



## Calidad de la carne de hembras cebú finalizadas en sistemas de estabulación y pastoreo en San Carlos, Costa Rica

Beef quality of Zebu heifers finished in feedlot and grazing systems in San Carlos, Costa Rica

Alejandra Fernández-Quesada<sup>1</sup>, Julio Rodríguez-González<sup>2</sup>

### Palabras clave

Calidad de carne, cebú, estabulado, minerales, pastoreo, perfil lipídico.

### Resumen

Con el objetivo de analizar la calidad de la carne de ganado Cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo, se distribuyó 26 novillas *B. indicus* en tres sistemas productivos (T1: estabulado, T2: pastoreo rotacional (PR) + núcleo DF y T3: PR + suplemento Stella Beef®). Al T1 se ofreció 25 kg/animal/día de una dieta compuesta por pasto Cuba OM-22, maíz molido, destilados de maíz, melaza, urea, silo-paca de pasto Massai y núcleo de minerales 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/animal/día. Los grupos permanecieron en sistema productivo durante 65 (T1) o 94 días (T2-T3) hasta alcanzar el acabado deseado por el productor. En el análisis de laboratorio T2 y T3 presentaron un perfil lipídico de la carne superior al T1. No se encontró diferencias significativas entre sistemas productivos o días de maduración en las variables pérdidas por goteo o color del músculo *Longissimus dorsi lumborum*; y T3 presentó la mejor respuesta ante la maduración para la suavidad de la carne ( $p < 0,05$ ). En cuanto a atributos de calidad, T2 y T3 demostraron superioridad respecto al T1. Además, se observó que variaciones en la cantidad de antioxidantes en dieta pueden influenciar características como concentración de PUFA, pérdidas por goteo, color y suavidad de la carne.

### Key words

Beef quality, zebu, feedlot, minerals, grazing, lipids.

### Abstract

In order to analyze live growth and carcass characteristics of zebu heifers 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, distillers dried grain with solubles, molasses, urea, Massai grass silage and DF minerals, was given daily to T1. T2 and T3 exclusively consumed African 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. In the laboratory analysis T2 and T3 showed a beef lipid profile higher than T1. No significant differences were found between treatments and aging in the variables loss due to dripping or color of the *Longissimus dorsi lumborum* muscle; and T3 presented the best response to aging for beef tenderness ( $p < 0.05$ ). Regarding other quality attributes, T2 and T3 demonstrated superiority over T1. It was observed that variations in the number of antioxidants in the diet can influence characteristics such as PUFA concentration, drip loss, color, and beef tenderness.

1 Ing. Agrónomo. Jefe de Finca CIISA-Costa Rica.  
✉ alejandra.fernandez@grupociisa.com.

2 Ing. Agrónomo. Gerente de Ganadería CR-Nic, CIISA. julio.rodriguez@grupociisa.com. Profesor, Escuela de Agronomía ITCR, jurodriguez@itcr.ac.cr

Recibido: Junio del 2021  
Aceptado: Enero del 2022  
Publicado: Diciembre del 2022  
DOI: 10.18845/rath.v3i2.6615

## Introducción

El ganado vacuno es la especie productiva más abundante de Costa Rica, concentrándose la mayor cantidad del hato en el cantón de San Carlos [1]. A pesar de su importancia económica en el país, la ganadería de carne se caracteriza por ser extensiva y manejada con poca tecnología; debido a ello el suelo se ha degradado, elevando costos de producción y reduciendo la rentabilidad del sistema [2, 3]. Ante la necesidad de producir una mayor cantidad de producto, de la mejor calidad y con la menor cantidad de recursos, la ganadería de carne enfrenta críticas debido a la contaminación, deforestación y exceso de recursos naturales utilizados; además, el consumidor ha elevado sus expectativas y paulatinamente exige carne de mejor calidad [4]. Por lo anterior, es necesario promover sistemas que ofrezcan más y mejor producto de manera sostenible, colocando al pastoreo intensivo como una de las principales alternativas en Costa Rica [5]. Si bien los sistemas de estabulación producen animales más pesados en menor tiempo, el pastoreo tiene gran potencial para generar buen rendimiento en canal y carnes más saludables para el consumo humano [6, 7].

En Costa Rica, el 96% de las fincas ganaderas utilizan el pastoreo como principal sistema de producción [8]. Ganadera Don Fernando, empresa pecuaria con centro de operación en La Fortuna de San Carlos, ha utilizado sistemas de estabulación y pastoreo rotacional con suplemento en canoa para el engorde de los animales [7]. Como parte de su compromiso de mejora continua y debido a las exigencias del consumidor por adquirir carne saludable y producida de manera sostenible, la empresa ha decidido investigar los beneficios de los sistemas de pastoreo sin suplementación o "grass-fed", aunado al aporte variado de vitaminas y minerales. Considerando lo anterior, el objetivo de esta investigación fue analizar la calidad de la carne de hembras cebú finalizadas en sistemas de estabulación y pastoreo en La Fortuna de San Carlos.

## Materiales y métodos

El engorde de los animales se ejecutó en dos fincas, una ubicada en La Fortuna de San Carlos (10°27'10"N; 84°37'43"O) a 230 msnm, donde se mantuvo el sistema de estabulación; y la otra en

El Tanque de La Fortuna, San Carlos (10°29'24"N; 84°34'57"O) a 115 msnm, donde se ubicaron los sistemas de pastoreo. La distancia entre fincas fue 6,4 km lineales aproximadamente.

Ambas locaciones pertenecen a la zona de vida Bosque muy húmedo premontano transición a basal (bmh-P6) con periodo seco dos meses al año, 4000 mm de precipitación anual y suelos inceptisoles [9]. Durante el engorde, la temperatura se mantuvo entre 23,9°C y 27,3°C, la radiación mínima fue de 6,4 MJ/m<sup>2</sup> y la máxima 23,1 MJ/m<sup>2</sup>; la velocidad del viento varió entre 0,9 m/s y 1,8 m/s, la humedad relativa fue de 82% a 97,7% y la precipitación acumulada fue 774 L/m<sup>2</sup> según los valores reportados por la estación meteorológica ADIFORT - La Fortuna, del Instituto Meteorológico Nacional, para el año 2020.

El engorde se prolongó 65 o 94 días según el sistema evaluado, iniciando en marzo del 2020 y finalizando en junio del 2020. 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) y para el análisis de composición de grasa y perfil lipídico de la carne se contrató al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) de la Universidad de Costa Rica.

La población muestreada fueron hembras bovinas cebú con diferente proporción de encaste Brahman (*Bos indicus*) adquiridas 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 peso en finca entre 275 a 360 kg.

El área experimental fue de 26 hembras bovinas. Cada individuo correspondió a una repetición o unidad experimental para un total de 26 unidades experimentales distribuidas en tres sistemas productivos. Se efectuó el mismo manejo sanitario durante la 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).

Una vez registrado el peso de ingreso, las unidades experimentales se asignaron a los tratamientos según las categorías de la finca. El T1 se compuso

por 10 animales de  $335,8 \pm 19,7$  kg de peso promedio y los restantes se dispusieron al azar para conformar dos grupos de ocho animales cada uno con peso promedio de  $297,5 \pm 16,2$  kg.

El T1 consistió del confinamiento permanente en un corral techado de  $120 \text{ m}^2$ . El recinto se mantuvo con 22 animales para lograr el máximo aprovechamiento del área ( $6 \text{ m}^2/\text{animal}$ ). La dieta se compuso por silopaca de pasto Massai (*Panicum maximum* cv. Massai), pasto de corta Cuba OM-22 (*Penisetum purpureum* × *Penisetum glaucum*), maíz molido, destilado de maíz, melaza, urea y suplementación mineral formulada para la empresa, los animales se alimentaron dos veces al día ( $25 \text{ kg}/\text{animal}/\text{día}$ ).

Los tratamientos T2 y T3 consistieron en sistemas de pastoreo intensivo con diferente suplementación mineral. Los grupos se mantuvieron en áreas separadas, para lo cual se destinó 25 apartos de  $400 \text{ m}^2$  cada uno; los días de ocupación y descanso por lote fueron tres y 30 respectivamente. La pastura predominante fue estrella africana (*Cynodon nemfluensis*). La suplementación mineral se suministró una vez al día, en mezcla con melaza ( $3,75 \text{ L}/\text{animal}$ ) a razón de  $200 \text{ g}$  suplemento/animal (T2) o  $70 \text{ g}$  suplemento/animal (T3). Al T2 se le ofreció el mismo mineral que al T1 y el T3 recibió el suplemento Stella Beef® (Bayer S.A.).

Los animales se transportaron alrededor de  $120 \text{ km}$  hacia la planta de sacrificio; al llegar permanecieron en corrales con acceso al agua hasta completar un ayuno total cercano a 22 horas. En la sala de sacrificio los animales fueron insensibilizados con perno cautivo no penetrante en la zona central del cráneo, en el punto medio entre los ojos y la inserción del cuerno opuesto. Se colgaron de la extremidad posterior izquierda para el degüelle, se sometieron a estimulación eléctrica por 20 segundos ( $21 \text{ V} / 0,25 \text{ A}$ ; Jarvis, mod. ES-4) y se les despojó de cabeza, cuero y extremidades a la altura de carpos y tarsos. Se colocó la media canal derecha en cuartos fríos ( $10^\circ\text{C}$ ) y se irrigó con agua en intervalos de 30 segundos durante 4 horas.

Durante el deshuese, 48 horas *post mortem*, se extrajo  $1 \text{ kg}$  de lomo ancho (*Longissimus dorsi lumborum*) para etiquetar y empacar individualmente al vacío en bolsas de polietileno impermeables al oxígeno. Los lomos se transportaron en frío 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 [11] para obtener bistecs de  $2,54 \text{ cm}$  de grosor. Se fabricaron tres bistecs por 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 (segundo día de maduración). A las dos piezas restantes se les retiró la grasa de cobertura, etiquetó y empacó individualmente al vacío en bolsas de polietileno impermeables al oxígeno para madurar en húmedo por 14 y 28 días ( $2 \pm 2^\circ\text{C}$ ). El color, pérdidas por cocción y fuerza de corte se evaluó en la totalidad de bistecs a medida que cumplían el periodo de maduración, mientras que las pérdidas por goteo se evaluaron en bistecs madurados por 14 y 28 días.

Durante la fabricación de los bistecs, se extrajo  $50 \pm 10 \text{ g}$  de cada lomo ancho. Se retiró su grasa de cobertura, etiquetó y empacó individualmente al vacío en bolsa de polietileno impermeable al oxígeno; se almacenó las muestras a  $-50^\circ\text{C}$  (ULT1790-10-A, Thermo Fisher Scientific) hasta transportarlas al CITA para evaluar composición grasa y perfil lipídico del tejido magro. Se siguió el método AOAC 960.39 para calcular el contenido graso del tejido muscular y los protocolos AOAC 996.06 y Ce 1e-91, AOCS en cromatografía de gases (GC-FID) para identificar el perfil lipídico.

Conforme se cumplieron los tiempos de maduración se evaluaron las siguientes variables:

- Pérdidas por goteo: Se extrajo el empaque de refrigeración y se registró el peso del bistec dentro de la bolsa. 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 y se secó con papel toalla el líquido para registrar el peso de la bolsa seca. La diferencia entre peso húmedo y seco de la bolsa correspondió a la humedad perdida durante la maduración. La pérdida por goteo (%) correspondió al cociente de la humedad perdida entre el peso de la bolsa sellada.
- Color de la carne: Se colocó el bistec en una superficie plana por al menos 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. Se promedió las tres mediciones para obtener los resultados de esa muestra.

- Pérdidas por cocción: Se procedió a la cocción del bistec con el protocolo modificado a partir de AMSA [11] para hornos de convección. La diferencia entre el peso fresco y cocido correspondió a la humedad perdida por cocción. La pérdida por cocción (%) se calculó como el cociente de la humedad perdida entre el peso fresco de cada bistec.
- Fuerza de corte: Se fabricó al menos seis cilindros de 1,27 cm de diámetro por bistec con un sacabocado acoplado a un taladro (Dw 107, DeWalt). Para obtener los cilindros, se orientó el bistec de manera que las fibras musculares siguieran de forma longitudinal la dirección del cilindro, se descartó aquellos cilindros desuniformes o remanentes de tejido conectivo y/o graso [11]. Se colocó 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 [11]. 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 promedió los valores obtenidos en cada muestra.

El conjunto de variables se analizó bajo un diseño completamente al azar de efectos fijos, con covariables como peso vivo, días en finca, peso final en planta de cosecha y cronometría dentaria inicial o final. A excepción de las variables del contenido graso y perfil, para el resto de variables se registró la interacción entre sistema productivo y periodo de maduración, así como el efecto simple del periodo de maduración como promedio de los tres sistemas productivos.

Se comparó las medias de los tratamientos mediante modelos generales lineales y mixtos (MLMix) con corrección de heterocedasticidad usando la función *VarIdent* en las variables “grasa cruda” y el porcentaje de algunos ácidos grasos. Se complementó con la prueba de comparación múltiple DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) con nivel de significancia 0,05. Para todos los análisis se utilizó el software InfoStat/P [12].

## 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 ( $p > 0,05$ ).

### Composición grasa y perfil lipídico

El Cuadro 1 muestra los resultados obtenidos en el análisis de composición lipídica de la carne. Se encontró diferencias en todas las variables, excepto en el porcentaje de ácidos grasos  $n-6$ ,  $n-9$  y grasas trans. En el Cuadro 2 se presenta la composición de ácidos grasos del músculo *Longissimus dorsi lumborum*, obtenidos en este estudio para cada sistema productivo.

Los SFA (ácidos grasos saturados) en su mayoría no son deseables en la dieta por su efecto hipercolesterolémico y relación con enfermedades cardiovasculares [13, 14]. Existen SFA, como los ácidos mirístico, palmítico y láurico, con potencial para causar aterosclerosis y trombosis; 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 [13, 14, 15]. En los resultados obtenidos hubo mayor ácido palmítico en T2 y T3, no se encontró diferencias en el mirístico ni esteárico y T2 presentó mayor proporción de ácido láurico; en general el T1 se identificó como el sistema productivo con menos SFA (Cuadro 1 y Cuadro 2).

Los SFA de cadena corta (3 - 7 átomos de carbono (C)) y cadena media (8 - 13C) se encuentran principalmente en la leche y aceites de palma o coco [14, 16], lo que explica su baja proporción en relación con los demás ácidos grasos. En los SFA de cadena larga (14 - 20C) destacan el palmítico y 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 promedio de 17,7% y el mirístico (3,5%), orden registrado también por Costa *et al.* [13] y Nimal y Galli [16] en carne de res. Los SFA de cadena muy larga (>21C) también se encuentran en diversas fuentes, aunque su proporción en carne de res es  $\leq 0,1\%$  [16],

**Cuadro 1.** Composición lipídica del músculo *Longissimus dorsi lumborum* de hembras de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo. San Carlos, Costa Rica.

**Table 1.** Lipid composition of *Longissimus dorsi lumborum* muscle of cebu heifers finished in feedlot and grazing systems of cebu heifers finished in feedlot and grazing systems. San Carlos, Costa Rica.

Variable	p-valor	Sistema productivo (Media ± E.E.)		
		T1	T2	T3
Grasa cruda (g/100 g 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 (%)	0,0000	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 ± 0,005 b	0,061 ± 0,005 a	0,058 ± 0,005 a
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.

tal como se observó en la proporción de los ácidos Heneicosanoico, Behénico y Tricosanoico y Lignocérico (Cuadro 2).

En carne de res generalmente los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) se mantienen en rangos de 29,4% a 51% y no superan a los SFA [18], en concordancia con el Cuadro 1. Según Costa *et al.* [13], los MUFA más abundantes en carne de res corresponden al oleico y palmitoleico. El ácido oleico (C18:1 *n*-9) es el más ampliamente distribuido de todos los ácidos grasos [16, 17], en este ensayo el oleico se registró en mayor proporción en los tres sistemas productivos, siendo más abundante en T1, el oleico tiene efecto hipocolesterolémico, es decir, reduce el nivel de colesterol LDL o "malo" sin afectar los niveles de HDL, deseable para la salud humana [18]. Por otro lado, los MUFA con más de 22C son raramente encontrados en alimentos de ingesta humana y, de aparecer, su cantidad es relativamente poca [16].

Respecto a los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), estos son quizás los que más beneficios

aportan en cuanto a salud y nutrición humana y por lo tanto son deseables en los alimentos. Los PUFA son esenciales en la dieta porque el humano no puede sintetizarlos, su ingesta es indispensable en el desarrollo del cerebro, glóbulos rojos y piel. Los más destacables de este grupo son las familias del ácido linoleico (C18:2 *n*-6) y  $\alpha$ -linolenico (C18:3 *n*-6) [16]. El ácido linoleico es precursor de otros benéficos para la salud y los conjugados del ácido linoleico ("CLA", por sus siglas en inglés) [6]. 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 [18]. Dicha afirmación puede comprobarse con los resultados de este estudio, donde los sistemas productivos de pastoreo presentaron mayor proporción que el estabulado (Cuadro 1).

Los valores de PUFA fueron menores al rango de 5,4% a 30,8% propuesto por Domaradzki *et al.* [19] y superiores al de Quirós [17] en carne de ternero (1,3%). Quirós [17] indica que la carne de ternero difiere a la de adultos o jóvenes

**Cuadro 2.** Composición (%) de ácidos grasos del músculo *Longissimus dorsi lumborum* de ganado cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo. San Carlos, Costa Rica.

**Table 2.** Fatty acid composition (%) of *Longissimus dorsi lumborum* muscle of cebu heifers finished in feedlot and grazing systems. San Carlos, Costa Rica.

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	Esteárico	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

Continúa...

Continuación

Abreviación	Nombre común	p-valor	Media (%) ± E.E.			LCI (%) – LCS (%)		
			T1	T2	T3	T1	T2	T3
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 Varldent.

principalmente en la cantidad de ácidos grasos insaturados (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 de Quirós [17] y 0,1 de Domaradzki *et al.* [19]. Quirós [17] alude que la ausencia del ácido araquidónico en terneros provocó en su ensayo una 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 [6]. La relación PUFA/SFA correspondió con lo hallado por French *et al.* [6], quienes encontraron mayor relación en animales engordados a pastoreo respecto

los suplementados con diferente proporción de concentrado y aluden que la menor relación PUFA/SFA corresponde al mayor grosor de grasa dorsal frecuente en animales estabulados. Ribeiro *et al.* [20] indican que la mayor concentración de PUFA y específicamente de ácido linoleico, puede incrementar la liberación temprana de  $Ca^{2+}$  *post mortem* en el sarcoplasma, resultando en carnes más suaves. Correspondientemente, T2 y T3 presentaron mayor proporción de PUFA (Cuadro 1) y ácido linoleico respecto al T1 y, como se discutirá más adelante, especialmente el T3 mostró una menor fuerza de corte conforme avanzó la maduración.

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 [13, 21, 22, 23, 24]. 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 [13, 15, 17, 18]. Por ejemplo, Rule

*et al.* [18] evaluaron el efecto de la edad entre novillos (18 meses) y vacas (cuatro a siete años) alimentados con maíz y forraje respectivamente; determinaron que el orden de los ácidos grasos no varía entre ambos grupos, siendo el oleico más abundante (40,4%), seguido por el palmítico (25,8%) y esteárico (13,5%); lo anterior en concordancia con Quirós [17] para carne de animales sacrificados de seis y ocho meses, y este estudio, con animales menores de 24 meses.

Respecto a la alimentación Costa *et al.* [13] encontraron 2,7 g de grasa/100g de músculo en el LD de terneras 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.* [13] al incluir leche materna combinada con pastoreo probablemente fue superior energéticamente a la del T2 y T3 e inferior a la del T1, lo que repercutió en la cantidad de grasa intramuscular [13]. Domaradzki *et al.* [19] aseveran que las dietas altamente energéticas típicas de sistemas estabulados contribuyen a la acumulación total de grasa intramuscular [18], tal como se reflejó en el Cuadro 1.

Aunado a lo anterior, el cambio energético debe ser importante para observar diferencias, como lo demostró Quesada [25] al evaluar novillos de encaste Brahman engordados a 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 [6] indica que a medida que engrasa una res se depositará más MUFA; en concordancia en este ensayo los MUFA fueron encontrados en mayor proporción en T1, sugiriendo un aporte energético importante respecto a T2 y T3.

Montero *et al.* [15] también observaron que el perfil de ácidos grasos difiere con 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; los toretes en pastoreo presentaron más ácido mirístico y palmítico y menos esteárico que los

de estabulado. En este ensayo, el palmítico concuerda con los resultados de Montero *et al.* [15], aunque el mirístico solo presentó diferencias numéricas y el esteárico fue similar en todos los sistemas productivos (Cuadro 2). Montero *et al.* [15] indican que el pasto estrella africana aporta gran cantidad de ácidos palmítico y  $\alpha$ -linolénico, lo que pudo favorecer la mayor proporción de ambos en T2 y T3 del presente ensayo.

Respecto al encaste, Montero *et al.* [15] 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.* [13] indican que el sexo de los animales al menos en la raza Barrosã (*B. taurus*) engordada a pastoreo, influye en la proporción de ácidos grasos y 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 en SFA e inferiores para MUFA respecto al de Costa *et al.* [13]. Un ensayo como el de Montero *et al.* [15] 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 sistemas productivos T2 y T3 presentaron mayor proporción de ácidos  $\alpha$ -linolénico y linoleico el análisis estadístico no determinó diferencias entre en grasas trans (Cuadro 1). Funcionalmente, estas grasas semejan 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 en la tabla de composición de alimentos de Costa Rica para lomo de res [14].

Por otro lado, fuentes como la vitamina E y específicamente la forma  $\alpha$ -Tocoferol actúan



como antioxidantes. El  $\alpha$ -Tocoferol protege de la peroxidación especialmente a los PUFA de las membranas celulares, previniendo el deterioro en sabor, color y composición nutricional del producto durante la maduración [13, 16, 26]. Aunado a la ingesta de forraje, al suplementar con vitamina E como  $\alpha$ -Tocoferol T2 y T3 presentaban ventaja sobre el T1 de presentar mayor proporción de PUFA [13, 15]. Específicamente el suplemento del T3, con más de 7000 mg de vitamina E/kg (525 UI/día), pudo favorecer a la mayor concentración de PUFA *n*-3 respecto a los demás sistemas productivos. Lo anterior se respalda en la teoría de Muíño *et al.* [26] y do Carmo *et al.* [27], quienes encontraron diferencias entre sistemas productivos para esta variable debido a los antioxidantes ofrecidos en la dieta.

Si bien para minimizar el colesterol en sangre se recomienda consumir mayor MUFA y PUFA, especialmente *n*-3, y reducir los SFA, diversos autores priorizan la disminución de grasa total [13]. 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, este presentó mayor grasa cruda que los sistemas productivos de pastoreo; a su vez, T2 y T3 presentaron mayor PUFA y ácido linoleico, lo que infiere mayor beneficio a la salud humana; y entre ambos, preferiblemente el T3 debido a su mayor aporte de PUFA *n*-3.

### Color del músculo

El consumidor costarricense utiliza el color como característica de evaluación al adquirir una pieza de carne [28], por lo que medir esa variable resulta importante. Existe evidencia del efecto de la estimulación eléctrica (EE) en el color de la carne, que influye en la rapidez a la que se alcanza el estado de oximioglobina una vez expuesta al oxígeno, es decir, la velocidad a la que se alcanza ese color rojo vivo atractivo al consumidor [29]. Sin embargo, en este estudio se omitió el efecto que pudo causar la EE aplicada a las canales sobre el color de la carne, debido a que todos los sistemas productivos se expusieron al mismo voltaje; y además el color se registró metódicamente a los 10 minutos de exposición al oxígeno.

Los valores obtenidos para las coordenadas de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) se muestran en el Cuadro 3.

Para la variable  $L^*$ , la interacción sistema productivo  $\times$  día de maduración no fue significativa ( $p=0,9947$ ); aunque si hubo diferencia entre días como el promedio de los tres sistemas productivos ( $p=0,0001$ ); es decir, el cambio de  $L^*$  en el tiempo siguió la misma tendencia en todos los sistemas productivos, siendo superior a los 14 y 28 días respecto al día 2 e implicando carnes más claras. Diversos autores 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 2) [30-40]. Pordomingo *et al.* [30] indican que no encontrar diferencias de  $L^*$  puede relacionarse con la no diferenciación entre pH's de las canales a las 48 horas *post mortem* (variable discutida en otro artículo que detalla la etapa de cosecha de este estudio). Muíño *et al.* [26] indican que el aumento de  $L^*$  se relaciona con la degradación de la mioglobina a medida que transcurre la maduración. La tendencia al incremento de  $L^*$  encontrado en este estudio concuerda con los resultados de Mauri [31], González *et al.* [32] y Quirós [17], entre otros, cuyos estudios se comparan más adelante.

Los valores de la variable  $L^*$  al día 14 fueron superiores a los reportados por Pérez [33] en carne de Brangus (42,5 vs. 40,8), indicando carnes más claras en el presente. Según Pérez [33] 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 para el mismo periodo de maduración, semejante a este ensayo (Latorre *et al.* 2017 y Salas 2019 citados por [33]). A su vez, Alves 2007 citado por Quirós [17] comparte que la raza influencia la luminosidad de la carne, al encontrar valores de 41,1 en *B. indicus* y 39,2 en el cruce con *B. taurus* 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 [34, 35]. Por ejemplo, al día dos de maduración los resultados de  $L^*$  en este ensayo indican carnes más oscuras que lo encontrado por Quirós [17] 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

**Cuadro 3.** Evaluación del espectro de color L\*, a\* y b\* del músculo *Longissimus dorsi lumborum* madurado en húmedo, de hembras de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo. San Carlos, Costa Rica.

**Table 3.** Evaluation of L\*, a\* and b\* color spectrum of wet aged *Longissimus dorsi lumborum* muscle of cebu heifers finished in feedlot and grazing systems. San Carlos, Costa Rica.

Variable	Sistema productivo	p-valor	Días de maduración (Media ± E.E.)		
			2	14	28
L*	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
	-----	Todo	0,0001	39,47 ± 0,56 b	42,58 ± 0,52 a
a*	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
	-----	Todo	0,0001	14,84 ± 0,20 b	15,83 ± 0,21 a
b*	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
	-----	Todo	<0,0001	13,08 ± 0,18 b	15,27 ± 0,20 a

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

L\*: valores menores indican carne oscura, valores mayores indican carne clara.

a\*: valores menores indican carne más verde, valores mayores indican carne más roja.

b\*: valores menores indican carne más azul, valores mayores indican carne más amarilla.

[36] a 14 días de maduración en machos de 14,5 meses de edad (42,5 vs. 45,8). A la vez, se registró carne más clara (42,5) que lo reportado por Pérez [33] a 14 días de maduración (40,8) en carne de animales mayores a los de este ensayo (28 a 32 meses).

En este ensayo, la coordenada a\* mostró diferencias entre días de maduración como promedio de los tres sistemas productivos ( $p=0,0001$ ), sugiriendo el incremento del tono rojo conforme transcurrió el tiempo; además fue inferior al día dos respecto a los demás, alcanzando un máximo numérico al día 14 y ligeramente inferior al día 28 (Cuadro 3). Dichos 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 levemente, tal como en el estudio de Muíño *et al.* [26], provocando el mismo efecto observado por ellos aunque en menor escala, por lo que las diferencias numéricas entre los días 14 y 28 pudieron deberse al cambio paulatino hacia metamioglobina que iba sufriendo la carne.

Muíño *et al.* [26] 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 un efecto protector del antioxidante aún en condiciones de oxigenación prolongada. Este ensayo no mostró interacción entre sistemas productivos y periodo de maduración ( $p=0,2981$ ) a pesar de ofrecerse suplementación con distinta cantidad de vitamina E, por lo que se induce que los niveles del antioxidante no fueron suficientemente distintos como para establecer diferencias entre sistemas productivos para la variable a\*. Aun así, do Carmo *et al.* [27] y González *et al.* [32] 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 [33] en carne de Brangus (15,3 vs. 14,4). En este caso el sexo [36], edad o cruce no propició más color rojo en los resultados de Pérez [33] a pesar

de utilizar animales mayores en edad que los de este ensayo. Una hipótesis que puede explicar el resultado de  $a^*$  respecto al de Pérez [33] es que el promedio de la cantidad de vitamina E ofrecida en el presente sí generó el efecto protector descrito por Muíño *et al.* [26]; sin embargo, para comprobar esa conclusión debería de conducirse mayor investigación al respecto.

Salas y Rodríguez [36], 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  $b^*$ .

Con respecto a la coordenada  $b^*$ , el Cuadro 3 muestra que la interacción sistemas productivos  $\times$  días de maduración no fue significativa (al menos a un nivel de significancia del 5%, dado que  $p=0,0994$ ) y hubo diferencias entre días como el promedio de los tres sistemas productivos ( $p<0,0001$ ); es decir, el cambio de  $b^*$  en el tiempo siguió la misma tendencia en todos los sistemas productivos, siendo este superior a los 14 y 28 días respecto al día 2 de maduración e implicando carnes más amarillas. Este resultado es contrario a lo reportado por Pérez [33] y Quirós [17] quienes no identificaron cambios de  $b^*$  en el tiempo. Quirós [17] concluyó, a partir de diversos autores, que el componente  $b^*$  por lo general no presenta diferencias entre sistemas productivos, 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 forrajes. A pesar de no apreciar diferencias estadísticas entre sistemas productivos, en este ensayo se observó una leve tendencia en los sistemas productivos de pastoreo a presentar tonalidades más amarillas (mayor  $b^*$ ) respecto al T1. Además 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.

### Pérdidas por goteo

La jugosidad de la carne es de las características más apetecidas por el consumidor costarricense [28] por lo que es importante estudiar las pérdidas de humedad en procesos como la maduración del producto. Con base en los valores presentados en el Cuadro 4, no se encontró interacción significativa entre sistemas productivos y periodo de maduración

( $p=0,9454$ ) para esta variable, aunque se observó que los periodos de maduración, como promedio de los tres sistemas productivos, influyeron en la pérdida por goteo (PG) del producto ( $p=0,0144$ ), siendo esta mayor conforme transcurrió el tiempo, en concordancia con el rango de 1 a 3% sugerido por Huff y Lonergan [37]. Este resultado también concuerda con Quirós [17], quien indica que a mayor grasa intramuscular se puede promover menor PG, efecto que se presentó en el T1 de este estudio (ver “grasa cruda” en el Cuadro 1).

Pérez [33] investigó el efecto de la maduración en húmedo sobre diferentes músculos de toretes Brangus e identificó en todos ellos la misma tendencia de este estudio, conforme la carne madura incrementa la PG, aunque los valores cambian según el músculo. Específicamente en el músculo LD, Pérez [33] 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 [38] también encontró una tendencia al incremento de PG conforme avanzó la maduración, dado que el autor evaluó machos Brahman, Charolais y su cruce F1, y no encontrando diferencias entre genotipos, aunque sí en los días de maduración: 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%), siendo estos valores superiores a los del Cuadro 4.

Al descartar la raza como influyente en los resultados de PG [39] y la poca diferencia en edad entre los animales de Rodríguez [38] y los de este ensayo (26 vs.  $\leq 24$  meses respectivamente), se puede sugerir que la estimulación eléctrica (EE) aplicada a los animales del presente contribuyó a una menor PG [31].

Por otro lado, los resultados de Strydom *et al.* [39] en novillos de pastoreo también corresponden con la tendencia registrada. Los autores observaron que la mayor tasa de pérdida por goteo ocurre entre los dos y nueve días *post mortem*, obteniendo en promedio 3,7% de PG a los 16 días de maduración y 4,4% a los 30 días, ambos valores superiores a los 14 y 28 días en este ensayo (2,4% - 3,1%); cabe destacar que en el estudio de Strydom *et al.* [39] no aplicaron EE. La tendencia al incremento de PG conforme avanza la maduración observada en este y los estudios de Rodríguez [38], Strydom *et al.* [39] y Pérez [33] se debe a que al madurar la carne ocurre la degradación gradual de proteínas

**Cuadro 4.** Variables evaluadas en el músculo *Longissimus dorsi lumborum* madurado en húmedo, de hembras de ganado cebú engordado en sistemas de estabulación y pastoreo. San Carlos, Costa Rica.

**Table 4.** Evaluated variables in wet aged *Longissimus dorsi lumborum* muscle of cebu heifers finished in feedlot and grazing systems. San Carlos, Costa Rica.

Variable	Sistema productivo	p-valor	Días de maduración (Media ± E.E.)		
			2	14	28
Pérdida por goteo (%)	T1	0,9454		2,22 ± 0,21	2,97 ± 0,42
	T2			2,05 ± 0,29	2,68 ± 0,20
	T3			3,03 ± 0,21	3,58 ± 0,39
	Todo	0,0144		2,42 ± 0,15 b	3,07 ± 0,21 a
Pérdidas por cocción (%)	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
	Todo	0,1293	31,38 ± 1,29	31,64 ± 0,82	29,70 ± 0,65
Fuerza de corte (kg)	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
	Todo	<0,0001	10,24 ± 0,42 a	6,77 ± 0,31 b	5,11 ± 0,22 c

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

musculares, que a su vez genera la suavidad del producto, de manera que al degradarse las proteínas con 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 [39].

González et al. [32] encontraron que ofrecer vitamina E (1320 UI/animal/día) disminuye la PG al fungir como antioxidante de la membrana celular, permitiendo que las células mantengan su contenido sarcoplasmático durante el periodo de maduración. A pesar de ello, en este ensayo no hubo interacción entre sistemas productivos y periodo de maduración ( $p=0,9454$ ), sugiriendo que el cambio en el nivel de vitamina E no fue suficiente como para observar diferencias entre T2 y T3; aun así, los niveles ofrecidos pudieron contribuir a obtener valores inferiores que los estudios ya citados. Por otro lado, González et al. [32] indican que variaciones de 0,12 en pH pueden afectar la retención y pérdida de agua. Empero, en este ensayo el pH medido a las 48 horas *post mortem* únicamente varió 0,07 puntos entre el tratamiento

más alto y el más bajo, por lo que al no observarse interacción entre el sistema productivo y el periodo de maduración en la variable PG, se descarta el efecto que tuviese el pH sobre esta.

### 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 [38]). A su vez, la jugosidad es una de las características más apetecidas por el consumidor costarricense [28, 40], por lo que es importante estudiar las pérdidas de humedad en procesos como la cocción del producto. El Cuadro 4 muestra los resultados de pérdidas por cocción (PC) que hubo en los distintos sistemas productivos y periodos de maduración. Se encontró interacción entre tratamiento y periodo de maduración ( $p<0,0001$ ) indicando efecto del sistema productivo sobre las PC y reflejándose especialmente en los valores superiores del T2 e inferiores del T1. En esta variable, el comportamiento de los tres sistemas productivos fue inconstante, en general

T2 y T3 tendieron a decrecer conforme avanzó el periodo de maduración, a excepción del T1 que incrementó. Contrario a las variables de PG y color, la PC no mostró diferencias estadísticas conforme se maduró la carne ( $p=0,1293$ ).

Existen diferentes opiniones sobre los factores que influyen los resultados y el comportamiento de esta variable. Estudios como el de Jama *et al.* [41] no identificaron correlación entre los componentes de pérdidas de humedad (por descongelamiento, goteo, cocción o evaporación); lo que explicaría la independencia de tendencias respecto a las pérdidas por goteo. Tampoco do Carmo *et al.* [27] atribuyeron que la suplementación con antioxidantes genera diferencias en esta variable. 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 [33, 38, Bruce *et al.* 2004 y Lambertz *et al.* 2014 citados por Arguedas [42]. Por ejemplo, entre mayor sea el contenido de grasa intramuscular se reduce la PC [40, 43], lo que se respalda con el mayor contenido de grasa cruda medida en T1 (Cuadro 1). Otro factor que pudo influenciar 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 sistemas productivos. A su vez, retirar la grasa de cobertura pudo influenciar el obtener valores muy superiores de PC en T2 y T3 que los estudios citados a continuación.

Quirós [17] señala que la PC no varía por la edad al sacrificio; además Jama *et al.* [41] no identificaron diferencias entre razas y Razminowicz *et al.* 2006 citados por Quirós [17] no hallaron diferencias entre engorde a pastoreo vs. crianza tradicional, siendo el promedio 30%. González *et al.* [32] no encontraron efecto significativo 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 [17] indica que el sexo no influye esta variable; Rodríguez [38] y Salas y Rodríguez [36] no distinguieron entre toros o novillos a pesar de que la evidencia justifica menores PC en novillos debido la barrera que ejerce su mayor marmoleo, aunque es necesario aclarar que los animales de ambos ensayos presentaban genotipos *B*.

*indicus*, por lo que era poco probable encontrar diferencias en marmoleo; Rodríguez [38] identificó PC de 27,2% en novillos y 28,3% en toros; y Salas y Rodríguez [36] promediaron 26,6% de PC a los 14 días de maduración.

Por otro lado, Pérez [33] y Rodríguez [38] 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 mayores pérdidas por goteo; mientras que, a pesar de presentar el mismo patrón de pérdidas por goteo, el LD y *Semitendinosus* presentan patrones variables de PC conforme transcurre la maduración [38]. Rodríguez [38] 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 registrado menor PC conforme madura el músculo (Wheeler *et al.* 1990 citado por Rodríguez [38]). Por ejemplo, González *et al.* [32] midieron 24,9% a las 24 horas y 22,7% a los ocho días; Jama *et al.* [41] 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 [38] encontró a los 14 días mayor PC que a los 28 días en Brahman (29,1% vs. 26,7%) y Arguedas [42] en carne de bufalinos 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, 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 [41].

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 [38]). En este ensayo, la tendencia creciente observada en el T1 semeja lo registrado por Pérez [33], quien

encontró diferencias entre tiempos de maduración para el músculo LD de Brangus, siendo igual entre los días dos, siete y diez (31,2%) y mayor al día 14 (37,4%); misma tendencia que 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 [17] indican que el tiempo de maduración puede no tener efecto sobre la PC, sino que estas corresponden a la metodología de cocción. Por ejemplo, en su estudio con terneros cebú, Quirós [17] 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 debido al encogimiento térmico y la coagulación de proteínas [17, 41, 44]. La carne cocinada a alta temperatura ( $\geq 70^{\circ}\text{C}$ ) tiene menos PC y resulta más jugosa que aquella cocinada a menor temperatura, gracias 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 [41, 44].

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 [41]. 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 [42]).

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 esta variable.

## Fuerza de corte

La suavidad de la carne es de las características más apetecidas por el consumidor [28, 45], por lo que es importante estudiarla mediante instrumentos como Warner-Bratzler (WBSF) o panel sensorial. Crouse *et al.* [46] destacan que 25% de los panelistas de su estudio clasificaron de insatisfactoria la aceptabilidad global del producto, debido principalmente a la terneza del corte (Epley 1992 y Smith 1997 citados por [40]).

En este ensayo se evidenció la interacción entre el sistema productivo y días de maduración ( $p=0,0051$ ), indicando efecto del sistema productivo sobre la suavidad y reflejándose especialmente en los valores superiores del T2 y T3 al día dos e inferiores del T3 al día 28 (Cuadro 4). También el periodo de maduración como promedio de los tres sistemas productivos indicó 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.* [47] únicamente el T3 al día 28 presentó un nivel intermedio de suavidad (3,9 kg - 4,6 kg); los demás sistemas productivos, sin importar el día de maduración, clasificaron como carnes duras ( $>4,6$  kg), con diferencias en el grado de intensidad.

González *et al.* [32] 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 [41, 44]. Un ejemplo de esa relación se observó al día 28 de maduración, donde el T3 presentó la menor pérdida por cocción y a su vez la menor fuerza de corte.

La terneza de la carne varía por factores como raza, sexo, alimentación, edad de cosecha, manejo *ante mortem* y *post mortem*, tamaño y ubicación del músculo, maduración y cocción [40, 45]. Diferentes autores concuerdan en que, al ser sometida a maduración, tiende a disminuir la fuerza de corte de la carne [17, 33, 38, 48], tal como se observó en este ensayo. Por ejemplo, King *et al.* [48] identificaron valores de 11,2 kg a las 24 horas *post mortem* y 9,7 kg a 14 días de maduración; y

Pérez [33] encontró la misma tendencia en siete músculos madurados de dos a 14 días.

La cantidad de tejido conectivo (especialmente de colágeno) también influye en la suavidad; ese componente no se degrada durante la maduración por lo que reducir su acumulación con estrategias de selección genética y manejo es esencial [40]. 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 [20, 40]. En este ensayo, la mayor cantidad de grasa cruda y marmoleo del T1 (ver Fernández y Rodríguez [49], que detalla las variables de cosecha de este ensayo) pueden ayudar a explicar la menor fuerza de corte respecto al T2 y T3 a los dos días *post mortem*; sin embargo, para fundamentar esa hipótesis es necesario medir el contenido de colágeno mediante panel sensorial o pruebas objetivas de laboratorio.

Por otro lado, el acortamiento de las fibras musculares debido al frío o "*cold shortening*" también puede influir en la suavidad del producto, como lo demostró King et al. [48] 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 [17]. Rodríguez [38] indica que la baja temperatura en la cámara de frío, aunado a la poca grasa de cobertura en sus canales 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 [38], 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 [38]).

Aunado a lo anterior, se debe recordar que los animales de este ensayo fueron expuestos a estimulación eléctrica (EE) ultra baja (21V). Dikeman [43] 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 ya que 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 [29] 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 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 [50]. Diversas investigaciones citadas por Adeyemi y Sazili [29] registraron 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*, aunado a las temperaturas de almacenamiento (4°C - 5°C) favorecen la acción de dichas enzimas proteolíticas que permiten la tenderización del producto [45, 51]. El inhibidor de las calpaínas, la calpastatina, 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 [45]; como muestra Crouse et al. [46] 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 [33], 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 [33] 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.* [51] indican que las calpaínas son más activas en el LD que en el *Infraespinatus*; Pérez [33] y Cross *et al.* [52] encontraron mayor cantidad de tejido conectivo en el LD que en el *Biceps femoris*; y Pérez [33] 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.* [51] 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 la disminución de la proteólisis y carnes más duras en animales adultos incluso después de ser sometidas a maduración. Además, autores citados por Cross *et al.* [52] 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.* [52] 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.

De allí que la condición sexual y la edad del animal resulta en una combinación que puede influenciar la calidad del producto final, debido a la aparición de hormonas sexuales conforme el individuo envejece [38,51]. Terler *et al.* 2014 citados por Quirós [17] señalan que la carne de hembras generalmente es más suave que la de machos, ya que la testosterona favorece la síntesis de colágeno intramuscular. Por otra parte, la actividad de la calpastatina en machos enteros es superior conforme estos maduran [38].

CORFOGA [53] 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 [38] 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 [38] identificó carnes más suaves en novillos que en toros (7,1 kg vs. 9 kg) maximizando la suavidad entre más temprano se ejecute la castración. CORFOGA [53] 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 la capacidad de retención de agua de la carne [51]. Fernández [44] 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, sistema productivo que presentó la menor fuerza de corte al inicio del ensayo.

Diversos minerales como el Zinc forman parte de las proteinasas que degradan la matriz extracelular, la cual está 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 [54]. A pesar de ello Genter *et al.* [54] no encontraron efecto sobre la fuerza de corte al ofrecer diferente proporción de Zn en ganado Angus, con dietas de 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.* [27] no encontraron diferencias a las 24 horas *post mortem* en la suavidad de carne de Nelore alimentado con heno de *Brachiaria brizantha* y suplementado 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.* [27] incitan a pensar que únicamente la suplementación con 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.* [20] 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.* [20] 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.* [20] 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 de fuerza de corte en este ensayo.

## Conclusiones

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).

La proporción de PUFA de ganado engordado en pastoreo fue mayor al de ganado en 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.

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 sistemas productivos, 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.

La carne de animales suplementados con mayor cantidad de antioxidantes (T3) presentó menor valor de fuerza de corte a los 28 días de maduración respecto a los demás sistemas productivos (4,3 kg vs. 5,5 kg); lo que se traduce en carne con suavidad intermedia y dura respectivamente.

## Bibliografía

- [1] INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). VI Censo Nacional Agropecuario: Actividades pecuarias, prácticas y servicios agropecuarios. San José: INEC, 2015.
- [2] A. Herrera, O. Vergara, M. Cerón, D. Agudelo, E. Arboleda, "Curvas de crecimiento en bovinos cruzados utilizando el modelo Brody", *Livestock Research for Rural Development*, vol. 20, no. 9, pp. 235-241. 2008.
- [3] Y. Rodríguez. Evaluación de la competitividad de la carne de res a nivel nacional 2007-2017. San José: CORFOGA, 2019.
- [4] World Economic Forum, "Meat: the future. Time for a protein portfolio to meet tomorrow's demand", Geneva, Suiza. 2018.
- [5] R. Carrera, N. Fierro, J. Ordoñez, "Manual de pastoreo", UTPL, 2015.
- [6] P. French, C. Stanton, F. Lawless, E. O'Riordan, F. Monahan, P. Caffrey, A. Moloney, "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*, vol. 78, pp. 2849-2855, 2000.
- [7] F. Bolaños, "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. Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, 2019.
- [8] INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), "Encuesta Nacional Agropecuaria 2017: Resultados generales de las actividades ganaderas vacuna y porcina", San José: INEC, 2019.
- [9] IDE (Infraestructura de datos Espaciales), "Explora capas", 2015. [Online]. Disponible en: <http://www.idehn.tec.ac.cr/layers/?limit=100&offset=0> [Accesado 17 Nov. 2019].
- [10] Bayer S.A, "Stella ®: Alcanza el potencial de tus estrellas", Bayer S.A., 2019.

- [11] AMSA (American Meat Science Association), "Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of fresh meat", Chicago: AMSA, 2015.
- [12] J. A. Di Rienzo, F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C.W. Robledo, "InfoStat versión 2018", Córdoba, Centro de Transferencia InfoStat, 2018.
- [13] P. Costa, L. Roseiro, A. Partidário, V. Alves, R. Bessa, C. Calkins, C. Santos, "Influence of slaughter season and sex on fatty acid composition, cholesterol and  $\alpha$ -tocopherol contents on different muscles of Barrosã-PDO veal", *Meat Science*, vol. 72, pp. 130-139, 2006.
- [14] R. Monge, H. Campos, "Tabla de composición de alimentos de Costa Rica: Ácidos grasos", Cartago: INCIENSA, 2006.
- [15] M. Montero, F. Juárez, H. García, "Perfil de ácidos grasos en carne de toretes Europeo x Cebú finalizados en pastoreo y en corral", *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 2, no. 2, pp. 137-149, 2011.
- [16] W. Nimal, C. Galli, "Fat and fatty acid terminology, methods of analysis and fat digestion and metabolism: a background review paper", *Annals of Nutrition and Metabolism*, vol. 55, pp. 8-43, 2009.
- [17] R. Quirós, "Caracterización de la canal y calidad de la carne en terneros de encaste Brahman, Finca La Vega, San Carlos, Costa Rica", Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, 2020.
- [18] D. Rule, K. Broughton, S. Shellito, G. Maiorano, "Comparison of muscle fatty acid profiles and cholesterol concentrations of bison, beef cattle, elk, and chicken", *Journal of Animal Science*, vol. 80, pp. 1202-1211, 2002.
- [19] P. Domaradzki, P. Stanek, Z. Litwińczuk, P. Skalecki, M. Florek, "Slaughter value and meat quality of suckler calves: A review", *Meat Science*, vol. 134, pp. 135-149, 2017.
- [20] F. Ribeiro, K. Domenech, C. Contreras-Castillo, K. Hart, N. Herrera, C. Calkins, "Feeding distillers grains to cattle may affect beef tenderness early postmortem", *Journal of Animal Science*, vol. 97, no. 2, pp. 657-668, 2019.
- [21] S. De Smet, K. Raes, D. Demeyer, "Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: A review", *Animal Research*, vol. 53, pp. 81-98, 2004.
- [22] N. Aldai, P. Lavín, J. Kramer, R. Joroso, A. Mantecón, "Breed effect on quality veal production in mountain areas: emphasis on meat fatty acid composition", *Meat Science*, vol. 92, pp. 687-696, 2012.
- [23] J. Pestana, A. Costa, S. Alves, S. Martins, C. Alfaia, R. Bessa, J. Prates, "Seasonal changes and muscle type effect on the nutritional quality of intramuscular fat in Mirandesa-PDO veal", *Meat Science*, vol. 90, pp. 819-827, 2012.
- [24] R. Inostroza. Rol de alimentos de origen animal en la dieta saludable Eje temático: Sistemas de Producción Agropecuario 1er Congreso Tecnológico Agropecuario. Osorno, INACAP, 2018.
- [25] M. Quesada, "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. Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, 2019.
- [26] I. Muíño, E. Apeleo, C. Pérez, A. Rivas, O. Pérez, M. Díaz, J. De la Fuente, C. Pérez, S. Lauzurica, V. Cañeque, "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*, vol. 6, no. 1, pp. 40-44, 2012.
- [27] T. D. J. do Carmo, V. Peripolli, J.B. Costa, C.B., Tanure, M.C.S. Fioravanti, J. Restle, C. McManus, "Carcass characteristics and meat evaluation of Nelore cattle subjected to different antioxidant treatments", *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 46, pp. 138-146, 2017.
- [28] CORFOGA (Corporación Ganadera Nacional), "Informe de consumo, uso y actitudes al consumo de carne de res (CUAS 2017)", CORFOGA, 2017.
- [29] K. Adeyemi, A. Sazili, "Efficacy of carcass electrical stimulation in meat quality enhancement: a review", *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, vol. 27, no. 3, pp. 447-456, 2014.
- [30] A. Pordomingo, G. Grigioni, F. Carduza, G. Volpi, "Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality", *Meat Science*, vol. 90, no. 4, pp. 939-946, 2012.
- [31] M. Mauri, "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. Universidad de Córdoba, España, 2017.
- [32] M. González, Y. Garcés L. López, D. Braña, E. González, "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*, vol. 10, no. 4, pp. 837-854, 2019.
- [33] E. Pérez, "Manual de manejo: Sistemas intensivos sostenibles de ganadería de engorde", San José: INTA, 2019.
- [34] J. Page, D. Wulf, T. Schwotzer, "A survey of beef muscle color and Ph", *Journal of Animal Science*, vol. 79, pp. 678-687, 2001.
- [35] USDA (United States Department of Agriculture), "The color of meat and poultry", 2013. [Online]. Disponible en: The Color of Meat and Poultry (usda.gov) [Accesado 18 Dic. 2020].
- [36] J. Salas, J. Rodríguez, "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*, vol. 2, no. 2, pp. 27-40, 2020.
- [37] E. Huff, S. Lonergan, “Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes”, *Meat Science*, vol. 71, pp. 194-204, 2005.
- [38] J. Rodríguez, “Effects of castration on carcass composition, meat quality, and sensory properties of beef produced in a tropical climate”, Tesis M.Sc. Kansas State University, USA, 2012.
- [39] P. Strydom, J. Lühnl, C. Kahl, L. Hoffman, “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*, vol. 46, no. 4, pp. 348-359, 2016.
- [40] A. Chacón, “La suavidad de la carne: implicaciones físicas y Bioquímicas asociadas al manejo y proceso Agroindustrial”, *Agronomía Mesoamericana*, vol. 15, no. 2, pp. 225-243, 2004.
- [41] N. Jama, V. Muchenje, M. Chimonyo, P. Strydom, K. Dzama, J. Raats, “Cooking loss components of beef from Nguni, Bonsmara and Angus steers”, *African Journal of Agricultural Research*, vol. 3, no. 6, pp. 416-420, 2008.
- [42] K. Arguedas, “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. Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, 2017.
- [43] M. Dikeman, “The relationship of animal leanness to meat tenderness”, *49<sup>th</sup> Annual Reciprocal Meat Conference*, vol. 49, pp. 87-101, 1996.
- [44] A. Fernández, “Calidad de la carne vacuna: Factores que afectan la terneza, jugosidad y flavor”, 2016. [Online]. Disponible en: [https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/calidad\\_de\\_la\\_carne\\_vacuna\\_\\_factores\\_que\\_afectan\\_la\\_terneza\\_\\_\\_art\\_\\_culo\\_t\\_\\_cnico\\_.pdf](https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/calidad_de_la_carne_vacuna__factores_que_afectan_la_terneza___art__culo_t__cnico_.pdf) [Accesado 7 ene. 2021].
- [45] M. Motter, P. Corva, M. Krause, C. Perez, L. Soria, “Rol de la calpastatina en la variabilidad de la terneza de la carne bovina”, *Journal of Basic & Applied Genetics*, vol. 20, no. 1, pp. 15-24, 2009.
- [46] J. Crouse, L. Cundiff, R. Koch, M. Koohmaraie, S. Seideman, “Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability”, *Journal of Animal Science*, vol. 67, pp. 2661-2668, 1989.
- [47] S. Shackelford, J. Morgan, H. Cross, J. Savell, “Identification of threshold levels for Warner-Bratzler shear force in beef top loin steaks”, *Journal of Muscle Foods*, vol. 2, pp. 289-296, 1991.
- [48] D. King, M. Dikeman, T. Wheeler, C. Kastner, M. Koohmaraie, “Effects of cold shortening and cooking rate on beef tenderness”, *Cattlemen’s Day*, Jan., pp. 86-89, 2002.
- [49] A. Fernández-Quesada, J. Rodríguez-González, “Rendimiento y calidad de hembras cebú en sistemas de estabulación y pastoreo en San Carlos, Costa Rica”, *Revista AgrolInnovación en el Trópico Húmedo*, vol. 3 no. 1, pp. 1-14, 2022.
- [50] E. Desdémona, “Mejorando la terneza de la carne de bovino”, *Revista Veterinaria*, Set. 2017.
- [51] M. Coria, P. Carranza, G. Palma, “Calpain system in meat tenderization: A molecular approach”, *Revista MVZ Córdoba*, vol. 23, no. 1, pp. 6523-6536, 2018.
- [52] H. Cross, Z. Carpenter, G. Smith, “Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness”, *Journal of Food Science*, vol. 38, pp. 998-1003, 1973.
- [53] CORFOGA (Corporación de Fomento Ganadero), “datos estadísticos: clasificación de canales bovinas 2004-2012”, CORFOGA, 2012.
- [54] O. Genter, M. Branine, S. Hansen, “Effects of increasing supplemental dietary Zn concentration on growth performance and carcass characteristics in finishing steers fed ractopamine hydrochloride”, *Journal of Animal Science*, vol. 96, pp. 1903-1913, 2018.

De acuerdo con la norma IEEE, este documento debe citarse:

A. Fernández-Quesada, J. Rodríguez-González, “Calidad de la carne de ganado cebú finalizado en sistemas de estabulación y pastoreo en San Carlos, Costa Rica”, *Revista AgrolInnovación en el Trópico Húmedo*, vol. 3 no. 2, pp.38-56, 2022. DOI: 10.18845/rath.v3i2.6615