cambios cualitativos (UNNE 2014).

Tres factores principales pueden influir en el patrón de crecimiento de los bovinos, corresponden a la edad y desarrollo de la madre al parto; ascendencia racial, sexo, peso al nacer y manejo en finca del individuo (alimentación, sanidad, clima, estrés) (UNNE 2014). A su vez, la velocidad con que se alcance el peso adulto está directamente relacionada con la tasa de madurez o precocidad de la raza o

cruce (Herrera *et al.* 2008). Evaluar el crecimiento de los animales destinados a la producción cárnica es una estrategia para maximizar los kilos de carne ofrecidos al mercado de manera que la rentabilidad de la empresa y su productividad incrementen. Analizar los patrones de crecimiento que presentan los bovinos de carne puede orientar al productor en cuanto a estrategias de selección y ser un indicador de la edad óptima de cosecha (Herrera *et al.* 2008). Para ejecutar lo anterior es necesario entender las ondas de crecimiento que tienen los bovinos durante su vida y la curva de crecimiento que presenta la raza o cruce que componen el hato; a continuación, se describen ambos conceptos.

#### **2.4.1. Ondas de crecimiento**

La conformación y proporción del cuerpo de un animal cambia a medida que crece en edad y depende en gran parte de su nutrición; las distintas partes que componen el cuerpo de un individuo no crecen con la misma intensidad a la vez. El orden con que se desarrolla y crece el individuo corresponde a tres “ondas de crecimiento” que aparecen en determinados momentos durante la vida del animal. La primera onda se denomina *Axial* y acontece primero durante la vida del individuo manifestándose desde el feto al lactante. Dicha onda se encarga de que el animal crezca en longitud, ya que se origina en el cráneo y se dirige hacia la región lumbar; promueve el crecimiento de la cabeza, cuello, tronco y grupa (UNNE 2014).

La segunda se denomina *Apendicular* y tiene mayor intensidad posterior al destete. Esta onda nace en la parte media de las extremidades del animal; inicialmente se dirige hacia distal, promoviendo el elongamiento de las extremidades; posteriormente se dirige hacia dorsal ocasionando que el animal adquiera su tamaño adulto medido a la cruz. La distribución de la onda *Apendicular* explica por qué las extremidades son las primeras en adquirir el tamaño adulto en relación con el tórax (UNNE 2014). La tercer onda se denomina *Descendente* e inicia a partir de que las ondas *Axial* y *Apendicular* han disminuido su intensidad. La última onda se manifiesta como el crecimiento longitudinal de las costillas, lo que provoca el ensanchamiento de esa región. Además, genera el ensanchamiento de huesos largos como los ubicados en las extremidades (UNNE 2014).

Las ondas de crecimiento no sólo influyen en el esqueleto sino en órganos y tejidos ubicados en cada región. A medida que el animal crece en edad y aparecen las ondas descritas, los nutrientes consumidos se distribuyen de forma ordenada para el desarrollo y crecimiento de diferentes tejidos y sistemas (UNNE 2014). Así, se priorizan nutrientes para el sistema nervioso central, seguido por el sistema óseo y el tejido muscular. Una vez satisfechas las demandas de los tejidos indicados, se destinan reservas para el tejido adiposo intramuscular y subcutáneo, los cuales aumentan especialmente durante la etapa de finalización o engorde en los sistemas cárnicos. Es posible lograr el acabado del animal una vez finalizan las dos primeras ondas de crecimiento, lo cual culmina cuando el animal aún no ha alcanzado la adultez. Sin embargo, para alcanzar ese objetivo y aprovechar las cualidades que ofrece la carne de animales jóvenes, debe priorizarse la adecuada nutrición durante la vida del individuo (UNNE 2014).

#### **2.4.2. Curva del crecimiento**

Para hacer eficiente el proceso de engorde conviene conocer el patrón de crecimiento de los animales. Una forma de estimar cuando un animal está en la etapa de máximo aprovechamiento energético es analizando su curva de crecimiento; a partir de lo cual se pueden seleccionar reproductores con genética que favorezca una mayor producción de carne en menor tiempo (Ramírez *et al.* 2009). La curva de crecimiento se traza a partir del peso vivo de un individuo en diferentes edades y se puede analizar mediante modelos lineales o no lineales. En animales cebú (*Bos indicus*), los modelos que mejor se ajustan y presentan mayor capacidad predictiva son los no lineales mixtos, principalmente el Logístico (Domínguez-Viveros *et al.* 2017). Las curvas sigmoideas son características del crecimiento en los seres vivos y los bovinos de carne no son la excepción; este tipo de curvas presenta tres fases iniciando con un crecimiento lento, seguido por un aumento acelerado hasta llegar a un punto de inflexión donde desacelera y alcanza el peso adulto (Domínguez-Viveros *et al.* 2017).

Un estudio realizado en el trópico bajo de Colombia describió el crecimiento de hembras y machos bovinos con diferente proporción de *Bos indicus* y *Bos taurus*.

Con el modelo de Brody se determinó que animales con influencia europea (*B. taurus*) son de madurez precoz y alcanzan el peso adulto más rápido que aquellos con ascendencia cebú (*B. indicus*). En hembras, estudiaron el porcentaje de madurez a los 12 meses, 18 meses y 24 meses, encontrando variaciones entre 42% - 48,5%; 53% - 60% y 61% - 69% respectivamente. A partir de los grupos genéticos evaluados se concluye que aquellos con influencia del 50 % de *B. taurus* son más precoces y alcanzan más peso en menos días que aquellos con influencia de *B. indicus* (Ramírez *et al.* 2009).

### **2.5. Ganancia diaria de peso (GDP)**

Existen otros métodos para medir el crecimiento de los animales, el más empleado es el aumento de peso por unidad de tiempo. Generalmente ese incremento se denomina Ganancia Diaria de Peso (GDP), se calcula de manera que el productor identifique los kilogramos de peso vivo que aumentan los animales por día. La GDP es el cociente de la diferencia de peso final e inicial entre los días que dure la fase por evaluar (inicio, desarrollo, engorde, preñez, temporada de monta u otra) (UNNE 2014). Se debe estandarizar la recopilación del peso con el objetivo de minimizar la variabilidad entre una medición y otra; por ejemplo, pesar a una misma hora y seguir el mismo protocolo. El peso vivo de un animal contiene materiales en el tracto digestivo que no son de interés productivo, destacando la orina, restos de alimento y heces; un bovino puede almacenar hasta 30 kg - 40 kg de heces por lo que es necesario permitir el ayuno de los animales previo al pesaje (UNNE 2014).

Ducca *et al.* (2007) indican que en la región Huetar Norte de Costa Rica, la GDP de las explotaciones de engorde rondan de 0,3 kg/animal/día a 0,5 kg/animal/día, con un máximo de 0,8 kg/animal/día en sistemas de pastoreo y de 0,5 kg/animal/ - 0,65 kg/animal/día en confinamiento, alcanzando máximos de 0,9 kg/animal/día. En las mismas condiciones de alimentación, el sexo de los individuos condiciona la GDP; las diferencias son marcadas entre toros, machos castrados y hembras, con valores de GDP en orden descendente (UNNE 2014). Encontrar diferencias en GDP es más complicado al evaluar animales del mismo sexo; por ejemplo, Rodríguez *et al.* (2018) no encontraron diferencias sobre la GDP en

machos con diferente base genética suplementados con dietas más o menos energéticas; apenas observaron una tendencia a GDP mayor en la raza Charolais (1,1 kg/animal/día) respecto a los F1 (1,09 kg/animal/día) y Brahman (1,07 kg/animal/día).

### **2.5.1. Ultrasonografía para la evaluación del crecimiento**

Mediante tecnologías como la ultrasonografía también es posible medir caracteres relacionados al crecimiento, rendimiento de la canal y calidad de la carne de forma rápida, fácil y confiable. Para ejecutar la ultrasonografía es necesaria una manga o prensa que inmovilice al animal, un ecógrafo y un transductor o sonda. La sonda genera impulsos ultrasónicos que penetran el tejido, recibe el eco generado por el choque entre el tejido y las ondas, y lo transmite al ecógrafo para observarlo como imágenes. Un técnico entrenado debe calibrar el equipo previamente, ya que se podrían comprometer los resultados (Sansano-Maestre y Gardón 2015).

El ultrasonido en tiempo real permite ampliar el conocimiento sobre curvas de crecimiento y/o desarrollo de los animales; así como estudiar el patrón de deposición de la grasa. Se ha demostrado que mediciones ultrasónicas al año de edad, pueden predecir características de rendimiento y calidad de la canal con correlaciones de moderadas a altas. Al ser un método no invasivo que permite observar la composición de la canal, el productor puede aprovechar para determinar si un animal está o no listo para ser faenado (Sansano-Maestre y Gardón 2015). Algunas características que se pueden evaluar con ultrasonido incluyen la profundidad del músculo *Longissimus dorsi lumborum* (LD), la grasa intramuscular o marmoleo y el espesor de la grasa subcutánea o de cobertura. Las tres variables pueden medirse paralelo al dorso del animal, entre la 12<sup>va</sup> y 13<sup>va</sup> costillas.

También puede medirse el grosor de la grasa de grupa o “rump fat” sobre el músculo *Biceps femoris*, en el cuarto posterior del animal (Sansano-Maestre y Gardón 2015). La grasa en grupa se deposita antes que la dorsal, por ello la primera es una variable útil en animales que no engrasan, entre ellos los cebú y los de sistemas pastoriles. El grosor de la grasa de grupa presenta mayor heredabilidad

(0,41) que la grasa dorsal (0,37) y entre ambas existe una correlación altamente positiva (0,65). Esta variable también presenta una correlación medianamente negativa con el porcentaje de cortes comerciales (-0,45); a medida que incrementa su grosor, disminuye el rendimiento cárnico (Sansano-Maestre y Gardón 2015).

Una variable como el marmoleo debería ser un promedio de al menos cuatro imágenes con ultrasonido, ya que se busca determinar el contenido de grasa intramuscular de todo el músculo LD, a diferencia del grosor de grasa dorsal cuya única medición debería ser en la parte más caudal del mismo ( $\frac{3}{4}$  partes). De acuerdo con el software utilizado, así será el análisis obtenido y su clasificación en un rango que puede ir de Desprovisto a Abundante en el software de la Universidad Estatal de Kansas State (Rodríguez *et al.* 2018); se recomienda utilizar softwares creados y probados originalmente sobre las especies que se vayan a evaluar, ya sean animales cuya genética permite desarrollar altos niveles de marmoleo o no (Sansano-Maestre y Gardón 2015). En el siguiente capítulo se ejemplifica cómo diferentes factores pueden influenciar los resultados obtenidos en las variables medidas con ultrasonografía indicadas en este apartado, entre ellos la ascendencia racial de los animales, su edad y alimentación ofrecida (Rodríguez *et al.* 2018).

## **2.6. Factores asociados a la calidad de canal y calidad de carne**

Uno de los mayores problemas que enfrenta el sector cárnico costarricense es la no diferenciación entre calidad de la canal y calidad de la carne. La primera se compone por variables de rendimiento industrial y la segunda se determina por la experiencia de consumo, principalmente debida a características sensoriales (Arias 2018). No se deben confundir ambos conceptos ya que una canal clasificada como “excelente” no necesariamente ofrecerá carne de calidad.

La calidad de la canal y la carne dependen de numerosos factores, destacan los intrínsecos al animal como genética, condición sexual y edad a cosecha; los referentes a manejo *ante mortem* (alimentación y estrés previo a cosecha) y el manejo *post mortem* (estimulación eléctrica, enfriamiento e irrigación de la canal; maduración y cocción de la carne) (Pérez 2017; Arias 2018).

Los factores indicados pueden alterar una o más variables asociadas a la calidad de canal y/o carne, entre ellas el peso vivo, merma por transporte, rendimientos pie/canal y canal caliente/canal fría; composición y rendimiento cárnico de la canal; conformación muscular, grado y color de la grasa de cobertura; pH y temperatura de la canal; área del ojo del lomo, marmoleo y color del músculo; pérdidas por goteo y por cocción; terneza y composición lipídica de la carne (Strydom 2008, Ferguson *et al.* 2000, Jerez-Timaure y Huerta-Leidenz 2009 citados por Strydom *et al.* 2016). En los siguientes apartados se discute la relación entre factores y variables asociadas a calidad de canal y/o calidad de la carne.

### **2.6.1. Genética**

Además de considerar las características de la canal y la carne producida, al seleccionar la genética de la finca es necesario conocer la resistencia a parásitos, habilidad materna y temperamento de la raza o cruce (Arronis 2017). Otro factor importante es la adaptabilidad del animal a la sensación térmica de la zona, medida con el Índice de Temperatura Humedad (ITH); en la región Huetar Norte de Costa Rica el ITH corresponde a niveles de “sin estrés calórico” o “leve estrés calórico” (Ducca *et al.* 2007). En lugares con ITH “sin estrés calórico” pueden subsistir razas europeas y a partir del rango de “leve estrés calórico” se necesitan razas cebuinas o cruces (*B. taurus* × *B. indicus*) adaptables al calor y humedad (Ducca *et al.* 2007).

El ganado cebú posee atributos fenotípicos que le permiten subsistir en el trópico costarricense; destacando su pelaje claro o blanco que refleja la luz solar y previene el aumento de la temperatura corporal, minimizando así el riesgo de que el animal sufra estrés por calor (Ducca *et al.* 2007). El tipo racial predominante en la ganadería de carne costarricense es el cebú y entre ellos la raza Brahman es la más común, presente en 40% de las fincas ganaderas del país (CORFOGA 2013). Otras razas cebuinas usadas en la ganadería de carne del país son Gyr, Sindhi y Nelore; y en menor proporción Guzerá e Indubrasil, cuya participación como razas puras es poco significativa en los sistemas de producción cárnicos (Ducca *et al.* 2007, CORFOGA 2012). En las condiciones ambientales del país también son frecuentes los sistemas productivos con animales desde media sangre hasta

$\frac{5}{8}$  europeo -  $\frac{3}{8}$  cebú y/o  $\frac{3}{4}$  cebú -  $\frac{1}{4}$  europeo, siendo los más frecuentes el Brahman × Angus (Brangus), Brahman × Charolais (Charbray), Brahman × Simmental (Simbra) y Gyr × Holstein (Gyrolando) (Ducca *et al.* 2007, CORFOGA 2013).

La razón de incluir animales con ascendencia europea corresponde a que buscar adaptabilidad climática con animales cebú compromete la calidad de la carne, específicamente la terneza o suavidad de la misma y algunas características de la canal; por lo tanto, mediante el cruce con ganado *B. taurus* se busca mejorar características en las que el *B. indicus* es deficiente (Rodríguez 2012; Pérez 2017).

Existen enzimas en mayor o menor proporción según la ascendencia racial del animal que pueden modificar atributos como área del ojo del lomo, sabor, jugosidad, marmoleo y suavidad (Pérez 2017; Arias 2018). Específicamente la suavidad tiene relevancia entre las demás, al ser de las principales características por las que el consumidor define la calidad de la carne (CORFOGA 2017). Los genes CAPN-1 y CAST regulan la proteólisis del músculo esquelético necesaria para convertir el músculo a carne. La calpaína, codificada por CAPN-1, es la principal enzima que degrada las fibras musculares (proteínasa), permitiendo alcanzar mayor suavidad de la carne posterior a la cosecha del animal. A su vez, la calpastatina (codificada por CAST) inhibe la acción de las calpaínas y varía en cantidad según la especie, siendo menor en *B. taurus*, lo cual evidencia que la carne de esta especie tiende a ser más suave (Lennis *et al.* 2018).

Existen genotipos relacionados a canales o carnes de calidad, entre ellos el ideal para terneza en los locus CAPN316 y CAPN4751 corresponde a CC (citosina), expresándose también como heterocigoto (Citosina/Guanina, Citosina/Timina). Madrigal-Valverde *et al.* (2018) encontraron en el locus CAPN316 frecuencias genotípicas de 0% para CC, 1,3% para C/G y 98,7% para GG en toros Brahman puros de Costa Rica, demostrando la menor segregación del alelo C respecto al G en animales cebú y evidenciando además que los alelos G/T producen carnes más duras comparados a animales con alelos C. Por otro lado, en el gen CAST los locus con genotipos AA (adenina) son deseables y producen carnes con mejor suavidad; la presencia de ese alelo es mayor en animales *B. taurus* respecto a *B. indicus*,

validando nuevamente que el *B. taurus* produce carnes más suaves (Casas *et al.* 2006 citados por Madrigal-Valverde *et al.* 2018).

Diversos autores han estudiado el efecto de la genética sobre variables de crecimiento, calidad de canal y carne. Rodríguez *et al.* (2018) evaluaron la fase de engorde de novillos en pastoreo y determinaron mejor desempeño en animales F1 respecto a Brahman o Charolais puro en caracteres como profundidad de músculo, mejor rendimiento de la canal y algunos cortes. Por su parte, Crouse *et al.* (1989) evaluaron novillos con diferente proporción cebú (Brahman-B y Sahiwal-S) y europeo (Pinzgauer-P, Hereford-H y Angus-A) y concluyeron que el cruce H×A produce canales con mayor grosor de grasa dorsal y área de ojo del lomo; también determinaron que al aumentar la proporción de *B. indicus* tanto el marmoleo como la suavidad de la carne decrecen; a pesar de lo anterior el análisis organoléptico no halló diferencias de sabor entre la carne de ambas especies. Strydom *et al.* (2016) evaluaron genotipos de novillos engordados en sistemas de pastoreo y concluyeron que la raza o cruce no influencia la pérdida de líquidos durante la maduración de la carne, pero si puede influenciar el pH de la canal 24 horas *post mortem*, las pérdidas por cocción y la suavidad medida con instrumento Warner-Bratzler (WBSF). Los valores de WBSF disminuyeron con el tiempo, la raza Brahman mostró la mayor dureza de la carne entre los grupos evaluados y el Simmental (*B. taurus*) tuvo la disminución más acelerada en el tiempo (Strydom *et al.* 2016). Por su parte, Rodríguez *et al.* (2018) evaluaron el efecto del genotipo en la merma por transporte y no encontraron diferencias entre novillos Brahman (7,29%), Charolais (7,05%) o su cruce F1 (7,22%) con edades entre 24,1 y 25,4 meses.

La heredabilidad de caracteres inherentes a calidad de canal y carne también depende de la genética del hato. Por ejemplo, el espesor de grasa dorsal presenta heredabilidad media (0,37) y tiene poca correlación con el marmoleo (0,2); es decir, para el mercado costarricense se pueden seleccionar reproductores con un grosor de grasa de cobertura que permita mantener buen rendimiento cárnico, sin sacrificar los beneficios que ofrece el marmoleo en la calidad de la carne (sección [2.6.11.](#)) (Sansano-Maestre y Gardón 2015).

### 2.6.2. Condición sexual

La testosterona producida en los testículos de los machos cumple un papel importante en variables de crecimiento, al maximizar la deposición de músculo en el individuo (Salas y Rodríguez 2020). Para medir la masa muscular y utilizarla como factor de calidad en planta de cosecha, el Proyecto de Clasificación de Canales creó una escala (Anexo 3) para calificar la conformación muscular de canales bovinas en Costa Rica; la más prominente corresponde al Grado 1 y la más deficiente se califica como Grado 4 (CORFOGA 2002, CORFOGA 2012). La Figura 2 ilustra el porcentajes de machos, novillos y hembras según su grado de conformación muscular en canal; la mayoría presentan Grados 2 y 3. La conformación muscular Grado 4 es frecuente en ganado con perfil lechero, lo cual explica la mayor representación de hembras en esa categoría, además de toros de descarte.

Los cambios que promueven las diferentes hormonas sexuales (andrógenos y estrógenos) en el crecimiento de los individuos influyen en variables como peso final en finca y planta de cosecha. SEPSA (2019) indica que en Costa Rica los machos bovinos pesan alrededor de 469 kg y las hembras 376 kg al final del ciclo de engorde; mientras que Pérez 2015 citado por Pérez (2017) indica rangos de 450 - 550 kg en machos y 350 - 400 kg en hembras. Además, CORFOGA (2012) indica que en promedio los toros sacrificados en Costa Rica tienen pesos en planta de 503 kg, los novillos 474 kg y las hembras 378 kg. Sin embargo, estudios más recientes como el de Rodríguez *et al.* (2018), cuya etapa de campo se realizó en 2013, cosechó novillos con peso en planta promedio de 510 kg. La cantidad de bovinos de carne cosechados en Costa Rica a partir del 2005 es menor que en años previos; empero, la extracción de carne no se ha reducido debido principalmente al aumento de los pesos a cosecha (Ducca *et al.* 2007). Como consecuencia de pesos al sacrificio distintos, el peso en canal caliente también cambia de acuerdo con el sexo. En Costa Rica, las canales de machos bovinos rondan 266 kg - 269 kg y las de hembras 194 kg - 198 kg (CORFOGA 2012, SEPSA 2019). Por su parte, los novillos alcanzan pesos de canales calientes intermedios, siendo 255 kg el promedio (CORFOGA 2012).

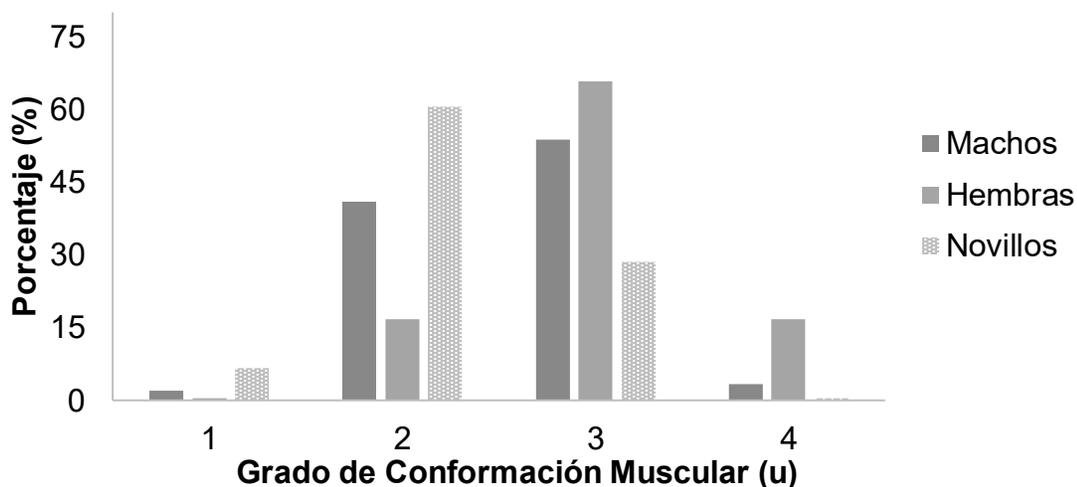


Figura 2. Porcentaje de toros (machos), hembras y novillos cosechados en Costa Rica durante el periodo 2004 - 2012, clasificados por grado de conformación muscular (CORFOGA 2012).

A pesar de no desarrollar musculatura o peso como los toros, en condiciones favorables de alimentación, los animales castrados se desempeñan mejor en variables de calidad de canal como rendimiento pie/canal y rendimiento canal/carne (CORFOGA 2012). Por ejemplo, Rodríguez (2012) estudió en machos  $\frac{3}{4}$  Brahman  $\times$   $\frac{1}{4}$  Charolais destetados a los siete meses de edad, el efecto de la edad de castración sobre el rendimiento y calidad de carne. Rodríguez (2012) no encontró diferencias marcadas en dichas variables; sin embargo, concluyó que en sistemas de pastoreo con baja suplementación energética la castración debe efectuarse en las primeras etapas de vida del animal, periodo donde se genera menos estrés, promoviendo el bienestar animal; además, al reducirse el nivel de testosterona se facilita el manejo de los animales, especialmente del *B. indicus* (Rodríguez 2012).

Respecto al rendimiento en canal, el principal motivo de variación se debe al sexo. En Costa Rica, los machos presentan rendimientos de 55,6% y las hembras 51,8% - 52,1% (Pérez 2017, SEPSA 2019). En concordancia con lo anterior, Ducca *et al.* (2007) indican que los machos rinden 56% y las hembras 51%. CORFOGA (2012) indica que los novillos rinden 56,6%, los toros 55,8% y las hembras 51%. El rendimiento cárnico o rendimiento canal caliente/carne vendible, en Costa Rica ronda 76,4% en machos y 74,2 - 74,7% en hembras (Pérez 2017, SEPSA 2019).

Por su parte, CORFOGA (2012) indica que los novillos presentan el mejor rendimiento carnicero (76,6%), seguido por toros (76,2%) y hembras (74,4%).

### 2.6.3. Edad

Una variable de calidad que puede afectarse por la condición sexual del animal es el color del músculo. A medida que un animal envejece su carne se torna más oscura debido al aumento de la mioglobina en los músculos, proteína que otorga el color rojo característico (USDA 2013). Por otro lado, a medida que el animal madura, el tejido conectivo y específicamente el colágeno en las fibras musculares, se endurecen y la carne se torna más dura, por lo que es importante conocer la edad de los animales al sacrificio (Mauri 2017; Pérez 2017). Además de los registros de nacimiento, una forma de calcular la edad de un bovino es observando el patrón de muda de los dientes incisivos de leche (Parish y Karisch 2013). El ganado bovino presenta ocho incisivos en la mandíbula inferior; con el tiempo muda hacia los dientes permanentes apareciendo primero los centrales, luego los incisivos inmediatos (primeros pares intermedios), seguidos del segundo par intermedio y finalmente el tercer par intermedio. El Cuadro 2 detalla la edad a la que aparecen los incisivos permanentes y la edad a la que cada par se desarrolla completamente (Parish y Karisch 2013).

Cuadro 2. Edad promedio de ganado *Bos taurus* de acuerdo con la aparición y desarrollo completo de los dientes incisivos permanentes.

Dientes incisivos permanentes	Erupción (meses)	Desarrollo completo (meses/años)
0	< 18	-
2	18 - 24	24/2
4	24 - 30	36/3
6	36	48/4
8	42 - 48	60/5

Fuente: Parish y Karisch 2013.

Hay condiciones que dificultan establecer una misma edad de muda para todos los bovinos; por ejemplo, los animales puros mudan más rápido que los mestizos y aquellos con ascendencia racial *B. indicus* mudan más tardío que los de ascendencia *B. taurus*. Se debe considerar que estimar la edad con el patrón de

muda de dientes es confiable hasta que el animal alcance entre cuatro y cinco años, porque a esa edad tanto el *B. taurus* como el *B. indicus* han mudado la totalidad de dientes de leche. Sería ideal comparar entre la edad real y la dentaria del hato para ajustar la segunda a las condiciones de raza, sexo y ambiente a los que se exponen los animales (Parish y Karisch 2013). Ejemplo de las variaciones que pueden existir se observa en los Cuadros 2 y 3, donde se aluden animales de línea europea y cebú respectivamente.

Cuadro 3. Edad promedio y clasificación fisiológica de ganado *Bos indicus* de acuerdo con la cantidad de dientes incisivos permanentes.

Dientes incisivos permanentes	Edad (meses)	Clasificación
0	0 - 20	Joven
2	20 - 24	Joven
4	24 - 36	Adulto joven
6	36 - 48	Adulto
8	> 48	Adulto

Fuente: CORFOGA 2012.

Para representar la edad de cosecha de bovinos en Costa Rica se incluye la Figura 3 con el porcentaje de bovinos sacrificados en el periodo 2004 - 2012 según los dientes incisivos permanentes observados en planta de cosecha (CORFOGA 2012). No todos los animales sacrificados provenían de sistemas de explotación cárnica; la mayoría de hembras (54%) presentaron 8 dientes permanentes, al ser vacas descartadas de lecherías. Además, los animales entre 0 y 4 dientes fueron representados por toros y novillos; la mayoría de novillos (40%) se cosecharon con menos de 20 meses de edad (0 dientes) y la mayoría de toros (35%) se sacrificaron con 20 - 24 meses (2 dientes). Las novillas engordadas para carne presentaron entre 2 y 4 dientes permanentes, indicando edades al sacrificio de 20 - 36 meses.

El color de la grasa de cobertura también varía a medida que el animal envejece; el Proyecto de Clasificación de Canales propuso una escala numérica (Anexo 5) para clasificar las canales bovinas de acuerdo con el color de su grasa de cobertura. El Grado 1 indica una coloración entre blanco y rosado grisáceo, el Grado 2 entre

rosado y amarillo claro y el Grado 3 entre amarillo claro e intenso (CORFOGA 2002, CORFOGA 2012). En la Figura 4 se ilustra la proporción del color de la grasa de cobertura en canales de Costa Rica, donde se observa una tendencia a las grasas con colores claros (Grados 1 - 2). El Grado 3 coincide con animales de edad avanzada, principalmente hembras descartadas de lechería (CORFOGA 2012).

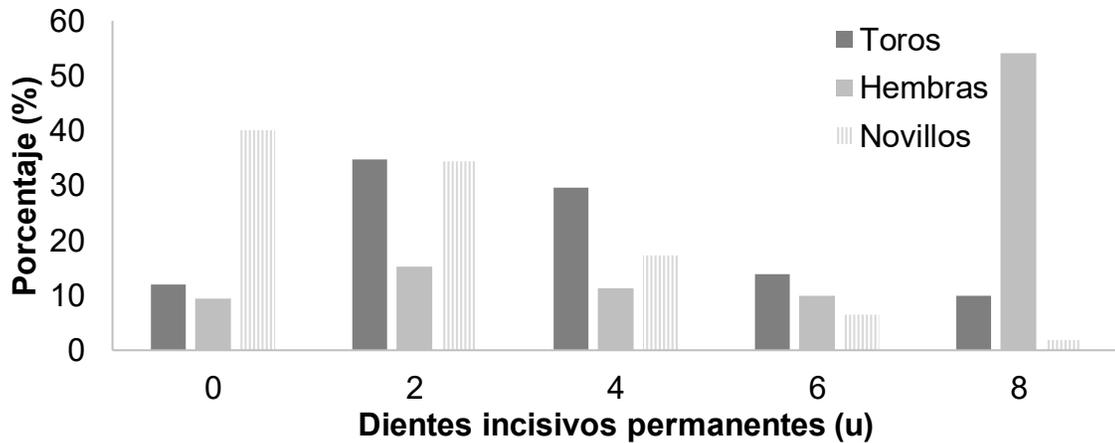


Figura 3. Porcentaje de toros, hembras y novillos cosechados en Costa Rica en el periodo 2004 - 2012, clasificados por cronometría dentaria (CORFOGA 2012).

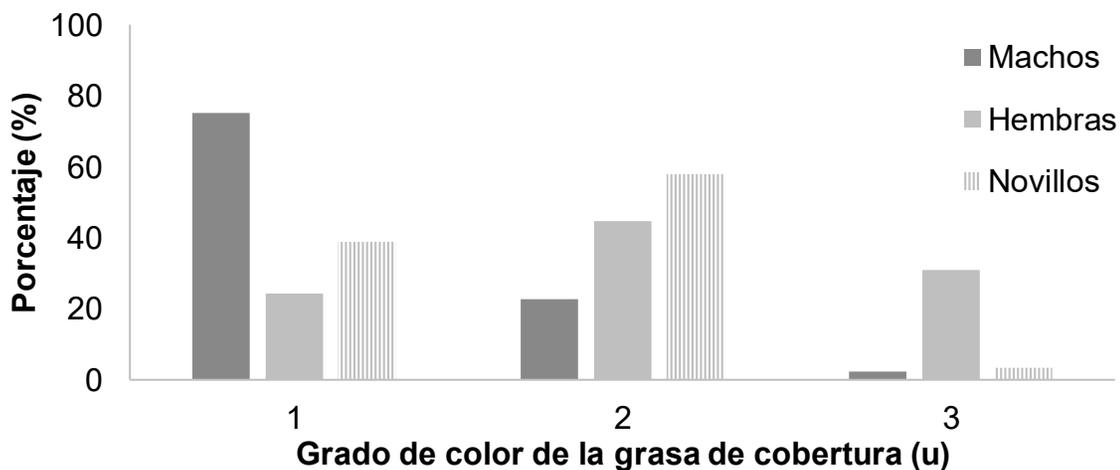


Figura 4. Porcentaje de toros (machos), hembras y novillos cosechados en Costa Rica durante el periodo 2004 - 2012, clasificados por grado de color de la grasa de cobertura (CORFOGA 2012).

#### 2.6.4. Alimentación y suplementación

La dieta ofrecida al animal puede influenciar características de crecimiento, engrasamiento, rendimiento de canal y calidad de la carne. Por ejemplo, dietas energéticas equivalen a mayor deposición de grasa intramuscular, lo que influencia el sabor, jugosidad y suavidad de la carne; y dietas basadas en pasturas pueden conferir mejores relaciones de ácidos grasos en el producto final (Pérez 2017).

La alimentación es uno de los rubros más costosos en la producción cárnica; además, debe adecuarse a las necesidades del hato en calidad y cantidad. Se debe asegurar que los requerimientos de agua, proteína, energía, vitaminas y minerales sean satisfechos según la etapa de crecimiento en que se encuentre el animal, en el Cuadro 4 se indica un aproximado de los requerimientos nutricionales en bovinos de carne de acuerdo con su peso y ganancia diaria de peso (Arronis 2017). Es imperante conocer los requerimientos del animal en cada etapa de crecimiento con el fin de balancear las dietas ofrecidas en cada una. Arronis (2017) indica que la materia seca (MS) contenida en los alimentos es un parámetro que puede emplearse para determinar el consumo total de la ración, ya que un bovino puede ingerir de 2 a 2,5% de su peso vivo en MS. Por otra parte, Arronis (2017) indica que un bovino puede consumir entre 7 y 10% de su peso vivo en forraje verde, valor que considera la humedad contenida en esa materia prima.

Cuadro 4. Requerimientos nutricionales en ganado de carne con ganancias de peso de 0,6 kg/animal/día y 1,0 kg/animal/día.

Peso (kg)	ENM (Mcal/d)	ENP (Mcal/d)		Proteína (g/d)		Ca (g/d)	
		0,6	1,0	0,6	1,0	0,6	1,0
160	3,30	1,36	2,39	503	642	21	32
260	4,84	2,00	3,50	601	720	21	29
360	6,24	2,57	4,51	688	789	22	28
460	7,57	3,11	5,44	767	852	22	26

ENM: Energía Neta Metabolizable, ENP: Energía Neta para Producción, Ca: Calcio.  
Fuente: Carazo y Madrigal 1996 citados por Arronis 2017.

Contrario a Estados Unidos, donde las dietas se basan en granos (Arronis 2017; Pérez 2017), en Costa Rica la alimentación de bovinos de carne se basa en pasturas mejoradas (48,3%) y naturalizadas (48,6%), dejando apenas 3,1% para la alimentación a base de concentrados, otros forrajes, pastos de corta y residuos agrícolas como corona de piña, cáscara de naranja y banano (INEC 2020). Lo anterior justifica la importancia que el productor debe destinar al cultivo de pasturas en sus fincas (Arronis 2017). Las condiciones edafoclimáticas condicionan los tipos de forraje que pueden cultivarse en un lugar (Ducca *et al.* 2007). En la zona Huetar Norte de Costa Rica la productividad y persistencia de algunas gramíneas mejoradas es muy buena, destacando *Brachiaria brizantha* (Brizantha Diamantes 1 y Toledo), *Brachiaria decumbens* (Decumbens), *Panicum maximum* (Guinea, Tanzania, Mombaza, Massai), *Brachiaria ruzizensis* (Ruzi) y *Brachiaria radicans* (Brachipará). Aunado a ello, algunas gramíneas naturalizadas se adaptan muy bien a las condiciones de la región, entre ellas *Cynodon nlemfuensis* (Estrella africana), *Brachiaria radicans* (Tanner), *Ischaemum ciliare* (Ratana) y *Echinochloa polystachya* (Alemán) (Ducca *et al.* 2007).

Diversos estudios han evaluado diferentes niveles y tipos de alimentación en variables de crecimiento, calidad de canal y carne. Entre ellos, French *et al.* (2000) determinaron que las dietas altamente energéticas, ofrecidas por lo general en sistemas de confinamiento, producen animales más pesados y engrasados que aquellos engorados en sistemas donde el forraje es la base. Rodríguez *et al.* (2018) compararon suplementaciones de 3,0 y 3,5 Mcal de Energía Digestible (ED)/kg MS en novillos Brahman, Charolais y su F1 de 24 - 26 meses de edad engordados con forraje en la zona Norte de Costa Rica y estimaron el consumo de MS en 2,75% del peso vivo; además determinaron que la suplementación más energética incrementó la profundidad del músculo LD (59,8 mm vs. 57,2 mm) y el marmoleo (3,4% vs. 2,9%). En el mismo estudio, Rodríguez (2012) observó que la suplementación puede influenciar la merma por transporte, la dieta menor contenido energético generó una merma de 7,8% y la que ofrecía mayor energía, 6,5%.

Además del forraje, algunas materias primas como sorgo, maíz y su destilado son frecuentemente utilizadas en Costa Rica para formular dietas de bovinos de carne (Pérez 2017). Aunado a ello, el uso de suplementos energéticos como melaza, cuya aplicación puede ser hasta 3 L/animal/día (Arronis 2017), minerales y vitaminas contribuyen a fortalecer los sistemas productivos de producción cárnica.

Los minerales y vitaminas forman parte de los nutrientes esenciales en la alimentación bovina, están involucrados en numerosas funciones del organismo y contribuyen a obtener buenos resultados en variables de producción y reproducción (Arronis 2017). Generalmente los forrajes no aportan suficientes minerales para suplir las necesidades de los bovinos, por lo que se deben proveer diariamente (Arronis 2017). Los minerales se utilizan desde funciones básicas en el cuerpo, hasta producción de leche, formación del esqueleto y mantenimiento; además componen enzimas necesarias en la producción energética, crecimiento y reproducción (Bauer *et al.* 2009). En la alimentación bovina los minerales se clasifican en dos categorías; los macrominerales son calcio, sodio, cloro, potasio, magnesio, fósforo y azufre; y los microminerales incluyen al cromo, selenio, hierro, manganeso, cobre, zinc, yodo, molibdeno y cobalto (Bauer *et al.* 2009; Arronis 2017). Por su parte, las vitaminas son más comunes en los forrajes, se necesitan en cantidades muy pequeñas comparadas a los minerales y es poco frecuente suplementar con ellas en ganadería de carne, haciendo excepciones si existen animales enfermos, desnutridos o en épocas de sequía (Arronis 2017).

Algunas vitaminas y minerales son reconocidos por su acción antioxidante, entre los más comunes para la suplementación de bovinos se encuentran el selenio, zinc y vitamina E (do Carmo *et al.* 2017). Los antioxidantes son sustancias que protegen a las células directa o indirectamente de los efectos tóxicos causados por radicales oxidativos, son una manera de prevenir la oxidación de los lípidos y estabilizar las moléculas de mioglobina de la sangre (do Carmo *et al.* 2017), lo cual puede influenciar el color de la carne y su perfil lipídico.

### 2.6.5. Estrés ante mortem

Inclusive si los factores descritos anteriormente se optimizan para producir canales y carne de calidad, un error de manejo en la etapa previa a la cosecha puede entorpecer el trabajo de meses o incluso años en busca de mejoras productivas (Pérez 2017). El transporte descuidado puede causar lesiones que implican retirar partes de la canal, lo que se traduce en menor rendimiento y pérdidas económicas de hasta \$10 000/kg según la localización de las lesiones (Contexto ganadero 2018). Además, el estrés causado previo al sacrificio puede generar carnes “Secas, Firmes y Oscuras” (Dry Firm and Dark, por sus siglas en inglés), un fenómeno que deteriora su calidad y es percibido por el consumidor al resultar en cortes oscuros, duros y poco agradables a la vista (Strydom *et al.* 2016).

Para explicar la condición DFD se debe conocer el proceso de conversión de músculo a carne o *rigor mortis*, donde ocurren el descenso del pH muscular y el endurecimiento de la carne (Savell *et al.* 2005; Mauri 2017). Posterior a la muerte del animal, el músculo procura continuar su funcionamiento de forma anaerobia, para lo cual utiliza energía del adenosín trifosfato (ATP) producto del glucógeno almacenado *ante mortem* en los músculos. Un subproducto de la glucólisis *post mortem* es el ácido láctico, que alcanza concentraciones importantes a partir de las 15 horas posterior al sacrificio del animal; la concentración de ácido láctico en el músculo permite el descenso del pH de 7,0 a valores entre 5,4 y 5,7 idealmente en las primeras 24 a 48 horas *post mortem*, si en ese periodo el pH queda por encima de 6,0 la carne clasifica como DFD (Savell *et al.* 2005; Motter *et al.* 2009; Strydom *et al.* 2016). Paralelamente se despolarizan las membranas, lo que permite la liberación de  $\text{Ca}^{2+}$  desde el retículo endoplasmático de la célula hacia el espacio miofibrilar. Al agotarse el ATP del músculo y liberarse los iones  $\text{Ca}^{2+}$  se activa el complejo enzimático de actina y miosina, que ocasiona el endurecimiento de la carne o *rigor mortis* entre las 10 y 24 horas *post mortem*; el grado de contracción generado por el complejo actino-miosina condiciona la dureza de la carne (King *et al.* 2002). El *rigor mortis* es un proceso normal que ocurre en todas las especies destinadas a carne (Mauri 2017).

Las carnes DFD aparecen porque el animal agota las reservas de glucógeno previo a la cosecha; como consecuencia no se produce suficiente lactato y no desciende el pH. El consumo de glucógeno anticipado ocurre en animales que produjeron adrenalina y cortisol debido a situaciones de estrés prolongado *ante mortem*, entre ellas el despacho en finca, transporte o espera en corrales de faenamiento traumáticos; cambios de temperatura ambiente e inanición. Debido a sus características de baja calidad, las carnes DFD no deberían comercializarse, lo que produce pérdidas económicas significativas (Savell *et al.* 2005; Mauri 2017).

Las carnes DFD impactan variables asociadas a la calidad de la carne, tal como el color (CORFOGA 2017). El color de la carne puede describirse con tres ejes y para medirlos se utiliza un espectrofotómetro. La luminosidad o brillo ( $L^*$ ) se interpreta de 0 a 100 e indica tonos oscuros o claros respectivamente. El espectro verde/rojo ( $a^*$ ) se mide con valores negativos o positivos indicando la coloración verde o roja del objeto respectivamente y de igual manera ocurre en el espectro azul/amarillo ( $b^*$ ). Existe una correlación negativa entre el color y el pH de la carne; a medida que incrementa el pH los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  serán inferiores ( $r = -0,40$ ,  $-0,58$  y  $-0,56$  respectivamente); así, un pH alcalino resultará en carnes con coloración oscura (carnes DFD) y ocurrirá lo contrario con un pH ácido (carnes "Pálidas, Suaves y Exudativas", PSE por sus siglas en inglés) (Page y Schwotzer 2001). Esa relación inversa se debe a que el color depende de la reflectancia de la luz en el agua libre del músculo y también a la exposición al oxígeno de la mioglobina (Page y Schwotzer 2001). A mayor pH muscular las proteínas miofibrilares fijan más agua, reduciendo así el agua libre en el tejido y resultando en carnes más oscuras debido a que la luz no se refleja tan bien (Leward *et al.* 1992); a mayor pH también las enzimas que utilizan oxígeno están más activas, resultando en menor oxigenación de la superficie de la mioglobina y por lo tanto en un color más oscuro (Page y Schwotzer 2001).

#### **2.6.6. Estimulación eléctrica**

La Estimulación Eléctrica (EE) *post mortem* se puede hacer posterior al aturdimiento y degüello del animal, agiliza el desangrado y tiene capacidad de influir en

la calidad de la carne a través del pH muscular, color y pérdidas de humedad (Kauda y Qurni 2014; Mauri 2017). La EE tiene potencial de acelerar el desarrollo del *rigor mortis* (sección [2.6.5.](#)) y promover la ruptura de las fibras musculares, factor asociado a la terneza de la carne (Owens y Sama 1997 citados por Mauri 2017).

Mauri (2017) evaluó el efecto de la EE en canales de pavos destinados a consumo humano a las 24 horas *post mortem* e identificó su efecto en variables de calidad de la carne. Aunque no encontró efecto de la EE en la suavidad o contenido de sangre intravenoso *post mortem*, la autora comprobó que el pH de canales sometidas a EE fue inferior (5,6 vs. 5,9) y su color fue más claro y menos rojizo que aquellas canales no expuestas a EE. Respecto a las pérdidas de humedad indicó que en el periodo de maduración, las canales expuestas a EE tuvieron menores pérdidas por goteo y no hubo diferencia en pérdidas por cocción, lo cual maximiza el rendimiento, al reducir la merma del producto.

#### **2.6.7. Irrigación de la canal**

Este factor afecta principalmente variables de rendimiento en canal. El agua del tejido muscular se puede almacenar en distintas áreas (entre miofibras, intracelular y extracelularmente) y según esto, así será la facilidad con que se pierda o retenga durante la conversión de músculo a carne o en la maduración de la carne (Huff-Lonergan y Lonergan 2005). El agua en las miofibras es la que se afecta más en la conversión de músculo a carne y puede escapar como pérdidas por goteo al formarse el complejo actino-miosina (sección [2.6.5.](#)), ya que se reduce el espacio físico donde se almacena el agua normalmente; por lo que la meta en planta de cosecha es mantener la mayor cantidad de ella para mantener el rendimiento de la canal (Huff-Lonergan y Lonergan 2005). La merma debida al frío se refiere a la pérdida de humedad del tejido muscular durante el almacenaje de las canales en los cuartos fríos, lo que inevitablemente ocasiona la pérdida de peso de la canal. Con el fin de prevenir la salida de agua desde las células, algunas plantas industriales rocían la canal con agua; mediante principios de ósmosis y difusión, el agua se retiene y así se minimizan las pérdidas en el rendimiento de la canal.

### 2.6.8. Proceso de enfriamiento

Tanto el descenso del pH como las bajas temperaturas favorecen la acción de las calpaínas (Motter *et al.* 2009), cuya importancia se describió en la sección [2.6.1](#) y tienen estrecha relación con la suavidad de la carne. Por lo anterior y para preservar el buen estado de la canal y la carne, es necesario reducir la temperatura corporal desde 37,8°C - 40°C a valores entre 4°C - 5°C; sin embargo, el descenso de temperatura debe ser gradual para evitar el acortamiento de las fibras musculares debido al frío o “Cold shortening” (Motter *et al.* 2009). King *et al.* (2002) evaluaron los músculos LD y *Triceps brachii* de Charolais × Angus expuestos al fenómeno de “Cold shortening”; los autores midieron la longitud del sarcómero (unidad estructural del músculo) para conocer el grado de contracción causada por el frío, la cual rondó entre 34% y 29% respecto a bistecs normales; además la fuerza de corte (WBSF) fue superior en los bistecs expuestos al “Cold shortening”.

La grasa subcutánea o de cobertura de la canal es clave en la prevención del “Cold shortening”, fenómeno que sucede cuando las canales ingresan a las cámaras frías en la planta de cosecha. Si la capa de grasa de cobertura es delgada y no se distribuye uniformemente, la temperatura interna descenderá de manera acelerada antes del *rigor mortis* (sección [2.6.5.](#)); consecuentemente los sarcómeros se acortan, provocando la dureza forzada de la carne (USDA 2017; Arias 2018). Además de la ternura, existe una leve correlación entre el espesor de la grasa subcutánea con el pH y el color de la carne. Page y Schwotzer (2001) observaron que canales con grosores de grasa  $\leq 0,76$  cm presentan pH más elevados, coloración más oscura y carnes más suaves que aquellas con grosor de grasa  $\geq 0,76$  cm. La relación pH/color/grosor de grasa puede ser resultado indirecto del efecto aislador que produce la grasa, que ralentiza el enfriamiento necesario de la canal y reduce la velocidad a la que ocurre el *rigor mortis* (Page y Schwotzer 2001).

La grasa de cobertura puede calcularse *in vivo* utilizando ultrasonografía, mediante observación en las plantas de cosecha o midiendo su grosor sobre el músculo LD con una regla graduada (Sansano-Maestre y Gardón 2015; USDA 2017). El Proyecto de Clasificación de Canales de CORFOGA propuso una escala

(Anexo 4) para clasificar la cobertura grasa en canales bovinas costarricenses. El Grado 1 indica canales desprovistas de grasa o con una capa muy ligera y el grado 3 indica una capa >1 cm de grosor extensamente distribuida (CORFOGA 2002; CORFOGA 2012). En Costa Rica es frecuente encontrar canales desprovistas o con una capa parcialmente distribuida de grasa de cobertura (grados 1 y 2) (Figura 5). Como dato interesante puede apreciarse que la mayoría de toros presentan la capa más delgada de grasa (grado 1); los novillos presentan capas parcialmente distribuidas principalmente (grado 2), correspondiente a animales destinados para la producción cárnica; y en el grado 3 son las hembras quienes representan mayor porcentaje respecto a toros y novillos debido a las diferencias causadas por hormonas sexuales.

Además de lo anterior, la grasa de cobertura también tiene correlación altamente negativa (-0,44) con el porcentaje de cortes comerciales. Algunos autores indican que el rendimiento cárnico o carne vendible disminuye aproximadamente 25% a medida que incrementa 0,254 cm el grosor de la grasa subcutánea (Sansano-Maestre y Gardón 2015; USDA 2017; Arias 2018).

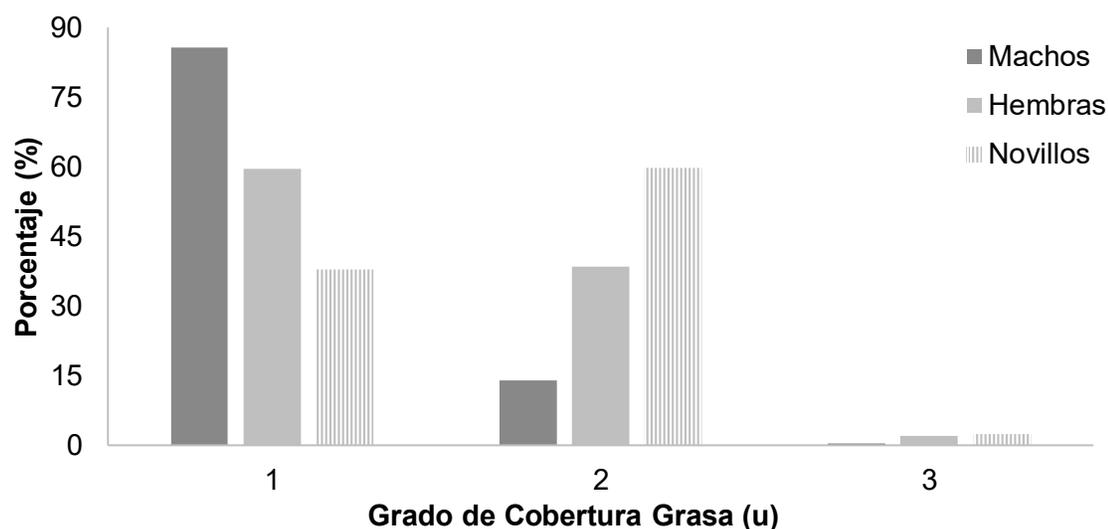


Figura 5. Porcentaje de toros (machos), hembras y novillos cosechados en Costa Rica durante el periodo 2004 - 2012, clasificados por grado de cobertura grasa (CORFOGA 2012).

### **2.6.9. Área de Ojo del Lomo**

El Área de Ojo del Lomo (AOL) tiene una relación positiva con el rendimiento y la cantidad de carne vendible, es decir, a medida que incrementa el AOL también lo hace el rendimiento cárnico. Sansano-Maestre y Gardón (2015) indican que el AOL tiene una correlación de 0,61 con el porcentaje de cortes vendibles y una heredabilidad media de 0,36. El AOL se mide en la superficie del músculo LD por ser el más utilizado para evaluar características relacionadas con calidad *ante mortem* (por ejemplo, en mediciones con ultrasonido, sección [2.5.1.](#)) y/o *post mortem*, debido a que es comercializado como cortes finos y representa uno de los cortes con mayor valor económico de la canal (AMSA 2015).

### **2.6.10. Maduración**

Como el resultado del *rigor mortis* es la tensión y rigidez de la carne, su calidad es pobre en ese momento, por lo que se recomienda madurarla antes de comercializar (Mauri 2017). Los cortes no deberían removerse de la canal antes de finalizado el *rigor mortis* (sección [2.6.5.](#)), cuya prolongación varía entre especies y condiciones de las cámaras frías (Mauri 2017). Como regla general se recomienda deshuesar al menos 24 horas *post mortem*, tiempo que puede variar según los objetivos de la investigación o disponibilidad de la sala de deshuese (AMSA 2015). Para estandarizar las pruebas de laboratorio, el grosor de los bistecs a muestrear debe ser 2,54 cm en carnes de res, cerdo y cordero (AMSA 2015). El proceso de maduración en húmedo consiste en empacar los bistecs al vacío en bolsas impermeables a la humedad y oxígeno, para almacenarlas entre 0,6°C y 2,2°C durante un tiempo que puede ir de cero a cinco días (“poco madura”), de cinco a siete días (“moderadamente madura”), de siete a 15 días (“madura”) o >15 días (“extremadamente madura”) (USDA 2015a; Pérez 2019); cabe destacar que esa clasificación es el estándar estadounidense, cuyas condiciones productivas difieren a las costarricenses (razas, alimentación, manejo). Lo usual en la investigación de carne de res es madurar entre 10 y 28 días, siendo 14 el óptimo para diferenciar entre razas y tratamientos *ante mortem* o *post mortem* (AMSA 2015).

La maduración contribuye a la ternura de la carne debido a la proteólisis que ocasionan las calpaínas (sección [2.6.1.](#)). Entre las numerosas proteínas estructurales del músculo que se degradan por dichas enzimas se encuentra la desmina. La desmina protagoniza el proceso de maduración y puede condicionar el grado de degradación de otras proteínas estructurales; como dato interesante, se ha demostrado que la degradación de la desmina se reduce entre 30,5% y 40,9% a causa del “Cold shortening” (sección [2.6.8.](#)) (King *et al.* 2002). Gran cantidad de autores han comprobado que la maduración influye sobre la suavidad de la carne, entre ellos Pérez (2019) y Mauri (2017). Rodríguez (2012) validó el efecto positivo de la maduración en húmedo sobre la suavidad de la carne de Brahman en cortes como lomo ancho (*Longissimus dorsi lumborum*) y vuelta de lomo (*Gluteus medius*).

Además de lo anterior, a partir de que la carne se extrae de la canal, la cantidad de agua y su locación en la microestructura de las células cambian por factores relacionados al tejido muscular y manejo que se proporcione al producto (Huff-Lonergan y Lonergan 2005). Con base en ello, varios autores han comprobado que madurar la carne influye en la pérdida de humedad del producto (Mauri 2017; Pérez 2019). El peso de un bistec puede mermar 1% - 3% debido a la pérdida de humedad durante la maduración (pérdidas por goteo), peso que incluye agua y una considerable cantidad de proteína soluble (alrededor de 112 mg de proteína sarcoplasmática/mL de líquido) (Huff-Lonergan y Lonergan 2005). Pérez (2019) destaca que las pérdidas por goteo varían de acuerdo con el músculo evaluado debido a la conformación de sus fibras; y Rodríguez (2012) y Pérez (2019) concluyeron en sus estudios que dicha variable aumenta conforme más tiempo se madura la pieza de carne. Pérez (2019) determinó pérdidas por goteo y cocción en siete músculos madurados entre 2 y 14 días; concluyó que el músculo LD pierde gradualmente más humedad por goteo conforme avanza la maduración, con un máximo de 4,2%; y respecto a pérdidas por cocción determinó 31,2% hasta los 10 días de maduración y 37% a partir de los 14 días. Una de las características de calidad más importante en productos frescos es su capacidad de retener humedad, ya que esta contribuye a la jugosidad del producto, variable de las más consideradas

por el consumidor al definir la aceptabilidad global de la carne (Pérez 2019).

El color de la carne también puede afectarse por el almacenaje requerido en la maduración de la carne. Cuando una pieza de carne madurada en húmedo se retira de un empaque impermeable al oxígeno la mioglobina se encuentra en la forma “deoximioglobina”, al entrar en contacto con el oxígeno del aire inicia su oxigenación, cambiando a la forma “oximioglobina” y la carne pasa de color rojo-púrpura a un atractivo rojo vivo. Si la pieza de carne se somete a luz artificial prolongada y la oximioglobina sigue en contacto con el oxígeno, esta cambiará a “metamioglobina” y el color de la carne pasará a café. Por sí solo el cambio de color entre deoxi- y oximioglobina no indica que la carne está rancia; en su lugar, es un proceso normal y reversible; empero, es irreversible al alcanzar la forma de metamioglobina (USDA 2013; Mauri 2017). El color alcanzado en el estado de metamioglobina es indeseable por el consumidor cuando esta alcanza valores de más de 40% (Muíño *et al.* 2012).

#### **2.6.11. Componentes estructurales del músculo esquelético**

Las estructuras que componen el tejido muscular (grasa, tejido conectivo y proteínas) interfieren sobre la calidad de la carne (Chacón 2004). Las variables que más se influyen por la estructura del músculo son las pérdidas de humedad, suavidad, jugosidad y sabor; a continuación, se ejemplifica la relación entre factores y variables indicados.

La grasa intramuscular es aquella depositada dentro del músculo, también se denomina marmoleo o “marbling”. La grasa intramuscular confiere características de suavidad, jugosidad y sabor a la carne, la intensidad de esos caracteres depende del nivel de acumulación de grasa en la carne (Pérez 2017); a la vez contribuye a la palatabilidad o aceptabilidad global, generando así un efecto positivo en la experiencia del consumidor o “Quality grade” (Chacón 2004, Sansano-Maestre y Gardón 2015, Arias 2018). Razas o cruces que presenten  $\geq 8\%$  de marmoleo ofrecen carnes suaves ya que el depósito de grasa debilita el tejido conectivo intramuscular (Nishimura *et al.* 1999 citados por Chacón 2004). El marmoleo diluye las proteínas

fibrosas, las cuales se separan más fácilmente entre mayor proporción de grasa intramuscular hay; además reduce las pérdidas por cocción y promueve mayor secreción salival al masticar, lo que facilita el proceso (Pérez 2017). Para fines productivos, el marmoleo presenta mediana heredabilidad (0,4) y baja correlación con el grosor de grasa dorsal (0,2), esta última variable relacionada a su vez con el rendimiento cárnico (sección [2.6.8.](#)); así, de acuerdo con el mercado meta pueden seleccionarse reproductores cuyo marmoleo sea medio - elevado, sin comprometer el rendimiento de carne vendible al no incrementar el grosor de la grasa de cobertura (Sansano-Maestre y Gardón 2015).

Otro componente estructural del músculo es el tejido conectivo, cuya función es rodear las fibras musculares que se encuentran paralelas entre sí y forman el músculo esquelético (Chacón 2004). El tejido conectivo se asocia principalmente con la suavidad de la carne, entre mayor sea la cantidad de tejido conectivo, mayor será la dureza del corte. Chacón (2004) menciona que el tejido conectivo tiene mayor influencia sobre la suavidad que el marmoleo. En bovinos, el tejido conectivo se compone principalmente de elastina y colágeno. La elastina es la menos abundante, se encuentra en músculos que presentan actividad frecuente y resiste condiciones severas de acidez, alcalinidad y calor. Afortunadamente, dichas condiciones sí degradan al colágeno, que es más abundante, lo que facilita alcanzar carnes suaves mediante temperatura y cocción (Chacón 2004). La cantidad, estabilidad y grado de enlace de las moléculas que componen el colágeno, varía de acuerdo con el tipo de músculo, sexo y edad del animal. A medida que el animal envejece los enlaces de colágeno se hacen más estables e insolubles; en términos de suavidad de la carne, es más relevante conocer la proporción de colágeno insoluble respecto al soluble, ya que es el primero el que no puede degradarse mediante cocción (Chacón 2004).

Las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas también son componentes del músculo; la diferencia entre una y otra es que las sarcoplasmáticas son solubles en soluciones de fuerza iónica baja (0,05 M) y las miofibrilares en las de alta fuerza iónica (0,5 M). Chacón (2004) indica que las proteínas miofibrilares (actina, miosina,

troponina, tropomiosina) ocupan un espacio adelante del colágeno en lo que a suavidad de carne se refiere debido a que conforman los sarcómeros (unidad estructural de las miofibras) y se involucran en cambios bioquímicos una vez cosechado el animal (complejo actino-miosina, sección [2.6.5.](#)). Si la contracción del complejo actino miosina es muy fuerte, la cantidad de proteínas aglutinadas ocasiona mayor dureza de la carne (Chacón 2004).

La prueba de fuerza de corte con instrumento Warner Bratzler (WBSF) sirve para medir la suavidad de la carne objetivamente, su resultado se expresa como kilogramos de fuerza necesarios para trozar una pieza de carne. Existen al menos tres niveles para clasificar la carne de acuerdo con su valor de WBSF, las cuales son suave (<3,9 kg), intermedio (3,9 kg - 4,6 kg) y dura (>4,6 kg) (Shackelford *et al.* 1991). Se recomienda no congelar el producto previo a su cocción para realizar esta prueba, debido a que el proceso de congelación y descongelación genera menor fuerza de corte comparado a carne nunca congelada. Se acepta la congelación si el protocolo lo demanda por factores de tiempo, manejo o necesidad de frenar la maduración; para ello se deben mantener condiciones estándar como no apilar las piezas y congelar rápido a <-20°C para prevenir formación de cristales en las fibras (AMSA 2015).

## **2.7. Otros métodos para medir la calidad de la carne**

Existen metodologías para determinar las cualidades organolépticas y químicas de la carne. Por ejemplo, respecto las primeras existen análisis sensoriales, que permiten caracterizar la carne mediante la degustación de muestras por personas que fungen como panelistas. Respecto a los análisis químicos, existen análisis de composición lipídica de la carne, en el siguiente apartado se explica este y se abordará con ejemplos.

### **2.7.1. Análisis de composición lipídica de la carne**

La carne de res se compone por agua (71,9% - 75%), proteína (19,7% - 20%), grasas (5% - 6,9%), carbohidratos (1%), vitaminas y minerales (1%) (Huff-Lonergan y Lonergan 2005; Ribeiro *et al.* 2019). Las grasas, lípidos o aceites son moléculas

hidrófobas pequeñas que pueden originarse de la condensación de tioésteres o unidades de isopreno; existen diversas categorías para clasificar las grasas encontradas en tejidos vivos, para efectos de esta investigación destacan los prenoles, esteroides y ácidos grasos (Fahy *et al.* 2005). Los prenoles incluyen antioxidantes y precursores de vitaminas, el compuesto más reconocido en esta categoría desde el punto de vista nutricional es la vitamina E debido a su importante capacidad antioxidante. Por otra parte, los esteroides forman parte de las membranas celulares (colesterol) y actúan como hormonas (estrógenos, progesterona, andrógenos) (Nimal y Galli 2009).

El grupo de los ácidos grasos son las principales grasas encontradas en la dieta humana; son fundamentales en los tejidos vivos al formar parte de numerosas estructuras y actúan en diferentes procesos biológicos (Nimal y Galli 2009). Los ácidos grasos se componen de un grupo carboxilo y una cadena de carbono e hidrógeno, se clasifican según la cantidad de enlaces dobles que posean, aquellos con uno o más se denominan Ácidos Grasos Insaturados, si tienen solo un doble enlace son Ácidos Grasos Monoinsaturados y con dos o más se denominan Ácidos Grasos Poliinsaturados (respectivamente UFA, MUFA y PUFA, por sus siglas en inglés); si no presentan enlaces dobles se denominan Ácidos Grasos Saturados (SFA, por sus siglas en inglés) (Nimal y Galli 2009). La carne de res aporta ácidos grasos de todos los grupos y mediante cromatografía de gases se pueden medir sus proporciones, las cuales varían según factores inherentes o ajenos al animal; por ejemplo, conforme incrementa el engrasamiento de la res, se deposita mayor cantidad de MUFA en el músculo (Leat 1978 citado por French *et al.* 2000).

Los diferentes grupos de ácidos grasos influyen en mayor o menor medida sobre características de la carne como el color y sabor; además aportan beneficios a la salud del ser humano cuando se ingieren en la dieta (Inostroza 2018). Por ejemplo, los UFA contribuyen a disminuir niveles de colesterol LDL en sangre; los PUFA previenen y tratan el síndrome metabólico, una patología asociada a la aparición de diabetes tipo II y enfermedades cardiovasculares (Matía-Martín *et al.* 2007); los MUFA también contribuyen a la disminución de enfermedades

cardiovasculares y optimizan la sensibilidad a la insulina (Tierney y Roche 2007, Kien 2009). Por otro lado, se ha comprobado que la ingesta desmedida de algunos ácidos grasos, especialmente los SFA, contribuye a la aparición de enfermedades cardiovasculares ya que favorecen la adhesión de lípidos a las células del sistema circulatorio e inmunológico (Inostroza *et al.* 2012).

Los índices aterogénico (IA) y trombogénico (IT) relacionan la proporción de los diferentes grupos de ácidos grasos, con el fin de comparar la calidad nutritiva de un alimento. El IA es la relación entre SFA y UFA, mientras que el IT relaciona los SFA y PUFA e indica la capacidad de un alimento para causar trombosis o coágulos en vasos sanguíneos (Ghaeni *et al.* 2013 citados por Gómez-Barrio 2018). La importancia de conocer esos índices radica en su influencia sobre la salud y debido a la escasa información al respecto se insta a publicarlos aunado a cada análisis de composición lipídica realizado.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo contempló tres fases consecutivas ejecutadas en diferentes lugares, en cada una se midieron las variables explicadas en la sección [3.6](#) de este apartado. A continuación, se explica en qué consistió cada etapa del estudio:

- Etapa I o Engorde: Estudio del crecimiento de los animales evaluados.
- Etapa II o Cosecha: Evaluación y caracterización de las canales de los animales engordados durante la etapa de Finca.
- Etapa III o Análisis en laboratorio: Caracterización fisicoquímica de la carne cosechada en la etapa II.

#### 3.1. Ubicación

Según el tratamiento evaluado, la etapa de engorde se ejecutó en dos fincas propiedad de Ganadera Don Fernando, una ubicada en La Fortuna de San Carlos, Alajuela (10°27'10"N; 84°37'43"O) a 230 msnm, donde se mantuvo el sistema de estabulación; y la otra, donde se ubicaron los sistemas de pastoreo, localizada en El Tanque de La Fortuna, San Carlos, Alajuela (10°29'24"N; 84°34'57"O) a 115 msnm. Las fincas están separadas por 6,4 km lineales aproximadamente.

Ambas ubicaciones pertenecen a una zona de vida *Bosque Muy Húmedo Premontano Transición a Basal* (bmh-P6), con periodo seco de dos meses al año, 4000 mm de precipitación anual y suelos inceptisoles (IDE 2015). Durante la etapa de engorde la temperatura se encontró en el rango de 23,9 °C - 27,3°C; los valores máximos y mínimos de Radiación fueron 6,4 MJ/m<sup>2</sup> y 23,1 MJ/m<sup>2</sup> respectivamente. La velocidad del viento varió entre 0,9 m/s y 1,8 m/s; la humedad relativa se mantuvo entre 82% y 97,7% y la precipitación acumulada fue de 774 mm (L/m<sup>2</sup>). Los datos de condiciones climáticas se obtuvieron de la estación meteorológica *ADIFORT - La Fortuna* (Instituto Meteorológico Nacional) para el periodo comprendido entre el 1 de marzo y 21 de julio del 2020. La estación se ubicó a 2,5 km lineales del estabulado y aproximadamente a 7,4 km lineales de los sistemas de pastoreo.

La cosecha se realizó en la planta de procesamiento El Arreo, en San Antonio de Belén, Heredia (9°59'47"N; 84°10'46"O). El Análisis en laboratorio se ejecutó en el Laboratorio Nacional de la Carne del Centro de Investigación y Desarrollo en Agricultura Sostenible para el Trópico Húmedo (CIDASTH), ubicado en el Campus Tecnológico Local San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (10°21'41"N y 84°30'48"O). Se contrató al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) de la Universidad de Costa Rica en Montes de Oca, San José (9°56'24"N; 84°02'55"O) para el análisis de composición grasa y perfil lipídico de la carne.

### **3.2. Periodo de estudio**

La etapa I se prolongó 65 o 94 días según el sistema de engorde utilizado, iniciando en marzo del 2020 y finalizando en junio del 2020. La etapa II tuvo una duración de 48 horas, durante la cosecha y deshuese de las canales. En medio de las etapas II y III se destinó un periodo para maduración de la carne (14 y 28 días).

Los análisis en el Laboratorio Nacional de la Carne se extendieron de mayo a junio del 2020 para el tratamiento de estabulado y de junio a julio del 2020 para los sistemas de pastoreo. El trabajo de campo finalizó en la tercera semana de julio del 2020. Las muestras para análisis en el CITA se entregaron en agosto del 2020 y los resultados se recopilaron 23 días después.

### **3.3. Población**

La población muestreada fueron hembras bovinas Cebú con diferente proporción de encaste Brahman (*Bos indicus*) adquiridas por Ganadera Don Fernando en fincas de la Región Chorotega y subastas de la Región Huetar Norte, Huetar Atlántica y Pacífico Central de Costa Rica. Se procuró que no presentasen gestación al momento de compra, que tuvieran entre cero y dos dientes incisivos permanentes y con peso en finca entre 275 y 360 kg.

### **3.4. Área y Unidad experimental**

El área experimental correspondió a 26 hembras bovinas con las características descritas en el apartado [3.3](#). Cada individuo correspondió a una repetición o unidad experimental, para un total de 26 unidades experimentales

distribuidas en tres tratamientos. Por lo tanto, cada unidad experimental se compuso por una unidad observacional. Los animales tuvieron el mismo manejo sanitario durante su estancia en finca. El día de ingreso se aplicó vacuna contra clostridiosis y tétano (5 mL Clostrisan® 9+T/animal; Virbac), antiparasitario (1 mL Baymec® Prolong/50 kg de peso; Bayer) y reconstituyente, suplemento vitamínico y mineral (2 mL Olivitasan® Plus/100 kg de peso; Ale-Bet).

### **3.5. Descripción de los tratamientos**

Se evaluaron tres tratamientos sobre el área experimental. El Tratamiento 1 (T1) correspondió a un sistema de estabulación o confinamiento con suplementación mineral formulada por nutricionistas de Ganadera Don Fernando, el Tratamiento 2 (T2) consistió en un sistema de pastoreo rotacional intensivo con suplementación mineral Don Fernando y el Tratamiento 3 (T3) fue un sistema de pastoreo rotacional intensivo con suplemento nutricional Stella Beef® (Bayer S.A).

Una vez registrado el peso de ingreso y colocado un arete para identificación en finca, las unidades experimentales se asignaron a los tratamientos según disposiciones de la finca. El T1 se compuso por animales de  $335,8 \pm 19,7$  kg de peso promedio y los animales restantes se dispusieron al azar entre T2 - T3 para conformar dos grupos con peso promedio inicial de  $297,5 \pm 16,2$  kg. Al T2 y T3 le correspondieron 8 animales o unidades experimentales a cada uno y al T1 le correspondieron 10. En el recinto del T1 se mantuvieron 22 animales para lograr el máximo aprovechamiento del corral de confinamiento, para seleccionar las unidades experimentales correspondientes al T1 se utilizó la fórmula *aleatorio.entre* de Microsoft Excel.

El T1 consistió en el confinamiento permanente del grupo en un corral de 120 m<sup>2</sup>. La dieta de los animales se formuló por nutricionistas de Ganadera Don Fernando, compuesta por silopaca de pasto Massai (*Panicum maximum* cv. Massai); pasto de corta Cuba OM-22 (*Penisetum purpureum* × *Penisetum glaucum*), maíz molido, destilados de maíz, melaza, urea y mineral. Los animales fueron alimentados 2 veces/día (25 kg/animal/día).

Para los tratamientos T2 y T3 se destinaron 400 m<sup>2</sup>/día, distribuidos en 25 apartos en total; los días de ocupación y descanso para cada apto fueron tres y 30 respectivamente. La pastura predominante del área fue Estrella africana (*Cynodon nemfluensis*). La suplementación mineral utilizada se suministró una vez al día mezclada con miel (3,75 L/animal) a razón de 200 g suplemento/animal en el T2 y 70 g suplemento/animal en el T3; la composición de cada mineral se indica en el Anexo [1](#).

Una vez los animales alcanzaron el acabado deseado por el productor, con pesos entre 377 kg y 424 kg, el tratamiento correspondiente se destinó a cosecha para continuar las evaluaciones programadas. Los días de estancia en finca del T1 fueron 65 días y 94 días tanto para el T2 como el T3, lo que permitió cosechar a los dos últimos el mismo día.

### **3.6. Variables de respuesta**

A continuación, se describen las variables de respuesta evaluadas durante las diferentes etapas de la investigación.

#### **3.6.1. Etapa de Engorde**

##### **3.6.1.1. Ganancia Diaria de Peso (kg/día)**

La Ganancia Diaria de Peso (GDP) se obtuvo a partir del peso de ingreso, peso de salida y días en finca (Ecuación 1). El peso de ingreso se registró el día de entrada a los tratamientos y el peso de salida o Peso final finca (PFF) se determinó al ser destinados hacia la planta de cosecha; ambas mediciones se realizaron en horas de la tarde. Para el pesaje se utilizó una balanza electrónica ubicada en el corral de trabajo y se registró un dato por animal. Los días en finca se obtuvieron restando la fecha de salida a la fecha de ingreso utilizando Microsoft® Office Excel.

$$GDP \text{ (kg/día)} = \frac{\text{Peso de salida (kg)} - \text{Peso de ingreso (kg)}}{\text{Días en finca}}$$

Ecuación 1. Fórmula para calcular la Ganancia Diaria de Peso (GDP) de animales finalizados en sistemas de estabulación y pastoreo; San Carlos, 2020.

### 3.6.1.2. Profundidad del músculo (mm), Espesor de grasa dorsal (mm) y Marmoleo (u)

En el T1 estas variables se registraron el mismo día que la GDP (sección [3.6.1.1.](#)); así, se obtuvo dos mediciones por animal al final de la etapa de engorde. Debido a restricciones vehiculares impuestas por el Gobierno costarricense frente al SARS-CoV-2, el T2 y T3 únicamente pudieron medirse el día de ingreso a finca; por lo que se descartaron ambos grupos para el análisis de estas variables.

Se utilizó el equipo de ultrasonografía ALOKA (Mod. SSD-500) con el software especializado de Kansas State University para tal fin. Se inmovilizó cada animal en la prensa del corral de trabajo y se vertió aceite vegetal sobre el lomo, a nivel de la 12<sup>va</sup> y 13<sup>va</sup> costilla izquierda, para la evaluación del músculo *Longissimus dorsi lumborum* (LD); se midió en el flanco izquierdo por la dirección de los animales en la línea de manga. Una vez lubricada la zona con aceite, se colocó la sonda del ultrasonido paralela a las costillas torácico-lumbares, ejerciendo presión contra el cuero del animal (Figura 6A). Se congeló el cuadro al observar una imagen nítida en el monitor del equipo (Figura 6B) y se indicó la profundidad del músculo (mm), las unidades de marmoleo y el espesor de la grasa dorsal (mm). El marmoleo del software utilizado se presentó como una escala numérica detallada en el Cuadro 5.

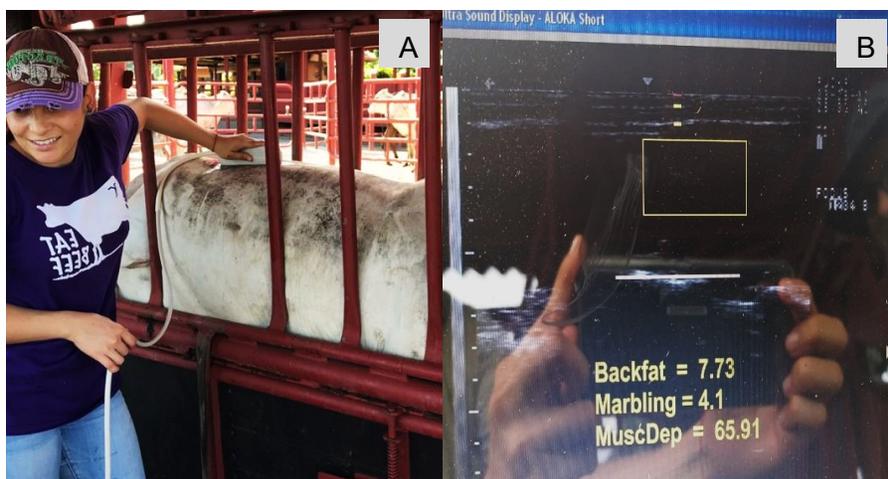


Figura 6. Ultrasonografía del músculo *Longissimus dorsi lumborum* de ganado Cebú engordado en sistemas de estabulación; La Fortuna, San Carlos, 2020. A) Posicionamiento de la sonda en el dorso del animal, B) Ultrasonido observado desde el monitor del equipo.

Cuadro 5. Escala de marmoleo para la evaluación *in vivo* de bovinos mediante el software desarrollado por Kansas State University; Kansas, EE. UU.

Marmoleo	Clasificación	Grado de calidad de la carne
10,0 - 10,9	Abundante (A)	Prime (PR <sup>+</sup> )
9,0 - 9,9	Moderadamente abundante (MA)	Prime (PR <sup>°</sup> )
8,0 - 8,9	Ligeramente abundante (SA)	Prime (PR <sup>-</sup> )
7,0 - 7,9	Moderado (MD)	Choice (CH <sup>+</sup> )
6,0 - 6,9	Modesto (MT)	Choice (CH <sup>°</sup> )
5,0 - 5,9	Poco (SM)	Choice (CH <sup>-</sup> )
4,0 - 4,9	Ligero (SL)	Select (SE <sup>- &amp; +</sup> )
3,0 - 3,9	Trazas (TR)	Standard (ST <sup>+</sup> )
2,0 - 2,9	Prácticamente desprovisto (PD)	Standard (ST <sup>- &amp; +</sup> )
1,0 - 1,9	Desprovisto (D)	Utility (U)

Fuente: Adaptado de Kansas State University (software).

### 3.6.2. Etapa de Cosecha

#### 3.6.2.1. Merma por transporte (%)

Una vez registrado el PFF (sección [3.6.1.1.](#)) los animales se transportaron aproximadamente 120 km hacia la planta de procesamiento en horas de la tarde y noche. Al llegar, permanecieron en corrales con acceso al agua hasta completar un ayuno aproximado de 22 horas desde su última alimentación. Previo al sacrificio se registró su peso individual (Peso Pie Planta, PPP) en una balanza ubicada en la manga de pre- aturdimiento. La merma por transporte (%) fue el cociente del PPP entre el PFF.

#### 3.6.2.2. Dentición

Los animales ingresaron a zona de aturdimiento para ser insensibilizados con un perno cautivo no penetrante en la zona central del cráneo, justo en el punto medio entre los ojos y la inserción del cuerno opuesto. Se colgaron de la extremidad posterior izquierda para el degüelle y se sometieron a estimulación eléctrica por 20

segundos a 21 V y 0,25 A (Jarvis, mod. ES-4); se despojaron de cabeza, cuero y extremidades a la altura de carpos y tarsos. La dentición se registró al remover la cabeza y también cuando los animales ingresaron al tratamiento en finca; para el registro de esta variable se contabilizaron los dientes incisivos permanentes en la mandíbula inferior de las muestras. Para estimar la edad en meses de los animales se utilizó la guía del Proyecto de Clasificación de Canales Bovinas (CORFOGA 2002, CORFOGA 2012) referida en el Cuadro 6 e ilustrada en el Anexo [2](#).

Cuadro 6. Edad promedio de ganado *Bos indicus* de acuerdo con la edad de aparición de dientes incisivos permanentes y su clasificación fisiológica.

Dientes incisivos permanentes	Edad (meses)	Clasificación
0	0 - 20	Joven
2	20 - 24	Joven
4	24 - 36	Adulto joven
6	36 - 48	Adulto
8	> 48	Adulto

Fuente: CORFOGA 2012.

### 3.6.2.3. Grado muscular y Grasa de cobertura

Luego del despojamiento de la cabeza se evisceró las canales. Las variables de grado muscular y cobertura grasa se midieron subjetiva e individualmente en las canales, posterior al eviscerado. Se utilizó las guías propuestas por CORFOGA (2002) y CORFOGA (2012) para asignar el grado de cobertura grasa (Cuadro 7), el grado de conformación muscular (Cuadro 8), y el color de la grasa subcutánea de las canales (Cuadro 9); las guías respectivas se ilustran en los Anexos [3](#), [4](#) y [5](#). En estas mediciones se contó con personal calificado en clasificación de canales.

Cuadro 7. Descripción del grado de cobertura grasa a partir de su grosor y distribución en la canal bovina.

Grado de cobertura grasa	Descripción
1	Desprovista de grasa o con una capa muy ligera
2	Capa de <1 cm de grosor, parcialmente distribuida
3	Capa de >1 cm de grosor, extensamente distribuida

Fuente: CORFOGA 2002, CORFOGA 2012.

Cuadro 8. Descripción del grado muscular en canales bovinas a partir de la observación del lomo, costillar, paleta, cuartos posteriores y anteriores.

Grado muscular	Descripción de la canal
1	Perfil del cuarto posterior convexo o rectilíneo, lomo prominente y cuartos anteriores/posteriores amplios
2	Perfil del cuarto posterior rectilíneo, lomo y costillar rellenos; cuartos anteriores/posteriores amplios
3	Perfil del cuarto posterior cóncavo, lomo y costillar descarnados; paleta descarnada y sin amplitud
4	Perfil del cuarto posterior ultra cóncavo, canal descarnada, frecuente en ganado con perfil lechero

Fuente: CORFOGA 2002, CORFOGA 2012.

Cuadro 9. Descripción del grado de color de la grasa subcutánea en canales bovinas.

Grado de color de la grasa	Descripción
1	Coloración grasa entre blanco y rosado grisáceo
2	Coloración grasa entre rosado y amarillo claro
3	Coloración grasa entre amarillo claro e intenso

Fuente: CORFOGA 2002, CORFOGA 2012.

#### **3.6.2.4. Peso de Canal Caliente (kg) y Rendimiento pie/canal (%)**

Después de evaluar la conformación muscular y grasa de cobertura (sección [3.6.2.3](#)) se registró el Peso de la Canal Caliente (PCC) con una balanza electrónica ubicada en la línea de producción. El rendimiento pie/canal (%) se obtuvo del cociente entre PCC y PPP.

#### **3.6.2.5. Área del Ojo del Lomo (cm<sup>2</sup>)**

Las medias canales derechas se colocaron en cuartos fríos (10°C) donde fueron irrigadas con agua durante 4 horas en intervalos de 30 segundos. A las 48

horas *post mortem* se cortó de forma transversal entre la 12<sup>va</sup> y 13<sup>va</sup> costilla de la media canal derecha para exponer el músculo LD (USDA 2017). Se registró el Área del Ojo del Lomo (AOL) una vez por muestra, utilizando una plantilla aprobada por el USDA (2011). Para calcular el área se colocó la plantilla de manera que cubriera la mayor parte de la superficie de músculo expuesto, se contó los puntos en contacto con el músculo (a) y se calculó el área (Ecuación 2) (Figura 7).

$$\text{Área (cm}^2\text{)} = \left(\frac{a}{10}\right) \times 6,452$$

Ecuación 2. Cálculo del Área del Ojo de Lomo (cm<sup>2</sup>) en la caracterización de la canal de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; San Carlos, 2020.



Figura 7. Medición del Área del Ojo de Lomo (AOL) sobre el músculo *Longissimus dorsi lumborum* en la caracterización de la canal de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

### 3.6.2.6. Marmoleo

El marmoleo se midió subjetiva e individualmente en las canales posterior a medir el AOL (sección [3.6.2.5](#)) y se registró con apoyo de personal calificado en clasificación de canales bovinas. Se observó en la superficie expuesta del músculo LD (Figura 8) y se utilizó como referencia la escala adaptada del USDA (2015b) ilustrada en el Anexo [6](#) y que ordenada de mayor a menor clasifica la carne con marmoleo Moderadamente abundante (Prime), Ligeramente abundante (Prime),

Moderado (Choice), Modesto (Choice), Poco (Choice) y Ligero (Select) (entre paréntesis se indica la clasificación de acuerdo con la escala estadounidense).



Figura 8. Determinación del marmoleo en el músculo *Longissimus dorsi lumborum* para la caracterización de la canal de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

#### **3.6.2.7. Temperatura (°C) y pH 48 horas *post mortem***

Se midieron sobre la superficie expuesta del músculo LD una vez medido el marmoleo (sección [3.6.2.6](#)). Para registrar ambas variables se utilizó un medidor portátil (HI 99163, Hanna Instruments) con exactitud de  $\pm 0,02$  para pH y  $\pm 0,5$  para temperatura. El extremo de acero inoxidable se insertó a una profundidad de 3,5 cm de manera perpendicular a la superficie del músculo expuesto y en el centro del mismo (Rodríguez 2012); se realizó una medición por canal.

#### **3.6.2.8. Espesor de la grasa dorsal (cm)**

En la misma región e inmediatamente después de registrar la temperatura y pH se midió el espesor de la grasa dorsal en cada muestra con una regla graduada (Figura 9). Se calculó tres cuartas partes de la longitud del músculo LD desde el extremo distal al hueso y se registró el grosor de la grasa de manera perpendicular a la superficie del músculo (USDA 2017).



Figura 9. Medición de grasa dorsal en el músculo *Longissimus dorsi lumborum* para la caracterización de la canal de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

### 3.6.2.9. Merma de la canal en frío (%) y Composición de la canal

Previo al deshuese de las canales se registró el Peso de canal fría (PCF) de la media canal derecha con una balanza electrónica ( $\pm 0,25$  kg) ubicada en la línea de producción. La merma respecto al PCC (sección [3.6.2.4](#)) se calculó como indica la Ecuación 3.

Ecuación 3. 
$$Merma\ canal\ fría\ (\%) = \frac{PCF - \left(\frac{PCC}{2}\right)}{PCF} \times 100$$
 Cálculo de la merma por frío (%) en la determinación de características de la canal de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

La media canal derecha se trasladó a la sala de deshuese, donde personal capacitado separó los tejidos muscular, graso y óseo para registrar su peso en balanza digital (Super-SS-15;  $\pm 0,05$  kg). El tejido muscular se seccionó en algunos músculos indicados por Rodríguez (2012) y especificados en el Anexo [7](#); además se obtuvo el peso de recortes o carne destinada a molida proveniente de cualquier otra parte de la canal (BSCH). El tejido óseo se calculó pesando los huesos desprovistos de los tejidos muscular y conectivo. El tejido graso se obtuvo al retirar la grasa excedente de cortes ofrecidos al mercado. El desperdicio se consideró

como ligamentos y tendones descartados para venta al consumidor. Se determinó la participación (%) de cada tejido en la composición de la canal mediante el cociente de su peso entre el PCF de la media canal derecha.

### **3.6.3. Etapa de Análisis en laboratorio**

Durante el deshuese de cada canal se extrajo 1 kg de lomo ancho (LD) para etiquetar y empacar individualmente al vacío en bolsas de polietileno impermeables al oxígeno. Se transportaron hasta el Laboratorio Nacional de la Carne, a dos horas de distancia donde se colocaron a  $2 \pm 2^\circ\text{C}$  (REL4504A22, Thermo Fisher Scientific) para extraer de a uno y proceder con la fabricación de los bistecs para las pruebas de laboratorio. Cada pieza se seccionó en dirección perpendicular a las fibras del músculo en una tabla guía (AMSA 2015) para obtener bistecs de 2,54 cm de grosor. Se fabricaron tres bistecs por cada lomo, para un total de 30 bistecs del T1 y 24 tanto para el T2 como el T3.

Se reservó uno de los bistecs para muestrear el mismo día del deshuese (2 días de maduración). A los dos restantes se les retiró la grasa de cobertura, se etiquetaron y empacaron individualmente al vacío en bolsas de polietileno impermeables al oxígeno para su maduración en húmedo durante 14 y 28 días a  $2 \pm 2^\circ\text{C}$ . El color, las pérdidas por cocción y la fuerza de corte se evaluaron en la totalidad de bistecs a medida que cumplían el periodo de maduración. Las pérdidas por goteo únicamente se evaluaron en los bistecs madurados por 14 y 28 días.

#### **3.6.3.1. Composición grasa y Perfil lipídico**

Durante la fabricación de los bistecs se extrajo al azar  $50 \pm 10$  g de cada lomo ancho. Las muestras se etiquetaron y empacaron individualmente al vacío en bolsas de polietileno impermeables al oxígeno. Se almacenaron a  $-50^\circ\text{C}$  (ULT1790-10-A, Thermo Fisher Scientific) hasta ser transportadas al CITA para evaluar la composición y perfil lipídico de la carne. Se siguió el método AOAC 960.39 para calcular el contenido de grasa del tejido muscular y se utilizó cromatografía de gases (GC-FID) con los métodos AOAC 996.06 y Ce 1e-91, AOCS en el perfil lipídico.

### 3.6.3.2. Pérdidas por goteo (%)

Una vez madurada la carne, se extrajeron los empaques de refrigeración y se registró el peso ( $\pm 0,1$  g; AND EJ-1500) del bistec dentro de la bolsa (Figura 10A). Con un cuchillo se cortó bajo la línea de sellado y se escurrió el bistec en la bolsa; se registró el peso de la bolsa con el líquido retenido en ella (Figura 10B) y se secó con papel toalla el líquido obtenido en la bolsa para registrar el peso de la bolsa seca (Figura 10C). La diferencia entre el peso húmedo y seco de la bolsa correspondió a la humedad perdida durante la maduración. Se calculó la pérdida por goteo (%) como el cociente de la humedad perdida entre el peso de la bolsa sellada.



Figura 10. Medición de las pérdidas por goteo del músculo *Longissimus dorsi lumborum* para la caracterización de la carne de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. A) Pesaje de la bolsa sellada, B) Pesaje de la bolsa húmeda, C) Pesaje de la bolsa seca.

### 3.6.3.3. Color del músculo ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ )

Una vez extraídos del empaque se colocó los bistecs en una superficie plana durante  $\geq 10$  min para permitir la oxigenación de la mioglobina. Con un espectrofotómetro (4500L, HunterLab) se midió los espectros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , realizando tres mediciones en distintas secciones de cada bistec, con no más de tres segundos entre una y otra (Figura 11). Se promediaron las tres mediciones para obtener los resultados de esa muestra.



Figura 11. Determinación del color en el músculo *Longissimus dorsi lumborum* para la caracterización de la carne de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

#### 3.6.3.4. Pérdidas por cocción (%)

Una vez medido el color (sección [3.6.3.3.](#)) se procedió a la cocción de los bistecs; el proceso se modificó respecto al descrito por AMSA (2015) para hornos de convección y se define a continuación:

- i. Precalentar el horno (Vulcan-Hart Co.) a 157,5 °C.
- ii. Registrar el peso fresco de cada pieza ( $\pm 0,1$  g).
- iii. Insertar una termocupla tipo T en el centro geométrico del bistec con una aguja de metal (escáner 92000-01, Digi-Sense).
- iv. Colocar la pieza de carne sobre una rejilla, introducir al horno y voltear al alcanzar 51°C de temperatura interna, retirar a 71°C de temperatura interna.
- v. Registrar el peso individual ( $\pm 0,1$  g) al menos diez minutos después de ser retirados del horno.

La diferencia entre el peso fresco y cocido correspondió a la humedad perdida por cocción. Las pérdidas por cocción (%) se calcularon como el cociente de la humedad perdida entre el peso fresco de cada bistec.

### 3.6.3.5. Fuerza de corte (kg)

Luego de registrar las pérdidas por cocción (sección [3.6.3.4.](#)) fabricaron al menos seis cilindros de 1,27 cm de diámetro por bistec. Para lo cual se utilizó un sacabocado acoplado a un taladro (Dw 107, DeWalt); al obtener los cilindros se orientó el bistec de manera que las fibras musculares siguieran de forma longitudinal la dirección del cilindro, se descartaron aquellos que presentasen desuniformidad o remanentes de tejido conectivo y/o graso (AMSA 2015) (Figura 12AB).

Se colocaron los cilindros individualmente en el porta muestras del equipo Warner-Bratzler Shear Machine (DFS, Nextech) de manera que fuesen cortados por la mitad, perpendicular a las fibras (AMSA 2015) (Figura 12C). La fuerza de corte ( $\pm 0,05$  kg) se registró con el dinamómetro acoplado al instrumento, posterior a que la cuchilla realizara el corte. Se promediaron los valores obtenidos en cada muestra.

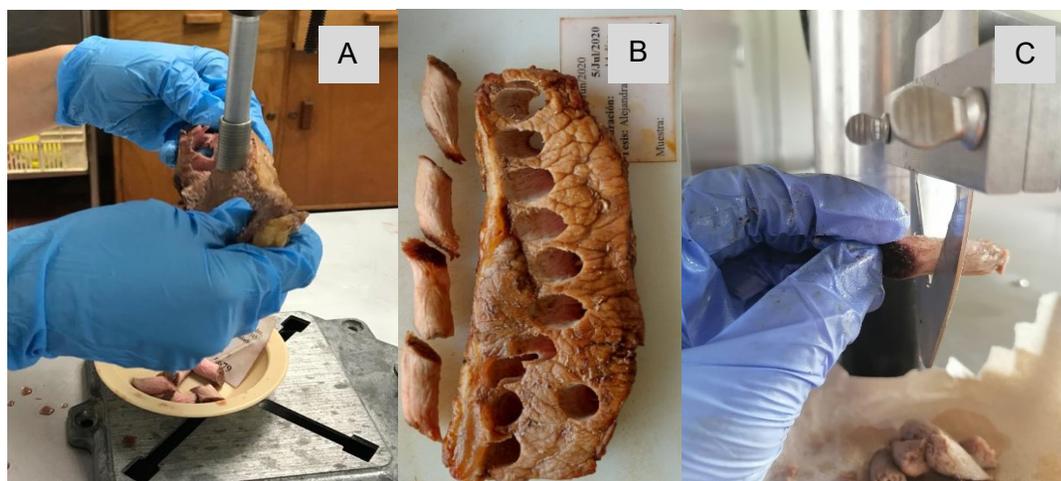


Figura 12. Preparación de muestras (AB) y medición de la fuerza de corte (C) del músculo *Longissimus dorsi lumborum* de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

### 3.7. Diseño experimental

De los animales disponibles se seleccionaron al azar 10 que fueron asignados al T1 con un peso promedio inicial de  $335,8 \pm 19,7$  kg. Los 16 animales restantes se dispusieron al azar entre el T2 y el T3 para conformar dos grupos de 8 animales cada uno con peso promedio inicial de  $297,5 \pm 16,2$  kg. El conjunto de

variables evaluadas se analizó bajo un diseño completamente al azar de efectos fijos con el uso de covariables como peso vivo y cronometría dentaria inicial, días en finca, peso final en planta de cosecha y cronometría dentaria final (Ecuación 4).

$$Yi(j) = \mu + Ti + Zi(j) + \varepsilon i(j)$$

Ecuación 4. Modelo estadístico para la comparación de crecimiento, rendimiento y calidad de la carne de ganado cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Donde:

Y= variable de respuesta

$\mu$ = media general

Ti= respuesta del i-ésimo sistema de engorde

Zi(j)= efecto de la covariable

$\varepsilon i(j)$ = error experimental de la j-ésima repetición en el i-ésimo sistema de engorde

### 3.8. Análisis estadístico

En el análisis de resultados se utilizó el software InfoStat/P (Di Rienzo *et. al.* 2018). Se comparó las medias de los tratamientos mediante Modelos Generales Lineales y Mixtos con corrección de heterocedasticidad usando la función *VarIdent* en las variables Merma de la canal en frío, Temperatura, Grasa cruda (g/100g); en los kilogramos (Anexo [8](#)) o porcentajes (Anexo [9](#)) de algunos cortes en la canal y en el porcentaje de algunos ácidos grasos de la carne (Anexo [10](#)). Se complementó con la prueba de comparación múltiple de DiRienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) y nivel de significancia 0,05. Además, para cada variable se determinó la media y el Error Estándar de la media (E.E.) según el tratamiento. En la composición de la canal y perfil lipídico se calcularon los límites del intervalo de confianza al 95% (LI y LS).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso vivo inicial, la cronometría dentaria y los días en finca no demostraron afectar de manera significativa a la mayoría de variables evaluadas ( $p>0,05$ ); de existir influencia sobre alguna de ellas ( $p<0,05$ ) se indicará en el apartado correspondiente. A continuación, se exponen los resultados de las etapas de engorde, cosecha y análisis en laboratorio.

### 4.1. Etapa de Engorde

No hubo diferencia entre tratamientos para los kilogramos ganados durante el ensayo ( $p>0,05$ ); en general los tratamientos aumentaron  $84,8 \pm 14,2$  kg en la etapa de engorde, suficiente para conferirles condición corporal y peso de cosecha estándar para la finca. El Cuadro 10 detalla los resultados para los descriptores de crecimiento evaluados; la clasificación inicial de los animales agrupó los más pesados en el T1, tratamiento con menor estancia en finca (65 vs. 94 días) y que resultó con peso de salida (PFF) y Ganancia Diaria de Peso (GDP) superior.

Cuadro 10. Descriptores del crecimiento de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Variable	p-valor	Tratamiento (Media $\pm$ E.E.)		
		T1	T2	T3
Peso de ingreso (kg)	0,0001	335,80 $\pm$ 6,25 a	300,50 $\pm$ 6,74 b	294,63 $\pm$ 4,76 b
Peso final finca (kg)	0,0002	424,00 $\pm$ 5,86 a	383,62 $\pm$ 8,37 b	377,75 $\pm$ 8,47 b
GDP (kg/animal/día)	<0,0001	1,35 $\pm$ 0,06 a	0,88 $\pm$ 0,03 b	0,88 $\pm$ 0,07 b

*Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ), según la prueba DGC.*

El PFF en los tres tratamientos fue superior a los 375,6 kg reportados por SEPSA (2019) como promedio en Costa Rica para hembras bovinas al final del ciclo de engorde. Además, los tres tratamientos se ubicaron (T2, T3) o superaron (T1) el rango de 350 a 400 kg propuesto por Pérez (2017).

Respecto a la GDP los tratamientos evaluados, especialmente el T1, superaron el promedio de Ducca *et al.* (2007) para la Zona Norte de Costa Rica ( $\leq 0,9$  kg/animal/día en estabulación y  $\leq 0,8$  kg/animal/día en pastoreo). Rodríguez *et*

*al.* (2018) también determinaron GDP superiores a la media, con promedios de 1,09 kg/animal/día en Brahman, Charolais y su cruce F1 engordados en sistemas de pastoreo y suplementados con 3,0 o 3,5 Mcal ED/kg MS. A su vez, Ramírez *et al.* (2016) obtuvieron promedios superiores (1,04 kg/animal/día) al regional cuando compararon sistemas de pastoreo con suplementación de 3,2 - 3,4 o 3,67 Mcal ED/kg MS en Brahman o F1 (Brahman × Charolais) castrados. A pesar de no contar con análisis bromatológicos, a partir de la GDP obtenida se infiere que la dieta del T1 en el presente ensayo fue superior proteica o energéticamente a las utilizadas por Rodríguez (2012) y Ramírez *et al.* (2016). Los parámetros de GDP y PFF referidos por Ducca *et al.* (2007) pueden considerarse desactualizados y en desventaja, debido al actual mejoramiento genético y dietas que permiten alcanzar mejores tasas de conversión. Por otro lado, para maximizar la brecha futuros ensayos y los datos de Ducca *et al.* (2007), los sistemas de pastoreo pueden migrar hacia forrajes y otras especies que permitan la máxima producción de kilos de carne/ha, destacando los bancos energéticos como caña de azúcar (*S. officinarum*) y/o proteicos como botón de oro (*T. diversifolia*), morera (*Morus* sp.) y cratylia (*C. argentea*) (Arronis 2017; INEC 2019b).

Salas y Rodríguez (2020) indican que la testosterona promueve el desarrollo muscular y la tasa de crecimiento, explicando así las diferencias en variables de crecimiento como PFF o GDP que puedan presentarse entre animales con diferente condición sexual. Empero, Martín *et al.* 1978 citado por Rodríguez (2012) detallan que la ventaja ofrecida por los andrógenos en la deposición de músculo y GDP se reduce al ofrecer dietas marginales (por ejemplo, al ofrecer pasturas de baja calidad nutricional). Rodríguez (2012) validó esa afirmación en su estudio al no encontrar diferencias en GDP o kilogramos de carne vendible entre toros y novillos de diferentes razas engordados en pastoreo con suplementación; los forrajes que Rodríguez (2012) ofreció fueron principalmente gramíneas naturalizadas (semejantes a la ofrecida al T2 y T3), conocidas por su baja calidad nutritiva. A partir de lo anterior, estudiar si la tasa de crecimiento entre machos y hembras se comporta similar en las condiciones de pastoreo típicas de la Zona Norte de Costa

Rica, podría ofrecer información relevante al productor de carne regional.

Diversos autores señalan que el uso de minerales en la ganadería de carne contribuye a un mejor desarrollo de los animales debido a las funciones que ejerce cada uno en el organismo. Por ejemplo, micro minerales como Zn, Mn, Cu y I se asocian principalmente a procesos energéticos en el organismo (Bauer *et al.* 2009; Pittaluga 2009), lo que sugiere beneficios en parámetros de crecimiento. Específicamente, el yodo regula índices de energía metabólica al ser componente esencial de las hormonas tiroideas Tiroxina y Triiodotiroxina; el manganeso es un componente de enzimas con función energética, el zinc también es componente enzimático y además potencia el sistema inmune, activa procesos inherentes al metabolismo de proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos y es reconocido por su efecto antioxidante (Bauer *et al.* 2009; do Carmo *et al.* 2017). A pesar de lo anterior, y las diferencias que presentaron los suplementos ofrecidos al T2 y T3 en algunos minerales y vitaminas (Anexo [1](#)), ambos tratamientos se comportaron similar respecto a las características referidas en el Cuadro 10.

Surgen dos hipótesis relacionadas con los resultados obtenidos en los sistemas de pastoreo, la primera es que las cantidades entre ambos suplementos no fueron suficientes para promover cambios en PFF o GDP; y la segunda se asocia a la ley de mínimos (Martín *et al.* 1978 citado por Rodríguez 2012), donde una base energética pobre, como la ofrecida en los sistemas de pastoreo típicos en la región, podría condicionar los aportes de suplementos como los ofrecidos al T2 y T3. Sin embargo, para aceptar cualquiera de las dos hipótesis sugeridas es necesario ejecutar más investigación al respecto.

Los animales del T1 clasifican en el Conglomerado 2 (C2) identificado en la misma finca por Bolaños (2018) para el periodo “abril, 2015 - marzo, 2018”. En dicho análisis, los animales pertenecientes al C2 (estabulación) presentaron GDP de 1,22 kg/animal/día, inferior al 1,35 kg/animal/día determinado en este ensayo. Bolaños (2018) indica que la dieta ofrecida a los animales en aquel momento rondaba 16,72 Mcal; a pesar de no contar con análisis de la dieta ofrecida al T1, a partir de la GDP se infiere que la misma fue superior energéticamente a la ofrecida en el periodo de

Bolaños (2018). Respecto al T2 y T3 la GDP resultó inferior que los conglomerados de Bolaños (2018) para sistemas de pastoreo, debido principalmente a que en aquella época también se ofrecía una ración en canoa a los animales de pastoreo; mientras que en el presente, únicamente se ofreció forraje de piso, miel y el suplemento nutricional correspondiente. Bolaños (2018) aclara que en las condiciones de su ensayo la GDP se influenció por los días en finca y el sistema de engorde, no tanto así por el peso de ingreso. En concordancia, la GDP del presente ensayo únicamente se influenció por el sistema de engorde evaluado ( $<0,0001$ ), no así por el peso o la cronometría dentaria inicial de los animales ( $p>0,05$ ).

El Cuadro 11 compara las mediciones con ultrasonido del T1 al ingreso y egreso de la finca. Si bien se presentaron diferencias numéricas entre las tres variables, únicamente el espesor de grasa dorsal mostró diferencias estadísticas entre ambas mediciones, siendo mayor al egreso del sistema. De acuerdo con la escala del Cuadro 5 (sección [3.6.1.2.](#)) el marmoleo en ambas ocasiones clasificó como “Modesto”, un valor intermedio que posiciona la carne en categoría *Choice*.

Cuadro 11. Evaluación del músculo *Longissimus dorsi lumborum* mediante ultrasonido en ganado cebú engordado en un sistema de estabulación; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Variable	p-valor	Media $\pm$ E.E.	
		Ingreso	Salida
Profundidad de músculo (mm)	0,0817	57,63 $\pm$ 1,69	62,09 $\pm$ 2,63
Marmoleo (u)	0,4351	6,12 $\pm$ 0,38	6,50 $\pm$ 0,41
Espesor de grasa dorsal (mm)	0,0002	3,31 $\pm$ 0,40 b	8,18 $\pm$ 0,76 a

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ), según la prueba DGC.

Rodríguez *et al.* (2018) únicamente encontraron influencia del genotipo sobre la profundidad de músculo al evaluar novillos Brahman, Charolais y su F1 engordados en pastoreo, no así para espesor de grasa dorsal o marmoleo. El espesor de grasa dorsal y marmoleo fueron muy superior en este ensayo respecto al promedio de Rodríguez *et al.* (2018) (4,2 mm y 3,2 unidades respectivamente). La diferencia más notable entre ambos estudios corresponde a que el T1 fue un

tratamiento de estabulación y probablemente otorgó mayor contenido energético que las dietas ofrecidas por los autores mencionados, lo que promovió la mayor deposición de grasa. Otro factor por considerar es que, debido a las hormonas sexuales, las hembras tienden a desarrollar más grasa subcutánea que los machos (CORFOGA 2012).

Las mediciones con ultrasonido en ganado de carne permiten observar el crecimiento esperable que adquieren los tejidos muscular y grasa en etapas de finalización, con la ventaja de ser un procedimiento no invasivo (Colin 2010 citado por Quesada 2019). Sin embargo, al comparar la medición con ultrasonido respecto a la ejecutada manualmente en planta de cosecha (sección [4.2.2.](#)) se presentó una gran inconsistencia en grasa de cobertura y marmoleo.

En este estudio, el ultrasonido sobreestimó el marmoleo. Quesada (2019) utilizó el mismo equipo y software que este estudio e incoherentemente registró menor marmoleo al final de la etapa de engorde en la raza Brahman, atribuyendo el resultado a que esta es quizá la variable más difícil de medir *in vivo*. La grasa intramuscular medida con ultrasonido estima el grado de marmoleo del músculo *Longissimus dorsi lumborum* (LD), con correlaciones respecto a la calificación otorgada en planta de cosecha de 0,35 a 0,87 según diversos autores citados por Williams (2002). La variabilidad que ofrece el ultrasonido para esta característica se debe a la forma en que se detecta, dependiendo de dos fenómenos: la retrodispersión y la atenuación. La retrodispersión ocurre debido a las superficies irregulares que confiere el marmoleo en el tejido, lo que ocasiona una dispersión de las sondas; y la atenuación es el debilitamiento de la sonda conforme atraviesa el tejido (Bethour 1990 citado por Williams 2002), lo cual puede distorsionar la lectura.

Respecto al grosor de grasa subcutánea, la forma en que se detecta con ultrasonido es más sencilla que el marmoleo; al ser una lectura en una sola dimensión es la variable más precisa de medir, presentando correlaciones de 0,76 a 0,93 con la grasa dorsal medida en planta de cosecha (Perkins *et al.* 1997 citado por Williams 2002). En este ensayo la grasa dorsal fue mayor con ultrasonido respecto a planta de cosecha (0,8 cm vs. 0,4 cm); López (2019), quien utilizó el

mismo equipo y software, encontró la misma tendencia entre la medición *in vivo* y en planta de cosecha medida en búfalo (*Bubalus bubalis*) (1,2 cm vs. 0,7 cm); Arias (2019) también encontró variaciones entre la medición con ultrasonido y en planta de cosecha (0,56 cm vs. 0,38 cm) en animales *B. indicus*. Un factor que pudo disminuir el grosor de grasa dorsal medido en cosecha, pudo ser un descuidado despojamiento del cuero. Además de lo anterior, Williams (2002) indica que la medición de grasa dorsal con ultrasonido subestima los resultados en ganado con altos niveles de engrasamiento y los sobrestima en ganado magro, por lo que sugiere medir el espesor graso del ganado magro a nivel de grupa en lugar del lomo.

Por otro lado, Williams (2002) señala que la profundidad de músculo medida con ultrasonido se mide en dos dimensiones, lo que dificulta conseguir valores acertados. Se han encontrado correlaciones de 0,43 a 0,85 entre la profundidad del músculo con ultrasonido y el área del ojo del lomo medido en planta de cosecha. A la vez, Williams (2002) sugiere que un mejor predictor del rendimiento cárnico en ganado magro es la profundidad del *Gluteus medius*, en lugar del LD.

Para medir con ultrasonido animales cuya genética permite acumular alto nivel de grasa intramuscular (*B. taurus* o *B. taurus* × *B. indicus*), se recomienda utilizar softwares creados y probados originalmente sobre animales con dicha característica; y lo mismo en casos donde la deposición de grasa intramuscular es inferior (Sansano-Maestre y Gardón 2015). En este ensayo, se utilizó un software desarrollado originalmente para animales *B. taurus*, comunes en su país de origen (EE. UU.), por lo cual la calibración y escala pudo no estimarse correctamente para ganado con ascendencia *B. indicus* como el de este ensayo. A partir de lo anterior, se recomienda un mejor ajuste en la escala del equipo utilizado y a la vez realizar al menos cuatro mediciones por animal para promediar la grasa intramuscular de todo el músculo.

## 4.2. Etapa de Cosecha

El análisis estadístico no demostró efecto del peso inicial sobre ninguna característica de rendimiento, calidad o composición de canal ( $p < 0,05$ ). En concordancia, do Carmo *et al.* (2017) concluyeron que el peso inicial no es una covariable que afecte características de composición de canal.

### 4.2.1. Variables de rendimiento de la canal

El cuadro 12 detalla los resultados de las variables relacionadas al rendimiento de canal en planta de cosecha. El Peso Pie Planta (PPP), la merma por transporte, Peso de Canal Caliente (PCC) y ½ Canal Fría (PCF) presentaron diferencias entre tratamientos ( $p < 0,05$ ), siendo semejantes entre T2 y T3 y superiores para el T1. En cambio, no se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) en el rendimiento pie/canal, porcentaje de merma en frío o Área del Ojo del Lomo (AOL). Es de esperar que al presentar similar rendimiento pie/canal, los resultados de PCC siguieran la misma tendencia que el PPP. La misma situación ocurrió entre el PCC, la merma por frío y el PCF, al ser el porcentaje de merma por frío similar entre los tratamientos.

Cuadro 12. Variables del rendimiento de la canal medidas *ante* y *post mortem* en ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Variable	p-valor	Tratamiento (Media $\pm$ E.E.)		
		T1	T2	T3
Peso pie planta (kg)	0,0067	376,80 $\pm$ 5,30 a	355,75 $\pm$ 6,89 b	345,50 $\pm$ 7,66 b
Merma por transporte (%)	<0,0001	11,13 $\pm$ 0,31 a	7,22 $\pm$ 0,44 b	8,53 $\pm$ 0,43 b
Peso de la canal caliente (kg)	0,0082	206,55 $\pm$ 4,36 a	189,81 $\pm$ 3,87 b	188,43 $\pm$ 4,34 b
Rendimiento pie/canal (%)	0,3679	54,80 $\pm$ 0,77	54,57 $\pm$ 0,59	53,37 $\pm$ 0,81
Merma de la canal en frío (%)	0,2378	+0,34 $\pm$ 0,19	+0,77 $\pm$ 0,17	+0,35 $\pm$ 0,36
Peso de ½ canal fría (kg)	0,0090	103,64 $\pm$ 2,23 a	95,65 $\pm$ 1,96 b	94,53 $\pm$ 2,03 b
Área del Ojo del Lomo (cm <sup>2</sup> )	0,0964	55,20 $\pm$ 1,42	50,51 $\pm$ 1,59	52,64 $\pm$ 1,45

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC.

Genther-Schroeder *et al.* (2018) no encontraron diferencias en parámetros de crecimiento o rendimiento de la canal al ofrecer diferentes fuentes y proporciones de Zn en ganado con ascendencia Angus; sugieren que el peso final, tamaño de los animales y dosis utilizada pueden enmascarar los efectos de la suplementación,

razón que puede explicar por qué no hubo diferencia entre el T2 y T3 a pesar de suplementarse con diferente proporción de minerales. Animales jóvenes y más pesados que los del presente podrían responder diferente ante la suplementación mineral en algunas características de la canal (Genther-Schroeder *et al.* 2018).

Por otro lado, Pordomingo *et al.* (2011) señalan que conforme incrementa el grano en la dieta ofrecida así lo hacen el PPP y PCC; en este ensayo las diferencias entre PFF - PPP y PCC - PCF no se pueden atribuir a la suplementación con diferente cantidad de minerales o el sistema de producción, sino a la clasificación inicial por peso. Era esperable que los animales que ingresaron a la finca más pesados (T1) presentaran también mayor PFF, PPP, PCC y PCF; esto debido a que los rendimientos en hembras varían muy poco, tal como se ejemplifica más adelante y se afirmó con los resultados obtenidos.

Respecto al PPP, los tres tratamientos superaron el promedio reportado por CORFOGA (2012) para hembras bovinas con cero dientes incisivos en Costa Rica (308,4 kg). Como se explicó en la sección [2.6.2.](#), las hembras bovinas generalmente presentan menor peso al sacrificio que los machos debido a las ventajas hormonales que ofrecen los andrógenos; y como consecuencia, también las hembras presentan menor peso en canal y kilogramos de carne vendible. Debido a lo anterior, sería inexacto comparar los valores obtenidos en este ensayo respecto a otros que hayan utilizado machos.

Los bovinos tienen capacidad de almacenar entre 30 y 40 kg de heces en su tracto digestivo, por lo tanto, la evacuación de materiales durante el transporte y la espera en corrales previo a la cosecha suponen pérdidas de peso (UNNE 2014). Los rangos de merma por transporte registrados en otros estudios costarricenses en bovinos de carne rondan entre 7,1% - 8,8% del PFF (Ramírez 2014; Aguilar 2019; Quirós 2020; Salas y Rodríguez 2020). No existe evidencia de que los animales finalizados en estabulación presenten más pérdidas por transporte que aquellos de pastoreo (Ramírez 2014); Arguedas (2017) señala que la variabilidad en la merma por transporte puede deberse al tiempo de ayuno del animal; y estrés entre el egreso de la finca y espera previo a la cosecha.

En este ensayo el T2 y T3 se mantuvieron en el rango normal de merma por transporte, al perder en promedio 7,8% (30 kg) del PFF, aunque el T1 estuvo muy por encima con 11,1% (47,2 kg). La diferencia entre tratamientos puede atribuirse al periodo de ayuno de los animales cuando fueron pesados en finca, al T1 se le suministró una ración de alimento aproximadamente seis horas previo al pesaje y así el vaciado intestinal fue mayor respecto a T2 - T3. Como se observará en la sección [4.2.2.](#), las canales presentaron pH normal a las 48 horas *post mortem*, por lo que alimentar justo antes al egreso de la finca puede suponer un costo económico para la empresa que no asegura la superioridad en calidad respecto al sistema de pastoreo. Pese a ello, Perry *et al.* 2001 citado por Quirós (2020) no recomiendan prolongar el ayuno por más de 48 horas previo a la cosecha, ya que periodos extensos de ayuno podrían repercutir en la calidad de la carne (sección [2.6.5.](#)) y rendimiento pie/canal.

El rendimiento pie/canal también puede afectarse por el tipo de dieta, el peso de la cabeza, cuero y vísceras (Jorge 1999, Restle *et al.* 2000 y Oliveira 2005 citados por Arguedas 2017). Sin embargo, uno de los factores que más influye en esta variable es el sexo, al ser generalmente los novillos y hembras quienes se desempeñan mejor (CORFOGA 2012). En Costa Rica, las hembras bovinas con cero dientes incisivos permanentes presentan rendimientos pie/canal entre 51% y 53,33% (Ducca *et al.* 2007; Pérez 2017, SEPSA 2019). Bolaños (2018) determinó en la misma finca que este ensayo, rendimientos pie/canal entre 54,1% y 55,4%, muy similares al de este ensayo (54,2%).

En Costa Rica, el PCC de hembras con cero dientes incisivos permanentes ronda los 171,01 kg (CORFOGA 2012); en este ensayo los tres tratamientos superaron dicha cifra. Pordomingo *et al.* (2011) registraron PCC entre 236 kg y 194,5 kg en hembras Angus suplementadas con 60% y 0% de grano respectivamente, ambos superiores que lo observado en este ensayo. Entre ambos estudios la diferencia radicó en las razas y alimentación ofrecida, al utilizar Pordomingo *et al.* (2011) un forraje de clima templado y mejor calidad. Pordomingo *et al.* (2012) indican que las canales de animales alimentados con dietas más

energéticas producen canales más pesadas. Para evaluar el verdadero efecto entre sistema de estabulación o pastoreo, se recomienda colocar a los animales aleatoriamente, si bien se tendrían grupos heterogéneos en peso, los resultados pueden ofrecer una mejor comparación entre sistemas. Pordomingo *et al.* (2012) indican que al comparar diferentes dietas bajo similares condiciones de peso inicial, raza, edad o sexo, se pueden observar variaciones en peso, tamaño y cobertura grasa de las canales, siendo estas inferiores al ofrecer dietas pobres que generen una menor tasa de crecimiento.

Respecto a la merma por frío, en este ensayo las medias canales ganaron en promedio 0,48% de peso al colocarse en las cámaras de frío; específicamente el T1 aumentó 0,36 kg, el T2 0,74 kg y el T3 0,31 kg respecto al PCC. La media para esta variable fue menor que lo reportado por Torrescano *et al.* (2010) en una planta de procesamiento de Sinaloa, México, donde hubo de 1,3% a 2% de pérdidas respecto al PCC. Otros autores en Costa Rica tampoco han encontrado diferencias entre tratamientos para esta variable, aunque sí registraron pérdida de peso respecto a la canal caliente. Entre ellos, Quirós (2020) en canales de terneros Brahman cosechados de seis y ocho meses de edad obtuvo un promedio de 1,7%; Salas y Rodríguez (2020) en toretes y novillos, registraron mermas de 2,1% y Aguilar (2019) promedió 1,9% en novillos Brahman engordados en pastoreo y suplementados con diferente proporción de destilados de maíz. Rubio *et al.* (2013) indican que el porcentaje de merma de la canal caliente a fría es normal entre 1% y 2% en las primeras 24 - 58 horas de refrigeración. Alves 2007 citado por Quirós (2020) destaca que una menor merma por frío supone un manejo y almacenamiento adecuado de la canal.

Los sistemas de enfriamiento y la humedad relativa en las cámaras de frío pueden variar y por lo tanto repercutir sobre la merma por frío (Savell *et al.* 2005; Rubio *et al.* 2013); algunas industrias irrigan por aspersion las canales con el objetivo de reemplazar la humedad perdida por evaporación y maximizar el rendimiento canal caliente/canal fría (Savell *et al.* 2005); sin embargo, los protocolos de irrigación no son estándar en las diferentes plantas de cosecha en Costa Rica

(Quirós 2020). La irrigación ejecutada en este ensayo (sección [3.6.2.5.](#)) explica por qué en lugar de perder, las canales aumentaron de peso y presentaron valores distintos respecto a los estudios indicados previamente. A pesar del beneficio que ofrece esta metodología sobre el rendimiento de la canal, Savell *et al.* (2005) aclaran que al ser mal aplicada puede repercutir en la calidad de la carne, factor importante a considerar por Ganadera Don Fernando debido a su exclusividad de mercado. El exceso de agua aplicada por irrigación puede acumularse en espacios superficiales de los tejidos graso o muscular y eventualmente escapar como purga durante la maduración del producto; lo cual reduce el rendimiento cárnico y puede incidir sobre la jugosidad y suavidad de la carne (Savell *et al.* 2005). Quirós (2020) añade que a pesar de aplicar irrigación, si existe poca grasa de cobertura no se observarán los beneficios asociados en el rendimiento de la canal, tal como lo demostró al registrar pérdidas de 1,7% en canales de terneros no engrasados.

El sexo, raza, edad y alimentación son factores que repercuten sobre el AOL, al verse influenciada por el desarrollo muscular (Correia *et al.* 2016 citados por Rodríguez *et al.* 2018); así, animales con influencia de *B. taurus*, toros, adultos y aquellos alimentados con dietas altamente energéticas, tienden a desarrollar mayor AOL. Sin embargo, no se observaron diferencias en esta variable entre tratamientos, a pesar de existir uno con peso vivo superior y alimentación más energética (T1); o entre tratamientos con igual base forrajera y suplementación mineral distinta (T2-T3). En general los resultados de este ensayo fueron superiores a los de Quirós (2020) en terneros Brahman de seis meses de edad (43,5 cm<sup>2</sup> vs. 52,8 cm<sup>2</sup>) e inferiores a los de Rodríguez *et al.* (2018) en novillos Brahman de aproximadamente 25 meses de edad (66 cm<sup>2</sup>).

Ramírez (2014) señala que la fuente de energía en la dieta (específicamente una que incluya pocos carbohidratos fibrosos) podría tener un efecto positivo sobre el AOL especialmente si el componente genético tiende al *B. taurus*. A pesar de la evidencia, Ramírez (2014) únicamente encontró diferencias numéricas en el AOL de novillos Brahman (63,7 cm<sup>2</sup>) o Charolais (68,9 cm<sup>2</sup>), y no encontró efecto de la suplementación sobre esta, atribuyéndolo a la inclusión de carbohidratos fibrosos

en las dietas. Por el contrario, Pordomingo *et al.* (2012) encontraron diferencias entre AOL de hembras Angus engordadas con 100% heno de alfalfa (55,7 cm<sup>2</sup>) vs. engordadas a pastoreo (alfalfa fresca) y/o con diferente proporción de heno de alfalfa + grano (65,5 cm<sup>2</sup> en promedio).

En este estudio el componente genético también pudo influenciar los resultados de AOL respecto a otros en los que se evaluarán animales con ascendencia *B. taurus*. Por ejemplo, Pordomingo *et al.* (2012) en hembras Angus cosechadas de 10,5 meses presentaron mayor AOL respecto al presente (52,8 cm<sup>2</sup> vs. 65,5 cm<sup>2</sup>). Además, en machos, Crouse *et al.* (1989) determinaron AOL superiores en animales Pinzgauer (*B. taurus*) respecto a Brahman o Sahiwal (*B. indicus*) (76,6 cm<sup>2</sup> vs. 69,5 cm<sup>2</sup> y 67,3 cm<sup>2</sup> respectivamente) y observaron que los cruces presentan mayor AOL que las razas puras, entre ellos el ¾ Pinzgauer (79,5 cm<sup>2</sup>) y ¾ Brahman (70,1 cm<sup>2</sup>).

Correia *et al.* 2016 citados por Rodríguez *et al.* (2018) indican que el AOL tiene relación positiva con el rendimiento de cortes de elevado valor comercial. Determinar el rendimiento de carne vendible de una canal a partir de variables medidas en planta de cosecha, es posible mediante ecuaciones que predigan la producción mínima de carne de una canal; CORFOGA (2012) señala que es posible utilizar el peso de la canal caliente y el grado de conformación muscular para tal fin. Sin embargo, utilizar más variables objetivas y medibles como AOL, edad dentaria o sexo podrían ofrecer mayor seguridad e información relevante al carnicero respecto al rendimiento de carne vendible (CORFOGA 2012).

#### **4.2.2. Variables asociadas a la calidad de la canal**

El Cuadro 13 detalla los resultados obtenidos en las variables relacionadas con la calidad de la canal. Respecto a la cronometría dentaria inicial y final no hubo diferencias ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos; los animales presentaron entre cero y dos dientes incisivos permanentes tanto al inicio como al final del ensayo, lo cual corresponde con animales jóvenes menores de 24 meses de edad (CORFOGA 2012). La cronometría dentaria final colocó a los tres tratamientos en el 15% de

novillas destinadas a carne que presentan dos dientes incisivos permanentes en Costa Rica (Figura 3, sección [2.6.3.](#)), con un porcentaje de madurez inferior a 69% para la raza Brahman (Ramírez *et al.* 2009).

Cuadro 13. Variables de calidad de la canal medidas en ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Variable	p-valor	Tratamiento (Media ± E.E.)		
		T1	T2	T3
Dentición inicial (u)	0,9660	0,60 ± 0,30	0,50 ± 0,32	0,50 ± 0,32
Dentición final (u)	0,6496	1,20 ± 0,32	1,25 ± 0,36	0,75 ± 0,52
Grado muscular (u)	0,2269	2,70 ± 0,15	3,00 ± 0,00	2,87 ± 0,12
Grado de cobertura grasa (u)	0,4333	1,40 ± 0,16	1,12 ± 0,12	1,37 ± 0,18
Color de grasa de cobertura (u)	0,1218	1,10 ± 0,10	1,50 ± 0,18	1,50 ± 0,18
Espesor de la grasa dorsal (cm)	0,8965	0,39 ± 0,08	0,45 ± 0,11	0,41 ± 0,06
Temperatura 48 h <i>postmortem</i> (°C)	<0,0001	0,83 ± 0,05 b	1,40 ± 0,10 a	1,35 ± 0,03a
pH 48 h <i>postmortem</i> (u)	0,1205	5,65 ± 0,02	5,58 ± 0,02	5,62 ± 0,02

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC.

Algunas variables presentadas en el Cuadro 13 se utilizan en países como Estados Unidos, Australia, Paraguay, Chile, Japón, Brasil, Argentina y México para definir la calidad de las canales bovinas. Sin embargo, cada lugar tiene estándares diferentes en su sistemas de clasificación de canales, mismos que pueden diferir incluso entre plantas de cosecha si no son de uso obligatorio (Larraín *et al.* 2018), por lo que sería inexacto comparar los valores obtenidos en este ensayo con otros que utilizaran metodologías diferentes a las descritas en las secciones [3.6.2.3.](#), [3.6.2.5.](#), [3.6.2.6.](#) y/o [3.6.2.8.](#). El grado muscular (GM), cobertura (GC) y color de la grasa subcutánea no presentaron diferencias entre tratamientos (Cuadro 13); CORFOGA (2012) indica que en Costa Rica son el sexo y la alimentación los factores que mejor explican las diferencias entre ensayos para esas variables; sin embargo, en el presente únicamente se observaron cambios numéricos entre el T1, T2 y T3 a pesar de ser alimentados y suplementados de manera diferente.

En Costa Rica apenas 0,4% de las canales de hembras bovinas clasifica en el mejor GM (1) (Figura [2](#)). El promedio observado en esta variable (2,8) ubica a los tratamientos en el 17% de hembras que presentan GM 2 y cerca del 66% con GM

3. Bolaños (2018) en la misma finca identificó un grupo (conglomerado 3 - C3) con GM de mejor calidad (2,0) que esta investigación; la diferencia radica en que el C3 permaneció durante 100-160 días en estabulación, mucho más que los animales en el presente, lo cual pudo promover mejor GM debido a la mayor ingesta de alimento y consecuente crecimiento. Los demás grupos evaluados por Bolaños (2018) no presentaron diferencias entre sí y promediaron 2,2 en esta variable, también en la misma categoría que lo observado en este ensayo. No proveer una ración extra a los animales en pastoreo y finalizar el periodo de engorde en menor tiempo pudo generar GM ligeramente menores respecto al estudio de Bolaños (2018), a pesar de clasificar en la misma categoría. A partir de los resultados entre un estudio y otro, se refuerza la hipótesis de que la ración ofrecida a los animales ha mejorado en el tiempo (al igual que lo sugerido en la sección [4.2.1.](#) para GDP). Mantener a los animales hasta 160 días en finca con el objetivo de generar mejor GM no se justifica, ya que entre 65 (T1) y 94 días (T2 - T3) se puede obtener la misma categoría con una dieta superior proteica o energéticamente.

Referente al grado de cobertura grasa (GC), Litwińczuk *et al.* 2013 citados por Quirós (2013) destacan que la edad de cosecha no es un factor que lo modifique significativamente. Atendiendo a ello, Quirós (2020) evaluó canales de terneros Brahman y registró GC 1, inferior numéricamente aunque en la misma categoría que los resultados de este ensayo. Los datos del presente colocan a los animales en la categoría promedio para hembras en Costa Rica, ya que el 59,5% de canales de hembras en el país también presentan GC 1 (Figura [5](#)), acreditándose esto a dietas poco energéticas, predominancia de sistemas de pastoreo (INEC 2019b) y/o ascendencia racial del hato nacional con tendencia al cebú (CORFOGA 2012).

Rodríguez 2018 citado por Bolaños (2018) destaca que para Ganadera Don Fernando es importante presentar GC entre 2 y 3, al ser deseable en la presentación de cortes finos como New York y Punta de solomo vendidos en sus boutiques de carne. El promedio de los tres tratamientos para esta variable (1,3) no difirió respecto a grupos con tiempo de engorde similar en la investigación de Bolaños (2018) para la misma finca (1,4); aunque estuvo por debajo de animales que

permanecieron de 100 a 160 días en estabulación (1,8); la diferencia en los periodos de engorde en este ensayo pudo contribuir a obtener menores resultados, aunque se mantuvo en la misma categoría. En Costa Rica apenas 2% de las canales de hembras presentan la mayor categoría de GC (3) y una proporción menor presentan GC 2 (38,4%) (CORFOGA 2012), por lo que conseguir canales con mayor GC implicaría para la finca un mejoramiento considerable tanto en alimentación como genética.

Respecto al espesor de la grasa de cobertura, Pordomingo *et al.* (2012) señalan que a pesar de existir animales con menor GDP, se pueden obtener canales con similar cobertura grasa, lo que contribuye a justificar por qué los animales del T2 y T3 presentaron similitud con el T1 a pesar de presentar GDP estadísticamente inferior. Genther-Schroeder *et al.* (2018) y Pordomingo *et al.* (2012) indican que la alimentación energética y la genética de los individuos son los factores que permiten observar diferencias en el espesor de la grasa dorsal entre *Bos indicus* y *Bos taurus*, siendo por lo general mayor en el segundo. Por ejemplo, Pordomingo *et al.* (2012) midieron de 0,38 cm a 0,93 cm en hembras Angus alimentadas con diferentes niveles energéticos y Genther-Schroeder *et al.* (2018) midieron en promedio 1,4 cm en novillos Angus con inclusión de 62% de maíz en la dieta; ambos casos superiores a los resultados de este ensayo.

Para el caso de animales *B. indicus*, el sexo y alimentación son los factores que más generan variación entre ensayos; por ejemplo Rodríguez (2012) no identificó diferencias en el espesor graso de novillos y toros alimentados en pasturas de baja calidad, encontrando un promedio inferior al de este ensayo (0,23 cm vs. 0,42 cm); y Quesada (2019) midió 0,37 cm y 0,47 cm en novillos Brahman suplementados con dietas de 3,31 Mcal/kg y 3,44 Mcal/kg respectivamente. A partir de lo anterior surgen dos hipótesis, la primera es que en general las hembras presentan mayor grosor de grasa dorsal respecto a toros o novillos cuando las condiciones alimenticias son pobres o similares; y la segunda es que al comparar entre hembras alimentadas con menor nivel energético vs. machos alimentados con

mejores dietas, se pueden esperar igual o mayor engrasamiento en los últimos. Empero, más investigación debería hacerse al respecto para demostrar lo anterior.

La grasa de cobertura no puede obviarse en los atributos de calidad porque tiene efecto protector contra la temperatura (Cold shortening) e influencia el sabor, jugosidad y terneza del producto final (King *et al.* 2002; Motter *et al.* 2009; Arboitte *et al.* 2011; Costa *et al.* 2002 citados por do Carmo *et al.* 2017; USDA 2017; Arias 2018). Savell *et al.* (2005) indican que grasas con grosor por encima de 0,74 cm incrementan la palatabilidad de la carne. A pesar de la importancia de la grasa de cobertura, en Costa Rica no existen estudios que identifiquen una relación entre el GC y la terneza de la carne. Sin embargo, los resultados de fuerza de corte en este ensayo sugieren que una de las razones por las cuales se influenció la suavidad de la carne fue la poca cobertura grasa que presentaban las canales (sección [4.3.5.](#)). Determinar correlaciones entre variables medidas en planta de cosecha y laboratorio, podrían contribuir al sistema de clasificación de canales en Costa Rica.

Page y Schwotzer (2001) indican que la temperatura de la canal se asocia a la cobertura grasa que presente, incrementando conforme aumenta el engrasamiento y debido al efecto aislante que ofrece la grasa. En concordancia, el T2 y T3 presentaron mayor espesor graso ( $p > 0,05$ ) y mayor temperatura respecto al T1 ( $0,83^{\circ}\text{C}$  vs.  $1,37^{\circ}\text{C}$ ,  $p < 0,05$ ). Rodríguez (2012) indica que la temperatura de la canal no se afecta por la condición sexual del animal, siendo los valores normales de  $3,7^{\circ}\text{C}$  -  $4,4^{\circ}\text{C}$  a las 24 horas y  $2,5^{\circ}\text{C}$  a las 48 horas *post mortem*. Al contrario, Page y Schwotzer (2001), registraron que las canales de hembras ( $n=315$ ) presentan mayor temperatura ( $2,6^{\circ}\text{C}$ ) que los novillos ( $2,5^{\circ}\text{C}$ ,  $n=680$ ), atribuido a la mayor cobertura grasa presente en las hembras. En general, los resultados de este ensayo indican valores inferiores respecto a otros autores en Costa Rica (Quesada 2019; Quirós 2020; Salas y Rodríguez 2020), cuyas canales presentaron igual o menor engrasamiento que el presente. Quirós (2020) también encontró diferencias de temperatura entre sus tratamientos ( $2,2^{\circ}\text{C}$  vs.  $0,94^{\circ}\text{C}$ ) y alude los menores valores a la colocación de las canales bajo el ducto de ventilación en el cuarto frío. Otro factor que pudo provocar diferencias entre tratamientos es la descalibración

del equipo o la no estandarización del tiempo desde que se insertó el termómetro hasta que se leyó el resultado.

Grajales *et al.* (2007) señalan que el acortamiento de las fibras musculares por frío (sección [2.6.8.](#)) puede iniciar desde temperaturas inferiores a 10°C, aunque la intensidad en la contracción incrementa a medida que desciende la temperatura. Además, Savell *et al.* (2005) indican que si el músculo alcanza entre 0°C y 15°C antes del establecimiento del *rigor mortis*, la contracción muscular se maximiza. Una exposición prolongada entre 0°C y 2°C podría repercutir en la suavidad del producto final (Grajales *et al.* 2007); sin embargo, Quirós (2020) no encontró efecto entre temperaturas de 0,94°C sobre la terneza de la carne. En este ensayo tampoco se determinó relación entre la temperatura de la canal y la fuerza de corte; empero, como se expone en la sección [4.3.5.](#), la temperatura no fue el único ni principal factor que pudo influenciar la suavidad de la carne.

Respecto al color de la grasa de cobertura, conforme el animal envejece, los carotenoides (pigmentos en el forraje) se depositan en la grasa y otorgan una coloración típica del grado 3, entre amarillo claro e intenso (Arias 2018) (Anexo [5](#)). Sin embargo, al ser los animales de este ensayo jóvenes, el tiempo de alimentación con forraje (T2 - T3) no fue suficiente como para permitir la acumulación de carotenos y presentar grasas de grado 3 (Salas y Rodríguez 2020); los valores del T2 y T3 fueron ligeramente superiores respecto al T1 pero no lo suficiente como para ser estadísticamente distintos; así, el promedio del color en el ensayo fue 1,4, indicando grasas entre blanco y rosa. Las canales del presente ensayo se ubican en el grado más común del color de la grasa de cobertura en hembras destinadas a la producción de carne en Costa Rica (grado 1) (Figura [4](#)). Arias (2018) indica que los consumidores de carne de res encuestados prefieren carnes con coloración entre rosa pálido y blanco, preferencia satisfecha con los resultados obtenidos de los tres tratamientos.

Por otra parte, el pH muscular tampoco varió entre tratamientos, siendo el promedio 5,61, en concordancia al rango normal a las 48 horas *post mortem* indicado por Savell *et al.* (2005), Motter *et al.* (2009) y Strydom *et al.* (2016) que va

de 5,4 a 5,7. Rodríguez (2012) indica que el pH de la canal no se afecta por la condición sexual del animal, al encontrar un promedio de 5,6 en novillos y toros ( $p>0,05$ ). Por su parte, Strydom *et al.* (2016) observaron que el cruce puede influenciar el pH a las 48 horas *post mortem*, al observar mayor pH en las razas Brahman (5,5) y Simmental (5,6) respecto al cruce Simbra (5,3).

Otros autores no atribuyen a la alimentación o suplementación ofrecida, cambios en el pH muscular. Por ejemplo, Pordomingo *et al.* (2012) no diferenciaron entre animales engordados a pastoreo o con proporción variable de granos, siendo la media (5,5) muy similar a este ensayo. Por otro lado, do Carmo *et al.* (2017) no encontraron efecto de antioxidantes (Se, Zn y vitamina E) ofrecidos en el alimento sobre el pH de la carne a las 24 horas *post mortem* y registraron en promedio 6,3 a las 24 horas. Lo anterior puede ayudar a comprender por qué en este ensayo no se registraron diferencias entre tratamientos, a pesar de suplementar y alimentar con materias primas distintas. Por otro lado, la estimulación eléctrica (EE) aplicada a las canales no pareció influenciar el pH, ya que lo obtenido en este ensayo no difiere respecto a los estudios indicados, donde no se aplicó EE; a pesar de ello, los resultados de Mauri (2017) sugieren comparar el pH a las 24 y 48 horas *post mortem* con el objetivo de identificar si existe o no influencia en la velocidad a la que desciende el pH entre canales expuestas o no a EE.

El marmoleo del músculo LD obtuvo el mismo puntaje en todas las canales según la guía del USDA (Anexo 6), siendo la calificación otorgada “Ligero”, la más magra de la escala. Visualmente se percibió que el T1 presentó más grasa intramuscular que los demás tratamientos; sin embargo, no fue suficiente para encajar en la siguiente categoría, “Poco”; a su vez el T2 y T3 no pudieron clasificarse en una categoría inferior debido a que la escala no cuenta con una. Según el mercado al que se dirija el producto el marmoleo no es una característica que se considere necesaria para adquirir una pieza de carne; por ejemplo Brasil, cuya producción cárnica proviene en su mayoría de *B. indicus*, no utiliza el marmoleo para calificar la calidad de las canales (Larraín *et al.* 2018). En Costa Rica el consumidor considera que una pieza de carne de primera calidad presenta las

siguientes características en orden descendente: frescura, suavidad, buen color, jugosidad, higiene, sin grasa, sin pellejo y buen olor (CORFOGA 2017). El marmoleo no figura entre los conceptos indicados por los consumidores debido probablemente al desconocimiento del término (CORFOGA 2017) y aunque forma parte de los factores que influyen en la suavidad y jugosidad de la carne, no es el único ni el principal (secciones [4.3.4.](#) y [4.3.5.](#)), por lo que se considera que se puede prescindir de esta variable en la calificación de canales bovinas costarricenses. Aun así, en caso de utilizar al marmoleo como variable de calidad, debería proponerse una escala acorde a las condiciones típicas de las canales costarricenses, para evitar situaciones como la acontecida y explicada al inicio del párrafo.

Conforme el animal crece aparecen tres ondas de crecimiento (sección [2.4.1.](#)) que permiten distribuir los nutrientes para el desarrollo y crecimiento de diferentes tejidos y/o sistemas (UNNE 2014). Una vez satisfechas las demandas de los tejidos óseo y muscular en las primeras dos ondas, se destinan las reservas al tejido adiposo intramuscular y subcutáneo depositándose especialmente durante la etapa de engorde en los sistemas productivos. Tal como en esta investigación, es posible lograr el acabado del animal antes de que se dirija el 100% de los nutrientes al tejido graso y que haya alcanzado la madurez (Ramírez *et al.* 2009), lo que podría contribuir a que no se deposite el marmoleo y grasa de cobertura esperados, especialmente en *B. indicus*.

Para lograr mayor deposición grasa y aprovechar las cualidades que ofrece la carne de animales jóvenes, deben priorizarse la adecuada nutrición y utilizar razas predispuestas al desarrollo de tejido graso (UNNE 2014). Los esfuerzos para generar cambios en marmoleo dentro de una misma explotación deben ser considerables, tal como lo demostraron Ribeiro *et al.* (2019), quienes no encontraron diferencias en marmoleo entre carne de Angus alimentados con diferente proporción de destilado de maíz (Anexo [6](#)); o Pordomingo *et al.* (2012), quienes tampoco encontraron diferencias en el porcentaje de grasa intramuscular de hembras Angus engordadas a pastoreo o con distinta proporción de heno de alfalfa y grano.

### 4.2.3. Composición de la canal

A partir del análisis estadístico se determinó que el peso pie planta (PPP) tuvo efecto ( $p < 0,05$ ) sobre algunos componentes de la canal. Las variables influenciadas por dicha covariable fueron el porcentaje de la región central y BSCH; así como los kilogramos de los tejidos muscular y graso, el desperdicio y peso de la canal. Jorge *et al.* 2003 citado por Arguedas (2017) indican que la proporción de hueso puede variar según el peso del animal, siendo mayor conforme es más pesado; empero, en este ensayo no hubo inherencia del PPP sobre la proporción de tejido óseo ( $p > 0,05$ ). El Cuadro 14 indica la composición de la canal en porcentaje, donde las diferentes regiones fueron compuestas por los músculos del Anexo 7; a excepción del BSCH y desperdicio, ninguna variable de composición en porcentaje presentó diferencias entre tratamientos.

Cuadro 14. Composición de la canal (%) de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Variable	p-valor	Tratamiento (Media $\pm$ E.E.)		
		T1	T2	T3
Región delantera (%)	0,5243	17,05 $\pm$ 0,18	17,08 $\pm$ 0,30	16,74 $\pm$ 0,18
Región central (%)	0,9446	7,77 $\pm$ 0,09	7,81 $\pm$ 0,09	7,78 $\pm$ 0,14
Región trasera (%)	0,5927	26,01 $\pm$ 0,28	26,23 $\pm$ 0,36	26,48 $\pm$ 0,33
BSCH (%)	0,0297	27,12 $\pm$ 0,46 a	25,21 $\pm$ 0,62 b	26,33 $\pm$ 0,43 b
Tejido muscular (%)	0,0622	77,95 $\pm$ 0,33	76,34 $\pm$ 0,64	77,47 $\pm$ 0,41
Tejido óseo (%)	0,3061	19,47 $\pm$ 0,27	20,14 $\pm$ 0,31	19,62 $\pm$ 0,29
Tejido graso (%)	0,2440	0,81 $\pm$ 0,09	0,56 $\pm$ 0,10	0,65 $\pm$ 0,11
Desperdicio (%)	0,0028	1,93 $\pm$ 0,08 b	2,42 $\pm$ 0,13 a	2,50 $\pm$ 0,14 a

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC.

Respecto a los kilogramos de cortes (Anexo 8), estos fueron similares en los tres tratamientos; el único que presentó diferencias fue el pescuezo, siendo mayor en el T1 (4,5 kg) respecto a T2 y T3 (3,9 kg). Los kilogramos de las regiones delantera y central también fueron superiores en el T1 y semejantes entre T2 - T3, lo que propició la mayor cantidad de tejido muscular o carne vendible en el T1 (Anexo 8). En concordancia con el Cuadro 12, el peso total de las canales fue mayor en T1 respecto al T2 y T3 (Anexo 8); el PCF registrado por la romana (Cuadro 12) y el total de la canal sumado en el deshuese varió entre 0,45 kg y 1,6 kg para los

tres tratamientos. Además, el T1 produjo la mayor cantidad de recortes (BSCH) y la menor cantidad de tejido graso y desperdicio, lo que puede asociarse al cambio del personal de deshuese entre una cosecha y otra. En general el T2 y T3 se comportaron similar en la composición de la canal (Anexos [8-9](#)), resultados semejantes a lo observado en la etapa de engorde y rendimiento de canal (secciones [4.1.](#) y [4.2.1.](#)).

Por otro lado, era esperable que la mayoría de porcentajes de músculos y sección de la canal (Cuadro 14, Anexo [9](#)) siguieran las mismas proporciones entre tratamientos ya que al ser del mismo sexo, cada componente representa la misma proporción en las canales (CORFOGA 2012). La proporción de BSCH, desperdicio y pescuezo (Anexo [9](#)) fueron las únicas que variaron entre tratamientos; empero, dado que el T1 se deshuesó en tiempo diferente que el T2 y T3, se sugiere que el cambio de personal promovió deferencias en la metodología de deshuese al extraer el corte con poco valor comercial (pescuezo), los recortes (BSCH) y las secciones no aprovechables de la canal (desperdicio).

Rubio *et al.* (2013) indican que tanto el rendimiento pie/canal como el rendimiento canal/carne o porcentaje de tejido muscular, varían según el tipo de animal, la conformación de la canal y metodología de deshuese, aunque se puede esperar alrededor de 75% del peso de la canal en carne y 25% entre hueso y demás componentes. En Costa Rica, el rendimiento de carne vendible ronda 76,4% en machos y 74,2% - 74,6% en hembras (CORFOGA 2012; Pérez 2017; SEPSA 2019). Por su parte, CORFOGA (2012) indica que los novillos presentan el mejor rendimiento carnicero (76,6%), seguido por toros (76,2%) y hembras (74,4%). En este ensayo los tres tratamientos se mantuvieron por encima de los rendimientos indicados para hembras, con un promedio de 77,2%, compitiendo incluso contra toros y novillos.

Las diferencias en composición de la canal se han asociado a la edad de los animales (do Carmo *et al.* 2017). La grasa es el tejido con el desarrollo más tardío aunque se deposita sutilmente en todas las edades, por lo que pueden presentarse diferencias en el tejido graso conforme el animal envejece (do Carmo *et al.* 2017).

Rodríguez *et al.* (2018) señalan que las diferencias en cortes y cantidad de tejido muscular se explican debido al peso de la canal, más que por el genotipo o suplementación ofrecida sobre el total de carne vendible. Esa afirmación puede reforzarse con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde las canales más pesadas del T1 también generaron la mayor cantidad de carne (Anexo [8](#)).

Se ha supuesto que las diferencias en la proporción de la canal pueden atribuirse a la alimentación y/o suplementación ofrecida a los animales, presentando los más pesados, menor porcentaje de tejido óseo y mayor músculo (do Carmo *et al.* 2017). Pese a ello, do Carmo *et al.* (2017) no encontraron diferencias entre tejido óseo, grasa o porción comestible en canales de Nelore engordados con heno de *Brachiaria brizantha* y suplementados con diferentes antioxidantes (120 mg Zn/kg; 0,4 mg Se/kg y/o 50 000 UI vitamina E/kg). En concordancia, en el presente ensayo la suplementación con distinta cantidad de Zn, Se o vitamina E no generó diferencias entre el T2 y T3.

Comparin *et al.* 2013 citados por do Carmo *et al.* (2017) acotan que el uso de aditivos como vitamina E, Se o Zn se asocia con mejoras en la calidad de la carne sin influenciar las características de composición de la canal. En efecto, el apartado [4.3.](#) describirá diferencias en atributos de calidad de la carne entre tratamientos, algunas atribuidas a la suplementación ofrecida; y en concordancia, no se observó diferencias en la composición entre el T2 y T3, quienes tuvieron las mismas condiciones de alimentación con distinta suplementación mineral y vitamínica (Cuadro 14, Anexos [8](#) y [9](#)).

#### **4.3. Etapa de Análisis en laboratorio**

En las variables de pérdidas por goteo ([4.3.2.](#)), color del músculo ([4.3.3.](#)), pérdidas por cocción ([4.3.4.](#)) y fuerza de corte ([4.3.5.](#)) se observó, además de la interacción entre tratamiento y periodo de maduración, el efecto simple del periodo de maduración como promedio de los tres tratamientos, debido a que algunas de las variables indicadas se comportan con igual tendencia en el tiempo sin importar el efecto del tratamiento. No se observó el efecto simple de los tratamientos, al

representar este el promedio del total de días de maduración, mismo que generalmente no se utiliza en el área como punto de discusión.

#### 4.3.1. Composición grasa y Perfil lipídico

El Cuadro 15 muestra los resultados obtenidos en el análisis de composición lipídica de la carne. Se encontraron diferencias en todas las variables, excepto en el porcentaje de ácidos grasos *n*-6, *n*-9 y grasas trans. Además, en el Anexo 10 se desglosa el análisis de composición de ácidos grasos para los tres tratamientos, con los límites de confianza superior e inferior para cada uno.

Cuadro 15. Composición lipídica del músculo *Longissimus dorsi lumborum* de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Variable	p-valor	Tratamiento (Media ± E.E.)		
		T1	T2	T3
Grasa cruda (g/100g músculo)	0,0001	3,20 ± 0,38 a	1,04 ± 0,12 b	1,67 ± 0,43 b
Ácidos grasos saturados <sup>A</sup> (%)	0,0193	50,02 ± 0,81 b	54,64 ± 1,64 a	54,29 ± 1,23 a
Ácidos grasos insaturados <sup>B</sup> (%)	0,0176	49,82 ± 0,80 a	45,14 ± 1,63 b	45,57 ± 1,23 b
Ácidos grasos monoinsaturados <sup>C</sup> (%)	0,0059	47,72 ± 0,86 a	41,79 ± 1,75 b	42,38 ± 1,40 b
Ácidos grasos poliinsaturados <sup>D</sup> (%)	0,0134	2,10 ± 0,27 b	3,34 ± 0,34 a	3,19 ± 0,30 a
<i>n</i> -3 (%)	<0,0001	0,22 ± 0,02 c	0,40 ± 0,03 b	0,55 ± 0,03 a
<i>n</i> -6 (%)	0,0516	1,84 ± 0,26	2,84 ± 0,34	2,62 ± 0,27
<i>n</i> -9 (%)	0,7176	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02
Insaturados/Saturados (UFA/SFA)	0,0187	1,00 ± 0,03 a	0,83 ± 0,05 b	0,84 ± 0,04 b
Poliinsaturados/Saturados (PUFA/SFA)	0,0387	0,042 ± 0,005b	0,061 ± 0,005a	0,058 ± 0,005a
Grasas Trans (%)	0,1518	0,14 ± 0,02	0,20 ± 0,03	0,12 ± 0,01

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC. A: SFA, B:UFA, C:MUFA, D: PUFA

Los SFA en su mayoría no son deseables en la dieta al ser factor de riesgo por su efecto hipercolesterolémico y relación con enfermedades cardiovasculares (Costa *et al.* 2006; Monge y Campos 2006). Existen SFA con potencial para causar aterosclerosis y trombosis como el ácido mirístico, palmítico y láurico; están otros con menor efecto atero- y trombogénico pero que a su vez minimizan el nivel de colesterol HDL o “bueno” y causan alteraciones metabólicas que trascienden a hipercolesterolemia, entre ellos, el ácido esteárico (Costa *et al.* 2006; Monge y

Campos 2006; Montero-Lagunes *et al.* 2010). En los resultados obtenidos hubo mayor ácido palmítico en T2 y T3, no se encontraron diferencias en el mirístico ni el esteárico y el T2 presentó mayor proporción de ácido láurico (Anexo [10](#)); en general el T1 se identificó como el tratamiento con menos SFA (Cuadro 15).

Los SFA de cadena corta (de 3 - 7 átomos de carbono (C)) y los de cadena media (8 - 13C) se encuentran principalmente en leche y aceites de palma o coco (Monge y Campos 2006; Nimal y Galli 2009), lo que explica su baja frecuencia en relación con los demás ácidos grasos en el Anexo [10](#). En los SFA de cadena larga (14 - 20C) destacan el palmítico y el esteárico; en este ensayo el palmítico fue el segundo ácido graso encontrado en mayor proporción con valores de 27,8% (T1) y 30,6% (T2 - T3), seguido por el esteárico con un promedio de 17,7% y el mirístico con promedio de 3,5% (Anexo [10](#)), orden concordante a Costa *et al.* (2006) y Nimal y Galli (2009) para carne de res. Los SFA de cadena muy larga (> 21C) también se encuentran en diversas fuentes pero su proporción en carne de res es  $\leq 0,1\%$  (Nimal y Galli 2009), tal como se observó en las proporciones de los ácidos Heneicosanoico, Behénico y Tricosanoico y Lignocérico en el Anexo [10](#).

En carne de res generalmente los MUFA se mantienen en rangos de 29,4% a 51% y no superan a los SFA, como se refleja en el Cuadro 15 (Domaradzki *et al.* 2017). Según Costa *et al.* (2006) y en concordancia con el Anexo [10](#), los MUFA más abundantes corresponden al oleico y palmitoleico. El ácido oleico (C18:1 *n*-9) es el más ampliamente distribuido de todos los ácidos grasos (Nimal y Galli 2009; Quirós 2020); en este ensayo el ácido oleico se encontró en mayor proporción para los tres tratamientos, siendo más abundante en el T1 (Anexo [10](#)); el ácido oleico tiene efecto hipocolesterolémico, es decir, reduce el nivel de colesterol LDL sin afectar los niveles de HDL, efecto deseable en la salud humana (Rule *et al.* 2002). Los MUFA con más de 22C son raramente encontrados en alimentos de ingesta humana y, de aparecer, su cantidad es relativamente poca, tal como se ilustra en el Anexo [10](#) (Nimal y Galli 2009).

Respecto a los PUFA, estos son quizás los que más beneficios aportan a la salud humana y por lo tanto son deseables en los alimentos. Los PUFA más

importantes en nutrición y salud humana son las familias del ácido linoleico (C18:2 *n*-6) y  $\alpha$ -linolenico (C18:3 *n*-6) (Nimal y Galli 2009). Los PUFA son esenciales en la dieta porque el humano no puede sintetizarlos, su ingesta es indispensable al ser esenciales en el desarrollo del cerebro, glóbulos rojos y piel. El ácido linoleico es precursor de otros benéficos para la salud y conjugados del ácido linoleico ("CLA", por sus siglas en inglés) (French *et al.* 2000); se ha demostrado que los CLA tienen propiedad anticancerígena e incrementan mediante el pastoreo, ya que el pasto verde es fuente importante de PUFA cuando se utiliza en la alimentación animal (Rule *et al.* 2002); esta afirmación puede comprobarse al observar los resultados de PUFA en el Cuadro 15, donde los tratamientos de pastoreo presentaron mayor proporción que el estabulado ( $p=0,0134$ ).

Los valores de PUFA fueron menores al rango de 5,4% - 30,8% propuesto por Domaradzki *et al.* (2017) y superiores a lo encontrado por Quirós (2020) en carne de ternero (1,3%). Quirós (2020) indica que la carne de ternero difiere a la de adultos o jóvenes principalmente en la cantidad de UFA, debido a que la leche evita el desarrollo completo del rumen y una actividad microbiana completa, lo que reduce la tasa de biohidrogenación de los UFA. Lo anterior infiere directamente en las relaciones UFA/SFA y PUFA/SFA, siendo estas menores en lactantes respecto a animales destetados; en concordancia con lo anterior este ensayo presentó relaciones UFA/SFA de 0,84 y 1, superiores al 0,66 encontrado por Quirós (2020) y al 0,1 reportado por Domaradzki *et al.* (2017). Quirós (2020) alude que la ausencia del ácido araquidónico en terneros provocó en su ensayo la menor proporción de PUFA y consecuentemente la menor relación UFA/SFA y PUFA/SFA (0,02) debido a que dicho ácido, aunado al linoleico, conforman más del 55% de los PUFA.

En general, los rumiantes producen mayor cantidad de SFA respecto a PUFA y por tanto, una menor relación PUFA/SFA que los monogástricos debido a la hidrogenación de los UFA en el rumen indicada anteriormente (French *et al.* 2000). La relación PUFA/SFA correspondió con lo hallado por French *et al.* (2000), quienes encontraron mayor relación en animales engordados a pastoreo respecto a aquellos suplementados con diferente proporción de concentrado; aluden que una menor

relación PUFA/SFA corresponde al mayor grosor de grasa dorsal frecuente en animales estabulados; sin embargo, en la presente no se observaron diferencias entre tratamientos respecto al grosor de grasa (Cuadro 12). Ribeiro *et al.* (2019) indican que la mayor concentración de PUFA y específicamente de ácido linoleico, pueden incrementar la liberación temprana de  $Ca^{2+}$  *post mortem* en el sarcoplasma, lo que resulta en carnes más suaves. Correspondientemente, el T2 y T3 presentaron mayor proporción de PUFA (Cuadro 15) y ácido linoleico respecto al T1 (Anexo [10](#)) y, especialmente el T3 mostró una menor fuerza de corte conforme avanzó la maduración (sección [4.3.5.](#)).

La composición grasa y el perfil lipídico de la carne varían por factores intrínsecos y/o extrínsecos al animal como sexo, raza, edad, duración de la lactancia, peso al sacrificio y dieta, siendo esta última la más influyente (De Smet *et al.* 2004; Costa *et al.* 2006; Aldai *et al.* 2012; Pestana *et al.* 2012; Inostroza 2018). De acuerdo con diferentes autores, a pesar de encontrarse en mayor o menor cantidad, el orden de los ácidos grasos predominantes es por lo general el mismo en bovinos (oleico, palmítico y esteárico) y son los diferentes factores quienes intervienen en su cantidad (Rule *et al.* 2002; Costa *et al.* 2006; Montero-Lagunes *et al.* 2010; Quirós 2020). Por ejemplo, Rule *et al.* (2002) evaluaron el efecto de la edad entre novillos (18 meses) contra vacas (cuatro a siete años) alimentados con maíz y forraje respectivamente y determinaron que el orden de los ácidos grasos no varía entre ambos grupos, siendo el oleico el más abundante (40,4%), seguido por el palmítico (25,8%) y esteárico (13,5%); esto en concordancia con Quirós (2020) para carne de animales sacrificados entre seis y ocho meses de edad, y este estudio, con animales menores a 24 meses.

Respecto a la alimentación, Costa *et al.* (2006) encontraron valores de 2,7 g de grasa/100g de músculo en el LD de terneras raza Barrosã (*B. taurus*). Además de la edad de cosecha, la principal diferencia entre dicho estudio y el presente correspondió a la alimentación; la dieta ofrecida por Costa *et al.* (2006), al incluir leche materna combinada con pastoreo, probablemente fue superior energéticamente a la del T2 y T3 e inferior a la del T1 gracias al aporte de melaza,

maíz y su destilado, lo cual repercutió en la cantidad de grasa intramuscular (Costa *et al.* 2006). Domaradzki *et al.* (2017) aseveran que las dietas altamente energéticas típicas de sistemas estabulados contribuyen a la acumulación total de grasa intramuscular (Domaradzki *et al.* 2017), tal como se observó en el Cuadro 15.

Aunado a lo anterior, el cambio energético debe ser importante para observar diferencias, tal como lo demostró Quesada (2019) al evaluar novillos de encaste Brahman engordados en pastoreo con dos tipos de suplementación; el autor no encontró diferencias en el perfil de ácidos grasos entre animales suplementados con 3,44 Mcal/kg vs. 3,31 Mcal/kg. A su vez, Leat 1978 citado por French *et al.* (2000) indica que a medida que engrase una res se depositará más MUFA; en concordancia en este ensayo los MUFA fueron encontrados en mayor proporción en el T1, sugiriendo un aporte energético importante respecto al T2 y T3.

Montero-Lagunes *et al.* (2010) también concluyeron que el perfil de ácidos grasos difiere según la alimentación. Los autores evaluaron un grupo finalizado en pasturas de estrella africana (*Cynodon plectostachyus* (K. Schum) Plig.) y otro en corral al cual se ofreció una dieta de 65% maíz, 10% de pasta de soya, 20% de heno, 4% sebo y 1% de urea y minerales. En general, los toretes en pastoreo presentaron más ácido mirístico y palmítico y menos esteárico que los de estabulado (Montero-Lagunes *et al.* 2010); en este ensayo el palmítico concuerda con los resultados de Montero-Lagunes *et al.* (2010), aunque el mirístico únicamente presentó diferencias numéricas y el esteárico fue similar en todos los tratamientos. Montero-Lagunes *et al.* (2010) indican que el pasto estrella africana aporta gran cantidad de ácido palmítico y  $\alpha$ -linolénico, lo que pudo favorecer la mayor proporción de ambos en el T2 y T3 del presente ensayo (Anexo [10](#)).

Respecto al encaste, Montero-Lagunes *et al.* (2006) no hallaron diferencias en el total de SFA, MUFA, PUFA o PUFA/SFA entre grupos con mayor ascendencia *B. taurus* o *B. indicus*, únicamente en algunos SFA (mirístico, palmítico y esteárico), ácido linolénico, linoleico y CLA. Por otro lado, Costa *et al.* (2006) indican que el sexo de los animales al menos en la raza Barrosã (*B. taurus*) engordada a pastoreo, también influye en la proporción de ácidos grasos, no así en el contenido de CLA.

En general las hembras presentan menos SFA (46,1% vs. 47,4%) y más MUFA (48,3% vs. 47,1%) que los machos. Los resultados de este ensayo fueron superiores para SFA e inferiores para MUFA (Cuadro 15) respecto al de Costa *et al.* (2006). Un ensayo como el de Montero-Lagunes *et al.* (2010) entre hembras de diferentes razas podría concluir si efectivamente el nivel de *B. indicus* influye en el perfil lipídico.

Otras variables evaluadas en la composición lipídica son las grasas trans, las cuales son aceites ricos en ácido  $\alpha$ -linolénico y ácido linoleico que debido a su susceptibilidad a ser oxigenados, se hidrogenan y pasan de UFA a ácidos grasos trans. A pesar de que los tratamientos T2 y T3 presentaron mayor proporción de ácidos  $\alpha$ -linolénico y linoleico (Anexo 10), el análisis estadístico no determinó diferencias entre tratamientos para grasas trans (Cuadro 15). Funcionalmente estas semejan a los SFA, se asocian a enfermedades cardiovasculares, disminución de colesterol HDL e incremento de triglicéridos y colesterol LDL. La media de esta variable en el presente ensayo correspondió a 0,15%, dato inferior al 0,27% indicado para lomo de res en la tabla de composición de alimentos de Costa Rica (Monge y Campos 2006).

Fuentes como la vitamina E y específicamente su forma  $\alpha$ -Tocoferol, actúan como antioxidantes en el organismo. El  $\alpha$ -Tocoferol protege de la peroxidación especialmente a los PUFA de las membranas celulares, previniendo así el deterioro en sabor, color y composición nutricional del producto durante la maduración o almacenamiento (Costa *et al.* 2006; Nimal y Galli 2009; Muíño *et al.* 2012). Aunado a la ingesta de forraje, al suplementar con vitamina E en su forma  $\alpha$ -Tocoferol el T2 y T3 tenían ventaja sobre el T1 de presentar mayor proporción de PUFA (Costa *et al.* 2006; Montero-Lagunes *et al.* 2010). Específicamente el suplemento del T3, con más de 7000 mg de vitamina E/kg (Anexo 1), pudo favorecer a la mayor concentración de PUFA *n*-3 respecto a los demás tratamientos (Cuadro 15). Lo anterior se respalda en la teoría de Muíño *et al.* (2012) y do Carmo *et al.* (2017), quienes encontraron diferencias entre tratamientos para esta variable debido a los antioxidantes ofrecidos en la dieta.

Si bien para minimizar los niveles de colesterol en sangre se recomienda el

consumo de mayor MUFA y PUFA y especialmente de *n*-3, así como la reducción de SFA, diversos autores priorizan la disminución de grasa total (Costa *et al.* 2006).

A partir de los resultados discutidos en este apartado se resume que si bien el T1 tuvo menor proporción de ácidos perjudiciales del grupo SFA y más MUFA, presentó mayor cantidad de grasa cruda que los tratamientos de pastoreo; a su vez, el T2 y T3 presentaron mayor contenido de PUFA y ácido linoleico, lo que infiere un mayor beneficio a la salud al consumir la carne de animales engordados bajo las características del T2 y T3, y entre ambos, preferiblemente del T3 debido a su mayor aporte de PUFA *n*-3.

#### 4.3.2. Pérdidas por goteo

La jugosidad de la carne es de las características más apetecidas por el consumidor costarricense (CORFOGA 2017) por lo que es importante estudiar las pérdidas de humedad en procesos como la maduración del producto. El Cuadro 16 indica los resultados de Pérdidas por Goteo (PG) que hubo durante los periodos de maduración evaluados. El análisis estadístico no mostró interacción significativa entre tratamientos y el periodo de maduración ( $p=0,9454$ ), aunque sí determinó que los dos periodos de maduración como promedio de los tres tratamientos, influyeron en la PG del producto ( $p=0,0144$ ), siendo esta mayor conforme transcurre el tiempo y en concordancia con el rango de 1% a 3% sugerido por Huff-Lonergan y Lonergan (2005).

Cuadro 16. Evaluación de las pérdidas por goteo (%) del músculo *Longissimus dorsi lumborum* madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Tratamiento	p-valor	Días de maduración (Media (%) ± E.E.)	
		14	28
T1		2,22 ± 0,21	2,97 ± 0,42
T2	0,9454	2,05 ± 0,29	2,68 ± 0,20
T3		3,03 ± 0,21	3,58 ± 0,39
<b>Días de maduración (Media ± E.E.)</b>	0,0144	2,42 ± 0,15 b	3,07 ± 0,21 a

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ), según la prueba DGC.

Pérez (2019) investigó el efecto de la maduración en húmedo sobre diferentes músculos de toretes Brangus e identificó en todos la misma tendencia de este estudio, conforme la carne madura incrementa su PG, aunque los valores cambian dependiendo del músculo. Específicamente en el músculo LD Pérez (2019) encontró valores desde 0% a los dos días *post mortem*, hasta 1,1% a los 14 días, resultado inferior al 2,4% de este ensayo. Rodríguez (2012) también encontró la tendencia al incremento de PG conforme avanza el periodo de maduración en distintos músculos.

Rodríguez (2012) evaluó machos Brahman, Charolais y su cruce F1 no encontrando diferencias para esta variable entre genotipos; el músculo LD presentó mayor PG a los 28 días de maduración (6,6%) que a los 2 (1,6%), 7 (3,1%) y 14 días (4,4%), más del doble que lo indicado en el Cuadro 17. Al descartar la raza como influyente en los resultados de PG (Strydom *et al.* 2016) y la poca diferencia en edad entre los animales de Rodríguez (2012) y los de este ensayo ( $\leq 24$  vs. 26 meses), se podría sugerir que la estimulación eléctrica (EE) aplicada a los animales del presente contribuyó a la menor PG respecto al estudio de Rodríguez (2012) (Mauri 2017).

Por otro lado, los resultados de Strydom *et al.* (2016) para novillos de pastoreo también corresponden a la tendencia observada en este estudio. Los autores observaron que la mayor tasa de pérdida ocurre entre los dos y nueve días *post mortem*; Strydom *et al.* (2016) midieron en promedio 3,7% de PG a los 16 días de maduración y a los 30 días 4,4%; ambas superiores a los 14 y 28 días registrados en este ensayo (2,4% - 3,1%); cabe destacar que Strydom *et al.* (2016) no aplicaron EE. La tendencia al incremento de PG conforme avanza la maduración observada en este y los estudios de Rodríguez (2012), Strydom *et al.* (2016) y Pérez (2019) se debe a que al madurarse la carne ocurre un proceso gradual de degradación de proteínas musculares, que a su vez genera la suavidad del producto; al degradarse las proteínas que cumplen función estructural en las células (como la desmina) se libera el agua contenida en su estructura, lo que incrementa la PG a medida que transcurre la maduración (Strydom *et al.* 2016).

La Figura 13 sintetiza los resultados del Cuadro 16, las letras indican las diferencias respecto al periodo de maduración. Aunque se aprecian valores superiores en el T3, estos no fueron suficientes para marcar diferencias estadísticas entre tratamientos. Quirós (2020) indica que a mayor grasa intramuscular se puede promover una menor PG; teoría que podría relacionarse con los valores superiores de grasa cruda del T1 (Cuadro 15).

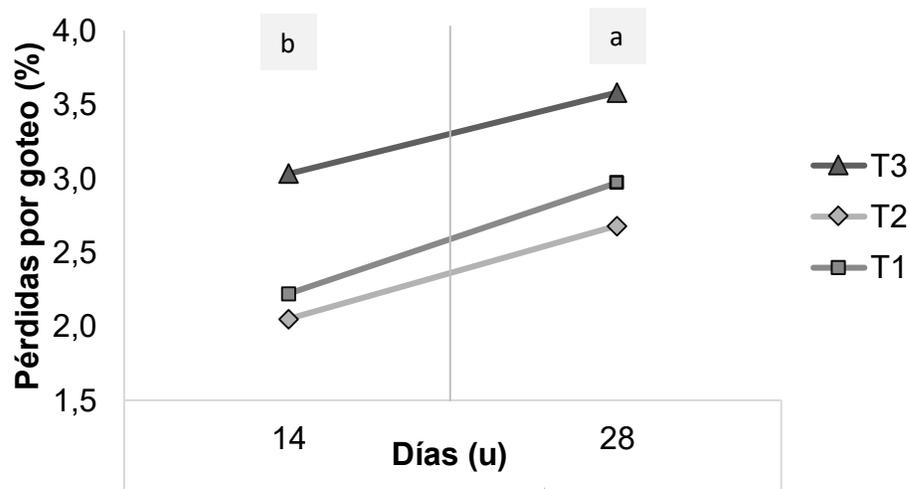


Figura 13. Evaluación de pérdidas por goteo según tratamientos y periodos de maduración en húmedo del músculo *Longissimus dorsi lumborum* obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. Letras diferentes indican diferencias entre días de maduración ( $p=0,0144$ ).

González *et al.* (2019) encontraron que el suministro de vitamina E (1320 UI/animal/día) disminuye las PG al fungir como antioxidante en la membrana celular, permitiendo que las células mantengan su contenido sarcoplasmático durante el periodo de maduración. A pesar de ello, en el Cuadro 16 no se observó interacción entre tratamientos y el periodo de maduración ( $p=0,9454$ ), por lo que no hubo diferencia entre tratamientos cuya suplementación varió en cantidad de vitamina E; lo anterior sugiere que no fue suficiente el cambio en los niveles de vitamina E suministrados como para encontrar diferencias al menos en esta variable; sin embargo los niveles ofrecidos también pudieron contribuir a obtener valores de PG

menores que los estudios citados anteriormente. Por otro lado, González *et al.* (2019) indican que variaciones de 0,12 en pH pueden afectar la retención y pérdida de agua. Empero, en este ensayo el pH únicamente varió 0,07 puntos entre el tratamiento más alto y el más bajo (Cuadro 14); al no observarse interacción entre el tratamiento y el periodo de maduración en la variable PG (Cuadro 16) también se descarta el efecto que tuviese el pH sobre esta.

#### **4.3.3. Color del músculo ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ )**

El consumidor costarricense utiliza el color como requisito para adquirir una pieza de carne (CORFOGA 2017) y por lo tanto medir esta variable es importante. Cabe destacar que a pesar de la evidencia del efecto de la estimulación eléctrica (EE) en el color de la carne, su efecto es en la rapidez a la que se alcanza el estado de oximioglobina una vez expuesta la carne al oxígeno; es decir, la velocidad a la que se alcanza ese color rojo vivo atractivo al consumidor (Adeyemi y Sazili 2014). A partir de lo anterior, se omite el efecto que pudo causar la EE aplicada a las reses de este ensayo sobre el color de la carne, debido a que todos los tratamientos se expusieron a la misma intensidad y duración en la cosecha.

Torrescano *et al.* (2010) señalan que la luminosidad o brillo ( $L^*$ ) es el mejor parámetro de color para comprobar la existencia de carnes DFD, considerándose normales con valores  $\geq 33$ , tal como lo obtenido para este ensayo en todas las mediciones (Cuadro 17). Pordomingo *et al.* (2012) indican que no encontrar diferencias significativas de  $L^*$  entre tratamientos puede relacionarse con la no diferenciación entre pH's observada en el Cuadro 13 (relación detallada en la sección [2.6.5.](#)). Además de lo anterior, la interacción tratamientos  $\times$  días de maduración no fue significativa ( $p=0,9947$ ) y hubo diferencia entre días como el promedio de los tres tratamientos ( $p=0,0001$ ); es decir, el cambio de  $L^*$  en el tiempo siguió la misma tendencia en todos los tratamientos, siendo superior a los 14 y 28 días respecto al día 2 de maduración e implicando carnes más claras. La tendencia al incremento de  $L^*$  concuerda con los resultados de Mauri (2017), González *et al.* (2019), Quirós (2020) y otros autores cuyos estudios se comparan a continuación.

Muño *et al.* (2012) indican que el aumento de L\* se relaciona con la degradación de la mioglobina a medida que transcurre la maduración.

Cuadro 17. Evaluación del espectro de color L\* del músculo *Longissimus dorsi lumborum* madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Tratamiento	p-valor	Días de maduración (Media ± E.E.)		
		2	14	28
T1	0,9947	38,88 ± 1,21	42,30 ± 0,94	42,53 ± 0,99
T2		39,11 ± 0,41	42,18 ± 0,60	42,25 ± 0,52
T3		40,57 ± 0,93	43,34 ± 1,12	43,44 ± 1,07
<b>Días de maduración (Media ± E.E.)</b>	0,0001	39,47 ± 0,56 b	42,58 ± 0,52 a	42,72 ± 0,51 a

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC.  
L\* = 0 indica carne oscura, L\* = 100 indica carne clara.

En la variable L\* se observaron promedios superiores al día 14 respecto a lo indicado por Pérez (2019) en carne de Brangus (42,5 vs. 40,8), indicando carnes más claras. Según Pérez (2019) la inclusión de *B. taurus* en su ensayo fue la principal razón para encontrar menor L\*, ya que diversos autores que evaluaron *B. indicus* determinaron L\* entre 42 y 45 en el mismo periodo de maduración (Latorre *et al.* 2017 y Salas 2019 citados por Pérez 2019), valores semejantes a los del Cuadro 17. Alves 2007 citado por Quirós (2020) comparte que la raza influencia la luminosidad de la carne, ya que encontró valores de 41,1 en *B. indicus* y 39,2 en el cruce con *B. taurus* a las 24 horas *post mortem*.

La edad de cosecha es otro factor que puede influenciar el color de la carne debido al aumento en la concentración de mioglobina conforme el animal envejece (Page y Schwotzer 2001; USDA 2013). Por ejemplo, al día dos de maduración los resultados de L\* en este ensayo indican carnes más oscuras que lo encontrado por Quirós (2020) en carnes de animales entre seis y ocho meses de edad (39,4 vs. 44,7); y también más oscuras que lo reportado por Salas y Rodríguez (2020) a los 14 días de maduración en machos de 14,5 meses de edad (42,5 vs. 45,8). A la vez, se registraron carnes más claras (42,5) que lo reportado por Pérez (2019) a los 14 días de maduración (40,8) en carne de animales mayores a los de este ensayo (28 a 32 meses). A pesar de las diferencias estadísticas o numéricas, se recomienda

realizar una guía fotográfica indicando valores de L\*, a\* y b\* para establecer cuánto cambio es necesario para observar diferencias como consumidor.

Por otro lado, Muíño *et al.* (2012) evaluaron el color de carne empacada en bolsas con alta proporción de oxígeno (70%); observaron que a\* incrementó entre el día cero y seis debido a la oxigenación de la carne; y que al día doce decreció, indicando la disminución del color rojo vivo y la aparición de color marrón hasta valores detectables por el ser humano. Ese cambio de color tiene sentido debido al aumento de metamioglobina en la carne al exponerse al oxígeno del empaque (USDA 2013; Mauri 2017; González *et al.* 2019; Quirós 2020) (sección [2.6.10.](#)). Si el cambio de tono se detecta a simple vista, la carne se vuelve desagradable para el consumidor debido al color marrón adquirido (Muíño *et al.* 2012).

En este ensayo, a\* mostró diferencias entre días como promedio de los tres tratamientos ( $p=0,0001$ ), sugiriendo el incremento del tono rojo conforme transcurrió la maduración; además fue inferior al día dos respecto a los demás, alcanzando un máximo numérico al día 14 y ligeramente inferior al día 28 (Cuadro 18). Estos resultados pueden deberse a la capacidad impermeable de las bolsas utilizadas; el incremento entre el día dos y 14 pudo deberse a que el oxígeno se filtró tal como en el estudio de Muíño *et al.* (2012), provocando el mismo efecto observado por ellos pero en menor proporción; las diferencias numéricas entre los días 14 y 28 pudieron deberse al cambio paulatino hacia metamioglobina que iba sufriendo la carne (Muíño *et al.* 2012).

Muíño *et al.* (2012) observaron que la carne de animales suplementados con vitamina E se diferenció del grupo control en la variable a\* hacia el día 12 de maduración en presencia de oxígeno, sugiriendo el efecto protector del antioxidante aún en condiciones de oxigenación prolongada. Este ensayo, no mostró interacción entre el tratamiento y el periodo de maduración ( $p=0,2981$ ) a pesar de ofrecerse suplementación con distinta cantidad de vitamina E (Anexo [1](#)), por lo que se induce que los niveles del antioxidante no fueron suficientemente distintos como para establecer diferencias entre tratamientos para la variable a\*. Aun así, do Carmo *et al.* (2017) y González *et al.* (2019) no encontraron efecto de diferente dosis de

antioxidantes en la dieta sobre las variables L\*, a\* o b\*. Por otro lado, en este ensayo se presentó mayor nivel de a\* 28 días *post mortem* comparado a Pérez (2019) en carne de Brangus (15,3 vs. 14,4). En este caso el sexo (Salas y Rodríguez 2020), edad o cruce no propició más color rojo en los resultados de Pérez (2019) a pesar de utilizar animales mayores a los de este ensayo. Una hipótesis que puede explicar el resultado de a\* en este ensayo respecto al de Pérez (2019) es que el promedio de la cantidad de vitamina E ofrecida en el presente si generó el efecto protector descrito por Muíño *et al.* (2012); sin embargo, para comprobar esa conclusión mayor investigación debería hacerse al respecto.

Cuadro 18. Evaluación del espectro de color a\* del músculo *Longissimus dorsi lumborum* madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Tratamiento	p-valor	Días de maduración (Media ± E.E.)		
		2	14	28
T1	0,2981	14,05 ± 0,28	15,56 ± 0,30	13,65 ± 0,49
T2		14,63 ± 0,22	16,43 ± 0,43	15,54 ± 0,43
T3		15,53 ± 0,31	15,53 ± 0,31	15,81 ± 0,43
<b>Días de maduración (Media ± E.E.)</b>	0,0001	14, 84 ± 0,20 b	15,83 ± 0,21 a	15,27 ± 0,27 a

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC.  
a\* positivo = indica carne más roja, a\* negativo = indica carne más verde.

Además de lo anterior, Salas y Rodríguez (2020) al no encontrar diferencias entre toretes y novillos cosechados de la misma edad, concluyeron que la condición sexual no afecta significativamente a las variables a\* y b\*. El Cuadro 19 muestra que la interacción tratamientos × días de maduración no fue significativa ( $p = 0,0994$ ) y hubo diferencia entre días como el promedio de los tres tratamientos ( $p < 0,0001$ ); es decir, el cambio de b\* en el tiempo siguió la misma tendencia en todos los tratamientos, siendo este superior a los 14 y 28 días respecto al día 2 de maduración e implicando carnes más amarillas; contrario a Pérez (2019) y Quirós (2020), quienes no identificaron cambios de b\* en el tiempo. Quirós (2020) concluyó a partir de diversos autores que el componente b\* por lo general no presenta diferencias entre tratamientos, que es el menos cambiante de las tres variables de color y que se asocia a la deposición de carotenoides en la grasa del animal, pigmentos de

tonos amarillo-naranja típicos en los forrajes. A pesar de no apreciar diferencias estadísticas entre tratamientos, en este ensayo se observó una leve tendencia en los tratamientos de pastoreo a presentar tonalidades más amarillas (mayor b\*) respecto al T1. Finalmente, la Figura 14 sintetiza los resultados obtenidos en los Cuadros 17, 18 y 19; letras en cuadros del mismo color representan diferencias entre periodos de maduración para cada variable.

Cuadro 19. Evaluación del espectro de color b\* del músculo *Longissimus dorsi lumborum* madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Tratamiento	p-valor	Días de maduración (Media ± E.E.)		
		2	14	28
T1	0,0994	12,68 ± 0,32	14,89 ± 0,34	13,65 ± 0,49
T2		12,81 ± 0,19	15,42 ± 0,34	15,54 ± 0,43
T3		13,86 ± 0,23	15,61 ± 0,35	15,81 ± 0,43
<b>Días de maduración (Media ± E.E.)</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>13,08 ± 0,18 b</b>	<b>15,27 ± 0,20 a</b>	<b>14,90 ± 0,32 a</b>

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC. b\* positivo = indica carnes más amarillas, b\* negativo = indica carne más azul.

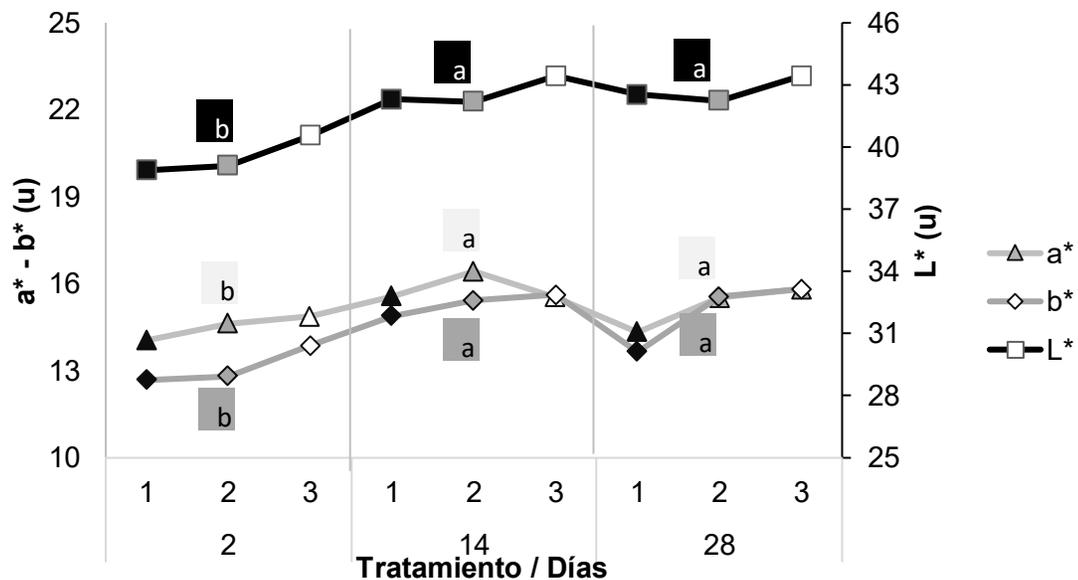


Figura 14. Evaluación de los parámetros de color L\*, a\* y b\* según tratamientos y periodos de maduración en húmedo del músculo *Longissimus dorsi lumborum* obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. Letras diferentes en la misma variable indican diferencias entre días de maduración ( $p < 0,05$ ), según la prueba DGC.

#### 4.3.4. Pérdidas por cocción

La humedad retenida en la carne es la mayor contribuidora a la sensación de jugosidad del producto (Jacobs *et al.* 1977b citados por Rodríguez 2012). A su vez, la jugosidad de la carne es una de las características más apetecidas por el consumidor costarricense (Epley 1992 citado por Chacón 2004; CORFOGA 2017), por lo que es importante estudiar las pérdidas de humedad en procesos como la cocción del producto. El Cuadro 21 detalla los resultados de pérdidas por cocción (PC) que hubo en los distintos periodos de maduración. Se encontró interacción entre tratamiento y periodo de maduración ( $p < 0,0001$ ) indicando efecto del tratamiento sobre las PC y reflejándose especialmente en los valores superiores del T2 e inferiores del T1 (Figura 15). En esta variable el comportamiento de los tres tratamientos fue variable, en general el T2 y T3 tendieron a decrecer conforme avanzó el periodo de maduración, a excepción del T1 que incrementó (Figura 15). Contrario a las variables de PG y color, la PC no mostró diferencias estadísticas conforme avanzó el periodo de maduración ( $p = 0,1293$ ).

Existen diferentes opiniones sobre los factores que influyen los resultados y el comportamiento de esta variable. Estudios como el de Jama *et al.* (2008) no identifican correlación entre los componentes de pérdidas de humedad (por descongelamiento, goteo, cocción o evaporación); lo que explicaría la independencia entre tendencias respecto a las PG (sección [4.3.2.](#)) y el comportamiento de la Figura 15. Además, do Carmo *et al.* (2017) no encontraron diferencias en esta variable entre carne de animales suplementados con diferentes antioxidantes. La cantidad de líquido perdido durante la cocción varía entre estudios debido a la grasa de cobertura, pH, marmoleo, tipo de corte, tiempo de maduración, temperatura, método y tiempo de cocción (Rodríguez 2012; Bruce *et al.* 2004 y Lambertz *et al.* 2014 citados por Arguedas 2017; Pérez 2019); por ejemplo, entre mayor sea el contenido de grasa intramuscular se reduce la PC (Dikeman 1996; Chacón 2004). Un factor que pudo influenciar significativamente el menor resultado del T1 a los dos días de maduración fue la grasa de cobertura, debido a que a dichas muestras no se les retiró previo a ser cocinadas, como sí se hizo para los demás

periodos de maduración y tratamientos. A su vez, retirar la grasa de cobertura pudo influenciar el obtener valores muy superiores de PC que los estudios citados a continuación.

Cuadro 20. Evaluación de pérdidas por cocción (%) del músculo *Longissimus dorsi lumborum* madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Tratamiento	p-valor	Días de maduración (Media (%) ± E.E.)		
		2	14	28
T1	<0,0001	26,50 ± 1,46 c	28,39 ± 1,25 c	31,55 ± 1,14 b
T2		37,95 ± 2,17 a	34,75 ± 0,95 a	29,92 ± 0,83 b
T3		30,90 ± 0,81 b	32,59 ± 0,98 b	27,18 ± 0,80 c
<b>Días de maduración (Media ± E.E.)</b>	0,1293	31,38 ± 1,29	31,64 ± 0,82	29,70 ± 0,65

Medias con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC.

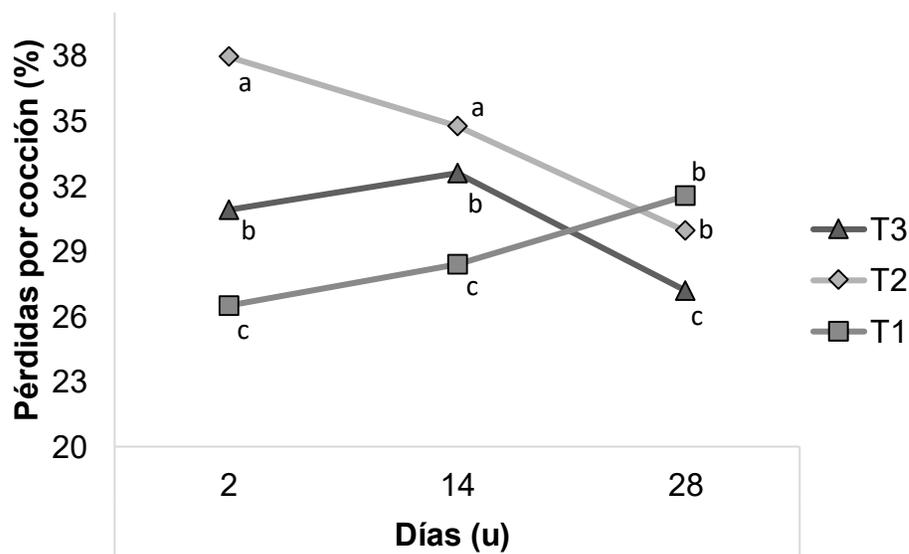


Figura 15. Evaluación de pérdidas por cocción según tratamientos y periodos de maduración en húmedo del músculo *Longissimus dorsi lumborum* obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. Letras distintas indican interacción entre tratamientos y días de maduración ( $p < 0,05$ ), según la prueba DGC.

Quirós (2020) señala que la PC no varía por la edad al sacrificio; además

Jama *et al.* (2008) no identificaron diferencias entre razas y Razminowicz *et al.* 2006 citados por Quirós (2020) no hallaron diferencias entre animales engordados a pastoreo vs. crianza tradicional, siendo el promedio 30%; tampoco González *et al.* (2019) encontraron interacción al ofrecer Cu, Se o Zn de fuentes inorgánicas o quelatadas y/o vitamina E, siendo el promedio de 22,7% a los ocho días de maduración. Respecto a la condición sexual Quirós (2020) indica que el sexo no influencia esta variable; Rodríguez (2012) y Salas y Rodríguez (2020) no distinguieron entre toros o novillos a pesar de que la evidencia justifica menores PC en novillos debido la acción protectora que ejerce su mayor marmoleo. Respecto a lo último, es necesario aclarar que los animales de ambos ensayos presentaban genotipos *B. indicus*, por lo que era poco probable encontrar diferencias en marmoleo; Rodríguez (2012) identificó PC de 27,2% en novillos y 28,3% en toros; y Salas y Rodríguez (2020) promediaron 26,6% de PC a los 14 días de maduración.

Por otro lado, Rodríguez (2012) y Pérez (2019) concuerdan en que según el músculo evaluado así puede ser el patrón y cantidad de PC. Por ejemplo, en el *Psoas major* y *Gluteus medius* la PC decrece en el tiempo debido a la menor cantidad de agua retenida en la carne como consecuencia de una mayor PG; mientras que a pesar de presentar el mismo patrón de PG, el músculo LD y *Semitendinosus* presentan patrones variables de PC a medida que transcurre la maduración (Rodríguez 2012). Rodríguez (2012) encontró resultados inconsistentes en las PC del músculo LD, no hallando diferencias entre periodos de maduración a los dos (27,5%), 14 (29,1%) o 28 días (26,7%).

Diversos estudios han encontrado menor PC conforme madura el músculo (Wheeler *et al.* 1990a citados por Rodríguez 2012). González *et al.* (2019) midieron 24,9% a las 24 horas y 22,7% a los ocho días; Jama *et al.* (2008) en carne de novillos Nguni, Bonsmara y Angus engordados a pastoreo y cosechados de 18 meses de edad también encontraron tendencia a decrecer entre los dos y 21 días de maduración (24,5% vs. 23,5%). Rodríguez (2012) encontró a los 14 días mayor PC que a los 28 días en Brahman (29,1% vs. 26,7%) y Arguedas (2017) en carne de bubalinos castrados y cosechados de 12 - 14 meses de edad, identificó a los 21

y 28 días de maduración los menores valores en esta variable. La tendencia a que la PC decrezca conforme transcurre la maduración corresponde a los resultados del T2 y T3 (Figura 15), aunque en general este ensayo presentó valores superiores. La disminución de PC conforme madura la carne puede atribuirse a que las reacciones de enzimas endógenas como la colagenasa, se aceleran con el tiempo. Las enzimas desintegran las proteínas miofibrilares y el tejido conectivo, liberando espacio en los filamentos que funciona como almacén de agua en las fibras musculares (Jama *et al.* 2008).

Contrariamente, se ha registrado que la maduración tiene potencial de incrementar la PC a medida que transcurre el tiempo (George-Evins *et al.* 2004 y Murillo 2004 citados por Rodríguez 2012). En este ensayo la tendencia creciente del T1 semeja lo registrado por Pérez (2019), quien encontró diferencias entre tiempos de maduración en el músculo LD de Brangus, siendo igual entre los días dos, siete y diez (31,2%) y mayor al día 14 (37,4%); la misma tendencia la encontró en el *Vastus intermedius*, *Tensor fasciae latae* y *Biceps femoris*.

A pesar de la evidencia, autores como Revilla y Vivar-Quintana 2006 y Florek *et al.* 2015 citados por Quirós (2020) indican que el tiempo de maduración puede no tener efecto sobre la PC, sino que las diferencias corresponden a la metodología de cocción. En su estudio con terneros cebú, Quirós (2020) no encontró diferencias estadísticas para esta variable entre los dos y siete días *post mortem* (23,4% y 24,5% respectivamente).

La temperatura y tiempo de cocción pueden influenciar drásticamente la PC a causa del encogimiento térmico y la coagulación de proteínas (Jama *et al.* 2008; Fernández 2016; Quirós 2020). La carne cocinada a alta temperatura ( $\geq 70^{\circ}\text{C}$ ) tiene menos PC y resulta más jugosa que aquella cocinada a menor temperatura, debido a la rápida coagulación de proteínas que ocurre a altas temperaturas; esa coagulación genera una capa superficial en la carne que protege del escape de humedad (proceso conocido como “sellado” de la carne). Si la carne es expuesta a menor temperatura ( $< 60^{\circ}\text{C}$ ) será necesario más tiempo para que alcance el término deseado, no se formará rápido la capa protectora descrita e incrementará el

encogimiento de proteínas miofibrilares, generando mayor PC, menor jugosidad y carnes más duras (Jama *et al.* 2008; Fernández 2016).

El encogimiento térmico ejerce presión sobre el agua retenida entre las fibras y la desnaturalización de las proteínas miofibrilares implica cambios estructurales, volviendo las estructuras del tejido más delgadas y por lo tanto extrayendo gran cantidad de agua desde su interior (Jama *et al.* 2008). En síntesis, al cocinar la carne se desnaturalizan y encogen las proteínas miofibrilares, resultando en la pérdida de humedad del producto (Lambertz *et al.* 2014; Domínguez *et al.* 2014; Klinhom *et al.* 2016 citados por Arguedas 2017).

Homogenizar la metodología de cocción es fundamental en la medición de variables como la PC. El grosor de los bistecs, el funcionamiento de las termocuplas utilizadas para medir la temperatura interna y el tiempo de cocción también pudieron influenciar las tendencias observadas en la Figura 15.

#### **4.3.5. Fuerza de corte**

La suavidad de la carne es una de las características más apetecidas por el consumidor (Motter *et al.* 2009; CORFOGA 2017) por lo que es importante estudiarla mediante instrumentos como Warner-Bratzler (WBSF) o panel sensorial. Crouse *et al.* (1989) destacan que 25% de los panelistas clasifican de insatisfactoria la aceptabilidad global del producto debido principalmente a la terneza del corte (Epley 1992 y Smith 1997 citados por Chacón 2004). El Cuadro 21 muestra los resultados de la fuerza de corte medida con WBSF; se evidenció interacción entre el tratamiento y días de maduración ( $p=0,0051$ ) indicando efecto del tratamiento sobre la suavidad y reflejándose especialmente en los valores superiores del T2 y T3 al día dos e inferiores del T3 al día 28. También, el periodo de maduración como promedio de los tres tratamientos indicó una menor fuerza de corte conforme avanzó la maduración ( $p<0,0001$ ); es decir, a medida que transcurrió el tiempo la carne se tornó más suave. Según la clasificación de Shackelford *et al.* (1991), únicamente el T3 al día 28 presentó un nivel intermedio de suavidad (3,9 kg - 4,6 kg); los demás tratamientos sin importar el día de maduración clasificaron como

carnes duras (>4,6 kg), con diferencias en el grado de intensidad.

González *et al.* (2019) encontraron un coeficiente de 0,53 entre la PC y la fuerza de corte, indicando que a mayor PC, la dureza de la carne es mayor. La cocción rápida (alta temperatura por menor tiempo) resulta en bistecs más suaves que aquellos sometidos a cocciones lentas (baja temperatura por mayor tiempo) debido a que el sellado de la carne permite retener más humedad, factor que contribuye a la terneza del producto (sección 4.3.2.) (Jama *et al.* 2008; Fernández 2016). Un ejemplo de esta relación se observa al día 28 de maduración entre las Figuras 15 y 16, donde el T3 presentó la menor pérdida por cocción y a su vez la menor fuerza de corte.

Cuadro 21. Evaluación de la fuerza de corte (kg) del músculo *Longissimus dorsi lumborum* madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Tratamiento	p-valor	Días de maduración (Media (kg) ± E.E.)		
		2	14	28
T1	0,0051	8,31 ± 0,68 b	6,21 ± 0,55 c	5,56 ± 0,27 c
T2		10,96 ± 0,48 a	7,20 ± 0,47 c	5,53 ± 0,34 c
T3		11,22 ± 0,63 a	6,84 ± 0,62 c	4,30 ± 0,39 d
<b>Días de maduración (Media ± E.E.)</b>	<0,0001	10,24 ± 0,42 A	6,77 ± 0,31 B	5,11 ± 0,22 C

Letras minúsculas en común para la interacción tratamiento × días de maduración y mayúscula en la fila de días de maduración no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC.

La terneza de la carne varía según factores como raza, sexo, alimentación, edad de cosecha, manejo *ante mortem*, tamaño y ubicación del músculo, manejo *post mortem*, maduración y cocción (Chacón 2004; Motter *et al.* 2009). Diferentes autores concuerdan en que la carne al ser sometida a maduración tiende a disminuir los resultados de fuerza de corte (King *et al.* 2002; Rodríguez 2012; Pérez 2019; Quirós 2020), tal como se observó en los tres tratamientos de este ensayo (Figura 16). Por ejemplo, King *et al.* (2002) identificaron valores de 11,2 kg a las 24 horas *post mortem* y 9,7 kg a 14 días de maduración; y Pérez (2019) encontró la misma tendencia en siete músculos madurados de dos a 14 días.

La cantidad de tejido conectivo (especialmente el colágeno) también influye en la suavidad; ese componente no se degrada durante la maduración por lo que reducir su acumulación con estrategias de selección y manejo es esencial (Chacón 2004). La grasa intramuscular puede opacar la proporción de tejido conectivo en una pieza de carne, por lo que diferentes autores sugieren que más grasa intramuscular se relaciona con carnes más suaves (Chacón 2004; Ribeiro *et al.* 2019). En este ensayo, la mayor cantidad de grasa cruda (Cuadro 15) y la mayor cantidad de marmoleo observada en el T1 puede ayudar a explicar la menor fuerza de corte respecto al T2 y T3 a los dos días *post mortem*; sin embargo, para aceptar esa hipótesis es necesario medir el contenido de colágeno mediante panel sensorial o pruebas objetivas de laboratorio.

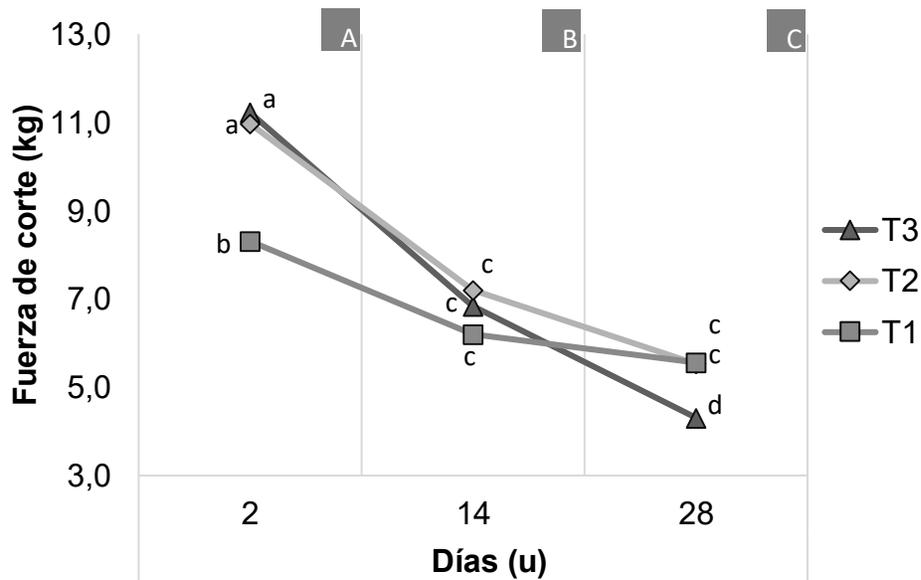


Figura 16. Evaluación de la fuerza de corte (kg) del músculo *Longissimus dorsi lumborum* madurado en húmedo y obtenido de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020. Letras minúsculas en común para la interacción tratamiento × días de maduración y mayúscula entre días de maduración no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC.

Por otro lado, el Cold shortening (sección 2.6.8.) también puede influir en la suavidad del producto, como lo demostró King *et al.* (2002) al obtener fuerzas de corte mayores en carne expuesta a dicho fenómeno respecto a carne normal a las 24 horas *post mortem* (23,4 kg vs. 11,2 kg) y 14 días de maduración (20,3 kg vs.

9,7 kg). Para determinar la incidencia de Cold shortening en plantas de cosecha se recomienda medir la fuerza de corte o longitud de sarcómeros de músculos ubicados en diferentes puntos del cuarto frío y provenientes de canales con características similares (Quirós 2020). Rodríguez (2012) indica que la baja temperatura en la cámara de frío, aunado a la poca grasa de cobertura en las canales (Cuadro 13) pudo generar mayor dureza de la carne debido al Cold shortening ya que la poca masa del músculo LD y el no estar rodeado por otros músculos lo hacen susceptible a este fenómeno. La teoría se respalda en resultados de Rodríguez (2012), quien registró menor fuerza de corte en el *Gluteus medius* que en el LD a pesar de que el primero generalmente presenta más colágeno y fuerza de corte que el segundo (Rhee *et al.* 2004 citado por Rodríguez 2012).

Aunado a lo anterior, se debe recordar que los animales de este ensayo fueron expuestos a estimulación eléctrica (EE) ultra baja (21V). Dikeman (1996) acota que la carne de animales magros (marmoleo poco o ligero, como el registrado en este ensayo) puede ser más dura si no se aplica esta técnica y las canales se exponen a condiciones severas de frío; además señala que la EE bien aplicada permite minimizar las diferencias en suavidad entre carne de animales magros y otros con más marmoleo. Adeyemi y Sazili (2014) indican que entre más cerca al degüelle se aplique la EE será necesario menos voltaje; y que las variaciones en voltaje o duración pueden influir en el color y suavidad de la carne, así como agilizar el desangrado. Aplicar EE justo después del degüelle incrementa la suavidad debido a que el bajo voltaje reduce el ATP muscular, minimizando su disponibilidad al alcanzar el *rigor mortis* y generando así un menor grado de contracción muscular; además apresura la entrada al *rigor mortis* ya que la descarga eléctrica rompe miofibrillas y membranas celulares, permitiendo liberar enzimas proteolíticas (Desdémona 2017). El objetivo de este ensayo no fue evaluar el efecto de la EE sobre atributos de calidad de carne, por lo que a los tres tratamientos se les aplicó con la misma metodología; numerosas investigaciones citadas por Adeyemi y Sazili (2014) encontraron gran variabilidad respecto al momento de aplicación de EE, el

voltaje usado o su duración; por lo que se sugiere evaluar el efecto de la EE en los atributos de calidad ya mencionados.

Otro factor fuertemente asociado a la suavidad de la carne es la acción de las calpaínas; el bajo pH alcanzado durante el *rigor mortis* (sección [2.6.5.](#)) aunado a las temperaturas de almacenamiento (4°C - 5°C) favorecen la acción de dichas enzimas proteolíticas que permiten la tenderización del producto (Motter *et al.* 2009; Coria *et al.* 2018; Teira 2004 citado por Pérez 2019). El inhibidor de las calpaínas, la calpastatina, es quien mejor explica las diferencias de terneza entre razas al encontrarse en mayor proporción en *B. indicus* respecto a *B. taurus*, promoviendo así carnes más suaves a medida que incrementa la proporción del segundo (sección [2.6.1.](#)) (Motter *et al.* 2009); como muestra Crouse *et al.* (1989) encontraron mayor fuerza de corte en carne de animales  $\frac{3}{8}$  Brahman (6,7 kg) que en  $\frac{1}{4}$  Brahman (5,2 kg). A su vez, Pérez (2019), quien evaluó carne de Brangus, indica que las diferencias entre *B. indicus* y *B. taurus* disminuyen conforme transcurre la maduración; en concordancia, los resultados de este ensayo superan los de Pérez (2019) a los dos días de maduración (6,2 kg vs. 10,2 kg) y los semejan a los 14 días de maduración (5,2 kg vs. 5,1 kg).

Los músculos pueden presentar variación entre componentes miofibrilares, diferencias en la actividad de calpastatinas y calpaínas y/o cantidad de tejido conectivo; como resultado, la respuesta a la maduración puede ser mayor o menor entre cada uno. Por ejemplo, Coria *et al.* (2018) indican que las calpaínas son más activas en el LD que en el *Infraespinatus*; Cross *et al.* (1973) y Pérez (2019) encontraron mayor cantidad de tejido conectivo en el LD que en el *Biceps femoris*; y Pérez (2019) encontró valores de fuerza de corte distintos entre el LD (5,1 kg) y otros como *Vastus intermedius* (3,8 kg), *Tensor fasciae latae* (4,3 kg) y *Gluteus medius* (4,0 kg) a los 14 días de maduración. A partir de lo anterior, sería interesante evaluar el efecto de los suplementos ofrecidos sobre diferentes músculos de valor comercial; y a su vez, registrar su comportamiento a medida que transcurre la maduración, para determinar el periodo más conveniente en cada uno.

Respecto a la edad de cosecha Coria *et al.* (2018) señalan que la actividad de las calpaínas por unidad de calpastatinas es mayor en animales jóvenes; y que en adultos la actividad *post mortem* de la calpastatina persiste más, lo cual explica una disminución en la proteólisis y carnes más duras en animales adultos incluso después de ser sometidas a maduración. Además, autores citados por Cross *et al.* (1973) concluyen que a medida que envejece el animal aumenta el nivel de colágeno insoluble y disminuye el soluble, lo que también contribuye a la dureza de la carne. Cross *et al.* (1973) evaluaron el músculo LD de hembras Hereford con diferente edad de cosecha madurado por siete días, encontrando valores de 5,7 kg en el grupo de 10 a 21 meses de edad y 8,4 kg en el grupo de nueve a 13 años, lo que respalda la teoría descrita.

Aunado a lo anterior, la condición sexual y edad de los animales son de las combinaciones que más puede influenciar la calidad del producto final debido a la aparición de hormonas sexuales conforme el individuo envejece (Rodríguez 2012; Coria *et al.* 2018). Terler *et al.* 2014 citados por Quirós (2020) señalan que la carne de hembras por lo general presenta mayor suavidad que los machos ya que la testosterona ha demostrado favorecer la síntesis de colágeno intramuscular y además, en machos enteros la actividad de la calpastatina es superior conforme maduran (Rodríguez 2012).

CORFOGA (2012) comparó carne de machos y hembras a las 24 horas *post mortem* y encontró menor fuerza de corte en hembras de cero dientes permanentes que en machos de la misma edad (11,2 kg vs. 11,5 kg) e igual tendencia en animales con dos dientes permanentes (9,3 kg vs. 10,4 kg). Además, los resultados de Rodríguez (2012) para el día 28 de maduración señalan carnes más duras que lo registrado en este ensayo para el mismo periodo atribuido principalmente al sexo y edad de cosecha (26 meses vs.  $\leq$  24 meses); Rodríguez (2012) identificó carnes más suaves en novillos que en toros (7,1 kg vs. 9,0 kg) maximizando la suavidad entre más temprano se ejecute la castración. CORFOGA (2012) no encontró diferencias estadísticas entre el músculo LD de animales del mismo sexo con diferente edad en las principales plantas de cosecha de Costa Rica; sin embargo,

atribuyen que el no encontrar diferencias entre edades se debió a condiciones no controladas sobre la cría y desarrollo de los animales evaluados.

Por otro lado, las estrategias de alimentación modifican la curva de descenso de pH, la terneza y otras características sensoriales al modular las proteínas musculares, los niveles de energía a la cosecha, el contenido graso de la carne y la capacidad de retención de agua (Coria *et al.* 2018). Fernández (2016) indica que la velocidad a la que se ejecute la etapa de engorde tiene relación con la terneza permitiendo conseguir con dietas más energéticas, mayor GDP, peso final, marmoleo y consecuentemente carnes más suaves al reducir la deposición y proporción de colágeno insoluble por efecto del marmoleo; dicha afirmación también contribuye a explicar los resultados del T1 a los dos días de maduración, tratamiento que presentó la menor fuerza de corte al inicio del ensayo.

Diversos minerales componen enzimas y proteínas; destaca el Zn, que forma parte de proteinasas que degradan la matriz extracelular, materia relacionada al desarrollo de grasa intramuscular *in vivo* y terneza de la carne *post mortem*; consecuentemente, suplementar con altos niveles de Zn podría incrementar la acción de dichas enzimas y por tanto modificar la terneza del producto (Seideman *et al.* 1988 citado por Genter-Schroeder *et al.* 2018). A pesar de ello Genter-Schroeder *et al.* (2018) no encontraron efecto sobre la fuerza de corte al ofrecer diferente proporción de Zn en ganado Angus; los autores utilizaron dietas con 30 mg Zn/kg MS a 230 mg Zn/kg MS, inferiores que lo ofrecido en este ensayo, por lo cual no se descarta el efecto que pudo tener la mayor suplementación con Zn en el T3 al día 28 de maduración. Paralelamente, do Carmo *et al.* (2017) no encontraron diferencias a las 24 horas *post mortem* en la suavidad de carne de Nelore alimentados con heno de *Brachiaria brizantha* y suplementados con diferentes combinaciones de Zn (120 mg/kg), Se (0,4 mg/kg) y/o vitamina E (50 000 UI/kg). Los resultados obtenidos por do Carmo *et al.* (2017) incitan a pensar que únicamente la suplementación de vitamina E no es suficiente para observar efectos en la fuerza de corte (7,2 kg), sino que aportar Zn y Se también contribuye a la terneza de la carne (6,8 kg y 5,5 kg de fuerza de corte respectivamente).

Ribeiro *et al.* (2019) sugieren que alimentar con destilados modificados solubles de granos, o materias que permitan la mayor deposición de PUFA y ácido linoleico, beneficia la terneza de la carne. Un mayor contenido de las grasas indicadas en la membrana del retículo sarcoplasmático permite la liberación de  $\text{Ca}^{2+}$  hacia el citoplasma, lo que desencadena la actividad de las calpaínas y consecuentemente mayor suavidad. Ribeiro *et al.* (2019) observaron diferencias en suavidad apenas en etapas tempranas *post mortem* (48 horas), no así a los nueve, 16 o 23 días de maduración; contrariamente en este ensayo el T2 y T3 no presentaron mayor suavidad respecto al T1 sino hasta los 28 días de maduración, a pesar de presentar más PUFA y ácido linoleico. Ribeiro *et al.* (2019) señalan que la adición de antioxidantes como Zn, Se o vitamina E, puede frenar la acción del ácido linoleico y PUFA al bloquear las reacciones oxidativas necesarias para la apertura del canal de  $\text{Ca}^{2+}$  en la membrana, lo que explicaría los resultados presentados en la Figura 16.

## 5. CONCLUSIONES

El ganado cebú engordado en sistemas de estabulación presentó ganancias diarias de peso superiores al engordado en sistemas de pastoreo intensivo con pasturas naturalizadas (1,35 kg/animal/día vs. 0,88 kg/animal/día).

El espesor de la grasa dorsal medido con ultrasonografía sobre el músculo LD de ganado cebú, incrementó entre el ingreso y egreso de un sistema de estabulación para engorde (3,3 mm vs. 8,2 mm).

La profundidad de músculo y marmoleo medidos con ultrasonografía sobre el músculo LD de ganado cebú, tendió a incrementar entre el ingreso y egreso de un sistema de estabulación para engorde. El no encontrar diferencias estadísticas pudo deberse al factor racial y tamaño de muestra.

Respecto a variables relacionadas con el rendimiento de la canal, el ganado cebú engordado en sistema de estabulación presentó canales más pesadas que el finalizado en sistemas de pastoreo, al ser clasificado inicialmente como el grupo más pesado; entre ambos sistemas no hubo diferencias en el rendimiento pie/canal o AOL ni en variables asociadas a la calidad de la canal.

La composición (%) de la canal no difirió entre tratamientos, aunque se registró mayor proporción de recortes o BSCH y menor desperdicio en el T1 respecto a T2 y T3, atribuidas las diferencias al cambio de personal de deshuese y requerimientos de la planta de cosecha. También, el T1 superó a los demás en kilogramos del total de la canal, tejido muscular y grasa.

La grasa cruda del músculo LD de ganado cebú engordado en estabulación fue mayor que en los de pastoreo (3,20 vs. 1,35 g de grasa/100g de músculo). Además, la proporción de PUFA del ganado engordado en pastoreo fue mayor al del ganado de estabulación (3,3% vs. 2,1%). El perfil lipídico de carne de res engordado en pastoreo aporta mayor beneficio a la salud respecto al de ganado engordado con una proporción de grano.

En cuanto a variables de calidad de carne, no hubo interacción entre el sistema de engorde y periodo de maduración en pérdidas por goteo o color del músculo LD. En ambas variables y para los tres tratamientos, se observó la tendencia a incrementar conforme se prolongó la maduración.

La carne de ganado cebú engordado en pastoreo presentó una tendencia a disminuir las pérdidas por cocción conforme se maduró y las del sistema de estabulación tendieron a incrementar.

La maduración de la carne permitió obtener carnes más suaves. Empero, la carne de animales suplementados con mayor cantidad de antioxidantes presentó los menores valores de fuerza de corte a los 28 días de maduración respecto a los demás tratamientos (4,3 kg vs. 5,5 kg); lo que se traduce a carne con suavidad intermedia y dura respectivamente.

## 6. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados y el análisis ejecutado en la presente investigación, se recomienda:

Analizar bromatológicamente tanto las pasturas como la dieta de animales en confinamiento, para comparar numéricamente los resultados obtenidos respecto a otras investigaciones.

Utilizar Stella Beef® también en animales en confinamiento, para determinar su desempeño al compararlo con el núcleo mineral DF bajo las mismas condiciones.

Determinar la correlación entre variables medidas con ultrasonido y sus equivalentes en planta de cosecha, sobre animales con ascendencia *B. indicus* finalizados en sistemas de engorde costarricenses.

Estandarizar el periodo de ayuno en finca, para minimizar variaciones en merma por transporte.

Establecer un sistema de clasificación para marmoleo de la carne bovina mejor adaptado a las características imperantes en los sistemas de producción de Costa Rica (razas cebuinas, engorde a base de pasturas y dietas bajas en energía).

Evaluar el efecto de la estimulación eléctrica sobre la rapidez del descenso del pH *post mortem* y características de calidad como pH, color muscular y PG.

Crear una escala fotográfica con valores de L\*, a\* y b\* y evaluar cuánto cambio numérico es necesario para que el consumidor observe diferencias.

Evaluar durante más periodos de maduración, la calidad de otros cortes con valor comercial y de animales suplementados o no con las fuentes de este ensayo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Adeyemi, K; Sazili, A. 2014. Efficacy of Carcass Electrical Stimulation in Meat Quality Enhancement: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 27(3): 447-456.
- Aguilar, K. 2019. 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. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 103p.
- Aldai, N; Lavín, P; Kramer, J; Joroso, R; Mantecón, A. 2012. Breed effect on quality veal production in mountain areas: emphasis on meat fatty acid composition. *Meat Science*. 92: 687-696.
- AMSA (American Meat Science Association). 2015. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of fresh meat. 2 ed. Chicago, Estados Unidos, AMSA. 104p.
- Arboitte, M; Brondani, I; Deschamps, F; Bertoldi, F; Alves, D; Segabinazzi, L. 2011. Qualidade da carne do músculo longissimus dorsi de novilhos superjovens Aberdeen Angus de biótipo pequeno e médio abatidos com o mesmo estágio de acabamento na carcaça. *Acta Scientiarum, Animal Sciences*. 33(2): 191-198.
- Arguedas, K. 2017. Características de la canal, el rendimiento y calidad de la carne de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) en La Vega de Florencia, San Carlos. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 98p.
- Arias, R. 2018. Opinión de la norma chilena de tipificación y calificación de la carne. (En línea, sitio web). Consultado 19 set. 2020. Disponible en [https://www.academia.edu/38707767/Opini%C3%B3n\\_de\\_la\\_norma\\_chilena\\_de\\_tipificaci%C3%B3n\\_y\\_calificaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_carne](https://www.academia.edu/38707767/Opini%C3%B3n_de_la_norma_chilena_de_tipificaci%C3%B3n_y_calificaci%C3%B3n_de_la_carne)

- Bauer, D; Rush, I; Rasby, R. 2009. Minerales y vitaminas en bovinos de carne. Capítulo 4. (En línea, sitio web). Consultado 17 dic. 2020. Disponible en [118-minerales\\_vitaminas-Nebraska.pdf \(produccion-animal.com.ar\)](#)
- Bayer S.A. 2019. Stella ®: Alcanza el potencial de tus estrellas. 6p.
- Bolaños, F. 2019. Rendimiento cárnico en ganado cebuino con dos sistemas de producción: pastoreo con suplementación y estabulado en la Ganadera Don Fernando, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 61p.
- Cabezas-Zábala, C; Hernández-Torres, B; Vargas-Zárate, M. 2016. Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial. Revista de la Facultad de Medicina. 64(4): 761-768.
- Carrera, R; Fierro, N; Ordoñez, J. 2015. Manual de Pastoreo. Loja, Ecuador. 17p.
- Chacón, A. 2004. La suavidad de la carne: implicaciones físicas y Bioquímicas asociadas al manejo y proceso Agroindustrial. Agronomía Mesoamericana. 15(2): 225-243.
- Contexto Ganadero. 2018. 6 causas de mal manejo animal que generan pérdidas. (En línea). Consultado 20 jun. 2020. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/6-causas-de-mal-manejo-animal-que-generan-perdidas>
- CORFOGA (Corporación de Fomento Ganadero). 2002. Guía fotográfica: Sistema de clasificación de canales (diapositivas). San José, Costa Rica. 27 diapositivas, color.
- CORFOGA (Corporación de Fomento Ganadero). 2012. Datos Estadísticos: Clasificación de Canales Bovinas 2004-2012. San José, Costa Rica. 27p.
- CORFOGA (Corporación de Fomento Ganadero). 2013. Informe encuesta ganadera 2012. San José, Costa Rica 72p.

- CORFOGA (Corporación Ganadera Nacional). 2017. Informe de Consumo, Uso y Actitudes al Consumo de Carne de Res (CUAS 2017). San José, Costa Rica, API360. 63p.
- CORFOGA (Corporación Ganadera). 2020. Consumo Aparente Per Cápita de Carne de Res Junio 2020. (En línea, base de datos). Consultado 26 dic. 2020. Disponible en <http://www.corfoga.org/estadisticas/consumo/>
- Coria, M; Carranza, P; Palma, G. 2018. Calpain System in meat tenderization: A molecular approach. *Revista MVZ Córdoba*. 23(1): 6523-6536.
- Costa, P; Roseiro, L; Partidário, A; Alves, V; Bessa, R; Calkins, C; Santos, C. 2006. Influence of slaughter season and sex on fatty acid composition, cholesterol and  $\alpha$ -tocopherol contents on different muscles of Barrosã-PDO veal. *Meat Science*. 72: 130-139.
- Cross, H; Carpenter, Z; Smith, G. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *Journal of Food Science*. 38: 998-1003.
- Crouse, J; Cundiff, L; Koch, R; Koohmaraie, M; Seideman, S. 1989. Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. *Journal of Animal Science*. 67: 2661-2668.
- De Smet, S; Raes, K; Demeyer, D. 2004. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: A review. *Animal Research*. 53: 81-98.
- Desdémona, E. 2017. Mejorando la ternera de la carne de bovino. *Revista Veterinaria*. Set. 2017.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo C. 2018. InfoStat versión 2018. (En línea, software estadístico). Consultado 15 oct. 2019. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Dikeman, M. 1996. The Relationship of Animal Leanness to Meat Tenderness. 49<sup>th</sup> Annual Reciprocal Meat Conference. 49: 87-101.

- do Carmo, T; Peripolli, V; Gonçalves, J; Bergmann, C; Soares, M; Restle, J; Kindlein, L; McManus, C. 2017. Carcass characteristics and meat evaluation of Nelore cattle subjected to different antioxidant treatments. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 46(2): 138-146.
- Domaradzki, P; Stanek, P; Litwińczuk, Z; Skalecki, P; Florek, M. 2017. Slaughter value and meat quality of suckler calves: A review. *Meat Science*. 134: 135-149.
- Domínguez-Viveros, J; Urbina-Valenzuela, A; Palacios-Espinoza, A; Callejas-Juárez, N; Ortega-Gutiérrez, J; Espinoza-Villavicencio, J; Padrón-Quintero, Y; Rodríguez-Castro, M. 2017. Caracterización del crecimiento de bovinos cebú en pruebas de comportamiento en pastoreo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 4(11): 341-348.
- Ducca, E; Solano, O; Alfaro, O; Zumbado, C; Almendares, R; Le Coq, J. 2007. Caracterización y Plan de acción para el desarrollo de la agrocadena de Ganadería Bovino en la región Huetar Norte. Ciudad Quesada, Costa Rica, MAG. 65p.
- Fahy, E; Subramaniam, S; Brown, AH; Glass, CK; Merrill, AH Jr; Murphy, RC; Raetz, CRH; Russell, DW; Seyama, Y; Shaw, W; Shimizu, T; Spener, F; van Meer, G; VanNieuwenhze, MS; White, SH; Witztum, JL; Dennis, EA. 2005. A comprehensive classification system for lipids. *Journal of lipids Research*. 46: 839-861.
- Fernández, A. 2016. Calidad de la carne vacuna: Factores que afectan la ternera, jugosidad y flavor. (En línea, sitio web). Consultado 7 ene. 2021. Disponible en:  
[https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/calidad de la carne vacuna factores que afectan la ternera art culo t cnico .pdf](https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/calidad%20de%20la%20carne%20vacuna%20factores%20que%20afectan%20la%20ternera%20art%20culo%20t%20cnico.pdf)
- French, P; Stanton, C; Lawless, F; O'Riordan, E; Monahan, F; Caffrey, P; Moloney, A. 2000. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of

- intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate-based diets. *Journal of Animal Science*. 78: 2849-2855.
- Genther-Schroeder, O; Branine, M; Hansen, S. 2018. Effects of increasing supplemental dietary Zn concentration on growth performance and carcass characteristics in finishing steers fed ractopamine hydrochloride. *Journal of Animal Science*. 96: 1903-1913.
- Gómez-Barrio, L. 2018. Impacto del nivel de ácidos grasos insaturados en la calidad de las hamburguesas de cordero envasadas en atmósferas modificadas. Tesis M.Sc. Oviedo, España, Universidad de Oviedo. 57p.
- González, M; Garcés Y; López, L; Braña, D; González, E. 2019. Efecto de la suplementación con minerales de fuentes queladas o inorgánicas y vitamina E en la calidad y estabilidad oxidativa de la carne de bovinos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10(4): 837-854
- Grajales, A; Ruiz, M; Lepetir, J; Favier, R. 2007. Cambios mecánicos, estructurales y geométricos provocados por la contracción al frío en carne cocida. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6(1): 11-17.
- Herrera, A; Vergara, O; Cerón, M; Agudelo-Gómez, D; Arboleda, E. 2008. Curvas de crecimiento en bovinos cruzados utilizando el modelo Brody. *Livestock Research for Rural Development*. 20(9): 235-241.
- Holman, F; Rivas, L; Pérez, E; Castro, C; Shuetz, P; Rodríguez, J. 2007. Cadena de Carne Bovina en Costa Rica: Identificación de Temas Críticos para Impulsar su Modernización, Eficiencia y Competitividad. Cali, Colombia, CIAT. 68p.
- Huff-Lonergan, E; Lonergan, S. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*. 71: 194-204.
- IDE (Infraestructura de datos Espaciales). 2015. Explora capas. (En línea, base de datos). Consultado 17 nov. 2019. Disponible en <http://www.idehn.tec.ac.cr/layers/?limit=100&offset=0>

- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Actividades pecuarias, prácticas y servicios agropecuarios. San José, Costa Rica, INEC.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2019a. Encuesta Nacional Agropecuaria 2017: Resultados generales de las actividades ganaderas vacuna y porcina. San José, Costa Rica, INEC. 48p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2019b. Encuesta Nacional Agropecuaria 2018: Resultados generales de la actividad ganadera vacuna y porcina. San José, Costa Rica, INEC. 52p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2020. Encuesta Nacional Agropecuaria 2019: Resultados generales de la actividad ganadera vacuna y porcina. San José, Costa Rica, INEC. 52p.
- Inostroza, K; Larama, G; Sepúlveda, N. 2012. Composición de Ácidos Grasos (MUFA y CLA) en Tejido Muscular de Bovino Relacionado con la Presencia del Polimorfismo g. 878TC en el Gen SCD. *International Journal of Morphology*. 30(3): 934-936.
- Inostroza, R. 2018. Rol de alimentos de origen animal en la dieta saludable Eje temático: Sistemas de Producción Agropecuario 1er Congreso Tecnológico Agropecuario, INACAP Osorno, 19 Julio 2018.
- Jama, N; Muchenje, V; Chimonyo, M; Strydom, P; Dzama, K; Raats, J. 2008. Cooking loss components of beef from Nguni, Bonsmara and Angus steers. *African Journal of Agricultural Research*. 3(6): 416-420.
- Kien, C. 2009. Dietary interventions for metabolic syndrome: role of modifying dietary fats. *Current diabetes reports*. 9(1): 43.
- King, D; Dikeman, M; Wheeler, T; Kastner, C; Koohmaraie, M. 2002. Effects of Cold shortening and cooking rate on beef tenderness. *Cattlemen's Day*. Jan.86-89.
- Larraín, R; Fernández, J; Melo, O. 2018. Informe final: Análisis comparado de los sistemas de clasificación de ganado y de calidad de cortes de carne bovina en

- principales países ganaderos relevantes para Chile o el mercado mundial. Santiago, Chile, Ministerio de Agricultura. 59p.
- Lennis, C; Ramos, L; Londoño, M; Hernández, D; Álvarez, L. 2018. Polimorfismos de los genes calpaína y calpastatina en el ganado criollo colombiano Hartón del Valle. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 29(3): 818-827.
- López, L. 2019. Evaluación del crecimiento, composición de la canal y calidad de la carne de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) en La Vega de Florencia, San Carlos. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 107p.
- Madrigal-Valverde, M; Valverde, A; Murillo, O; Montero, W; Muñoz, B. 2018. Asociación entre marcadores genéticos CAPN-1, CAST y características de crecimiento en ganado Brahman en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 42(2): 29-42.
- Matía-Martín, P; Lecumberri-Pascual, E; Calle-Pascual, AL. 2007. Nutrición y síndrome metabólico. *Revista Española de Salud Pública*. 81(5): 489-505.
- Mauri, MS. 2017. Efecto del sistema de aturdimiento con CO<sub>2</sub>, tiempo de desangrado y estimulación eléctrica post-mortem en la calidad de la carne de pavo. Tesis Ph.D. Córdoba, España, Universidad de Córdoba. 241p.
- Misir, R; Laarveld, B; Blair, R. 1985. Evaluation of a rapid method for preparation of fatty acid methyl esters for analysis by gas-liquid chromatography. *Journal of Chromatography*. 331: 8-141.
- Monge, R; Campos, H. 2006. Tabla de composición de alimentos de Costa Rica: Ácidos grasos. Cartago, Costa Rica, INCIENSA. 60p.
- Montero-Lagunes, M; Juárez-Lagunes, F; García-Galindo, H. 2011. Perfil de ácidos grasos en carne de toretes Europeo x Cebú finalizados en pastoreo y en corral. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2(2): 137-149.
- Mora, S. 2019. Indicadores Macroeconómicos 2015-2019. San José, Costa Rica, SEPSA. 25p.

- Motter, M; Corva, P; Krause, M; Perez, C; Soria, L. 2009. Rol de la Calpastatina en la variabilidad de la Terneza de la Carne Bovina. *Journal of Basic & Applied Genetics*. 20(1): 15-24.
- Muñoz, I; Apeleo, E; Pérez, C; Rivas, A; Pérez, O; Díaz, M; De la Fuente, J; Pérez, C; Lauzurica, S; Cañeque, V. 2012. Efecto de la suplementación con antioxidantes en la dieta de corderos sobre la calidad de su carne enriquecida en ácidos grasos omega-3. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*. 6(1): 40-44.
- Nimal, W; Galli, C. 2009. Fat and Fatty Acid Terminology, Methods of Analysis and Fat Digestion and Metabolism: A Background Review Paper. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 55: 8-43.
- Page, J; Wulf, D; Schwotzer, T. 2001. A survey of beef muscle color and pH. *Journal of Animal Science*. 79: 678-687.
- Parish, J; Karish, B. 2013. Estimating Cattle Age Using Dentition. Estados Unidos, Mississippi State University. 8p.
- Pérez, D. 2019. Efecto de la maduración en húmedo sobre características físicas y sensoriales en músculos de toretes Brangus, santa Clara, 2018. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 113p.
- Pérez, E. 2017. Manual de manejo: Sistemas intensivos sostenibles de ganadería de engorde. San José, Costa Rica, INTA. 43p.
- Pestana, J; Costa, A; Alves, S; Martins, S; Alfaia, C; Bessa, R; Prates, J. 2012. Seasonal changes and muscle type effect on the nutritional quality of intramuscular fat in Mirandesa-PDO veal. *Meat Science*. 90: 819-827.
- Pordomingo, A; Grigioni, G; Carduza, F; Volpi, G. 2012. Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality. *Meat Science*. 90(4): 939-946.
- 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. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 78p.
- Quirós, R. 2020. Caracterización de la canal y calidad de la carne en terneros de encaste Brahman, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 79p.
- Ramírez, E; Cerón, M; Herrera, A; Vergara, O; Arboleda, E; Restrepo, L. 2009. Crecimiento de hembras cruzadas en el trópico colombiano. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 22: 264-647.
- Ramírez, J. 2014. Evaluación de niveles crecientes de energía en la suplementación de novillos de engorde en pastoreo. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 84p.
- Ramírez, J; Valverde, A; Rojas, A. 2016. Efecto de raza y niveles de energía en la finalización de novillos en pastoreo. Agronomía mesoamericana. 28(1): 43-57.
- Ribeiro, F; Domenech-Pérez, K; Contreras-Castillo, C; Hart, K; Herrera, N; Calkins, C. 2019. Feeding distillers grains to cattle may affect beef tenderness early postmortem. Journal of Animal Science. 97(2): 657-668.
- Rodríguez, J. 2012. Effects of castration on carcass composition, meat quality, and sensory properties of beef produced in a tropical climate. Tesis M.Sc. Manhattan, Estados Unidos, Kansas State University. 85p.
- Rodríguez, K; Valverde, A; Rodríguez, J; Murillo, O, Camacho, M. 2018. Efecto del genotipo y alimentación final sobre cortes cárnicos comerciales y calidad de canal en novillos. Agronomía Mesoamericana. 29(1): 105-122.
- Rodríguez, Y. 2019. Evaluación de la Competitividad de la Carne de Res a Nivel Nacional 2007-2017. San José, Costa Rica, CORFOGA. 34p.
- Rubio, S; Braña, D; Méndez, D; Torrescano, G; Sánchez, A; Pérez, C; Figueroa, F; Delgado, E. 2013. Guía práctica para la estandarización y evaluación de canales bovinas mexicanas. Sonora, México, UNAM. 66p.

- Rule, D; Broughton, K; Shellito, S; Maiorano, G. 2002. Comparison of muscle fatty acid profiles and cholesterol concentrations of bison, beef cattle, elk, and chicken. *Journal of Animal Science*. 80: 1202-1211.
- Salas, J; Rodríguez, J. 2020. Comparación entre toretes y novillos de la raza Brahman sobre el crecimiento, rendimiento y la calidad de la carne en un sistema estabulado en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista AgrolInnovación en el Trópico Húmedo*. 2(2): 27-40.
- Sansano-Maestre, J; Gardón, J. 2015. El uso de la ecografía: La calidad de la carne. (En línea, sitio web). Consultado 17 set. 2020. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/317002619> El uso de la ecografía a la calidad de la carne
- Savell, J; Mueller, S; Baird, B. 2005. The chilling of carcasses. *Meat Science*. 70: 449-459.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2015. Plan sectorial de desarrollo agropecuario y rural. San José, Costa Rica, SEPSA. 62p.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2019. Boletín Estadístico Agropecuario Nº 29 | Serie Cronológica 2015 - 2018. San José, Costa Rica, SEPSA. 140p.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2020. Desempeño del Sector Agropecuario, Pesquero y Rural, 2019. San José Costa Rica, SEPSA. 11p.
- Shackelford, S; Morgan, J; Cross, H; Savell, J. 1991. Identification of threshold levels for Warner-Bratzler shear force in beef top loin steaks. *Journal of Muscle Foods*. 2: 289-296.
- Strydom, P; Lühnl, J; Kahl, C; Hoffman, L. 2016. Comparison of shear force tenderness, drip and cooking loss, and ultimate muscle pH of the loin muscle

- among grass-fed steers of four major beef crosses slaughtered in Namibia. *South African Journal of Animal Science*. 46(4): 348-359.
- Tierney, A; Roche, H. 2007. The potential role of olive oil-derived MUFA in insulin sensitivity. *Molecular Nutrition and Food Research*. 51(10): 1235-1248.
- Torrescano, G; Sánchez, A; Vásquez, M; Paz, R; Pardo, D. 2010. Caracterización de canales y de carne de bovino de animales engordados en la zona centro de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1(2): 157-168.
- UNNE (Universidad Nacional del Nordeste). 2014. Crecimiento y desarrollo. Biotipos Productivos. (En línea, sitio web). Consultado 9 set. 2020. Disponible en <https://ipafcv.files.wordpress.com/2014/04/10.-crecimiento-y-desarrollo.pdf>
- USDA (United States Department of Agriculture). 2011. Method for Grid Assessment of Beef Carcass Ribeye Area. Washington, DC, Estados Unidos. 4p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2013. The color of meat and poultry. (En línea, sitio web). Consultado 18 dic. 2020. Disponible en [The Color of Meat and Poultry \(usda.gov\)](https://www.usda.gov/grades-standards/beef/shields-and-marbling-pictures)
- USDA (United States Department of Agriculture). 2015a. Institutional Meat Purchase Specifications. Estados Unidos, USDA. 71p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2015b. Beef Grading Shields (En línea, sitio web). Consultado 29 oct. 2019. Disponible en <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/beef/shields-and-marbling-pictures>
- USDA (United States Department of Agriculture). 2017. United States Standards for Grades of Carcass Beef. Estados Unidos, USDA. 16p.
- Williams, A. 2002. Ultrasound applications in beef cattle carcass research and management. *Journal of Animal Science*. 2: 183-188.
- World Economic Forum. 2018. Meat: the Future. Time for a Protein Portfolio to Meet Tomorrow's Demand. Geneva, Suiza. 15 p.

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Composición de los núcleos minerales ofrecidos al T2 (200 mg/día) y T3 (70 mg/día) en la evaluación del rendimiento y calidad de la carne de ganado cebú finalizado en dos sistemas de pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Componente	T2	T3
Humedad (%)	Max 5	Max 4
Cloruro de sodio - NaCl (%)	Max 42 Min 35	Max 30 Min 31
Calcio - Ca (%)	Max 6 Min 5	Max 4 Min 4,8
Fósforo - P (%)	Min 3	Min 1
Magnesio - Mg (%)	Min 1	Min 1
Zinc - Zn (mg/día)	Min 300	Min 420
Manganeso - Mn (mg/día)	Min 175	Min 210
Cobre - Cu (mg/día)	Min 86	Min 105
Yodo - I (mg/día)	Min 6	Min 5,3
Hierro - Fe (mg/día)	Min 15	Min 3,5
Selenio - Se (mg/día)	Min 2	Min 1,1
Cobalto - Cu (mg/día)	Min 3,5	Min 1,1
Vitamina A (UI/día)	Min 50 000	Min 28 000
Vitamina D (UI/día)	Min 10 000	Min 5 600
Vitamina E (UI/día)	Min 100	Min 525

Fuente: Adaptado de Bayer S.A. (2019) y Bolaños-Gamboa (2020)\*

\*Bolaños-Gamboa, F. 22 set. 2020. Composición del núcleo mineral Don Fernando (WhatsApp). San Carlos, Costa Rica, Ganadera Don Fernando.



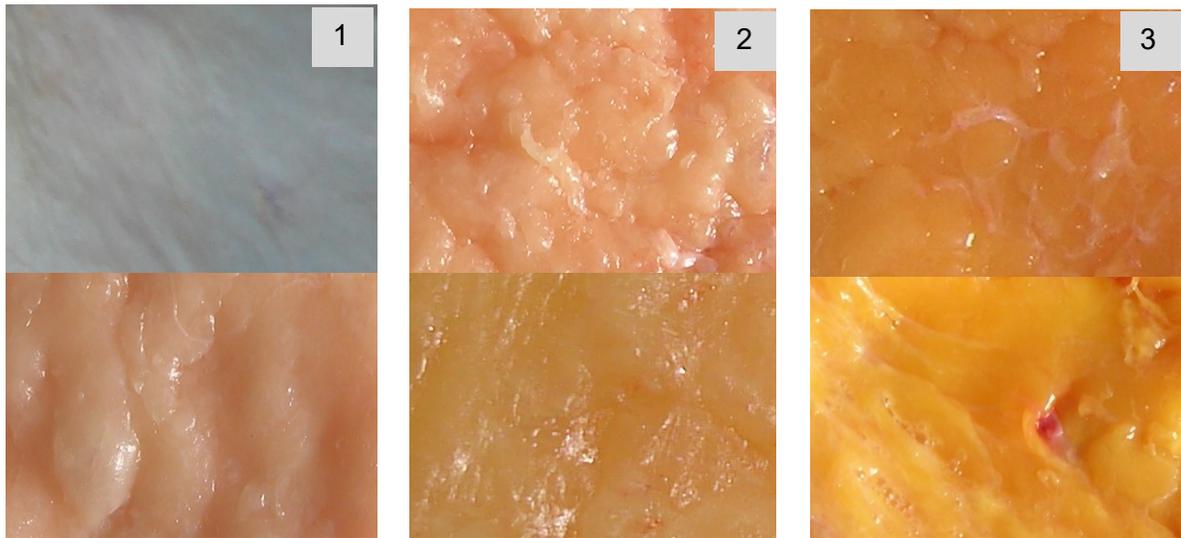
Anexo 2. Guía para el conteo de dientes incisivos permanentes en bovinos *B. indicus*, la estimación de edad en meses y clasificación del animal. A) 0 Dientes, <20 meses, joven; B) 2 Dientes, 20-24 meses, joven; C) 4 Dientes, 24-36 meses, adulto joven; D) 6 Dientes, 36-48 meses, adulto; E) 8 Dientes, >48 meses, adulto. CORFOGA (2012).



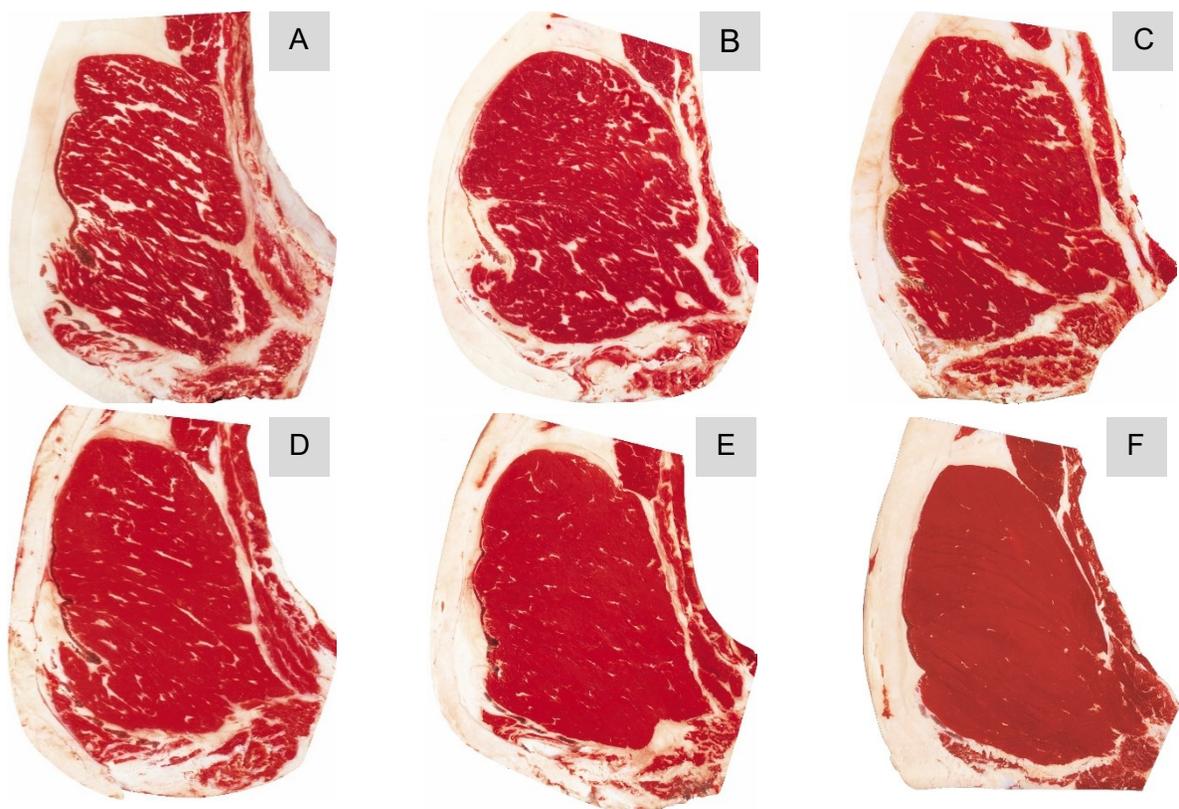
Anexo 3. Guía para la determinación del grado de cobertura grasa en canales bovinas. 1) Grado 1, desprovista o con una capa muy ligera y delgada; 2) Grado 2, capa de <math>< 1\text{ cm}</math> de grosor, parcialmente distribuida; 3) Grado 3, capa de >math>> 1\text{ cm}</math> de grosor, extensamente distribuida. CORFOGA (2002).



Anexo 4. Guía para la determinación del grado muscular en canales bovinas. 1) Grado 1, perfil convexo o rectilíneo, lomo prominente y amplitud en cuartos; 2) Grado 2, perfil rectilíneo, amplitud en cuartos, lomo y costillar rellenos; 3) Grado 3, perfil cóncavo, costillas marcadas, lomo descarnado, cuartos sin amplitud; 4) Grado 4, perfil ultra cóncavo, canal descarnada y angulosa. CORFOGA (2002)



Anexo 5. Guía para la determinación del color de la grasa de cobertura en canales bovinas. 1) Grado 1, grasa entre blanco y rosa; 2) Grado 2, grasa entre rosa cremoso y amarillo claro; 3) Grado 3, grasa entre amarillo claro e intenso. CORFOGA (2002).



Anexo 6. Calificación de la carne de res de acuerdo con el marmoleo y su clasificación en el estándar estadounidense. A) Moderadamente abundante, prime; B) Ligeramente abundante, prime; C) Moderado, choice; D) Modesto, choice; E) Poco, choice; F) Ligero, select. USDA (2015b).

Anexo 7. Clasificación de cortes extraíbles de la canal bovina de acuerdo con su ubicación, con el respectivo nombre en español e inglés y músculos que los conforman.

<b>Corte</b>	<b>Name in English</b>	<b>Músculo(s) que lo conforman</b>
<b>Región delantera</b>	<b>Forequarter</b>	
Cacho de paleta	Mock tender	<i>Supraspinatus</i>
Giba	Hump	<i>Rhomboideus</i>
Lomo de paleta	Top blade/Flat iron	<i>Infraspinatus</i>
Lomo de pescuezo	Chuck	Múltiples músculos
Pecho	Brisket	Superficial y medial profundo
Pescuezo	Chuck	Múltiples músculos
Posta de paleta	Clod	<i>Triceps brachii</i>
Quititeña	Underblade	<i>Serratus ventralis</i>
Ratón delantero	Foreshink/Shink	Plexores y extensores
<b>Región del lomo, costillar y falda</b>	<b>Loin, Ribs, Flank</b>	<b>Músculo(s) que lo conforman</b>
Cecina	Flap	<i>Oblicuos abdominis</i>
Cola de lomo	Ribeye	<i>Longissimus dorsi thoracis</i>
Lomito	Tenderloin	<i>Psoas major, P. minor</i>
Lomo ancho	Strip loin	<i>Longissimus dorsi lumborum</i>
Lomo de aguja	Ribeye cap	<i>Spinalis dorsi</i>
Oreja de cecina	Flank	<i>Rectus abdominis</i>
<b>Cuarto trasero</b>	<b>Hindquarter</b>	<b>Músculo(s) que lo conforman</b>
Bolita	Knuckle	<i>Cuadriceps femoris</i>
Cacho vuelta lomo	Tri-tip	<i>Tensor fasciae latae</i>
Mano de piedra	Eye of round	<i>Semitendinosus</i>
Posta de cuarto	Top (inside) round	<i>Adductor, Sartorius, Semimembranosus, Gracilis, Pectinius</i>
Punta de solomo	Sirloin cap	<i>Biceps femoris, Glúteo anterior</i>
Rabo	Ox tail	Múltiples músculos
Ratón campana	Hindshank/Shank	<i>Gastrocnemio, plexores y extensores</i>
Solomo	Bottom (outside) round	<i>Biceps femoris, Glúteo superficial</i>
Vuelta de lomo	Center-cut top sirloin butt	<i>Gluteus medius</i>

Fuente: Adaptado de Rodríguez 2012.

Anexo 8. Clasificación de cortes cárnicos y composición de la canal (kg) de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Clasificación	Corte	p-valor	Media (kg) ± E.E.			LCI (kg) – LCS (kg) <sup>#</sup>		
			T1	T2	T3	T1	T2	T3
Región delantera	Cacho de paleta	0,2559	1,13 ± 0,07	1,04 ± 0,04	1,00 ± 0,02	0,97 - 1,29	0,94 - 1,14	0,93 - 1,07
	Giba	0,2157	0,11 ± 0,07	0 ± 0	0 ± 0	0,00 - 0,28	0 - 0	0 - 0
	Lomo de paleta	0,2133	1,50 ± 0,02	1,55 ± 0,03	1,48 ± 0,03	1,41 - 1,57	1,47 - 1,63	1,40 - 1,55
	Lomo de pescuezo	0,3974	0,23 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,20 - 0,25	0,18 - 0,23	0,16 - 0,25
	Pecho	0,6595	1,53 ± 0,06	1,48 ± 0,05	1,44 ± 0,07	1,38 - 1,68	1,36 - 1,60	1,26 - 1,63
	Pescuezo	0,0062	4,55 ± 0,12 a	4,11 ± 0,19 b	3,76 ± 0,16 b	4,26 - 4,83	3,65 - 4,56	3,37 - 4,15
	Posta de paleta	0,2041	2,76 ± 0,09	2,54 ± 0,80	2,58 ± 0,08	2,55 - 2,97	2,34 - 2,74	2,29 - 2,70
	Quititeña	0,7017	2,53 ± 0,12	2,39 ± 0,13	2,49 ± 0,08	2,25 - 2,81	2,06 - 2,71	2,29 - 2,70
	Ratón - Shink	0,2027	3,21 ± 0,08	3,00 ± 0,15	2,92 ± 0,09	3,00 - 3,04	2,64 - 3,36	2,70 - 3,15
Sub total	<0,0001	17,7 ± 0,17 a	15,8 ± 0,26 b	15,4 ± 0,36 b	17,3 - 18,1	15,1 - 16,5	14,5 - 16,3	
Región central	Cecina	0,3659	0,86 ± 0,02	0,78 ± 0,05	0,81 ± 0,03	0,79 - 0,92	0,66 - 0,90	0,72 - 0,89
	Cola de lomo	0,1554	1,54 ± 0,04	1,39 ± 0,04	1,41 ± 0,08	1,43 - 1,65	1,27 - 1,50	1,22 - 1,61
	Lomito	0,0616	1,53 ± 0,05	1,39 ± 0,04	1,30 ± 0,10	1,42 - 1,64	1,28 - 1,49	1,04 - 1,56
	Lomo ancho	0,0791	2,84 ± 0,10	2,59 ± 0,07	2,56 ± 0,09	2,60 - 3,08	2,40 - 2,77	2,34 - 2,77
	Lomo de aguja	0,8891	0,81 ± 0,03	0,80 ± 0,02	0,79 ± 0,02	0,74 - 0,89	0,75 - 0,85	0,74 - 0,84
	Oreja de cecina	0,5218	0,44 ± 0,02	0,51 ± 0,06	0,47 ± 0,03	0,39 - 0,49	0,36 - 0,65	0,40 - 0,54
	Sub total	0,0187	8,05 ± 0,17 a	7,47 ± 0,15 b	7,41 ± 0,13 b	7,65 - 8,44	7,08 - 7,86	7,08 - 7,74
Región trasera	Bolita	0,1402	4,19 ± 0,10	3,92 ± 0,11	3,87 ± 0,14	3,95 - 4,43	3,64 - 4,19	3,52 - 4,21
	Cacho vuelta lomo	0,3993	0,97 ± 0,03	0,91 ± 0,02	0,92 ± 0,08	0,88 - 1,06	0,84 - 0,97	0,72 - 1,13
	Mano de piedra	0,7699	1,74 ± 0,12	1,64 ± 0,05	1,65 ± 0,04	1,46 - 2,02	1,50 - 1,78	1,53 - 1,76
	Posta de cuarto	0,1754	6,80 ± 0,16	6,35 ± 0,12	6,51 ± 0,21	6,43 - 7,17	6,06 - 6,63	5,99 - 7,03
	Punta de solomo	0,4850	1,18 ± 0,04	1,17 ± 0,07	1,07 ± 0,08	1,07 - 1,28	1,00 - 1,34	0,86 - 1,28
	Rabo	0,8810	1,05 ± 0,08	1,09 ± 0,05	1,10 ± 0,06	0,86 - 1,25	0,97 - 1,22	0,95 - 1,25
	Ratón - Shank	0,1402	3,71 ± 0,12	3,29 ± 0,21	3,35 ± 0,13	3,42 - 3,99	2,79 - 3,79	3,04 - 3,66
	Solomo	0,2384	4,14 ± 0,11	3,92 ± 0,13	3,87 ± 0,10	3,88 - 4,40	3,61 - 4,23	3,61 - 4,13
	Vuelta de lomo	0,1159	2,95 ± 0,06	2,86 ± 0,09	2,69 ± 0,08	2,78 - 3,11	2,64 - 3,09	2,49 - 2,90
	Sub total	0,1476	26,5 ± 0,57	25,3 ± 0,54	25,1 ± 0,55	25,2 - 27,8	23,8 - 26,6	23,6 - 26,5
BSCH	0,0003	27,8 ± 0,67 a	24,5 ± 0,43 b	24,6 ± 0,37 b	26,2 - 29,5	23,4 - 25,6	23,7 - 25,5	
Tejido muscular	<0,0001	80,9 ± 1,12 a	71,9 ± 1,17 b	72,3 ± 1,29 b	78,0 - 83,8	69,1 - 74,8	69,1 - 75,5	
Tejido óseo	0,0821	19,71 ± 0,64	19,6 ± 0,68	18,0 ± 0,32	18,1 - 22,2	17,7 - 21,5	17,2 - 18,8	
Tejido graso	0,0016	0,62 ± 0,06 b	0,57 ± 0,05 c	0,76 ± 0,07 a	0,46 - 0,78	0,42 - 0,72	0,58 - 0,95	
Desperdicio	0,0020	1,84 ± 0,06 b	2,20 ± 0,10 a	2,17 ± 0,07 a	1,67 - 1,91	1,95 - 2,46	1,99 - 2,37	
Total canal	<0,0001	104,7 ± 1,6 a	95,2 ± 1,11 b	93,2 ± 1,57 b	100,8 - 108,7	92,3 - 98,0	89,3 - 97,1	

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC. #: Límite de Confianza Superior e Inferior.

Anexo 9. Clasificación de cortes cárnicos y composición de la canal (%) de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Clasificación	Corte	p-valor	Media (%) ± E.E.			LCI (%) – LCS (%)#		
			T1	T2	T3	T1	T2	T3
Región delantera	Cacho de paleta*	0,7591	1,09 ± 0,06	1,09 ± 0,03	1,05 ± 0,03	0,94 - 1,25	1,00 - 1,18	0,97 - 1,13
	Giba	0,2274	0,11 ± 0,07	0 ± 0	0 ± 0	0,00 - 0,28	0 - 0	0 - 0
	Lomo de paleta	0,1752	1,58 ± 0,03	1,62 ± 0,01	1,52 ± 0,02	1,51 - 1,65	1,57 - 1,67	1,45 - 1,59
	Lomo de pescuezo*	0,4222	0,54 ± 0,31	0,19 ± 0,02	0,22 ± 0,01	0,00 - 1,25	0,12 - 0,25	0,17 - 0,26
	Pecho	0,5838	1,47 ± 0,04	1,55 ± 0,05	1,52 ± 0,06	1,37 - 1,58	1,41 - 1,69	1,37 - 1,67
	Pescuezo*	0,0476	4,39 ± 0,08 a	4,30 ± 0,19 ab	3,96 ± 0,14 b	4,20 - 4,57	3,83 - 4,77	3,63 - 4,29
	Posta de paleta	0,7629	2,66 ± 0,07	2,66 ± 0,06	2,73 ± 0,07	2,50 - 2,83	2,51 - 2,81	2,54 - 2,91
	Quititeña	0,4378	2,44 ± 0,10	2,49 ± 0,11	2,63 ± 0,09	2,19 - 2,68	2,21 - 2,77	2,40 - 2,86
	Ratón – Shink*	0,9399	3,09 ± 0,04	3,13 ± 0,13	3,08 ± 0,04	3,00 - 3,18	2,81 - 3,45	2,97 - 3,19
	<b>Sub total</b>	<b>0,5243</b>	<b>17,1 ± 0,18</b>	<b>17,1 ± 0,30</b>	<b>16,7 ± 0,18</b>	<b>16,6 - 17,5</b>	<b>16,3 - 17,8</b>	<b>16,3 - 17,1</b>
Región central	Cecina*	0,7162	0,83 ± 0,02	0,82 ± 0,04	0,85 ± 0,02	0,78 - 0,88	0,70 - 0,93	0,79 - 0,92
	Cola de lomo	0,8501	1,49 ± 0,04	1,45 ± 0,02	1,49 ± 0,05	1,38 - 1,60	1,34 - 1,57	1,35 - 1,62
	Lomito*	0,7193	1,48 ± 0,03	1,45 ± 0,02	1,39 ± 0,12	1,39 - 1,57	1,39 - 1,52	1,10 - 1,68
	Lomo ancho	0,9399	2,74 ± 0,08	2,70 ± 0,06	2,70 ± 0,09	2,54 - 2,93	2,55 - 2,86	2,48 - 2,93
	Lomo de aguja*	0,1912	0,78 ± 0,02	0,84 ± 0,02	0,84 ± 0,02	0,72 - 0,85	0,79 - 0,89	0,78 - 0,89
	Oreja de cecina*	0,0522	0,43 ± 0,01	0,53 ± 0,06	0,49 ± 0,02	0,39 - 0,47	0,39 - 0,67	0,44 - 0,54
<b>Sub total</b>	<b>0,9446</b>	<b>7,77 ± 0,09</b>	<b>7,81 ± 0,09</b>	<b>7,78 ± 0,14</b>	<b>7,55 - 7,98</b>	<b>7,58 - 8,04</b>	<b>7,44 - 8,12</b>	
Región trasera	Bolita	0,9159	4,05 ± 0,07	4,09 ± 0,07	4,08 ± 0,09	3,89 - 4,21	3,92 - 4,26	3,86 - 4,30
	Cacho vuelta lomo*	0,9196	0,94 ± 0,03	0,95 ± 0,01	0,97 ± 0,09	0,87 - 1,01	0,90 - 0,99	0,76 - 1,19
	Mano de piedra*	0,8098	1,68 ± 0,10	1,72 ± 0,04	1,74 ± 0,03	1,43 - 1,92	1,61 - 1,83	1,66 - 1,81
	Posta de cuarto	0,1850	6,57 ± 0,11	6,64 ± 0,07	6,86 ± 0,13	6,31 - 6,83	6,47 - 6,81	6,54 - 7,18
	Punta de solomo	0,5879	1,14 ± 0,04	1,22 ± 0,06	1,13 ± 0,09	1,04 - 1,23	1,06 - 1,38	0,91 - 1,35
	Rabo	0,2238	1,01 ± 0,07	1,14 ± 0,05	1,16 ± 0,06	0,84 - 1,18	1,01 - 1,27	1,01 - 1,31
	Ratón - Shank	0,6675	3,58 ± 0,11	3,42 ± 0,17	3,53 ± 0,08	3,33 - 3,83	2,79 - 3,79	3,34 - 3,72
	Solomo	0,6825	4,00 ± 0,08	4,10 ± 0,10	4,08 ± 0,06	3,80 - 4,20	3,01 - 3,83	3,94 - 4,22
	Vuelta de lomo	0,3353	3,02 ± 0,06	2,91 ± 0,09	2,89 ± 0,04	2,89 - 3,16	2,70 - 3,13	2,78 - 3,00
<b>Sub total</b>	<b>0,5927</b>	<b>26,0 ± 0,28</b>	<b>26,2 ± 0,36</b>	<b>26,4 ± 0,33</b>	<b>25,3 - 26,6</b>	<b>25,3 - 27,0</b>	<b>25,7 - 27,2</b>	
BSCH		0,0297	27,1 ± 0,46 a	25,2 ± 0,62 b	26,3 ± 0,43 b	26,0 - 28,1	23,7 - 26,7	25,3 - 27,3
	Tejido muscular	0,0622	77,9 ± 0,33	76,3 ± 0,64	77,4 ± 0,41	77,2 - 78,7	74,8 - 77,9	76,5 - 78,4
	Tejido óseo	0,3061	19,5 ± 0,27	20,1 ± 0,31	19,6 ± 0,29	18,8 - 20,1	19,3 - 20,9	18,9 - 20,3
	Tejido graso	0,2440	0,81 ± 0,09	0,57 ± 0,10	0,65 ± 0,11	0,59 - 1,02	0,33 - 0,81	0,40 - 0,91
	Desperdicio	0,0028	1,93 ± 0,08 b	2,42 ± 0,13 a	2,50 ± 0,14 a	1,76 - 2,11	2,11 - 2,74	2,18 - 2,84

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC.

\* : Medias con corrección de heterocedasticidad, con función VarIdent. #: Límite de Confianza Superior e Inferior.

Anexo 10. Composición (%) de ácidos grasos del músculo *Longissimus dorsi lumborum* de ganado cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo; La Fortuna, San Carlos, 2020.

Abreviación	Nombre común	p-valor	Media (%) ± E.E.			LCI (%) – LCS (%)		
			T1	T2	T3	T1	T2	T3
C4:0	Butírico*	0,0088	0,06 ± 0,01 b	0,22 ± 0,04 a	0,04 ± 0,01 b	0,04 - 0,09	0,12 - 0,31	0,006 - 0,07
C6:0	Caproico	0,0258	0 ± 0 b	0,04 ± 0,02 a	0,002 ± 0,001b	0 - 0	0 - 0,08	0 - 0,006
C8:0	Caprílico	0,0376	0,004 ± 0,002b	0,03 ± 0,01 a	0 ± 0 b	0 - 0,008	0 - 0,07	0 - 0
C10:0	Cáprico	0,0221	0,064 ± 0,006b	0,09 ± 0,01 a	0,091 ± 0,008a	0,05 - 0,07	0,07 - 0,11	0,07 - 0,10
C11:0	Undecanoico	-	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0
C12:0	Láurico	0,0139	0,099 ± 0,008b	0,13 ± 0,01 a	0,087 ± 0,007b	0,08 - 0,11	0,10 - 0,15	0,07 - 0,10
C13:0	Tridecanoico	0,3364	0,022 ± 0,007	0,005 ± 0,005	0,02 ± 0,01	0,006 - 0,037	0 - 0,01	0 - 0,04
C14:0	Mirístico	0,6223	3,39 ± 0,18	3,63 ± 0,16	3,44 ± 0,17	3,04 - 3,75	3,29 - 3,96	3,11 - 3,78
C14:1	Miristoleico	0,1351	0,69 ± 0,06	0,57 ± 0,08	0,49 ± 0,04	0,56 - 0,81	0,41 - 0,74	0,40 - 0,59
C15:0	Pentadecanoico	0,5393	0,45 ± 0,02	0,51 ± 0,05	0,46 ± 0,04	0,40 - 0,49	0,41 - 0,61	0,37 - 0,55
C15:1	Pentadecenoico	0,0108	0,32 ± 0,02 b	0,47 ± 0,04 a	0,42 ± 0,03 a	0,27 - 0,36	0,37 - 0,56	0,36 - 0,48
C16:0	Palmítico	0,0002	27,83 ± 0,55 b	30,79 ± 0,34 a	30,36 ± 0,40a	26,73 - 28,92	30,11 - 31,47	29,57 - 31,15
C16:1	Palmitoleico*	0,0447	2,68 ± 0,14	2,57 ± 0,26	2,22 ± 0,09	2,39 - 2,96	2,05 - 3,09	2,03 - 2,42
C17:0	Margárico	0,1196	1,01 ± 0,05	1,18 ± 0,08	1,18 ± 0,06	0,89 - 1,12	1,03 - 1,34	1,05 - 1,32
C17:1	Margaroleico*	0,0824	0,56 ± 0,01	0,54 ± 0,05	0,49 ± 0,02	0,53 - 0,60	0,43 - 0,65	0,44 - 0,54
C18:0	Estearico	0,4958	16,89 ± 0,68	17,77 ± 1,16	18,32 ± 0,75	15,54 - 18,24	15,47 - 20,06	16,84 - 19,79
C18:1t	Trans-9-elaídico	-	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 - 0	0 - 0	0 - 0
C18:1 n-9 OA	Oleico	0,0039	43,32 ± 0,81 a	37,50 ± 1,44 b	38,68 ± 1,36 b	41,73 - 44,92	34,65 - 40,34	36,01 - 41,34
C18:2t	Trans-trans-linoelaídico	0,1518	0,14 ± 0,02	0,20 ± 0,03	0,12 ± 0,01	0,08 - 0,20	0,13 - 0,28	0,09 - 0,16
C18:2 n-6 LA	Linoleico	0,0157	1,55 ± 0,16 b	2,64 ± 0,37 a	2,41 ± 0,25 a	1,22 - 1,88	1,91 - 3,37	1,92 - 2,90
C18:3 n-6 GLA	γ-linolénico	0,4674	0,15 ± 0,15	0 ± 0	0 ± 0	0 - 0,46	0 - 0	0 - 0
C18:3 n-3 ALA	α-linolénico	<0,0001	0,20 ± 0,02 b	0,44 ± 0,04 a	0,52 ± 0,02 a	0,14 - 0,26	0,36 - 0,52	0,46 - 0,58
C20:0	Araquídico	0,3126	0,11 ± 0,01	0,06 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,08 - 0,14	0,004 - 0,13	0,02 - 0,13
C20:1 n-9	cis-11-eicosénico*	0,0198	0,12 ± 0,01 a	0,12 ± 0,03 a	0,04 ± 0,02 b	0,09 - 0,15	0,04 - 0,20	0,006 - 0,091
C20:2 n-6	cis-11,14-eicosadienoico	0,0848	0,03 ± 0,01	0,014 ± 0,009	0 ± 0	0,007 - 0,066	0 - 0,03	0 - 0
C21:0	Heneicosanoico	0,5219	0,005 ± 0,003	0,007 ± 0,007	0 ± 0	0 - 0,01	0 - 0,02	0 - 0
C20:3 n-9	8-11,14-eicosatrienoico*	0,7176	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,01 - 0,05	0 - 0,04	0 - 0,08
C20:4 n-6 AA	cis-5,8,11,14-eicosatetraenoico	0,0295	0,08 ± 0,02 b	0,15 ± 0,03 a	0,19 ± 0,02 a	0,02 - 0,13	0,08 - 0,22	0,15 - 0,23
C20:3 n-6	cis-11,14,17-eicosatrienoico*	0,6903	0,004 ± 0,001	0,01 ± 0,01	0,003 ± 0,003	0,001 - 0,008	0 - 0,04	0 - 0,01
C22:0	Behénico*	0,1972	0,001 ± 0,001	0,05 ± 0,04	0,02 ± 0,01	0 - 0,003	0 - 0,13	0 - 0,06
C20:5 n-3 EPA	cis-5,8,11,14,17 eicosapentaenoico*	0,7655	0,01 ± 0,01	0,004 ± 0,004	0,01 ± 0,01	0 - 0,05	0 - 0,01	0 - 0,03
C22:1 n-9	Erúcico	0,4674	0,006 ± 0,006	0 ± 0	0 ± 0	0 - 0,01	0 - 0	0 - 0
C22:2 n-6	cis-13,16-docosadienoico*	0,5277	0,007 ± 0,004	0,01 ± 0,01	0,002 ± 0,002	0 - 0,01	0 - 0,03	0 - 0,08
C23:0	Tricosanoico	0,3144	0,009 ± 0,007	0 ± 0	0 ± 0	0 - 0,02	0 - 0	0 - 0
C24:0	Lignocérico	0,0078	0,04 ± 0,01 b	0,08 ± 0,03 b	0,16 ± 0,01 a	0,01 - 0,08	0,01 - 0,14	0,12 - 0,19
C24:1 n-9	Nervónico	0,5406	0 ± 0	0,006 ± 0,006	0,006 ± 0,006	0 - 0	0 - 0,01	0 - 0,01
C22:6 n-3 DHA	Docosahexenoico	0,4917	0,001 ± 0,001	0 ± 0	0 ± 0	0 - 0,002	0 - 0	0 - 0

Filas con letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ), según la prueba DGC. \*: Medias con corrección de heterocedasticidad con función VarIdent.

