

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Suplementación con DDGS en novillos en pastoreo: Efectos sobre canal y perfil lipídico de la carne¹

*Keylor Aguilar-Alfaro², Augusto Rojas-Bourrillon³, Julio Rodríguez-González⁴, Milton Villareal-Castro⁵,
Olger Murillo-Bravo⁶, Carlos M. Campos-Granados⁷*

RESUMEN

Se evaluó el efecto sobre las características de la canal y el perfil lipídico de la carne de novillos brahman en un sistema de pastoreo intensivo con suplementación, incorporando el uso de granos secos de destilería con solubles de maíz (DDGS). El experimento se llevó a cabo en un sistema de pastoreo rotacional en la zona del trópico húmedo de Costa Rica, y los animales se suplementaron durante 110 días en el período de finalización consumiendo dos suplementos nutricionales, o tratamientos, con 16 repeticiones cada uno: control, alimento balanceado de uso comercial en el país sin la incorporación de DDGS, y DDGS, alimento balanceado de uso comercial con la incorporación de 23% de DDGS. Se calculó la merma finca-planta, el rendimiento a canal y las pérdidas por goteo. Se realizó la calificación visual de las canales y se evaluó la temperatura, pH, color, área de ojo de lomo, espesor de grasa dorsal y marmoleo.

¹ Esta investigación forma parte del trabajo de graduación de licenciatura del primer autor. Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Escuela de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

² Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: keylor.aguilar@hotmail.com (<https://orcid.org/0009-0009-4428-8134>)

³ Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: arojasbourrillon@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9834-2361>)

⁴ Instituto Tecnológico de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica. Correo electrónico: jurodriguez@itcr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-8426-8842>)

⁵ Instituto Tecnológico de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica. Correo electrónico: mvillarreal@itcr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-2884-3328>)

⁶ Instituto Tecnológico de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica. Correo electrónico: olmurillo@itcr.ac.cr (<https://orcid.org/0009-0000-1139-6029>)

⁷ Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Autor para correspondencia: carlosmario.campos@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-0079-2621>)

Recibido: 5 febrero 2024 Aceptado: 3 octubre 2024



Se tomaron muestras del músculo longissimus dorsi y se analizaron para determinar el extracto etéreo y el perfil de ácidos grasos de la carne. No se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$) para las variables de merma, rendimiento a canal, pérdidas por goteo, calificación visual y características de las canales entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, sí se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) para la concentración de ácido linoleico conjugado (0,04 g vs 0,58 g/100 g de grasa) en favor del tratamiento que incluía la suplementación con DDGS como fuente de ácidos grasos insaturados. Los resultados obtenidos bajo las condiciones de este experimento pueden generar una alternativa para incrementar el valor agregado de la carne producida en Costa Rica y favorecer su consumo como alimento con propiedades nutracéuticas. Sin embargo, es necesario evaluar el impacto de la suplementación con DDGS sobre las propiedades relacionadas con aceptabilidad, oxidación de lípidos y estabilidad de la carne.

Palabras clave: DDGS, novillos, suplementación, canales, carne, ácidos grasos.

ABSTRACT

Supplementation with DDGS in grazing steers: effects on carcass and lipid profile of meat. The effect on carcass characteristics and lipid profile of meat from Brahman animals was evaluated in an intensive grazing system with supplementation, incorporating the use of distillers' dried grains with corn solubles (DDGS). The experiment was carried out in a rotational grazing system in the humid tropics of Costa Rica, and the animals were supplemented for 110 days in the finishing period consuming two nutritional supplements, or treatments, with 16 repetitions each: control, balanced feed supplement for commercial use in the country without the incorporation of DDGS, and DDGS, balanced feed for commercial use with the incorporation of 23% of DDGS. Animal weight loss, dressing percentage, and drip loss were calculated. Visual grading of the carcasses and temperature, pH, color, loin eye area, back fat thickness and marbling were evaluated. Samples were taken from the longissimus dorsi muscle

and analyzed to determine the meat's ether extract and fatty acid profile. No significant effect ($p > 0.05$) was observed for the variables of weight loss, dressing percentage, drip loss, visual rating, and carcass characteristics between the evaluated treatments. However, a significant effect ($p < 0.05$) has been observed for the concentration of conjugated linoleic acid (0.04 g vs 0.58 g/100 g of total fat) in favor of the treatment that included supplementation with DDGS as a source of unsaturated fatty acids. The results obtained under the conditions of this experiment can generate an alternative to increase the added value to the meat produced in Costa Rica and in favor of its consumption as a food with nutraceutical properties. However, it is necessary to assess the impact of DDGS supplementation on properties related to acceptability, lipid oxidation and meat stability.

Keywords: DDGS, steers, supplementation, carcass, beef, fatty acids.

INTRODUCCIÓN

La carne roja producida por los bovinos constituye un gran aporte de nutrientes esenciales para el adecuado desarrollo del ser humano, como lo son proteínas de alta calidad (contienen todos los aminoácidos esenciales), minerales (Fe, Mg, P, K), vitaminas (complejo B, K) de elevada biodisponibilidad y grasa de alta calidad (saturada e insaturada) (Fernández-Quintela et al., 2004; Obregón y Valenzuela, 2011; Rubio-Lozano et al., 2013; FAO, 2018; Rubio-Lozano y Campos-Granados, 2022).

El consumo per cápita anual de carne de res en Costa Rica ha venido decreciendo desde el 2011, pasando de 18,58 kg para el 2011 a 13,40 kg para el año 2022 (CORFOGA, 2019; CIAB, 2022). El principal factor que ha provocado esto es la campaña en contra del consumo de carne de res por el supuesto alto contenido de grasa total, grasas saturadas, colesterol, ácidos grasos trans y otros que contribuyen a la aparición de enfermedades crónicas (Pan et al., 2011; Kurotani et al., 2013; OMS, 2015; Bernstein et al., 2015; Wolk, 2017; Lenighan et al., 2017).

A pesar de esto, en la literatura se reporta que el consumo de grasas saturadas y colesterol de origen animal no es la causa del aumento de la aparición de enfermedades cardiovasculares, sino que otros factores, como el consumo excesivo de aceites vegetales, grasas hidrogenadas, el consumo excesivo de carbohidratos refinados (azúcar) y algunas deficiencias vitamínicas y minerales, sean los responsables de estos problemas de salud (Schultz et al., 2010; Delgado-Pando et al., 2014; Hjorth et al., 2018; Skytte et al., 2019).

Esta situación ha generado interés en la comunidad científica para demostrar los efectos benéficos del consumo de carne res en la salud humana, además de los ya mencionados respecto a la proteína, vitaminas, minerales y grasas. Es así como la investigación ha llevado a descubrir los denominados compuestos bioactivos que se definen como los componentes de los alimentos que influyen en las actividades celulares y fisiológicas obteniendo, tras su ingesta, un efecto beneficioso para la salud (Pogorzelska-Nowicka et al., 2018).

Entre los compuestos bioactivos de importancia en la carne de res se pueden mencionar: la carnosina, la L-carnitina, la creatina, el glutatión y el ácido linoleico conjugado (ALC) (Maikhunthod y OrnIntarapichet, 2005; Liu y Eady, 2005; Rojas-Bourrillon y Campos-Granados, 2017a). Estos componentes tienen efectos beneficiosos para el desarrollo cerebral, disminución del riesgo cardiovascular, actividad antioxidante y mejora del desempeño académico y deportivo (Wang et al., 2001; Maikhunthod y OrnIntarapichet, 2005; Liu y Eady, 2005; Bacha et al., 2013; Kennedy, 2016).

De estos compuestos, el ALC [grupo heterogéneo de isómeros del ácido linoleico (C18:2 n-6) formados durante la lipólisis y biohidrogenación del ácido linoleico en el rumen] (Teira et al., 2006; Alfaia et al., 2007) puede ser favorecido en su concentración a través de estrategias nutricionales (Shaeffer, 2000).

Dichas estrategias incluyen: el aporte de lípidos en la dieta (6-8% de la materia seca) (Plascencia et al., 2005); manejo de la relación forraje:concentrado (Rojas-Bourrillon y Campos-Granados, 2017b); el uso de materias primas altas en ácido linoleico como los subproductos de la destilería

del maíz (DDGS) (Erickson et al., 2005), las cuales además tienen efecto sobre el desempeño productivo de los animales (Aguilar-Alfaro et al., 2023).

Investigaciones previas en Costa Rica reportan que los valores de ALC en carne de res rondan entre 0,02 g hasta 0,55 g por cada 100 g de grasa, lo cual significa un aporte entre el 2% y el 100% de los requerimientos diarios (Rojas-Bourrillon y Campos-Granados, 2017a).

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto que tiene la suplementación con una fuente alta en ácido linoleico como los DDGS en novillos en pastoreo intensivo sobre características de canal y la concentración de ALC en la carne.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento fue llevado a cabo en la Finca La Vega de la Unidad de Ganado de Carne del Programa de Producción Agropecuaria (PPA) de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica en la Sede Regional de San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Se desarrolló durante el periodo comprendido entre los meses de agosto a noviembre del año 2018.

La finca se encuentra ubicada en el distrito de Florencia, cantón de San Carlos, en las coordenadas 10° 46' 47" latitud norte y 84° 51' 76" longitud oeste, con una altitud media de 72 m s. n. m. La temperatura promedio de la zona es de 26,5 °C, con una humedad relativa del 84% y una precipitación media anual de 3062 mm (Ramírez-Barboza et al., 2016).

Diseño del experimento, animales y dietas

Treinta y dos novillos castrados y encastados de la raza brahman fueron utilizados en el desarrollo del experimento. Los animales fueron incorporados con un peso inicial promedio de 395,19 kg y una edad promedio de 26 meses a dos tratamientos experimentales con 16 repeticiones cada uno: control, alimento balanceado de uso comercial en el país sin la incorporación de DDGS, y DDGS, alimento balanceado de uso comercial con la incorporación de 23% de DDGS. No fueron implantados ni tampoco se utilizaron moduladores del metabolismo durante el desarrollo del experimento.

Para el diseño de la dieta de los animales se consideraron los requerimientos nutricionales propuestos por el NRC (2001) para animales de 400 kg de PV (peso vivo) y con una ganancia diaria de peso (GDP) esperada de 1 kg por día: 736 g de proteína cruda (PC) y 25,1 Mcal de energía digestible (ED) por día.

Con respecto a la dieta de los animales, estos consumían una variedad de forrajes disponibles en el sistema de rotación del módulo de engorde, entre ellos guinea (*Megathyrus máximum*) (44,97% de presencia en los potreros), tanner (*Urochloa radicans*) (27,10% de presencia) y ratana (*Ischaemum indicum*) (13,89% de presencia) como las principales especies forrajeras de consumo por parte de los animales. También se encontraban presentes en el potrero otras especies como el pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) con un 8,44% de presencia, leguminosas (0,57% de presencia), arvenses (0,52% de presencia) y material senescente (4,51% de presencia). Durante el desarrollo del experimento se tomaron muestras para determinar la composición nutricional de estas mezclas forrajeras en potrero y los valores obtenidos se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Calidad nutricional de la mezcla forrajera presente en los potreros del módulo de engorde.

Nutriente	Valor reportado (%)
Materia seca (MS)*	16,72
Proteína cruda (PC)*	10,98
Fibra detergente neutro (FDN)**	67,92
Fibra detergente ácido (FDA)**	37,72
Cenizas (Ce)*	10,14
Extracto etéreo (EE)*	2,37
Lignina (Lig)**	2,38
Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)**	72,86
Digestibilidad in vitro de la FDN (DIVFDN)**	59,94
Carbohidratos no fibrosos (CNF)***	13,01
Total de nutrientes digestibles (TND)***	59,26
Energía digestible (ED)***	2612 kcal/kg MS
Energía neta de ganancia (Eng)***	0,75 Mcal/kg MS

*Fuente: Laboratorio de Química, Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), Universidad de Costa Rica. Metodología de química húmeda (AOAC, 1998).

**Fuente: Laboratorio de Bromatología, Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), Universidad de Costa Rica. Metodología de química húmeda (Van Soest et al., 1991).

***Fuente: datos obtenidos mediante la ecuación mecanicista (NRC, 2001).

Además de consumir a libre voluntad esta mezcla de forrajes, los animales recibían diariamente una mezcla mineral para engorde a libre consumo, agua a libre consumo y 3 kg de alimento balanceado, de acuerdo con el tratamiento propuesto (control y DDGS). Además de DDGS, se incorporó en la formulación de los alimentos: maíz, harina de soya, harina de coquito de palma africana, grasa de sobrepaso, urea, acemite de trigo, melaza, carbonato de calcio, sal y premezcla de vitaminas y minerales (Aguilar-Alfaro et al., 2023). Los alimentos

obtenidos eran isoproteicos (13% de proteína cruda) e isoenergéticos (3200 kcal/kg de energía digestible).

Para el tratamiento control el alimento fue balanceado de manera tal que no incluyera DDGS en su formulación y para el tratamiento DDGS se incorporó un 23% de la sustancia en la mezcla.

Los animales eran llevados todos los días en la mañana desde el potrero hasta una instalación de alimentación, la cual se mantenía abierta todo el tiempo y que se componía de una batería techada de comederos individuales y una pileta con agua para ambos grupos. De esta manera, se podía asegurar y monitorear el consumo individual de los tratamientos. Desde el punto de vista sanitario, los animales se desparasitaron interna y externamente al inicio del período de engorde, el cual duró 110 días.

Una vez concluido este periodo de engorde, los animales fueron procesados en la planta de cosecha de la Cooperativa Montecillos, a una distancia de 98,5 km de la finca.

Variables evaluadas

Merma finca-planta de procesamiento

Al finalizar el periodo de suplementación, los animales fueron pesados al momento de salida de la finca y en la planta de procesamiento previo a la matanza, con el fin de calcular la pérdida de peso durante el transporte y la espera en los corrales. Para esto, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{(\text{kg de peso vivo (PV) en finca} - \text{kg PV en planta})}{\text{kg PV en finca}} * 100 \quad (1)$$

Se determinó además el tiempo de ayuno de los animales previo a la matanza.

Rendimiento a canal y pérdida por goteo

De igual forma se obtuvo el peso de la canal caliente en la planta de cosecha con el fin de estimar el rendimiento a canal, mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\frac{(\text{kg de canal caliente})}{\text{kg PV en planta}} * 100 \quad (2)$$

Con el peso de la canal caliente y el peso de la canal fría se calculó la pérdida por goteo, mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\frac{(\text{kg de canal caliente} - \text{kg de canal fría})}{\text{kg de canal caliente}} * 100 \quad (3)$$

Conformación muscular, grado de engrasamiento y color de grasa

Después del proceso de matanza de los animales, se analizaron visualmente ciertas características de las canales en la línea de pesado de la canal en caliente: conformación muscular, grado de engrasamiento y color de grasa; de acuerdo con la guía propuesta por el programa de clasificación de canales de CORFOGA (2012).

Para determinar la conformación muscular, se evaluó el perfil y amplitud en las 3 regiones mediales de la canal, considerando la paleta, lomo y costillar. Además, la identificación de presencia o ausencia de músculo se realizó según una clasificación entre 1 y 4, siendo 1 una canal de perfil convexo-rectilíneo, de lomo prominente y amplio en ambos cuartos, y 4 una canal cóncava-ultracóncava, angulosa y desmarcada (CORFOGA, 2012).

Para la determinación del grado de engrasamiento, la canal se calificó entre 1 y 3, siendo 1 una canal con nula o poca capa de grasa, y 3 una canal con más de 1 cm de grasa subcutánea distribuida a lo largo de la misma (CORFOGA, 2012). Finalmente, el color de la

grasa de cobertura de la canal se calificó entre 1 y 3, siendo 1 una canal con grasa blanca y hasta ligeramente rosada y 3 una coloración de grasa amarilla intensa (CORFOGA, 2012).

Área de ojo del lomo (AOL), espesor de grasa dorsal o de cobertura y marmoleo

Una vez transcurridas 24 horas post mortem, a una media canal de cada animal se le realizó un corte transversal entre la costilla 12 y 13 para exponer el músculo longissimus dorsi, lugar donde se realizaron las mediciones propuestas.

Para el cálculo de AOL se utilizó la plantilla oficial del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) (Rubio-Lozano et al., 2013).

Para la determinación del espesor de grasa dorsal se utilizó una regla de acero inoxidable y se tomó el valor a la altura de las 2/3 del lomo (Rubio-Lozano et al., 2013).

Finalmente, con la ayuda de la guía fotográfica del USDA se evaluó visualmente el marmoleo de las canales, asignando un número entre 1 (slight o ligero) y 6 (moderately abundant o moderadamente abundante) (Rubio-Lozano et al., 2013).

Temperatura y pH de la canal

Se determinó la temperatura y pH de la canal a las 24 horas postmortem utilizando un pH-metro (HANNA-HI 99163), previamente calibrado con buffer 4,01 y 7,01. Para cada canal las mediciones se realizaron por triplicado utilizando el electrodo especial para carne con punta de acero inoxidable en el lomo previamente expuesto entre las costillas 12 y 13 (Rubio-Lozano et al., 2013).

Color de músculo y toma de muestra

Para la determinación del color del músculo se utilizó un espectrofotómetro (HunterLab Mini Scan EZ 45/0 LAV) previamente calibrado. La medición se realizó por triplicado de acuerdo con el sistema CIELAB de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) obteniendo los

valores en términos de brillo o luminosidad (L), índice rojo/verde (a) e índice amarillo/azul (b) (Konica-Minolta, 2016; Rubio-Lozano et al., 2013).

Finalmente, mediante la incorporación en la cadena de deshuese de la planta de cosecha, se tomaron muestras de aproximadamente 100 gramos del músculo longissimus dorsi de una media canal de cada animal. Estas fueron empacadas al vacío para ser transportadas en hielera hasta el Laboratorio de Química del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica. En este lugar se desarrollaron los respectivos análisis de extracto etéreo y perfil de ácidos grasos.

Extracto etéreo y perfil de ácidos grasos de las muestras

Las muestras obtenidas de cada animal en la planta de cosecha fueron ingresadas en el Laboratorio de Química del CINA para realizarles los análisis de extracto etéreo (AOAC, 1998) y perfil de ácidos grasos, incluyendo al ALC mediante la metodología propuesta por Stanton et al. (1997).

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño irrestricto al azar con dos tratamientos y 16 repeticiones por tratamiento, en el cual se analizaron las características de merma finca-planta de procesamiento, rendimiento a canal, pérdida por goteo, temperatura, pH y color de la canal, concentración de extracto etéreo y perfil de ácidos grasos, utilizando el siguiente modelo:

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

Donde:

Y_{ij} = Observación que corresponde a la i -ésima suplementación.

μ = Media poblacional.

S_i = Efecto de la i -ésima suplementación.

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

La separación de las medias se analizó por medio de la prueba de Tukey con un 95% de confianza ($p \leq 0.05$) utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2018).

En el caso de la conformación muscular, el grado de engrasamiento y el color de la grasa se analizaron con tablas de frecuencia relativa al ser variables discretas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Merma finca-planta de procesamiento

En el Cuadro 2 se muestran los valores obtenidos para el peso de salida de finca de los animales, peso en planta previo a la matanza y merma finca-planta, reportada en porcentaje y en kilogramos de peso.

Cuadro 2. Valores promedio de peso de salida de finca, peso en planta previo a la matanza y merma finca-planta de los animales del proyecto.

Variable evaluada	DDGS	Control	EE	Valor p
Peso de salida de finca, kg	501,00	506,31	33,61	0.74
Peso en planta previo a la matanza, kg	462,97	468,25	30,89	0.65
Merma finca-planta, kg	38,03	38,06	11,43	0.57
Merma finca-planta, %	7,57	7,49	2,08	0.85

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos para ninguna de las variables evaluadas. Las pérdidas encontradas concuerdan con las presentadas por Gallo et al. (2000) con valores entre 5,0% y 10,5%, al evaluar el efecto de distintos tiempos de transporte sobre pérdida de peso, pH y brillo de la carne en dos épocas del año.

Esto coincide con lo esperado, ya que las pérdidas de peso previas a la matanza son más afectadas por factores como tiempo y hora de transporte (mayor pérdida a mayor tiempo de transporte y mayor pérdida en horas más calientes del día), distancia del recorrido (mayor pérdida a mayor distancia), tiempo de ayuno (mayor pérdida a mayor tiempo de ayuno, debido a que los animales comienzan a gastar sus reservas corporales y se tuvo una duración de 16 horas para los animales de este proyecto), manejo previo a la matanza (mayor pérdida a mayor estrés ante mortem, el cual puede deberse a mezcla de lotes, peleas por establecimiento de jerarquías entre lotes, ruidos y golpes por parte de los operarios de la planta de cosecha, inadecuado diseño de las instalaciones, aglomeración de animales en los corrales, mal manejo del baño previo a la matanza, ausencia de agua durante la espera en los corrales, entre otros) (Gallo et al., 2000; Osorio et al., 2016; Ponnampalam et al., 2017; Gagaoua et al., 2021).

Aunado a la pérdida de peso de los animales, que se ve reflejado en pérdidas en el rendimiento, el estrés ante mortem también tiene efectos directos sobre la calidad de la carne, aumentándose la prevalencia de un defecto conocido como corte oscuro, ocasionado por el estrés crónico previo a la matanza (Gallo et al., 2000; Osorio et al., 2016; Ponnampalam et al., 2017; Gagaoua et al., 2021).

Rendimiento a canal y pérdidas por goteo

En el Cuadro 3 se muestran los valores obtenidos para el peso de canal caliente, canal fría, rendimiento a canal y pérdidas por goteo obtenidos en la planta de cosecha.

Cuadro 3. Valores promedio de peso de canal caliente, peso de canal fría, rendimiento a canal y pérdidas por goteo de las canales del proyecto.

Variable evaluada	DDGS	Control	EE	Valor de p
Peso de canal caliente, kg	265,31	269,13	20,25	0.49
Peso de canal fría, kg	260,05	263,89	19,90	0.77
Rendimiento a canal, %	57,30	57,44	1,31	0.81
Pérdidas por goteo, %	1,98	1,95	0,34	0.60

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos para ninguna de las variables evaluadas.

Con respecto al peso de canal caliente, los valores obtenidos son muy parecidos a los reportados por Ramírez (2014) de 265,75 kg promedio en animales de razas cebuínas y europeas. No obstante, en otro trabajo presentado por Quesada (2019) con animales y manejo alimenticio similares a los de este estudio, los valores reportados por el autor fueron mayores (278,96 kg), pero cabe señalar que un mayor tiempo de engorde (146 días) generó animales con mayor peso de salida de finca (518,40 kg).

El peso de la canal se relaciona directamente con el peso del animal previo a la matanza y es un valor importante para el negocio carnicero, pues canales más pesadas generan mayor cantidad de carne vendible (Jaramillo-López et al., 2012).

Con relación al rendimiento a canal, los valores obtenidos son similares a los reportados por Ramírez (2014) con valores entre 57,34% y 59,64% para animales de razas europeas y cebuínas y con diferentes niveles de suplementación energética.

Por otro lado, Quesada (2019), con animales cruzados similares a los de este estudio y en condiciones de manejo y alimentación similares, reportó rendimientos a canal entre 56,83% y

57,74%. Por último, los valores obtenidos coinciden con los reportados por CORFOGA (2012) en un estudio realizado con animales castrados (57,60%).

Esto se asemeja con lo esperado porque el rendimiento a canal se ve más afectado por factores como: la especie, mayores rendimientos en animales *Bos taurus* con respecto a los *Bos indicus*; raza, mayor rendimiento en animales de potencial cárnico respecto de animales de potencial lechero; tamaño y peso de los animales previo a la matanza, animales más grandes con menor relación músculo:hueso dan rendimientos inferiores); transporte y estrés ante mortem, hay menores rendimientos cuando el estrés ante mortem y el tiempo de transporte son mayores debido al consumo de reservas corporales, mayores decomisos y retenciones de carne por golpes y heridas (Chacón, 2000; Feoli, 2002; Chacón, 2005; Gursansky et al., 2010; Highfill et al., 2012, Giusti et al., 2013; Rubio-Lozano et al., 2013).

Dado que los animales de este experimento tenían un perfil racial similar (cruces *Bos indicus* x *Bos taurus*), fueron cosechados a pesos similares, manejados en condiciones de estrés similares, sometidos al mismo tiempo de transporte y manejados bajo el mismo personal. Era esperable que no se encontraran diferencias significativas en los rendimientos a canal entre los tratamientos evaluados.

Finalmente, con respecto a las pérdidas por goteo, los valores obtenidos en este experimento son similares a los reportados por otros autores, los cuales se encuentran por debajo del 2% (Traore et al., 2012; Strydom et al., 2016; Cama-Moncunill et al., 2020; da Silva-Bernardo et al., 2021).

Las pérdidas por goteo de las canales dependen del acortamiento de los sarcómeros que está regulado por la interacción de la temperatura del músculo y el tiempo que se tarda este en llegar al rigor mortis. Por lo tanto, las condiciones de refrigeración afectan directamente este valor (Cama-Moncunill et al., 2020).

Si la canal se enfría rápidamente antes de llegar al rigor mortis, se genera acortamiento por frío y esto genera pérdidas de agua en el músculo por una mayor contracción final. Por otro lado, si la canal se enfría lentamente, se genera una desnaturalización de las proteínas

miofibrilares lo que afecta la capacidad de retención de agua del músculo y por ende aumentan las pérdidas. El enfriamiento óptimo del músculo en la canal es cuando alcanza un pH de 6,0 a 30 °C una hora y media después de la matanza (Cama-Moncunill et al., 2020).

Aunado a las condiciones de refrigeración, la velocidad de la caída del pH después de la cosecha también afecta estas pérdidas. Los aumentos en la velocidad incrementan la desnaturalización de las proteínas, disminuyen la capacidad de retención de agua (CRA) de la carne e influyen en la aparición de defectos de calidad de la carne como PSE (pálida, suave y exudativa), DFD (oscura, firme y seca), corte oscuro, entre otros, que inevitablemente afectarán también el grado de pérdida por goteo (Traore et al., 2012; Strydom et al., 2016).

Otros factores que pueden afectar el valor de pérdida por goteo pueden ser: el tiempo post mortem a la que se realiza la medición (cuanto mayor sea el tiempo post mortem de la medición, más aumentará la pérdida por goteo, pero esto no ocurre de forma lineal); geometría de la pieza (piezas más delgadas pierden más líquido respecto de piezas más gruesas); temperatura durante la medición (pérdida por goteo aumenta a temperaturas más altas) (da Silva-Bernardo et al., 2021).

Conformación muscular, grado de engrasamiento y color de grasa

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de conformación muscular, grado de engrasamiento y color de grasa para las canales del experimento.

Cuadro 4. Tabla de frecuencias relativas de los resultados de conformación muscular, grado de engrasamiento y color de grasa de las canales del proyecto.

Tratamiento	Variable evaluada		
	Conformación muscular	Grado de engrasamiento	de Color de grasa
DDGS	1 = 6,25%	1 = 93,75%	1 = 50,00%
	2 = 93,75%	2 = 6,25%	2 = 50,00%
	3 = 0,00%	3 = 0,00%	3 = 0,00%
	4 = 0,00%		
Control	1 = 6,25%	1 = 100,00%	1 = 62,50%
	2 = 81,25%	2 = 0,00%	2 = 37,50%
	3 = 12,50%	3 = 0,00%	3 = 0,00%
	4 = 0,00%		

Los resultados obtenidos para conformación muscular muestran que la mayoría de las canales se encuentran en la clasificación 2, lo que representa canales con un perfil rectilíneo, amplios en ambos cuartos y con el costillar y lomo ligeramente rellenos. Esto concuerda con lo reportado por CORFOGA (2012), en un trabajo realizado con canales de novillos entre enero de 2007 y marzo de 2012, obteniendo los mayores porcentajes en novillos ubicados en la categoría 2 (77%).

En cuanto al grado de engrasamiento, los resultados muestran que la mayoría de las canales se ubican en la clasificación 1. Lo cual hace referencia a canales con una capa muy delgada o ligera de grasa de cobertura, similar a lo obtenido por el mismo estudio de CORFOGA (2012), donde la mayoría de los animales analizados se encontraron en la clasificación 1 (70,9%).

Con respecto al color de la grasa, la mayoría de los animales se encuentran entre las categorías 1 y 2, las cuales hacen referencia a grasas blancas, ligeramente rosadas. Esto

también es similar con lo presentado por CORFOGA (2012), donde la mayoría de los animales se encontraron entre la categoría 1 y 2.

Estos resultados para la evaluación visual de la canal son producto de características muy propias de la producción de carne en zonas tropicales y en especial en Costa Rica. Estas variables son afectadas por factores como la genética, raza, sexo, edad de cosecha de los animales y el manejo alimenticio.

Con respecto a la genética y la raza, aquellos animales de la especie *Bos indicus* y de la raza brahman., que es la que predomina en los sistemas de producción de carne en Costa Rica y es la base de los animales de este experimento, tienden a generar canales con un perfil más rectilíneo que sugiere un mejor rendimiento a canal y posterior rendimiento carnicero. Sin embargo, estos generan canales más desprovistas de grasa de cobertura y esto puede generar problemas de suavidad en la carne, pues aumenta la probabilidad de que se presente el defecto de acortamiento por frío (Renerre, 1990; Mateo, 2007).

En cuanto al sexo, los machos tienden a producir canales con mejor conformación muscular, pero con menor grasa de cobertura con respecto a las hembras. Esto explica también por qué las canales de este experimento, así como la mayoría de las canales producidas en sistemas de engorde, tienen este perfil de grasa de cobertura (Yang et al., 2002).

Finalmente, con respecto a la edad de cosecha y el manejo alimenticio, que generalmente están directamente relacionados. Aquellos animales que son cosechados a mayor edad, tienden a generar canales más pesadas y con mayor conformación muscular, producto generalmente de dietas de pastoreo. Además, limitan las ganancias de peso de los animales y, por ende, aumentan las edades de cosecha, lo cual es la realidad de muchos de los sistemas de producción cárnica en Costa Rica (Renerre, 1990; Yang et al., 2002).

Área de ojo de lomo, grosor de grasa dorsal o de cobertura y marmoleo

En el Cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos para área de ojo de lomo y espesor de grasa dorsal de las canales evaluadas en el experimento.

Cuadro 5. Valores promedio de área de ojo de lomo y espesor de grasa dorsal de las canales del proyecto.

Variable evaluada	DDGS	Control	EE	Valor p
Área de ojo de lomo, cm ²	68,35	73,59	11,76	0,54
Espesor de grasa dorsal, mm	4,37	3,18	1,85	0,79

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) para las variables evaluadas y los valores obtenidos de área de ojo de lomo son similares a los reportados por Ramírez (2014) al analizar el efecto de niveles crecientes de energía en la dieta de novillos en pastoreo, con promedios entre 56,93 y 73,24 cm² y a los reportados por Carvalho et al. (2016), con medias entre 71,3 y 76,6 cm². Por otro lado, los valores son muy superiores a los encontrados por Quesada (2019), con promedios entre 59,05 y 63,16 cm², con animales y manejo alimenticio similares a los de este experimento.

Esto podría deberse a factores como la variabilidad de animales que son obtenidos en sistemas de cría que manejan múltiples razas y cruces y que son incorporados en los sistemas de finalización. El perfil racial tiene un impacto directo sobre la eficiencia en el uso de nutrientes y deposición de músculo y la edad a la que los animales fueron incorporados al sistema de finalización. Los animales más jóvenes tienen mejor respuesta a la suplementación en términos de deposición de músculo, lo cual aumenta el área de ojo de lomo (Renerre, 1990; Yang et al., 2002).

Con respecto al espesor de grasa dorsal, los valores obtenidos son similares a los reportados por Quesada (2019), que utilizó animales y manejo alimenticio similares a los de este trabajo, con promedios de 3,75 y 4,75 mm de acuerdo con el tratamiento empleado y por los reportados por Ramírez (2014), con valores entre 2,66 mm y 4,43 mm en novillos en pastoreo de razas cebuínas y europeas.

Con respecto al marmoleo, para ambos tratamientos más del 88% de las canales se clasificaron dentro de la categoría de ligero (slight) de acuerdo con lo propuesto por la guía fotográfica del USDA. Esto se explica principalmente por las razas, el sexo y el manejo alimenticio utilizados en el presente experimento, pues animales de razas tipo cebuínas como el brahman, machos y con un manejo alimenticio basado en forrajes y una dieta limitada en el contenido de energía, se ven más limitados para la deposición de grasa intramuscular. Por lo tanto, resulta en carnes con poco o nulo marmoleo y esto tiene relación con la calidad de estas carnes, las cuales tienden a ser más duras y menos jugosas (French et al., 2000).

Temperatura y pH de la canal

En el Cuadro 6 se muestran los valores de temperatura y pH a las 24 horas post mortem de las canales evaluadas en el experimento.

Cuadro 6. Valores promedio de temperatura y pH de las canales del proyecto.

Variable evaluada	DDGS	Control	EE	Valor p
Temperatura °C	3,67	3,39	0,99	0,67
pH	5,73	5,69	0,10	0,74

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) para las variables evaluadas. Con respecto a los valores de temperatura de las canales, estos se encontraron por debajo del máximo recomendado (7°C a las 24 horas). Esto es adecuado, pues estas temperaturas bajas reducen el riesgo de contaminación con microorganismos de descomposición de la carne, de manera que se disminuye el riesgo microbiológico de un producto tan susceptible como la carne (Gil, 2010).

Aunado a esto, las investigaciones sugieren que la refrigeración de la carne roja puede mejorar ciertas propiedades, como la fuerza de corte (suavidad), el sabor y el color. Al minimizar la desnaturalización proteica, que ocurre cuando las temperaturas de la canal, son altas y el metabolismo muscular sigue activo (Coombs et al., 2017).

Con respecto a los valores de pH encontrados en las canales de este estudio, estos concuerdan con los reportados por Gallo et al. (2000) con valores entre 5,5 y 5,9, al evaluar el efecto de distintos tiempos de transporte sobre el pH de la canal. La conclusión obtenida por los autores mencionados apunta a que el pH de la canal no solo depende del factor tiempo de transporte, sino de otros más en el manejo ante mortem.

Además, los valores de pH obtenidos en este estudio se encuentran dentro del rango óptimo (5,6-5,8). Se recomienda que alcancen las canales a las 24 horas post mortem, con el fin de evitar el crecimiento de patógenos y garantizar un adecuado rigor mortis (Chacón, 2000).

Aunado a esto, una adecuada combinación de pH y temperatura de las canales a las 24 horas post mortem disminuyen la desnaturalización de proteínas, lo que influye directamente sobre la conversión del músculo en carne, la capacidad de retención de agua y por ende sobre la calidad de la carne (Hopkins et al., 2014).

Color de la canal

En el Cuadro 7 se muestran los valores de luminosidad (L), índice rojo/verde (a) e índice amarillo/azul (b) para las canales evaluadas en el experimento.

Cuadro 7. Valores promedio de luminosidad (L), índice rojo/verde (a) y índice amarillo/azul (b) de las canales del proyecto.

Variable evaluada	DDGS	Control	EE	Valor p
L	36,42	37,41	2,48	0,45
a	18,38	18,60	2,07	0,54
b	15,18	15,83	1,89	0,73

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos para las variables de color evaluadas.

El resultado era de esperarse, pues el color es una característica de la carne que se encuentra estrechamente relacionada con el pH de la canal (valores de pH por debajo de 5,6 tienden a generar carnes pálidas, mientras que valores de pH arriba de 6,0 tienden a generar carnes oscuras), la edad de los animales (animales de mayor edad de cosecha tienden a generar carnes más oscuras, debido a la mayor acumulación de mioglobina), el tipo de fibra muscular (rojas o blancas), el manejo alimenticio (carnes de animales en pastoreo tienden a ser más oscuras en comparación a aquellas de animales con dietas altas en suplementación con granos) (Chacón, 2000; Feoli, 2002; Chacón, 2005; Moon et al., 2006).

Con respecto a los valores de L, los cuales son indicadores del brillo o luminosidad de la carne (valores cercanos a 0 son oscuros y cercanos a 100 son brillantes), estos se encuentran por debajo del óptimo esperado para la carne de res (50). Esto es un indicativo de carne oscura y estas condiciones de calidad impactan negativamente la capacidad de retención de agua, aspectos de apariencia visual, vida útil y la suavidad de la carne (Purchas y

Aungsupakorn, 1993; Ferguson et al., 1999; Kim et al., 2014; Warner et al., 2014; Hughes et al., 2014).

Es bien sabido que el estrés crónico (transporte, espera en los corrales, desplazamiento hacia la caja de aturdimiento, momento del aturdimiento) previo a la matanza en el ganado bovino agota las reservas de glucógeno. Esta condición se asocia con un pH alto de la carne, particularmente en animales con manejos alimenticios deficientes antes de la cosecha (Lawrie, 1958; Knee et al., 2007).

El color de la superficie de la carne está determinado en gran medida por la concentración y estado químico de la mioglobina, por la profundidad de las capas de mioglobina y también por los cambios en la estructura del músculo post mortem. La magnitud de estos cambios depende de las variaciones en el pH y por ende el pH es el principal impulsor del cambio en color del músculo post mortem (Hughes et al., 2014).

Además, la velocidad de esta disminución de pH influye directamente, así como la temperatura del músculo (Renerre, 1990). Una rápida caída en el pH puede provocar condiciones desnaturalizantes, lo que resulta en cambios en la dispersión de la luz y también en la pérdida de proteínas sarcoplásmicas como la mioglobina del músculo (Swatland, 2008) y, por tanto, un color más pálido (Hughes et al., 2014).

Extracto etéreo (EE) y perfil de ácidos grasos

En el Cuadro 8 se muestran los resultados de los análisis de extracto etéreo y perfil de ácidos grasos de las muestras de carne del proyecto.

Cuadro 8. Valores promedio de extracto etéreo y perfil de ácidos grasos de las muestras de carne del proyecto.

Nutriente	DDGS	Control
Extracto etéreo, % de la materia seca	2,03 ± 0,66a	1,76 ± 0,67a
Total de ácidos grasos saturados, % del EE	57,92 ± 9,94a	58,38 ± 5,58a
Total de ácidos grasos monoinsaturados, % del EE	39,70 ± 8,01a	40,44 ± 5,58a
Total de ácidos grasos poliinsaturados, % del EE	2,39 ± 0,92a	1,17 ± 0,75a
Ácido palmítico, g/100 g de EE	28,28 ± 2,88a	28,22 ± 3,18a
Ácido esteárico, g/100 g de EE	19,19 ± 6,32a	19,80 ± 6,55
Ácido oleico, g/100 g de EE	34,88 ± 6,59a	36,67 ± 7,31a
Ácido linoleico, g/100 g de EE	1,24 ± 0,41a	0,56 ± 0,20a
Ácido linoleico conjugado cis-9-trans-11 (ALC), g/100 g de EE	0,58 ± 0,08b	0,04 ± 0,02a

*Letras diferentes en la misma fila (a, b) representan diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

Solamente se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para la concentración del ácido linoleico conjugado (ALC) a favor del tratamiento que incluía la suplementación con DDGS. Esto permite reforzar la teoría de que, al suplementar con alimentos que contienen ácido linoleico y otros ácidos grasos insaturados, se favorece el proceso de biohidrogenación ruminal. Con esto se aumenta la concentración de los intermediarios del proceso, entre ellos el ALC, producto de que las bacterias no pueden biohidrogenar o saturar todos los ácidos grasos insaturados que ingresan al rumen vía dieta. Se debe a que los ácidos grasos insaturados son tóxicos para las bacterias ruminales, especialmente para las celulolíticas encargadas de la digestión de la fibra (Griinari et al., 2000; Mir et al., 2004; Realini et al., 2004;

Dhiman et al., 2005; Rojas-Bourrillon y Campos-Granados, 2017a; Rojas-Bourrillon y Campos-Granados, 2017b).

Los valores de ALC obtenidos para la carne de animales suplementados con DDGS son mayores a los reportados por Barton et al. (2007), con valores entre 0,38 g y 0,49 g por cada 100 g de grasa para los isómeros totales de ALC en sistemas de estabulación completa. En otro trabajo, reportado por Lancaster et al. (2007), se presentaron aumentos en el contenido de ácido linoleico (18:2) y ácidos grasos poliinsaturados al incorporar DDGS en un 16% de la MS en dietas de animales en periodo de finalización. En el caso del trabajo reportado por Popova et al. (2015) se presentaron disminuciones en el contenido de ácidos grasos saturados y un aumento en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados al incorporar hasta un 37,58% de DDGS en dietas de corderos.

Finalmente, en el trabajo presentado por Quesada (2019), con animales y manejo alimenticio similar (misma mezcla de forrajes que este estudio y uso de alimento balanceado comercial), se reportaron promedios similares de ALC de 0,34 g y 0,47 g/100g de grasa, sin encontrar diferencias significativas entre tratamientos. En carnes producidas en Costa Rica en diferentes sistemas de producción, Rojas-Bourrillon y Campos-Granados (2017a) reportaron valores que oscilaban entre 0,02 g hasta 0,55 g por cada 100 g de grasa.

CONSIDERACIONES FINALES

La inclusión de DDGS en la suplementación de novillos encastados brahman en pastoreo no tuvo efecto sobre la merma finca-planta, rendimiento a canal, pérdidas por goteo y características de la canal. Este es el resultado de la naturaleza propia de estas variables, mismas que dependen de factores más allá de diferencias en el manejo alimenticio.

Sin embargo, se observaron diferencias significativas sobre la concentración del ácido linoleico conjugado (ALC) a favor del tratamiento que incluía la suplementación con DDGS. Esto puede significar una alternativa para darle valor agregado a la carne producida bajo

estas condiciones y favorecer su consumo como alimento con propiedades nutracéuticas. Sin embargo, eso dependerá de si el mercado está dispuesto a pagarlo.

Se deben realizar más investigaciones con suplementos ricos en ácidos grasos insaturados con el fin de conocer su efecto en términos del perfil de ácidos grasos de la carne, en especial del ácido linoleico conjugado y sus beneficios para la salud humana. Se recomienda también evaluar el impacto de la suplementación con DDGS sobre las propiedades relacionadas con aceptabilidad, oxidación de lípidos y estabilidad de la carne. Finalmente, se podría incluir además un análisis económico del impacto de esta suplementación sobre una posible mejora en el precio que se paga la carne. De esta manera se podría estimular al productor a favorecer la suplementación de sus animales, más allá de solo obtener una mejora en el rendimiento productivo de sus animales.

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores agradecen al personal de la Finca La Vega, de la Unidad de Ganado de Carne, del Programa de Producción Agropecuaria (PPA) de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos, por su apoyo en el desarrollo de esta investigación. También agradecen al personal de la planta de cosecha de COOPEMONTENCILLOS por su apoyo en la toma de datos de características de las canales y al personal de los laboratorios del Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica por el apoyo en la realización de los análisis de laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Alfaro, K., A. Rojas-Bourrillon, J. Rodríguez-González, M. Villareal-Castro, O. Murillo-Bravo y C. Campos-Granados. 2023. Suplementación con DDGS en novillos en pastoreo y su efecto sobre el desempeño productivo y medidas ultrasonográficas. *Nutrición Animal Tropical*. 17 (2): 89-108. doi: 10.15517/nat.v17i2.57816.
- Alfaia, C., M. Castro, S. Martins, A. Portugal, S. Alves, C. Fontes, R. Bessa y J. Prates. 2007. Effect of slaughter season on value of fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomers and nutritional intramuscular fat in Barrosã-PDO veal. *Meat Science*, 75 (1): 44-52. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.06.013.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1998. Official methods of analysis of AOAC International. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.
- Bacha, U., M. Nasir, M. Asif, N. Akbar, A. Anjum, J. Muhammad, T. Hussain, A. Wajid, T. Shahzad y A. Rashid. 2013. L-carnitine of red meat consumption contributes less in heart diseases progression as compared to low expressed PPAR α leading to activation of mTOR1C. *International Journal of Advanced Research*, 1 (7): 169-174.
- Barton, L., M. Marounek, V. Kudrna, D. Bures, y R. Zahrádková. 2007. Growth performance and fatty acid profiles of intramuscular and subcutaneous fat from limousin and charoláis heifers fed extruded linseed. *Meat Science*, 76(3): 517-523. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.01.005.
- Bernstein, A. M., M. Song, X. Zhang, A. Pan, M. Wang, C. S. Fuchs, N. Le, A. T. Chan, W. C. Willett, S. Ogino, E.L. Giovannucci y K. Wu. 2015. Processed and unprocessed red meat and risk of colorectal cancer: analysis by tumor location and modification by time. *PLoS One*, 10 (8): e0135959. doi: 10.1371/journal.pone.0135959.
- Cama-Moncunill, R., J. Cafferky, C. Augier, T. Sweeney, P. Allen, A. Ferragina, C. Sullivan, A. Cromie y R.M. Hamill. 2020. Prediction of Warner-Bratzler shear force, intramuscular

- fat, drip-loss and cook-loss in beef via Raman spectroscopy and chemometrics. *Meat Science*, 167: 108157. doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108157.
- Carvalho, I., G. Fiorentini, J. Lage, J. Messana, R. Canesin, L. Rossi, R. Reis y T. Berchielli. 2016. Fatty acid profile, carcass traits and meat quality of Nellore steers following supplementation with various lipid sources. *Animal Production Science*, 57: 1170–1178. doi: 10.1071/AN15149.
- Chacón, A. 2000. Estudio de la maduración, la inyección de cloruro de calcio, la cocción y el congelamiento como fundamentos de un proceso para el mejoramiento de la suavidad del solomo. Tesis Lic., Universidad de Costa Rica. p. 176.
- Chacón, A. 2005. Efecto de la maduración, cocción y congelamiento sobre la suavidad, rendimiento y carga microbiana del corte de solomo (outside). *Agronomía Mesoamericana*, 16 (2): 199-213.
- CIAB (Cámara de Industriales de Alimentos Balanceados). 2022. Informe Anual Costa Rica. p. 34.
- Coombs, C. E. O., B. W. B. Holman, M. A. Friend y D. L. Hopkins. 2017. Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. *Meat Science*, 125: 84-94. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.11.025.
- CORFOGA. 2012. Informe final: Clasificación de canales bovinas. San José, Costa Rica. p. 87.
- CORFOGA. 2019. Consumo per cápita a octubre del 2019. Corporación para el Fomento Ganadero. www.corfoga.org/download/consumo-per-capita-de-carne-de-res-marzo-2017/. (Consultado 3 enero, 2024).
- da Silva-Bernardo, A. P., F. Ferreira, A. Muniz-da Silva, F. Souza-Prestes, V. C Francisco, R. Nassu, M. da Silva-do Nascimento y S. Bertelli-Pflanzer. 2021. Dry-aged and wet-aged beef: effects of aging time and temperature on microbiological profile, physicochemical characteristics, volatile compound profile and weight loss of meat from Nellore cattle (*Bos indicus*). *Animal Production Science*, 61 (14): 1497-1509. doi: 10.1071/AN20120.

- Delgado-Pando, G., P. Celada, F. J. Sánchez-Muñiz, F. Jiménez-Colmenero y B. Olmedilla-Alonso. 2014. Effects of improved fat content of frankfurters and pâtés on lipid and lipoprotein profile of volunteers at increased cardiovascular risk: a placebo-controlled study. *European Journal of Nutrition*, 53: 83-93. doi: 10.1007/s00394-013-0502-1.
- Dhiman, T. R., S. H. Nam y A. L. Ure. 2005. Factors affecting conjugated linoleic acid content in milk and meat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45 (6): 463-482. doi: 10.1080/10408390591034463.
- Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo. 2018. InfoStat Versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Erickson, G. T. Klopfenstein, D. Adams y R. Rasby. 2005. Utilization of corn co-products in the beef industry. Nebraska Corn Board, University of Nebraska-Lincoln, Institute of Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research Division and Cooperative Extension Division. www.nebraskacorn.org. (Consultado 3 enero, 2024).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2018. Composición de la carne. Departamento de Agricultura y Protección al consumidor. www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html. (Consultado 3 enero, 2024).
- Feoli, C. 2002. Efecto de la edad y el sexo del ganado cebuino de dos zonas del norte de Costa Rica sobre el rendimiento y las características de calidad de la carne. Tesis Lic., Universidad de Costa Rica. Costa Rica. p. 85.
- Ferguson, D. M., J. M. Thompson y R. Polkinghorne. 1999. Meat standards Australia, a 'PACCP' based beef grading scheme for consumers. *Proceedings of the 45th International Congress of Meat Science and Technology* 1, 18-19.
- Fernández-Quintela, A., M. Rodríguez y M. Portillo. 2004. Ácido linoleico conjugado y grasa corporal. *Revista Española de Obesidad*, 2 (2): 71-79.
- French, P., E. G. O'Riordan, F. J. Monahan, P. J. Caffrey, M. Vidal, M. T. Mooney, D. J. Troy y A. P. Moloney. 2000. Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or

- concentrate-based diets. *Meat Science*, 56 (2): 173-180. doi: 10.1016/S0309-1740(00)00037-1.
- Gagaoua, M., R. D. Warner, P. Purslow, R. Ramanathan, A. M. Mullen, M. López-Pedrouso, D. Franco, J. M. Lorenzo, I. Tomasevic, B. Picard, D. Troy y C. Terlouw. 2021. Dark-cutting beef: A brief review and an integromics meta-analysis at the proteome level to decipher the underlying pathways. *Meat Science*, 181: 108611. doi: 10.1016/j.meatsci.2021.108611.
- Gallo, C., S. Pérez, C. Sanhueza y J. Gasic. 2000. Efectos del tiempo de transporte de novillos previo al faenamiento sobre el comportamiento, las pérdidas de peso y algunas características de canal. *Archivos de medicina veterinaria*, 32 (2): 157-170. doi: 10.4067/S0301-732X2000000200003.
- Gil, A. 2010. *Tratado de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos*. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España. p. 820.
- Giusti, J., E. Castan, M. Dal-Pai, M. De Beni-Arrigoni, S. Rodrigues-Baldin y H. Nunes-De Oliveira. 2013. Expression of genes related to quality of Longissimus dorsi muscle meat in Nellore (*Bos indicus*) and Canchim (5/8 *Bos taurus* × 3/8 *Bos indicus*) cattle. *Meat Science*, 94 (2): 247-252. doi: 10.1016/j.meatsci.2013.02.006.
- Griinari, J. M., B. A. Corl, S. H. Lacy, P. Y. Chouinard, K. V. Nurmela y D. E. Bauman. 2000. Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Delta(9)-desaturase. *The Journal of Nutrition*, 130 (9): 2285-2291. doi: 10.1093/jn/130.9.2285.
- Gursansky, B, J. M. O'Halloran, A. Egan y C. E. Devine. 2010. Tenderness enhancement of beef from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle following electrical stimulation. *Meat Science*, 86 (3): 635-641. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.05.002.
- Highfill, C. M., O. Esquivel-Font, M. E. Dikeman y D. H. Kropf. 2012. Tenderness profiles of ten muscles from F1 *Bos indicus* × *Bos taurus* and *Bos taurus* cattle cooked as steaks and roasts. *Meat Science*, 90 (4): 881-886. doi: 10.1016/j.meatsci.2011.11.022.

- Hjorth, M. F., Y. Zohar, J. O. Hill y A. Astrup. 2018. Personalized dietary management of overweight and obesity based on measures of insulin and glucose. *Annual Review of Nutrition*, 21 (38): 245-272. doi: 10.1146/annurev-nutr-082117-051606.
- Hopkins, D. L., E. N. Ponnampalam, R. J. van de Ven y R. D. Warner. 2014. The effect of pH decline rate on the meat and eating quality of beef carcasses. *Animal Production Science*, 54: 407-413. doi: 10.1071/AN12314.
- Hughes, J. M., G. Kearney y R. D. Warner. 2014. Improving beef meat colour scores at carcass grading. *Animal Production Science*, 54: 422-429. doi: 10.1071/AN13454.
- Jaramillo-López, E., G. Peraza-Mercado, F. Molinar-Holguiny y M. F. Itza-Ortiz. 2012. Relationship between live animal weight, warm and cold carcass weight and carcass principal components. *Global Veterinaria*, 9 (2): 179-183. doi: 10.5829/idosi.gv.2012.9.2.63206.
- Kennedy, D. 2016. B vitamins and the brain: mechanisms, dose and efficacy. A review. *Nutrients*, 8 (2): 68. doi: 10.3390/nu8020068.
- Kim, Y. H. B., R. D. Warner y K. Rosenvold. 2014. Influence of high prerigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Animal Production Science*, 54: 375-395. doi:10.1071/AN13329.
- Knee, B. W., L. J. Cummins, P. J. Walker, G. Kearney y R. D. Warner. 2007. Reducing dark-cutting in pasture-fed beef steers by high-energy supplementation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47: 1277-1283. doi:10.1071/EA05362.
- Konica-Minolta. 2016. Entendiendo el espacio de color CIE L*A*B*. Nueva Jersey, Estados Unidos de América. www.sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/. (Consultado 3 enero, 2024).
- Kurotani, K., A. Nanri, A. Goto, T. Mizoue, M. Noda, S. Oba, M. Kato, Y. Matsushita, M. Inoue y S. Tsugane. 2013. Red meat consumption is associated with the risk of type 2 diabetes in men but not in women: a Japan Public Health Center-based Prospective Study. *The Journal of Nutrition*, 110 (10) 1910-1918. doi: 10.1017/S0007114513001128.

- Lancaster, P. A., J. B. Corners, L. N. Thompson, K. L. Fritsche y J. E. Williams. 2007. Case study: distiller's dried grains with solubles affects fatty acid composition of beef. *The Professional Animal Scientist*, 23: 715-720. doi: 10.15232/S1080-7446(15)31045-7.
- Lawrie, R. A. 1958. Physiological stress in relation to dark-cutting beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 9: 721-727. doi:10.1002/jsfa.2740091106.
- Lenighan, Y. M., A. P. Nugent, K. F. Li, L. Brennan, J. Walton, A. Flynn, H. M. Roche y B. A. McNulty. 2017. Processed red meat contribution to dietary patterns and the associated cardio-metabolic outcomes. *British Journal of Nutrition*, 118 (3): 222-228. doi: 10.1017/S0007114517002008.
- Liu, S., y S. J. Eady. 2005. Glutathione: its implications for animal health, meat quality, and health benefits of consumers. *Australian Journal of Agricultural Research*. 56 (8): 775-780. doi: 10.1071/AR05053.
- Mateo, J. 2007. Fresh meat color stability. *Nacameh*, 1 (1): 67-74. doi: 10.24275/uam/izt/dcbs/nacameh/2007v1n1/Mateo.
- Maikhunthod, B., y K. Ornintarapichet. 2005. Heat and ultrafiltration extraction of broiler meat carnosine and its antioxidant activity. *Meat Science*, 71 (2): 364-374. doi: 10.1016/j.meatsci.2005.04.017.
- Mir, P. S., T. A. McAllister, S. Scott, J. Aalhus, V. Baron, D. McCartney, E. Charmley, L. Goonewardene, J. Basarab, E. Okine, R. J. Weselake y Z. Mir. 2004. Conjugated linoleic acid-enriched beef production. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79 (6): 1207S-1211S. doi: 10.1093/ajcn/79.6.1207S.
- Moon, S. S., H. S. Yang, G. B. Park y S. T. Joo. 2006. The relationship of physiological maturity and marbling judged according to Korean grading system to meat quality traits of Hanwoo beef females. *Meat Science*, 74 (3): 516-521. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.04.027.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient Requirements of dairy cattle*. 7 ed. National Academy Press, Washington DC., USA.

- Obregón, R. M., y A. Valenzuela. 2011. Ácido linoleico conjugado, metabolismo de lípidos y enfermedad cardiovascular. *Revista Chilena de Nutrición*, 36: 258-268. doi: 10.4067/S0717-75182009000300008.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2015. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *The Lancet Oncology*, 16 (16): 1599-1600. doi: 10.1016/S1470-2045(15)00444-1.
- Osorio, K., D. Restrepo y R. Barahona. 2016. Efecto del tiempo de ayuno sobre el rendimiento en canal y el pH en canales bovinas. *Revista Lasallista de Investigación*, 13 (2): 80-87. doi: 10.22507/rli.v13n2a7.
- Pan, A., Q. Sun, A. M. Bernstein, M. B. Schulze, J. E. Manson, W. C. Willett y F. B. Hu. 2011. Red meat consumption and risk of type 2 diabetes: 3 cohorts of US adults and an updated meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94 (4): 1088-96. doi: 10.3945/ajcn.111.018978
- Plascencia, A., G. Mendoza, C. Vásquez y R. Avery. 2005. Factores que influyen en el valor nutricional de las grasas utilizadas en las dietas para bovinos de engorda en confinamiento: Una revisión. *Interciencia*, 30 (3): 134-142.
- Pogorzelska-Nowicka, E, A. G. Atanasov, J. Horbańczuk y A. Wierzbicka. 2018. Bioactive compounds in functional meat products. *Molecules*, 23 (2): 307. doi: 10.3390/molecules23020307.
- Ponnampalam, D., H. B., Hopkins, L. Duo, G. Baldi y A. El-din-Bekhit. 2017. Causes and contributing factors to "dark cutting" meat: current trends and future directions: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16 (3): 400-430. doi: 10.1111/1541-4337.12258.
- Popova, T., M. Yossifov, L. Kozelov y P. Marinova. 2015. Effect of various protein sources in feed on the fatty acid composition of adipose depots in lambs. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 27 (6): 527-532. doi: 10.9755/ejfa.2015.04.037.

- Purchas, R. W. y R. Aungsupakorn. 1993. Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers. *Meat Science*, 34: 163–178. doi:10.1016/0309-1740(93)90025-D.
- 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., Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. p. 80.
- Ramírez, J. 2014. Evaluación de niveles crecientes de energía en la suplementación de novillos de engorde en pastoreo. Tesis Lic., Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. p. 84.
- Ramírez-Barboza, J., A. Valverde-Abarca y A. Rojas-Bourrillon. 2016. Efecto de raza y niveles de energía en la finalización de novillos en pastoreo. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (1): 43-57. doi: 10.15517/am.v28i1.21472.
- Realini, C. E., S. K. Duckett, G. W. Brito, M. Dalla-Rizza y D. De Mattos. 2004. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Science*, 66 (3): 567-77. doi: 10.1016/S0309-1740(03)00160-8.
- Renner, M. 1990. Factors involved in the discoloration of beef meat. *International Journal of Food Science & Technology*, 25 (6): 613–630. doi: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb01123.x.
- Rojas-Bourrillon, A. y C. Campos-Granados. 2017a. Ácido linoleico conjugado (ALC) en carne bovina en Costa Rica: diagnóstico de la presencia de factor anticancerígeno. *UTN Informa*, 80: 88-90.
- Rojas-Bourrillon, A. y C. Campos-Granados. 2017b. Problemas de sólidos lácteos en la producción lechera debido al Síndrome de Baja Grasa Láctea. *UTN Informa*, 80: 8-12.
- Rubio-Lozano, M., D. Braña, D. Méndez, G. Torrescano, A. Sánchez, C. Pérez, F. Figueroa y E. Delgado. 2013. Guía práctica para la estandarización y evaluación de las canales

- bovinas mexicanas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Querétaro, México. p. 72.
- Rubio-Lozano, M. S., y C. Campos-Granados. 2022. Aportes al debate sobre el consumo de grasa saturada de las carnes rojas. *Nacameh*. 16 (1): 18-38. doi: 10.24275/uam/izt/dcbs/nacameh/2022v16n1/Rubio.
- Schultz A., L. González-Torres, D. Olivero, S. Bastida, J. Benedí y F. J. Sánchez-Muñiz. 2010. Wakame and Nori in restructured meat included in cholesterol- enriched diets affect the antioxidant enzyme gene expressions and activities in Wistar rats. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65: 295-298. doi: 10.1007/s11130-010-0179-z.
- Shaeffer, D. 2000. Potential for altering quality of muscle and milk ruminant. En: Decker, E., C. Faustman, y C. Lopez-Bote. *Antioxidants in Muscle Foods*. P. 155. Primera Edición. Willey-Interscience. New York, Estados Unidos. p. 512.
- Skytte, M. J., A. Samkani, A. D. Petersen, M. N. Thomsen, A. Astrup, E. Chabanova, J. Frystyk, J. J. Holst, H.S. Thomsen, S. Madsbad, T.M. Larsen, S.B. Haugaard y T. Krarup. 2019. A carbohydrate-reduced high-protein diet improves HbA1c and liver fat content in weight stable participants with type 2 diabetes: a randomised controlled trial. *Diabetologia*, 62 (11): 2066-2078. doi: 10.1007/s00125-019-4956-4.
- Stanton, C., F. Lawless, G. Kjellmer, D. Harrington, R. Devery, J. F. Connolly y J. Murphy. 1997. Dietary Influences on bovine milk cis-9, trans-11-conjugated linoleic acid content. *Journal of Food Science*, 62 (5): doi: 1083-1086. 10.1111/j.1365-2621.1997.tb15043.x.
- Strydom, P., J. Lühl, C. Kahl y L. C. Hoffman. 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): 349-359. doi: 10.4314/sajas.v46i4.2.
- Swatland, H. J. 2008. How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. *Meat Science*, 80: 396–400. doi:10.1016/j.meatsci.2008.01.002.

- Teira, G. F. Perlo, P. Bonato y O. Tisocco. 2006. Calidad de carnes bovinas: aspectos nutritivos y organolépticos relacionados con sistemas de alimentación y prácticas de elaboración. *Ciencia, docencia y tecnología*, 33: 173-193.
- Traore, S., L. Aubry, P. Gatellier, W. Przybylski, D. Jaworska, K. Kajak-Siemaszko y V. Santé-Lhoutellier. 2012. Higher drip loss is associated with protein oxidation. *Meat Science*, 90 (4): 917-924. doi: 10.1016/j.meatsci.2011.11.033.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson y B.A. Lewis. 1991. Method for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- Wang, H. W., A. Wahlin, H. Basun, J. Fastbom, B. Winblad y L. Fratiglioni. 2001. Vitamin B12 and folate in relation to the development of Alzheimer's disease. *Neurology*, 56 (9): 1188-1194. doi: 10.1212/wnl.56.9.1188.
- Warner, R. D., J. M. Thompson, R. Polkinghorne, D. Gutzke y G. A. Kearney. 2014. A consumer sensory study of the influence of rigor temperature on eating quality and ageing potential of beef striploin and rump. *Animal Production Science*, 54: 396-406. doi:10.1071/AN12226.
- Wolk, A. J. 2017. Potential health hazards of eating red meat. *Internal Medicine*, 281 (2): 106-122. doi: 10.1111/joim.12543.
- Yang, A., M. C Lanari, M. Brewster y R. K. Tume. 2002. Lipid stability and meat colour of beef from pasture- and grain-fed cattle with or without vitamin E supplement. *Meat Science*, 60 (1): 41-50. doi: 10.1016/S0309-1740(01)00103-6