

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN CARNE DE NOVILLOS WAGYU
ALIMENTADOS CON SUBPRODUCTOS DERIVADOS DEL CACAO**

por

Axel GALIAZ PIRIZ

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2025

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

DMV (Dr.) Alberto Casal Spera

CoDirector/a:

Ing. Agr. (Dra.) Ana Carolina Espasandin Medero

Tribunal:

DMV (Dr.) Alberto Casal Spera

Lic. Biot. (Dra.) Mercedes Garcia Roche

Lic. Biol. Beatriz Mernies

Fecha:

22 de diciembre de 2025

Estudiante:

Axel Galiaz Piriz

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente y por el acompañamiento académico durante todos estos años de carrera.

A mi tutor y cotutora, Alberto Casal Spera y Ana Carolina Espasandin Medero por su guía constante, por su paciencia, su compromiso y por haber compartido sus conocimientos con tanta dedicación. Su orientación fue fundamental para la realización de esta tesis y para mi crecimiento académico y personal.

A mis compañeros y compañeras de generación, por el trabajo en equipo, la colaboración y el compañerismo en cada etapa del proceso. Gracias por las largas jornadas de estudio, por las charlas, los intercambios de ideas y por hacer de este camino una experiencia mucho más llevadera y enriquecedora.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por creer siempre en mí y por acompañarme en cada paso de mi formación. Su ejemplo, su paciencia y su aliento constante fueron el motor que me impulsó a alcanzar esta meta.

Al resto de mi familia y a mi pareja, por acompañarme con su cariño y sostenerme cuando más lo necesité durante todos estos años.

A todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron directa o indirectamente con este trabajo, ya sea con su ayuda técnica, sus consejos o simplemente con una palabra de aliento, les expreso mi más sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN.	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 LA RAZA WAGYU.....	11
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE.....	12
2.3 ÁCIDOS GRASOS EN CARNE WAGYU.....	12
2.4 BIOHIDROGENACIÓN RUMINAL Y SÍNTESIS DE ÁCIDOS GRASOS RAMIFICADOS.	13
2.5 RUMIANTES Y LA ALIMENTACIÓN CON SUBPRODUCTOS DE CACAO.	14
3. HIPÓTESIS.	16
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
4.1. Trabajo a campo y condiciones experimentales.	17
4.2. Dieta y manejo alimenticio	17
4.3. Faena y obtención de muestras.....	18
4.4. Preparación de las muestras y extracción lipídica.	19
4.5. Metilación de ácidos grasos.	20
4.6. Determinación de ácidos grasos por cromatografía gaseosa (GC).....	20
4.7. Clasificación y análisis estadístico	21
5. RESULTADOS.....	22
5.1. Descripción general.	22
5.2. Composición promedio de ácidos grasos según el tipo de tejido.....	22
5.3. Composición de ácidos grasos por tratamiento.....	23
5.4. Interacción entre tejido y tratamiento.	24
5.5. Resumen general de resultados.	25
6. DISCUSIÓN.....	26
7. CONCLUSIONES.	28
8. BIBLIOGRAFÍA.	29

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla N°

Tabla 1 Composición química de las dietas suministradas a novillos Wagyu	18
Tabla 2 Composición promedio de ácidos grasos (% del total) según el tipo de tejido	23
Tabla 3 Composición promedio de ácidos grasos (% del total) según tratamiento	23
Tabla 4 Interacción entre tejido y tratamiento	24

Figura N°

Figura 1 Esquema simplificado de la biohidrogenación ruminal y la síntesis de ácidos grasos ramificados (RAMIF).....	13
Figura 2 Preparación de muestras para determinación de ácidos grasos	19
Figura 3 Procesamiento de las muestras para obtención de ácidos grasos	19
Figura 4 Muestras de ácidos grasos previo a la determinación por cromatografía de gases	20

RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de la genética y la suplementación con subproductos del cacao sobre la composición de ácidos grasos en músculo y grasa subcutánea de novillos Wagyu, comparándolos con un grupo Aberdeen Angus (NW) terminado en feedlot convencional. El análisis mostró que el Wagyu puro mantuvo un perfil marcadamente insaturado, con mayor proporción de ácido oleico y un contenido más elevado de MUFA respecto al Angus, rasgo que refuerza su reconocimiento como carne de alta calidad.

Al observar los tejidos por separado, el músculo presentó una composición más insaturada, mientras que la grasa subcutánea se caracterizó por mayor presencia de SFA, CLA y ácidos ramificados. Estos resultados son coherentes con la fisiología del depósito de grasa en bovinos y permiten comprender mejor las diferencias nutricionales entre cortes.

La suplementación con derivados del cacao, por su parte, no produjo cambios significativos en la composición lipídica del Wagyu, lo que sugiere que este insumo puede emplearse sin alterar la calidad de la grasa final. En conjunto, los hallazgos respaldan el uso del Wagyu en sistemas de terminación intensivos en Uruguay y aportan información útil para la producción de carnes diferenciadas con valor agregado.

Palabras clave: Wagyu, ácidos grasos, cacao, Angus, perfil lipídico

ABSTRACT

This study evaluated the influence of breed and cocoa by-product supplementation on the fatty acid profile of muscle and subcutaneous fat in Wagyu steers, comparing them with a conventional Aberdeen Angus (NW) feedlot system. Wagyu consistently showed a more unsaturated lipid composition, with higher MUFA particularly oleic acid and lower SFA than the Angus group, reinforcing its reputation as a premium beef.

When tissues were analyzed separately, muscle exhibited a higher proportion of unsaturated fatty acids, whereas subcutaneous fat contained more SFA, CLA and branched-chain fatty acids. These differences align with bovine lipid deposition physiology and help explain nutritional variation among cuts.

Cocoa by-products did not significantly change the fatty acid profile of Wagyu, indicating that supplementation can be used without compromising lipid quality. Overall, the results support Wagyu as a valuable option for intensive finishing systems in Uruguay and contribute evidence for differentiated, high-quality beef production strategies.

Keywords: Wagyu, fatty acids, cocoa by-products, Angus, meat quality

1. INTRODUCCIÓN.

La carne bovina ocupa un lugar central en la cultura alimentaria uruguaya y constituye una fuente destacada de nutrientes como proteínas de alto valor biológico, hierro, zinc y vitaminas del complejo B. En los últimos años, sin embargo, el interés del consumidor se ha ampliado desde el contenido proteico hacia la composición lipídica de la carne, debido a su impacto tanto en la salud humana como en la calidad sensorial del producto. En este contexto, la calidad de la grasa ha adquirido un rol clave para evaluar diferentes sistemas de producción y para distinguir cortes premium en mercados cada vez más exigentes (Scollan et al., 2014; Wood et al., 2008).

La raza Wagyu, originaria de Japón, se ha destacado mundialmente por su excepcional grado de marmoleo intramuscular, asociado a una textura extremadamente tierna y un sabor característico (Gotoh & Joo, 2016). Este elevado contenido de grasa intramuscular se acompaña de un perfil de ácidos grasos favorable, con predominancia de monoinsaturados (MUFA), especialmente ácido oleico (C18:1 n-9), reconocido por sus efectos beneficiosos sobre el perfil lipídico sanguíneo y la salud cardiovascular (Gotoh & Joo, 2016). En Uruguay, el uso de genética Wagyu se ha extendido principalmente a través de cruzamientos con razas locales de orientación carnífera o lechera, buscando combinar el potencial del Wagyu en calidad de carne con la rusticidad y eficiencia productiva de otras razas presentes en el sistema nacional (Algorta Lomiento & Irureta-Goyena Zerbino, 2025).

El perfil de ácidos grasos de la carne bovina no solo depende de la genética, sino también del tipo de tejido, la alimentación y el manejo del animal. La proporción entre ácidos grasos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFA) influye tanto en atributos sensoriales como el sabor y la ternura como en aspectos relacionados con la salud del consumidor (Wood et al., 2008). Desde una perspectiva nutricional, se considera más favorable un perfil con mayor contenido de MUFA y menor proporción de SFA, ya que se asocia a una reducción de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y a un incremento de lipoproteínas de alta densidad (HDL). Además, algunos ácidos grasos minoritarios, como el ácido linoleico conjugado (CLA) y los ácidos grasos ramificados, han despertado interés por sus posibles efectos antioxidantes, antiinflamatorios y anticarcinogénicos (Bauman et al., 1999).

En paralelo, creció el interés por incorporar subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes, tanto para reducir costos como para aprovechar materiales con alto contenido energético. Entre ellos destacan los derivados del cacao, utilizados ocasionalmente como fuente de grasa y carbohidratos de fermentación rápida. Sin embargo, los resultados disponibles no son del todo coincidentes. Algunos estudios no observaron cambios relevantes en el perfil lipídico ni en cualidades sensoriales de la carne (Algorta Lomiento & Irureta-Goyena Zerbino, 2025), mientras que otros describen variaciones en la deposición de grasa intramuscular o en el sabor.

Frente a ese escenario, este trabajo se propuso evaluar la composición de ácidos grasos en músculo y grasa subcutánea de novillos Wagyu, con o sin suplementación con

subproductos del cacao, y compararlos con un grupo Aberdeen Angus terminado en feedlot convencional.

En particular, se buscó determinar si la genética Wagyu y la inclusión de cacao modifican las proporciones de SFA, MUFA, PUFA, CLA, RAMIF y TRANS, y qué implicancias tendría esto en términos de calidad nutricional del producto.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1 LA RAZA WAGYU.

El ganado Wagyu tiene su origen en Japón, donde su nombre se compone de *wa* (japonés) y *gyu* (ganado), es decir, “ganado japonés”. Su desarrollo como raza ocurrió de manera relativamente aislada debido a las particularidades geográficas, topográficas y políticas del país, lo que contribuyó a la consolidación de sus características productivas distintivas (Motoyama et al., 2016). Dentro de las razas nativas japonesas conocidas como “Wagyu” podemos encontrar cuatro variantes siendo la más conocida y mayoritaria la Japanese Black (Motoyama et al., 2016).

Las primeras exportaciones de ganado Wagyu fuera de Japón comenzaron con un reducido grupo de toros enviados a Estados Unidos, desde donde la raza posteriormente se difundió hacia otros países, incluyendo Europa, Australia, Brasil, Chile y Argentina (Gotoh & Joo, 2016) Fue desde Australia donde se realizaron las primeras importaciones a nuestro país, desde ese entonces su crecimiento no ha sido de gran relevancia, siendo reducida su producción dentro del total de la producción pecuaria (“Dos cabañas expusieron Wagyu en pista”, 2020).

Según Motoyama et al. (2016), la raza Wagyu se caracteriza por su intenso marmoleado, lo que se traduce en un alto contenido de grasa intramuscular (IMF) y contribuye positivamente a la textura, la jugosidad y la palatabilidad general de la carne. Además, la carne de Wagyu ha sido ampliamente valorada desde el punto de vista nutricional debido a su elevada proporción de ácidos grasos monoinsaturados en relación con los saturados en comparación con otras carnes bovinas, característica asociada a su perfil lipídico particular.

Una proporción importante de la grasa saturada presente en la carne bovina corresponde al ácido esteárico, el cual ha sido clasificado como metabólicamente neutro, dado que no se asocia con incrementos en los niveles plasmáticos de colesterol LDL, principal marcador vinculado al riesgo cardiovascular. En este sentido, el elevado grado de marmoleo característico del Wagyu no necesariamente implica mayores riesgos para la salud humana y, en determinadas condiciones, puede resultar más favorable en comparación con carnes con perfiles lipídicos menos equilibrados.

Además, la carne Wagyu ha sido descrita como una fuente relevante de ácido linoleico conjugado (CLA) en comparación con otras razas bovinas, lo que le otorga propiedades funcionales adicionales. El CLA ha sido asociado con la reducción de la acumulación de tejido adiposo, la modulación del metabolismo lipídico y la actividad antioxidante, contribuyendo a disminuir factores de riesgo vinculados a enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II y procesos inflamatorios (Bhattacharya et al., 2006).

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE.

La carne Wagyu, reconocida por su sabor intenso y su notable ternura, es altamente valorada por especialistas y consumidores gourmet en distintos países. En Japón, esta carne se considera un producto de lujo de muy alta calidad, por lo que suele consumirse en porciones pequeñas y en preparaciones específicas que resaltan sus atributos sensoriales (Motoyama et al., 2016). Además de su apreciación gastronómica, la carne Wagyu ha sido destacada desde el punto de vista nutricional debido a su elevado contenido de ácidos grasos monoinsaturados en relación con los saturados en comparación con otras carnes bovinas.

En cuanto a su composición química, la característica más destacada de la carne Wagyu es su elevado contenido de grasa intramuscular (IMF), que contribuye directamente a mejorar la textura, la jugosidad y la palatabilidad del producto. Esta grasa es la responsable de generar el característico veteado o marmoleo que distingue visualmente a este tipo de carne y que influye de manera decisiva en su aceptación sensorial (Motoyama et al., 2016). El contenido de grasa en el ojo de bife puede estar por encima del 50 % (Motoyama et al., 2016). Por otro lado, según Matsuishi et al. (2001), la carne Wagyu tiene un aroma dulce y graso que desaparece luego del sacrificio pero que se genera nuevamente durante el almacenamiento bajo oxígeno.

El contenido de grasa intramuscular (IMF) varía según la duración del engorde, la dieta de terminación y la raza. En general, el IMF aumenta con el tiempo tanto en animales alimentados con pasturas como con granos, aunque la tasa de incremento es mayor en sistemas basados en concentrados (Smith et al., 2009). En el caso del Wagyu, diversos estudios han señalado que su genotipo presenta una elevada capacidad intrínseca para la adipogénesis intramuscular, asociada a una mayor actividad de factores reguladores del desarrollo adiposo y a un patrón de deposición lipídica distinto al de otras razas, especialmente cuando se emplean dietas con alta densidad energética. Además, se ha observado que por cada 1 % de aumento de IMF en el músculo *Longissimus*, el depósito de grasa subcutánea varía entre razas: 3,0 kg en Wagyu, 4,3 kg en Holstein Friesian, 7,9 kg en Angus Alemán y 10,7 kg en Azul Belga (Gotoh et al., 2014). Estos resultados reflejan la notable eficiencia energética del Wagyu para depositar grasa intramuscular sin requerir altos niveles de grasa subcutánea, lo cual explica en parte su reconocido marmoleo.

2.3 ÁCIDOS GRASOS EN CARNE WAGYU

La carne de los bovinos Wagyu se caracteriza por su elevado marmoleo y por un perfil lipídico particularmente rico en ácidos grasos insaturados. En términos generales, los animales de esta raza acumulan mayores proporciones de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), especialmente ácido oleico, y presentan menores niveles relativos de ácidos grasos saturados (SFA) en comparación con razas bovinas convencionales (Gotoh & Joo, 2016). Por ejemplo, Motoyama et al. (2016) señalan que cortes Wagyu alimentados a corral (“grain-fed”) elevan más rápidamente la grasa intramuscular y que a su vez tienen una mayor proporción de MUFA (ácido oleico)

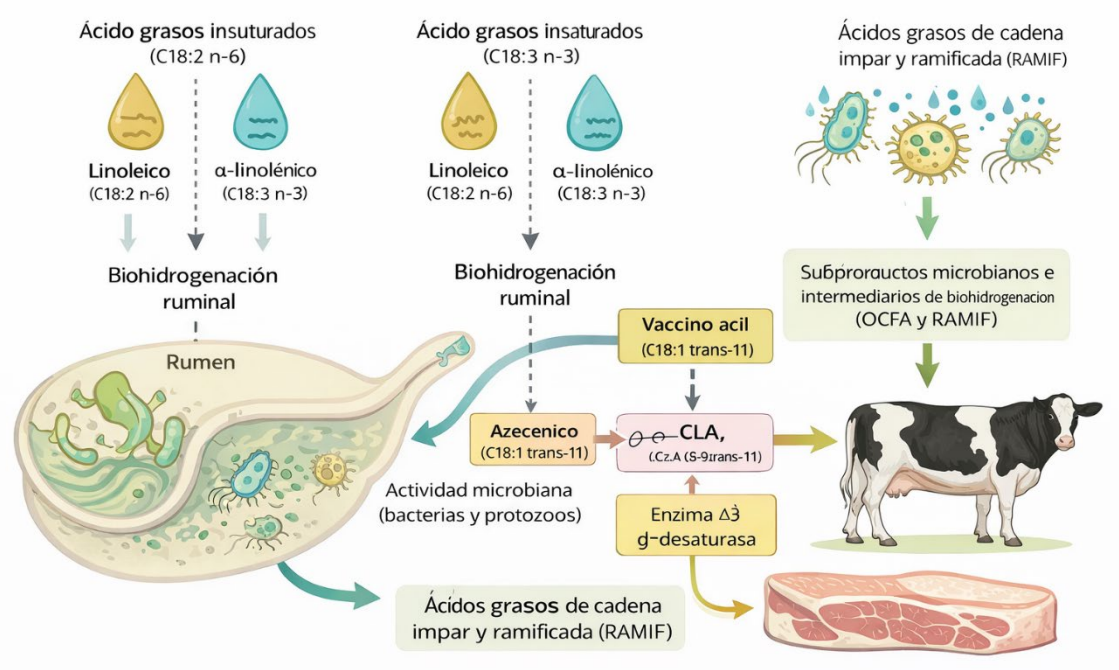
respecto a otras razas. De hecho, se ha reportado 53% de ácido oleico en Wagyu puro, frente a 40% en Angus alimentado con maíz. Este perfil más saludable de Wagyu (bajo SFA, alto MUFA) contrasta con el de razas lecheras como Holando, que típicamente presentan mayor SFA y menor de ácidos grasos insaturados.

2.4 BIOHIDROGENACIÓN RUMINAL Y SÍNTESIS DE ÁCIDOS GRASOS RAMIFICADOS.

Durante la fermentación ruminal, los ácidos grasos insaturados de la dieta (principalmente ácido linoleico y α -linolénico) son sometidos a procesos de biohidrogenación microbiana, generándose intermediarios como el ácido vaccénico (C18:1 trans-11), el cual puede ser posteriormente convertido en ácido linoleico conjugado (CLA, cis-9, trans-11) a nivel tisular mediante la acción de la enzima Δ^9 -desaturasa. Paralelamente, la actividad metabólica de bacterias y protozoos ruminales da origen a ácidos grasos de cadena impar y ramificada (RAMIF), que son incorporados a los tejidos del animal, particularmente a la grasa de depósito. Estos compuestos, característicos de productos de rumiantes, explican las diferencias observadas entre tejidos y refuerzan el rol central del rumen en la determinación del perfil lipídico final de la carne.

Figura 1

Esquema simplificado de la biohidrogenación ruminal y la síntesis de ácidos grasos ramificados (RAMIF)



Nota: Adaptado de Kraft (2021).

2.5 RUMIANTES Y LA ALIMENTACIÓN CON SUBPRODUCTOS DE CACAO.

El grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) posee características sensoriales particulares asociadas a su contenido de alcaloides, polifenoles y otros compuestos bioactivos que influyen en su aroma y sabor. La concentración de estos compuestos depende de factores genéticos, ambientales y de manejo, lo que explica la variabilidad entre materiales y productos derivados. El procesamiento poscosecha —principalmente la fermentación, el secado y el tostado— también desempeña un rol decisivo en la formación del perfil aromático del cacao (Vázquez-Ovando et al., 2016). Parte de este aroma proviene de la generación de pirazinas y aldehídos a través de reacciones de Maillard; las pirazinas pueden representar hasta un 20 % de los compuestos volátiles del cacao (Portillo et al., 2009) y se utilizan como aditivos aromatizantes en la industria alimentaria (Zhao et al., 2019). La formación de estos compuestos está estrechamente vinculada a las condiciones térmicas del procesamiento, particularmente a la combinación de temperatura y tiempo aplicada durante el secado y el tostado.

Además de su valor nutricional, los subproductos del cacao contienen compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides y antioxidantes, reconocidos por su capacidad para modular procesos inflamatorios y actuar como captadores de radicales libres, contribuyendo así a la estabilidad oxidativa de los lípidos. Estos compuestos pueden influir en el metabolismo de ácidos grasos a nivel ruminal, reduciendo la biohidrogenación microbiana y favoreciendo perfiles lipídicos más insaturados en los tejidos (Khiaosa-Ard & Zebeli, 2018).

Por otra parte, los subproductos del cacao presentan interés en nutrición animal debido a su contenido de fibra dietaria, compuestos fenólicos y metilxantinas, los cuales les confieren propiedades funcionales y antioxidantes. Estas características han llevado a explorar su incorporación en distintas formulaciones alimentarias, siempre considerando que la presencia de teobromina requiere una evaluación cuidadosa de los niveles de inclusión en cada especie

Su incorporación en dietas de terminación bovina también representa una estrategia alineada con principios de economía circular, al permitir valorizar residuos agroindustriales y reducir costos de alimentación sin comprometer la productividad ni la calidad del producto final.

Los estudios científicos que se revisaron muestran que pequeñas inclusiones de subproductos del cacao en raciones de rumiantes suelen ser seguras y pueden modificar positivamente el perfil graso de la carne o la leche (más grasas monoinsaturadas), sin aumentar el marmoleado por sí solas.

Autores como Bakr et al. (2023) evaluaron el uso de subproductos del cacao en bovinos lecheros, reemplazando parcialmente el maíz de la dieta en vacas Holstein en lactancia temprana. Dichos autores observaron que la inclusión moderada de subproductos de cacao mejoró la utilización del alimento y el rendimiento productivo, incrementando la producción diaria de leche, la eficiencia alimentaria y la digestibilidad de los nutrientes, sin efectos adversos aparentes. También reportaron aumentos en

glucosa, colesterol y triglicéridos sanguíneos, posiblemente asociados a la mayor densidad energética de la dieta. En conjunto, estos resultados respaldan que los subproductos del cacao pueden emplearse como suplemento energético sin comprometer la salud animal y con efectos productivos positivos.

A su vez, Campione et al. (2021) evaluaron ovejas lecheras alimentadas con un concentrado que reemplazó 11.7% de cereales por cáscara de cacao. Observaron que no hubo diferencias en rendimiento ni en composición de leche, el volumen de leche y su contenido de grasa y proteína fueron similares al grupo control, excepto una reducción en la urea de la leche en el grupo con cacao. Sin embargo, la cáscara de cacao sí alteró el perfil de ácidos grasos: en el contenido ruminal y en la leche aumentaron los ácidos grasos monoinsaturados (sobre todo el oleico, 18:1) y disminuyó la proporción $\Omega 6/\Omega 3$.

Por último, Renna et al. (2022) evaluaron la inclusión de cáscara de cacao peletizada en la dieta de cabras lecheras, sustituyendo 200 g/día del concentrado (equivalente al 20% del suplemento). Los autores reportaron que esta incorporación no modificó la producción ni la composición principal de la leche. Sin embargo, sí se observaron cambios en el perfil lipídico: aumentaron significativamente los ácidos grasos ramificados (RAMIF) y los monoinsaturados (MUFA), mejorando la relación n-6/n-3 de la grasa láctea. Estos resultados sugieren un posible beneficio nutricional en términos de calidad lipídica, y respaldan el uso de la cáscara de cacao como insumo alternativo sin efectos negativos sobre el rendimiento lechero.

3. HIPÓTESIS.

Se plantea que la suplementación con subproductos de cacao en la dieta de bovinos Wagyu puros puede modificar la composición de ácidos grasos de la carne y de la grasa subcutánea, incrementando el contenido de ácidos grasos insaturados (MUFA y PUFA) y reduciendo el contenido de SFA (Ácidos Grasos Saturados), en comparación con animales Wagyu que no reciben dicha suplementación. Asimismo, se hipotetiza que los animales Wagyu suplementados con subproductos del cacao, presentarán un perfil lipídico más favorable para la salud humana caracterizado por una mayor proporción de MUFA y menor de SFA en relación con los animales de un grupo control (no Wagyu) provenientes de sistemas de feedlot convencionales.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Trabajo a campo y condiciones experimentales.

El experimento se llevó a cabo en el establecimiento “El Oriental”, ubicado en el departamento de Soriano, Uruguay, bajo un sistema de confinamiento total (feedlot). El ensayo tuvo una duración aproximada de 180 días, abarcando la fase de terminación de los animales.

Se trabajó con 16 novillos Wagyu puros, distribuidos equitativamente ($n=8$) entre los distintos tratamientos experimentales según peso y condición corporal inicial. El manejo general fue uniforme en todos los grupos, asegurando iguales condiciones de ambiente, alojamiento, alimentación y supervisión sanitaria. Las instalaciones contaban con sombra artificial, corrales de aproximadamente 17,5 m² por animal, piso de tierra apisonada y acceso constante a agua limpia. El alimento se suministró dos veces por día en comederos individuales para cada tratamiento, registrándose el consumo diario.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- CCH: Animales Wagyu suplementados con subproductos del cacao.
- SCH: Animales Wagyu sin suplementación.

4.2. Dieta y manejo alimenticio

Las dietas totalmente mezcladas se basaron en ensilaje y se formularon buscando cubrir los requerimientos energéticos y proteicos de los novillos en terminación, según las recomendaciones del National Research Council (NRC, 2016). El subproducto de cacao se obtuvo de una planta procesadora de alimentos y consistió en mezcla de residuos de confitería con alto contenido graso (aproximadamente 30% de materia grasa y 8% de proteína bruta). La inclusión de subproductos del cacao en la dieta del grupo CCH representó aproximadamente un 8% de la materia seca total, se presentan la composición química de ambas dietas en Tabla 1. El ensayo tuvo una duración total aproximada de 180 días, de los cuales los últimos 90 días correspondieron al período efectivo de terminación con las dietas experimentales, con acceso libre a agua y alimentación dos veces al día. Se registraron semanalmente el consumo de alimento y el peso vivo para monitorear la ganancia diaria promedio y la eficiencia de conversión.

Tabla 1*Composición química de las dietas suministradas a novillos Wagyu*

Composición Base Seca	CCH	SCH
Materia Seca	88%	88%
Proteína Bruta	13,54%	13,92%
FDN	14,16%	16,02%
FDNe	3,30%	3,40%
EE	9,24%	4,24%

Nota. FDN: fibra detergente neutro; FDNe: fibra detergente neutro-efectiva; EE: extracto etéreo; CCH: animales alimentados con subproductos del cacao; SCH: animales alimentados sin subproductos del cacao. Adaptado de Algorta Lomiento e Irureta-Goyena Zerbino (2025).

4.3. Faena y obtención de muestras.

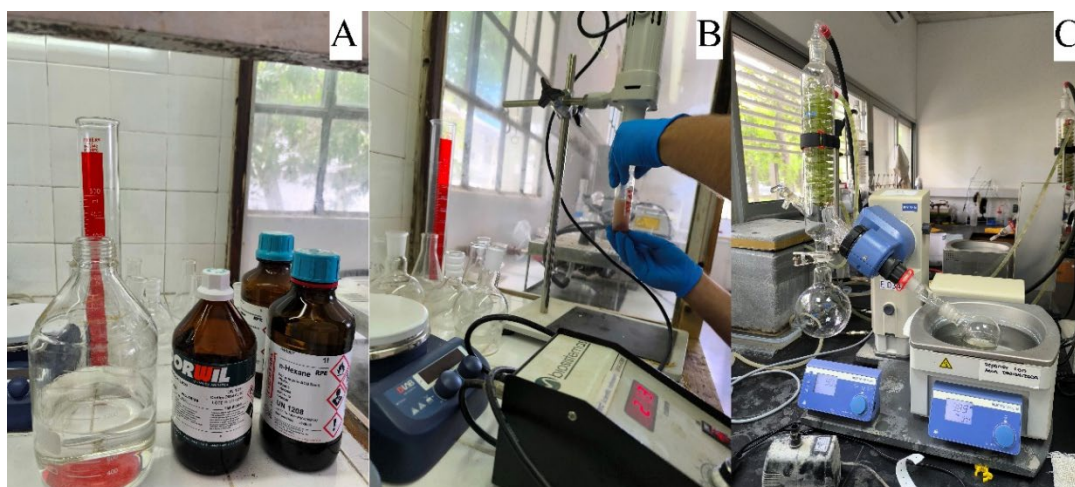
Al finalizar el período de terminación, los novillos fueron faenados en la planta FRICASA SA, una planta frigorífica habilitada bajo los protocolos de bienestar animal vigentes. Se registraron peso en canal caliente, rendimiento de carcasa y grado de terminación.

De cada canal se obtuvieron muestras de músculo *Longissimus dorsi* (bife ancho, Figura 1 A y B) y grasa subcutánea en la región dorsal, a la altura de la 12ª costilla. además, al mismo tiempo se tomaron muestras de grasa subcutánea y bife ancho de animales Angus de edad y peso similar terminados en un sistema de feedlot en base a dieta totalmente mezclada, estas muestras representan animales de raza no Wagyu (NW). Las muestras se almacenaron en bolsas herméticas, se rotularon y se conservaron a –20 °C hasta su análisis en laboratorio.

Figura 2*Preparación de muestras para determinación de ácidos grasos*

4.4. Preparación de las muestras y extracción lipídica.

Las muestras de musculo y grasa subcutánea se descongelaron a temperatura de refrigeración (4 °C) y se homogeneizaron mecánicamente utilizando un Ultraturrax (IKA, Figura 2 B). La extracción de lípidos totales se realizó siguiendo el método de Hara y Radin (1978), utilizando una mezcla de hexano:isopropanol (3:2 v/v, Figura 2A). Los extractos se filtraron, y posteriormente se eliminó el solvente mediante rotaevaporación (figura 2 C) finalizando bajo flujo de nitrógeno y se determinó el contenido de lípidos totales.

Figura 3*Procesamiento de las muestras para obtención de ácidos grasos*

4.5. Metilación de ácidos grasos.

Los lípidos extraídos fueron sometidos a un proceso de transesterificación para obtener ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES). Para ello, se utilizó una solución de metanol con KOH 2 N, y la reacción se llevó a cabo bajo agitación a temperatura controlada. Posteriormente, los FAMES obtenidos se extrajeron con hexano y se conservaron en viales ámbar a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.

Figura 4

Muestras de ácidos grasos previo a la determinación por cromatografía de gases



4.6. Determinación de ácidos grasos por cromatografía gaseosa (GC).

Luego de la extracción total de la materia grasa de la muestra, el perfil de ácidos grasos se determinó mediante cromatografía de gases, utilizando nitrógeno como gas portador. Previamente, la materia grasa extraída fue derivatizada para la obtención de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES). El análisis se realizó en un cromatógrafo de gases (Shimadzu, modelo 14B) equipado con una columna Supelco SP-2560 ($100\text{ m} \times 0,25\text{ mm} \times 0,20\text{ }\mu\text{m}$), utilizando el siguiente programa de temperatura: temperatura inicial de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 minutos; incremento hasta $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una velocidad de $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, con una permanencia de 35 minutos; aumento posterior desde $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una velocidad de $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, manteniendo esta temperatura final durante 25 minutos. Los resultados se expresaron como porcentaje relativo de cada ácido graso respecto al total identificado.

4.7. Clasificación y análisis estadístico

Los ácidos grasos identificados se agruparon en seis categorías: SFA (ácidos grasos saturados o saturated fatty acids), MUFA (ácidos grasos monoinsaturados o monounsaturated), PUFA (ácidos grasos poliinsaturados o polyunsaturated fatty acids), RAMIF (ácidos grasos ramificados o Branched-chain fatty acids), CLA (Ácido linoleico conjugado o conjugated linoleic acid) y TRANS (ácidos grasos trans o trans fatty acids). Se analizaron las diferencias entre tratamientos (CCH, SCH, NW) y entre tejidos (músculo, grasa subcutánea).

Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) con el software SAS on demand, mediante procedimiento PROC MIXED considerando como factores fijos el tipo de tejido y el tratamiento, y sus interacciones. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$), se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias.

5. RESULTADOS.

5.1. Descripción general.

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos a partir del análisis de la composición de ácidos grasos de las muestras de músculo (*Longissimus dorsi*) y grasa subcutánea correspondientes a los diferentes tratamientos experimentales: CCH (con chocolate), SCH (sin chocolate) y NW (no Wagyu, feedlot convencional). Los resultados se expresan como porcentaje relativo de cada grupo de ácidos grasos sobre el total identificado.

5.2. Composición promedio de ácidos grasos según el tipo de tejido.

En la Tabla 2 se observan diferencias significativas entre los tipos de tejido en cuanto a la composición de ácidos grasos. La grasa subcutánea presentó mayores niveles de SFA respecto al músculo, lo que coincide con la tendencia general de los lípidos de depósito en bovinos. Por el contrario, el músculo mostró una mayor proporción de MUFA, especialmente oleico, asociado a una mejor calidad nutricional y sensorial de la carne.

En relación con los PUFA, se observaron valores ligeramente superiores en la grasa subcutánea, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Además, la grasa exhibió mayores contenidos de CLA y ácidos grasos ramificados, lo cual evidencia la mayor influencia del metabolismo ruminal en este tejido.

En síntesis, los resultados muestran que el músculo presenta un perfil lipídico más saludable, mientras que la grasa subcutánea concentra una mayor proporción de compuestos derivados de la biohidrogenación ruminal y del almacenamiento energético.

Tabla 2*Composición promedio de ácidos grasos (% del total) según el tipo de tejido*

Tipo de ácido graso	Grasa (%)	Músculo (%)	EE (%)	P (%)
SFA	48,47 A	39,82 B	1,0432	<0.001
MUFA	43,98 B	54,62 A	1,0254	<0.001
PUFA	2,29	2,04	0,0921	0.081
CLA	0,66 A	0,33 B	0,0367	<0.001
RAMIF	0,48 A	0,26 B	0,015	<0.001
TRANS	2,47	2,27	0,2001	0.482

5.3. Composición de ácidos grasos por tratamiento

En la Tabla 3 se presentan las diferencias en la composición de ácidos grasos en función del tratamiento. Los animales del grupo control (NW) mostraron una mayor proporción de SFA y una menor proporción de MUFA en comparación con los animales Wagyu (CCH y SCH), lo que indica un perfil lipídico menos favorable desde el punto de vista nutricional.

Tanto el grupo CCH como el SCH presentaron niveles más elevados de MUFA y menores valores de SFA, destacando el rol determinante de la genética Wagyu en la calidad de la grasa.

No se observaron diferencias marcadas dentro del grupo Wagyu atribuibles al uso de subproductos del cacao. Sin embargo, se identificó una tendencia leve a un mayor contenido de PUFA en el tratamiento CCH, lo que podría estar asociado al aporte de lípidos insaturados y compuestos bioactivos del cacao, aunque sin alcanzar significancia estadística.

Tabla 3*Composición promedio de ácidos grasos (% del total) según tratamiento*

Tipo de ácido graso	CCH	SCH	NW	EE	P
SFA	45,12 B	46,73 B	47,8 A	1,0432	<0.001
MUFA	47,86 A	46,15 A	45,25 B	1,0254	<0.001
PUFA	2,18	2,12	2,08	0,0921	0.081
CLA	0,55 B	0,58 AB	0,60 A	0,0367	<0.001
RAMIF	0,42 B	0,46 A	0,44 AB	0,015	<0.001
TRANS	2,31	2,24	2,4	0,2001	0.482

5.4. Interacción entre tejido y tratamiento.

La Tabla 4 evidencia una interacción clara entre el tipo de tejido y el tratamiento. En la grasa subcutánea del grupo control (NW) se observaron los valores más elevados de SFA y los niveles más bajos de MUFA, lo que indica una grasa de menor calidad nutricional. Por el contrario, tanto en CCH como en SCH, la grasa subcutánea mostró menores valores de SFA, reflejando el efecto de la genética Wagyu sobre la composición lipídica.

En el músculo, los tratamientos Wagyu (CCH y SCH) presentaron una mayor proporción de MUFA frente al grupo control, lo que coincide con el alto grado de infiltración de grasa insaturada característico de la raza.

Los valores de PUFA, CLA y ácidos grasos ramificados fueron mayores en la grasa subcutánea que en músculo para todos los tratamientos, lo que responde al origen ruminal de estos compuestos y a su deposición preferencial en los tejidos de almacenamiento.

En síntesis, la interacción genética $\times$ tejido fue determinante en la composición de ácidos grasos, destacándose que el Wagyu puro mantiene un perfil lipídico favorable independientemente del tratamiento alimenticio aplicado, mientras que el grupo convencional (NW) presentó una grasa de menor calidad nutricional en ambos tejidos.

Tabla 4
Interacción entre tejido y tratamiento

Tipo de ácido graso	Grasa CCH	Grasa SCH	Grasa NW	Músculo CCH	Músculo SCH	Músculo NW	EE	P
SFA	48,5 A	48,2 A	48,7 A	39,8 B	39,82 B	39,84 B	1,0432	<0.001
MUFA	44 B	43,9 B	43,95 B	54,6 A	54,61 A	54,63 A	1,0254	<0.001
PUFA	2,3	2,28	2,29	2,03	2,04	2,05	0,0921	0.081
CLA	0,65 A	0,67 A	0,66 A	0,34 B	0,33 B	0,32 B	0,0367	<0.001
RAMIF	0,47 B	0,49 A	0,48 A	0,27 C	0,26 D	0,25 D	0,015	<0.001
TRANS	2,48	2,46	2,47	2,26	2,27	2,28	0,2001	0.482

5.5. Resumen general de resultados.

De forma global, los resultados obtenidos evidencian diferencias significativas entre tejidos, siendo el músculo más insaturado y la grasa más saturada, lo que se asocia a una composición más saludable en términos de MUFA y un rol metabólico diferenciado en la grasa subcutánea. Asimismo, los tratamientos correspondientes a animales Wagyu (CCH y SCH) presentaron un perfil lipídico más favorable en comparación con el grupo control (NW), caracterizado por menores proporciones de SFA y un incremento relativo de MUFA.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas dentro del grupo Wagyu asociadas a la suplementación con subproductos del cacao, aunque se registraron ligeras tendencias hacia un aumento de MUFA en CCH. Estos resultados confirman que la genética Wagyu constituye un factor determinante en la calidad lipídica de la carne, independientemente de la suplementación utilizada, posicionando a esta raza como una alternativa de alto valor diferencial en mercados donde se priorizan atributos nutricionales y sensoriales.

6. DISCUSIÓN.

La comparación entre los grupos Wagyu puros y testigos (NW) permitió observar que el Wagyu presentó un perfil lipídico más insaturado, especialmente alto en MUFA y con predominio de ácido oleico. Esto coincide con lo reportado en la literatura para animales con genética Wagyu, donde se destaca su capacidad para acumular grasa intramuscular con una composición más saludable en comparación con razas tradicionales. En nuestro caso, el mismo patrón se mantuvo aun cuando se modificó la dieta mediante la incorporación de subproductos del cacao, lo que sugiere que la genética tiene un peso determinante sobre la composición lipídica final.

En cuanto al tejido analizado, el músculo mostró porcentajes mayores de MUFA y PUFA, mientras que la grasa subcutánea concentró más SFA y RAMIF. Esta diferencia no solo resulta consistente con lo esperado fisiológicamente, sino que también ayuda a interpretar cómo varía la calidad nutricional según el corte y el destino comercial de la carne. En el caso del Wagyu, la presencia de mayor oleico en músculo refuerza la percepción de suavidad y jugosidad, atributos que suelen valorarse sensorialmente.

En este contexto, resulta relevante considerar el rol de los ácidos grasos ramificados (RAMIF) desde una perspectiva nutricional. Los ácidos grasos ramificados (RAMIF), presentes en alimentos de rumiantes como carne y lácteos, se han asociado con beneficios potenciales para la salud cardiometabólica, ya que varios estudios observacionales han encontrado asociaciones inversas entre concentraciones circulantes de RAMIF y marcadores de riesgo como resistencia a la insulina, triglicéridos y adiposidad, lo que sugiere que estos compuestos pueden contribuir a reducir la probabilidad de enfermedades metabólicas en humanos (He et al., 2023).

Respecto al uso de subproductos del cacao, los resultados fueron más bien discretos. No se observaron cambios estadísticamente relevantes en la composición de ácidos grasos tanto en músculo como en grasa subcutánea dentro de la raza Wagyu, lo que indica que esta suplementación no interfiere en el perfil lipídico característico de la raza. Si bien algunos trabajos mencionan efectos positivos o negativos según el tipo y cantidad de subproducto suministrado, en este experimento el aporte energético del cacao pareciera integrarse sin modificar la deposición grasa.

El grupo Aberdeen Angus (NW) mostró una composición menos insaturada que el Wagyu, con mayor proporción de SFA y menor presencia de MUFA. Este contraste permite dimensionar el valor agregado que aporta la genética Wagyu dentro de esquemas de producción intensivos. Desde una perspectiva comercial, es un argumento que explica por qué la carne de esta raza se posiciona en segmentos premium y accede a nichos donde la calidad nutricional y sensorial es un diferencial.

Diversas estrategias nutricionales han sido evaluadas para modificar el perfil lipídico de la carne bovina, destacándose la suplementación con aceites ricos en ácidos grasos poliinsaturados, como aceite de pescado o grasa de poroto de soja. Estos suplementos suelen incrementar la proporción de PUFA y de intermediarios de biohidrogenación, aunque en algunos casos pueden afectar negativamente la estabilidad oxidativa o las características sensoriales de la carne. En comparación, la suplementación con subproductos del cacao utilizada en este estudio mostró un efecto más neutro,

manteniendo estable el perfil lipídico característico del Wagyu, lo que puede considerarse una ventaja desde el punto de vista productivo y de calidad.

En síntesis, los resultados demuestran que el principal motor de variación fue la raza y no la suplementación con cacao. La estabilidad del perfil lipídico en Wagyu, aun con modificaciones en la dieta, refleja una consistencia genética que puede aprovecharse en modelos productivos orientados a calidad. Esto abre la posibilidad de seguir evaluando otros subproductos o estrategias de engorde, manteniendo como base una genética capaz de sostener marmoleo y composición grasa favorable.

7. CONCLUSIONES.

Los animales Wagyu puros fueron los que mostraron el perfil lipídico más interesante, con más MUFA (en especial ácido oleico) y menos SFA respecto al grupo de Aberdeen Angus (NW) terminado a corral. Esto va en la misma línea de lo que reportan otros autores: el Wagyu tiende a producir una grasa más blanda, más insaturada y, en términos nutricionales, más atractiva.

También se pudo observar diferencias claras entre los tejidos. El músculo presentó una composición más insaturada (mayor MUFA y PUFA), mientras que el tejido subcutáneo concentró más SFA, CLA y ácidos ramificados. Esto coincide con la fisiología del depósito lipídico en bovinos y es algo importante a considerar cuando se discute calidad nutricional según el tipo de corte.

En cuanto al uso de subproductos del cacao, el efecto fue prácticamente nulo. La suplementación no modificó de forma relevante la composición de ácidos grasos dentro del Wagyu, ni en músculo ni en grasa subcutánea. En otras palabras, el perfil lipídico se mantuvo estable en todos los tratamientos, lo que sugiere que este insumo no altera la calidad final de la grasa.

El grupo NW, por su parte, mostró una grasa menos favorable ya que presentó más SFA y menos MUFA, lo que refuerza la idea de que la genética es un factor determinante. Esto ayuda a explicar por qué el Wagyu tiene un valor diferencial en mercados donde la calidad es prioridad.

En conjunto, los resultados de este trabajo confirman que el Wagyu ofrece una carne con alto marmoleo y un perfil lipídico más saludable. Además, el uso de subproductos del cacao aparece como una alternativa productiva válida, sin efectos adversos sobre la composición grasa.

Tomando todo esto en cuenta, este estudio aporta información aplicable a sistemas de terminación intensivos en Uruguay. La raza Wagyu se posiciona como una opción con valor agregado real, tanto por su equilibrio lipídico como por la posibilidad de producirlo bajo esquemas diferenciados sin perder calidad.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- Algorta Lomiento, I. M., & Irureta-Goyena Zerbino, A. (2025). *Estudio de la calidad de carne producida por novillos de la raza Wagyu alimentados con subproductos de alto contenido lipídico* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/52825>
- Bakr, M. H., Abd Elazeim, M. G., Abd El Gawad, A. R., Olafadehan, O. A., & Kholif, A. E. (2023). Partial replacement of corn with chocolate byproducts or protected fat in diets of early lactating Holstein cows: Feed utilization and lactational performance. *Animal Biotechnology*, 34(8), 3718–3728. <https://doi.org/10.1080/10495398.2023.2209604>
- Bauman, D. E., Baumgard, L. H., Corl, B. A., & Griinari, J. M. (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proceedings of the American Society of Animal Science*, 77, 1–15.
- Bhattacharya, A., Banu, J., Rahman, M., Causey, J., & Fernandes, G. (2006). Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 17(12), 789–810. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2006.02.009>
- Campione, A., Pauselli, M., Natalello, A., Valenti, B., Pomente, C., Avondo, M., Luciano, G., Caccamo, M., & Morbidini, L. (2021). Inclusion of cocoa by-product in the diet of dairy sheep: Effect on the fatty acid profile of ruminal content and on the composition of milk and cheese. *Animal*, 15(6), Artículo e100243. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100243>
- Dos cabañas expusieron Wagyu en pista. (2020, 16 de septiembre). *El Telégrafo*. <https://www.eltelegrafo.com/2020/09/dos-caban-as-expusieron-wagyu-en-pista/>
- Gotoh, T., & Joo, S. T. (2016). Characteristics and health benefits of highly marbled Wagyu and Hanwoo beef. *Korean Journal of Food Science of Animal Resources*, 36(6), 709–718. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.6.709>
- Gotoh, T., Takahashi, H., Nishimura, T., Kuchida, K., & Mannen, H. (2014). Meat produced by Japanese Black cattle and Wagyu. *Animal Frontiers*, 4(4), 46–54. <https://academic.oup.com/af/article/4/4/46/4638819>
- Hara, A., & Radin, N. S. (1978). Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Analytical Biochemistry*, 90(1), 420–426.
- He, Y., Hong, X., Xu, M., Liu, Y., & Xu, Y. (2023). Association of branched-chain fatty acids with metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Food & Function*, (14), 6312–6319. <https://doi.org/10.1039/D3FO01320K>

- Khiaosa-Ard, R., & Zebeli, Q. (2018). Diet-induced inflammation: From gut to metabolic organs and the consequences for the health and longevity of ruminants. *Research in Veterinary Science*, 120, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.08.005>
- Kraft, J. (2021). Rumen-derived fatty acids - What makes them special. En *NEPC 2017 Conference* (pp. 151-160). https://grazingguide.net/pdfs/NEPC2017/NEPC2017_s6-3.pdf
- Matsuishi, M., Fujimori, M., & Okitani, A. (2001). Wagyu beef aroma in Wagyu (Japanese Black cattle) beef preferred by the Japanese over imported beef. *Nihon chikusan gakkaiho*, 72(6), 498–504. <https://doi.org/10.2508/chikusan.72.498>
- Motoyama, M., Sasaki, K., & Watanabe, A. (2016). Wagyu and the factors contributing to its unique texture and flavor. *Meat Science*, 120, 10–18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030917401630119X>
- National Research Council. (2016). *Nutrient requirements of beef cattle* (8th rev. ed.). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/19014>
- Portillo, E., Labarca, M., Grazziani, L., Cros, E., Assemat, S., Davrieux, F., Boulanger, R., & Marcano, M. (2009). Formación del aroma del cacao Criollo (*Theobroma cacao* L.) en función del tratamiento poscosecha en Venezuela. *UDO Agrícola*, 9(2), 458–468.
- Renna, M., Lussiana, C., Colonna, L., Malfatto, V. C., Mimosi, A., & Cornale, P. (2022). Inclusion of cocoa bean shell in the diet of dairy goats: Effects on milk production performance and milk fatty acid profile. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, Artículo e848452. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.848452>
- Scollan, N., Dannenberger, D., Nuernberg, K., Richardson, I., MacKintosh, S., Hocquette, J. F., & Moloney, A. P. (2014). Enhancing the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, 97(3), 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.02.015>
- Smith, S. B., Gill, C. A., Lunt, D. K., & Brooks, M. A. (2009). Regulation of fat and fatty acid composition in beef cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(9), 1225–1233.
- Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., Betancur-Ancona, D., & Salvador-Figueroa, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao: Mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3), 239–254. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222016000300010

- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I., & Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4), 343–358.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>
- Zhao, C., Cao, H., & Xiao, J. (2019). Pyrazines in food. En J. Xiao, S. D. Sarker, & Y. Asakawa (Eds.), *Handbook of dietary phytochemicals* (pp. 1–25). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-1745-3_44-1