

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFICIENCIA ALIMENTICIA DE NOVILLOS WAGYU Y CRUZA F1 WAGYU
X HOLANDO EN CONFINAMIENTO**

por

**Juan Manuel STRAUCH TURTURIELLO
Bautista VINCENT GERBASI**

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia

“Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada”.



HOJA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Mariana Carriquiry

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Mariana Carriquiry

DMV. (Dr.) Alberto Casal

(Dr.) Andrés Rogberg

Fecha: 10 de abril de 2026

Estudiante:

Juan Manuel Strauch Turturiello

Bautista Vincent Gerbasi

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer fundamentalmente a nuestra tutora Mariana Carriquiry y co-tutora Ana Espasandin por el compromiso y apoyo durante la realización de este trabajo, que junto a Micaela Botta y Federica Marín facilitaron el trabajo experimental para el desarrollo de la investigación y aportaron con su conocimiento a la elaboración del trabajo.

Asimismo, debemos destacar el respaldo incondicional de nuestras familias y amigos que nos acompañaron y apoyaron durante este crecimiento como profesionales y desarrollo como personas.

TABLA DE CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Objetivos.....	10
1.1.1. General.....	10
1.1.2. Específicos.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Raza Wagyu y su uso en cruzamientos.....	11
2.2. Consumo residual de alimento.....	12
2.3. Bases biológicas del RFI.....	14
2.4. Raza bovina y consumo residual de alimento.....	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Diseño experimental, animales y determinaciones	19
3.2. Procesamiento y análisis químico de muestras de alimento y heces.....	20
3.3. Registros agroclimáticos.....	21
3.4. Cálculos y Análisis estadístico.....	23
4. RESULTADOS.....	26
4.1. Respuesta productiva.....	26
4.2. Comportamiento de consumo en comedero.....	28
4.3. Comportamiento postural.....	29
5. DISCUSIÓN.....	31
6. CONCLUSIÓN.....	36
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Lista de tablas

Tabla 1. Composición de la dieta ofrecida (TMR)	21
Tabla 2. Respuesta productiva, consumo y digestibilidad para novillos Wagyu (W) y cruza Wagyu x Holando (WH)	27
Tabla 3. Comportamiento ingestivo en comedero de novillos Wagyu (W) y cruza Wagyu x Holando (WH)	29
Tabla 4. Comportamiento echado de novillos Wagyu (W) y cruza Wagyu x Holando (WH)	30

Lista de figuras

Figura 1. Características del cruzamiento “beef on dairy”	12
Figura 2. Relación de ingesta esperada vs predicha para diferentes consumos individuales.....	13
Figura 3. Plano (vista frontal y lateral) de comedero inteligente Hook.....	14
Figura 4. Temperaturas diarias promedio, máximas y mínimas para el período de evaluación.....	22
Figura 5. Precipitaciones diarias y acumuladas para el período de evaluación.....	22
Figura 6. ITH diario y promedio para el período de evaluación	23
Figura 7. Regresión entre consumo de materia seca esperado y observado en novillos W y WH	28
Figura 8. Caracterización de comportamiento postural según turno y genotipo.....	30

RESUMEN

En sistemas de engorde a corral, la eficiencia en la utilización de alimento constituye un factor clave para la rentabilidad de la producción, particularmente en sistemas basados en razas de alto valor como Wagyu. En este contexto, las cruces de Wagyu con genotipos lecheros como Holando, pueden constituir una alternativa al combinar la mayor capacidad de consumo y eficiencia de crecimiento de las razas lecheras con la calidad de carne característica del Wagyu. El objetivo de este trabajo fue evaluar el consumo y la digestibilidad de la materia orgánica, la eficiencia alimenticia y el comportamiento ingestivo y postural en novillos Wagyu puros (*W*) y cruce F1 Wagyu x Holando (*WH*) en confinamiento, así como analizar la asociación entre estas variables con el fin de contribuir al conocimiento de las bases biológicas de la eficiencia alimenticia individual. El estudio se realizó en un predio comercial del departamento de Soriano, Uruguay, donde se evaluaron 16 novillos (*W*, n = 8; *WH*, n = 8) durante 56 días bajo condiciones de alimentación a corral con una dieta totalmente mezclada. Durante el período experimental se registraron variables productivas, consumo individual mediante comederos electrónicos, digestibilidad de la dieta y comportamiento animal. El grupo *WH* presentó mayores pesos vivos, mayores ganancias medias diarias y mayores consumos de materia seca que el grupo *W*. A nivel comportamental, *WH* mostró menores tiempos de permanencia en comedero pero mayores tasas de consumo y mayor consumo por visita, además de mayores tiempos de descanso. En contraste, no se observaron diferencias entre genotipos en el consumo residual de alimento. En conjunto, los resultados indican un mayor desempeño productivo para *WH* bajo condiciones de confinamiento; sin embargo, factores asociados al manejo y a la oferta de alimento durante el período experimental pudieron haber limitado la expresión del consumo voluntario y la capacidad del RFI para discriminar diferencias de eficiencia entre genotipos.

Palabras clave: consumo residual de alimento, eficiencia alimenticia, comportamiento ingestivo, Wagyu, confinamiento

ABSTRACT

In feedlot production systems, feed utilization efficiency is a key factor determining the economic sustainability of the operation, particularly in systems based on high-value breeds such as Wagyu. In this context, crosses between Wagyu and dairy genotypes such as Holstein may represent a promising alternative by combining the greater feed intake capacity and growth efficiency of dairy breeds with the characteristic meat quality of Wagyu. The objective of this study was to evaluate organic matter intake and digestibility, residual feed intake (RFI), feed conversion efficiency, and feeding and postural behaviour in purebred Wagyu (*W*) and F1 Wagyu x Holstein crossbred (*WH*) steers under feedlot conditions, as well as to analyze the association among these variables in order to contribute to the understanding of the biological basis of individual feed efficiency. The study was conducted on a commercial farm located in Soriano, Uruguay, where 16 steers (*W*, n = 8; *WH*, n = 8) were evaluated for 56 days under uniform management and feeding conditions. During the experimental period, productive performance variables, individual feed intake using electronic feeders, diet digestibility and animal behaviour were recorded. *WH* steers showed greater body weight, higher average daily gain, and greater dry matter intake than *W*. From a behavioral perspective, *WH* spent less time at the feeder but exhibited higher feeding rates and greater intake per visit, as well as longer resting times. In contrast, no differences between genotypes were observed for residual feed intake. Overall, the results indicate greater productive performance of *WH* under feedlot conditions, however, factors associated with management and feed supply during the experimental period may have limited the expression of voluntary intake and the ability of RFI to discriminate differences in feed efficiency between genotypes.

Keywords: residual feed intake, feed efficiency, feeding behaviour, Wagyu, feedlot

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el rubro de la ganadería en Uruguay experimentó ajustes en los precios lo cual llevó a un replanteo del sistema para que sea rentable, principalmente para los productores exportadores de carne “Kobe” (de muy alto marmoleo) cuya producción requiere de, por lo menos, 300 días de encierro (Mazolla, 2022). Este mercado orientado 100% para la exportación (“La ganadería en Uruguay”, 2023) que puede llegar a pagar un 80% más que el mejor ganado engordado a grano (“La carne Wagyu de Uruguay”, 2022) resulta muy conveniente, sin embargo, Mazolla (2022, p. 18) plantea que los “tiempos de producción e inversiones diferenciales, sumado a una cadena aún no estructurada en nuestro país” demanda condiciones que superan al productor convencional. Este formato productivo puede duplicar los costos de producción debido a las exclusivas exigencias del mercado de exportación como son, entre otras, el protocolo de dietas de engorde, la graduación de marbling requerido, los días de encierro (*Calidad y seguridad*, s.f.). Para que esto suceda se deben de analizar diferentes pilares del negocio vinculados a los costos. Principalmente la ganadería en encierro a corral está fuertemente vinculada a la fluctuación de precios de granos (principalmente maíz) y la relación ganado gordo a campo a ganado gordo a corral, a diferencia de la ganadería tradicional en Uruguay la cual se reproduce en más de un 60% sobre campo natural (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2021) y no presenta costos extra por alimentación. Por este motivo resulta fundamental optimizar la eficiencia de conversión de la alimentación de modo de reducir al mínimo los costos, sin pérdidas en producción y mantener la rentabilidad del negocio.

Dentro de la producción de carne nacional, la producción de carne Wagyu es escasa ya que la adopción de dicha raza con fines comerciales es de difícil acceso lo que sumado a las estrictas exigencias ya mencionadas, restringen su producción a unos pocos productores. Para ello es necesario evaluar el beneficio de engordar animales cruzados (por ejemplo, Wagyu x Holando) en lugar de animales puros Wagyu, con el fin de aumentar las posibilidades de acceso a mercados diferenciales y disminuir los costos asociados a su producción. Este cruzamiento no solo hace más accesible la producción por la oferta de animales Holando, sino que también reprime la limitante de la baja producción de leche de las madres Wagyu puras (aproximadamente 2 L/día) y por lo tanto, el tiempo de uso de la guachera (disminuye costos) (M. Rogberg, comunicación personal, 21 de mayo, 2025).

Es así que, este trabajo final de grado evaluará el consumo residual de alimento (RFI, por su sigla en inglés) como medida de eficiencia alimenticia y su relación con la digestibilidad y el comportamiento animal en novillos Wagyu puros y cruzados F1 Wagyu x Holando de modo de analizar el desempeño productivo de cada grupo a corral en la fase de engorde final.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Contribuir al conocimiento de las bases biológicas de la eficiencia alimenticia individual, medida como consumo residual de alimento (RFI, por su sigla en inglés), en novillos Wagyu y cruce F1 Wagyu x Holando en confinamiento.

1.1.2. Específicos

- 1) Determinar en novillos Wagyu y cruce F1 Wagyu x Holando en confinamiento durante la fase de engorde y terminación:
 - a) el consumo y la digestibilidad de la materia orgánica (MO)
 - b) el peso vivo (PV) y la ganancia diaria promedio (GMD)
 - c) el consumo residual de alimento (RFI) y la conversión alimenticia
 - d) el comportamiento en comedero y de postura (echado/parado) en corral
- 2) Evaluar la asociación entre las variables medidas

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Raza Wagyu y su uso en cruzamientos

La raza Wagyu se ha extendido por todo el mundo debido a la demanda creciente que tiene su carne de altísima calidad (Mazolla, 2022). Esta raza se caracteriza por tener una capacidad superior de depositar grasa intramuscular en cortes de interés comercial, lo cual le confiere un marmoleo de primera calidad. Esto favorece la palatabilidad de la carne por tener mayor blandura, textura, sabor y jugosidad (Taylor & Field, 1999). Además, es frecuentemente utilizado en cruzamientos para promover estas características en su progenie, así como también por sus deseables características reproductivas asociadas a su bajo peso al nacer o mayor precocidad sexual y fertilidad (Petryk, 2006).

El término Wgyu técnicamente refiere a las razas de origen japonés, y comprende 4 razas donde se destacan el Wagyu negro y el Wagyu colorado. Históricamente su población era reducida, debido a la poca área pastoril presente en su país de origen, y su función principal estaba asociada al trabajo como ser animales de tiro o carga. Debido a diversos factores, la raza se mantuvo aislada hasta 1868, donde la introducción de otras razas dio lugar a un proceso de intercambio genético. A partir de ese momento algunos productores notaron ciertas reducciones tanto en la aptitud para el trabajo como en la calidad de la carne, razón por la cual a partir de 1919 se registra de manera oficial la raza Wagyu (Mazolla, 2022).

La exportación de genética de la raza de Japón está prácticamente prohibida, por lo cual son escasos los individuos que han ingresado a otros países; sin embargo, los avances en tecnologías y técnicas reproductivas, que incluye IATF, fertilización *in vitro*, transferencia de embriones, congelamiento de semen, entre otros, han permitido la extensión de la cría de la raza en todo el mundo, posicionando a Estados Unidos y Australia como principales criadores de Wagyu a nivel mundial, y a Uruguay como uno de los principales criadores en Sudamérica (Mazolla, 2022).

La raza Wagyu presenta un efecto importante en la característica de peso al nacimiento, generando una progenie más liviana (Bavera, s.f.). Se ha demostrado que los terneros resultado del cruzamiento de Wagyu x Normando tienen un bajo peso al nacer (29 kg promedio) respecto a la raza Normando cuyo peso al nacimiento ronda los 40 kg (Enciso, 2024) destacando la dominancia de la raza Wagyu sobre esta característica (Pino, 2008). Esta dominancia se ha confirmado en cruzamientos con razas británicas, donde el cruzamiento de Wagyu x Angus generó terneros de 26 a 28 kg al nacimiento (Bavera, s.f.). Esto confiere una gran ventaja al reducir los problemas al parto sobre todo en entores tempranos. Asimismo, se destaca la precocidad sexual de los individuos observándose celos a partir de los 10 a 12 meses de edad en las hembras, y un libido, fertilidad y capacidad de servicio destacables en los toros (Mazolla, 2022).

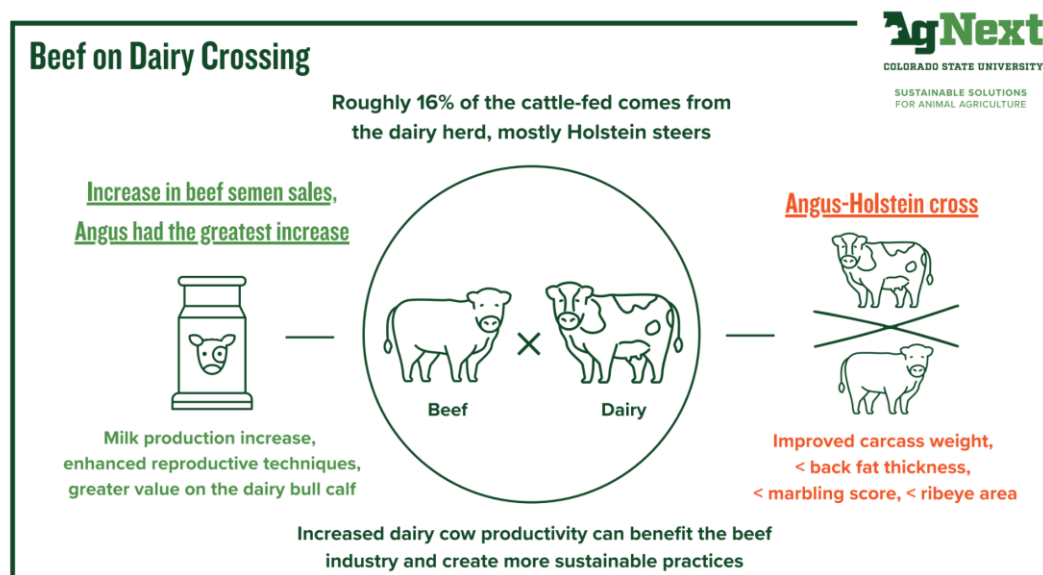
Mazolla (2022) también destaca el crecimiento sostenido de los animales de la raza incluso una vez superada la adultez, focalizando este crecimiento no en altura sino más bien en ancho y profundidad, observándose este comportamiento hasta los 8 o 9 años

de edad. Este autor resalta que la etapa de recría juega un rol fundamental en la definición del potencial de crecimiento y calidad de la carne ya que en esta etapa se desarrolla la estructura ósea y los adipocitos intramusculares disponibles para ser llenadas durante la etapa de terminación, demostrando la importancia de la alimentación desde edades tempranas.

El cruzamiento de razas carniceras con razas lecheras ha cobrado gran relevancia en el mercado ganadero en la última década. Este cruzamiento, también conocido como “beef on dairy”, se trata de inseminar el descarte de las vacas lecheras que no son de interés para el tambo con semen de razas carniceras, como en este caso, Wagyu. Puntualmente la cruce F1 Wagyu x Holando ha demostrado grandes beneficios tanto productivos como económicos (Henderson, 2023). Entre los beneficios más relevantes para el negocio está el rendimiento de la carcasa en cuarta balanza, el cual es significativamente mayor para la cruce Wagyu x Holando frente a Wagyu puro, o en cruces con razas británicas como Angus o Hereford (Aramberri & Olano, 2022). Además, a partir de la cruce se obtienen cortes de altísima calidad que permiten acceder a mercados más exclusivos debido a la relación hueso-músculo entre los factores más relevantes para dicho beneficio (*Beef on Dairy Crossing*, s.f.). Todos estos beneficios se complementan con una significativa reducción de costos estructurales, ya que la inseminación de vacas Holando es considerablemente más económica que adquirir vacas 100% Wagyu.

Figura 1.

Características del cruzamiento “beef on dairy”



Nota. Tomado de *Beef on Dairy Crossing* (s.f.).

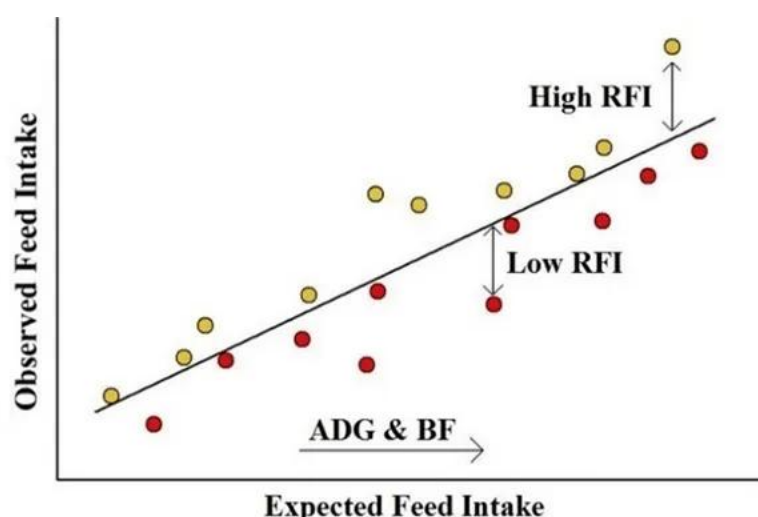
2.2. Consumo residual de alimento

El consumo residual de alimento (RFI, por su sigla en inglés) representa una medida de conversión alimenticia que mide la cantidad de alimento necesaria para

producir una unidad de producto, sea ganancia de peso o producción de leche (Koch et al., 1963). Se calcula individualmente a través de la diferencia entre el consumo real y el consumo esperado, obtenido a partir de un modelo matemático de regresión simple que considera GMD y el peso metabólico ($PV^{0,75}$), obtenido en base al peso promedio durante el período evaluado (Figura 2). Adicionalmente, este valor se ajusta según el nivel de engrasamiento observado al final del período ya que la conversión de alimento disminuye conforme al aumento de PV y el nivel de engrasamiento del animal (Pordomingo, 2013a). Valores negativos de RFI indican consumos observados por debajo de los esperados, lo que evidencia individuos de mayor eficiencia en la conversión de alimento a PV; mientras que valores positivos de esta medida por el contrario refiere a individuos con eficiencias menores en el consumo (Pordomingo, 2022).

Figura 2.

Relación de ingesta esperada vs predicha para diferentes consumos individuales



Nota. Tomado de Azarpajouh et al. (2017).

El RFI se caracteriza por tener una heredabilidad moderada con valores de entre 0,28 a 0,58 (Arthur & Herd, 2008) y presenta además una repetibilidad igualmente moderada con valores que fluctúan entre 0,40 y 0,62 (Cho et al., 2024). Este índice es independiente del nivel productivo por incluir en sus cálculos valores de GMD y tamaño metabólico y presenta una fuerte correlación ($r \geq 0,85$) con la conversión de alimento (Arthur et al., 2001). De este modo, seleccionar individuos por esta característica permite obtener una progenie de mayor eficiencia alimenticia sin sesgarse por su tamaño o nivel productivo, problema que se observa al seleccionar por valor de eficiencia o conversión alimenticia (Arthur & Herd, 2008).

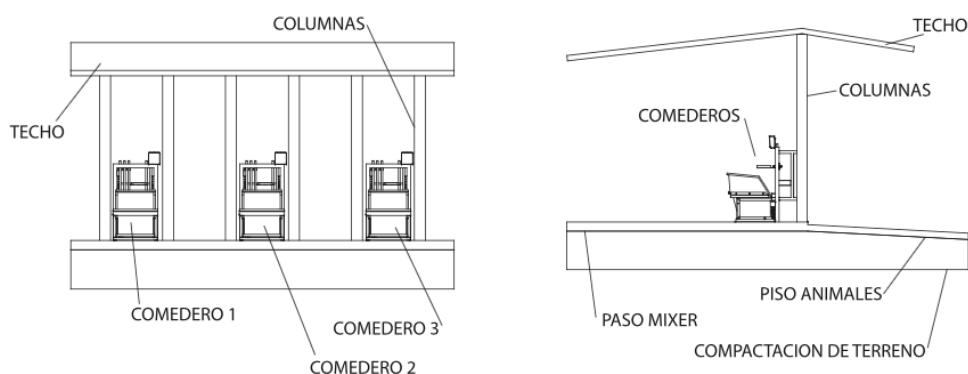
Tradicionalmente, el período de evaluación para la medición de RFI es de 70 días, con 21 días previos de acostumbramiento para que los animales estén familiarizados con los comederos y que dicha variable de conducta no afecte los resultados obtenidos. Sin embargo, estudios recientes demuestran que evaluaciones de 56 días arrojan resultados tan confiables como períodos de 70 días para mediciones de RFI (Culbertson et al., 2015).

Esto permite obtener resultados en un menor periodo de tiempo y reduce los costos de investigación.

Si bien, como se mencionó anteriormente, el RFI como índice de eficiencia fue propuesto hace más de 60 años (Koch et al., 1963), no fue hasta la década del 2000 que su uso se extendió, convirtiéndose en el actual índice de eficiencia alimenticia por excelencia. Esto se debe a que la estimación precisa del RFI requiere mediciones individuales y continuas del consumo voluntario de alimento por animal. Por lo tanto, uno de los principales requisitos para evaluar RFI en rumiantes u otras especies ganaderas es el uso de comederos electrónicos o sistemas automatizados de registro de consumo. En este sentido, los comederos desarrollados por la empresa Hook Argentina en conjunto con INTA están diseñados para “evaluar el consumo individual y el comportamiento de cada animal, basado en identificación electrónica, sensores e internet (*Comederos inteligentes Hook*, s.f.; Figura 2). El comedero cuenta con una barrera de entrada que detecta mediante láser el ingreso del animal, junto con una antena lectora de caravanas que se encarga de identificar y recolectar los datos de la visita al comedero. El reservorio de comida está montado sobre cuatro celdas de carga de precisión asociado a un monitor que registra el consumo de alimento mediante la variación de peso final e inicial (Hook TV Argentina, 2023). Para un correcto uso del comedero y resultados de calidad es necesario seguir las recomendaciones en cuanto a conformación de los grupos (edad, raza, sexo, peso), identificación de los animales con caravana, periodo de acostumbamiento al comedero (15 días aprox.), período de evaluación (60 días aprox.) y número de animales por prueba (6/8 por comedero) entre las consideraciones más relevantes.

Figura 3.

Plano (vista frontal y lateral) de comedero inteligente Hook



Nota. Tomado de J. M. Puente (comunicación personal, 15 de noviembre, 2025)

2.3. Bases biológicas del RFI

Con el fin de explicar las diferencias en RFI entre animales, se han identificado diversos mecanismos, tanto fisiológicos, metabólicos y moleculares, que en su conjunto constituyen las bases biológicas de esta medida de eficiencia. Estos incluyen desde la tasa de metabolismo basal y la eficiencia mitocondrial, hasta el comportamiento alimenticio,

la microbiota ruminal y la actividad endocrina (Cantalapiedra-Hijar et al., 2018; Kelly et al., 2010).

Una menor tasa de metabolismo basal se considera como uno de los mecanismos metabólicos más relevantes entre animales con eficiencias mayores. Nkrumah et al. (2006) demostraron que esta menor producción de calor refleja entre un 15 y 20% el gasto energético de mantenimiento, lo que disminuye el consumo necesario para sostener funciones vitales. Menezes et al. (2020) reportaron que los requerimientos de energía neta y metabolizable para mantenimiento (ENm y EMm; por unidad de $PV^{0.75}$) fueron 20% menores para novillos Nelore de bajo que de alto RFI. De manera similar, Andreini et al. (2020) demostraron que la ENm por unidad de $PV^{0.75}$ era 15% menor para novillos cruza Angus y que la reducción en los requerimientos de ENm durante un período de restricción alimenticia fue mayor en animales de bajo que alto RFI (34% vs. 18% de reducción de ENm, respectivamente).

Este ahorro energético podría estar relacionado a diferencias en la eficiencia mitocondrial y en la partición energética a nivel celular, lo que implicaría una menor proporción de energía perdida como calor durante la producción de ATP (Cantalapiedra-Hijar et al., 2018). Tizioto et al. (2015) reportaron diferencias en la expresión de genes asociados al transporte de moléculas y absorción de nutrientes, señalización celular y procesos relacionados con el estrés oxidativo entre animales con RFI divergentes. La eficiencia mitocondrial ha sido respaldada por estudios que identifican un menor desacople mitocondrial y menor producción de especies reactivas de oxígeno en animales con bajo RFI (Kelly et al., 2010). Casal et al. (2018) determinaron una mayor densidad mitocondrial hepática en novillos Hereford de bajo RFI así como también una mayor expresión de genes codificantes de complejos respiratorios. Además, observaron una mayor actividad enzimática de complejos mitocondriales clave junto con una mayor tasa de respiración basal y máxima, particularmente al utilizar sustratos del complejo II. Estos estudios sugieren que los animales más eficientes presentan una capacidad bioenergética superior, optimizando el metabolismo de nutrientes a través de un funcionamiento mitocondrial más eficiente. A su vez, animales eficientes muestran una menor tasa de recambio proteico, lo que representa una reducción energética en uno de los procesos celulares más costosos. Herd y Arthur (2009) estimaron que el recambio proteico puede explicar hasta un 10% de la variación en RFI. En esta misma línea, Guarnido-Lopez et al. (2023) observaron una menor activación tanto de las vías de degradación proteica como en las vías de síntesis en músculo y tejido hepático en novillos Charolais, sugiriendo así un recambio proteico global más reducido en animales eficientes.

El comportamiento alimenticio también ha sido vinculado al RFI. Kelly et al. (2010) encontraron que los animales más eficientes tienden a visitar menos el comedero, pero con mayores tasas de consumo (kg/minuto), o sea mayor consumo por visita, en comparación a los animales más ineficientes. Además, estos animales también tienden a tener menor variabilidad diaria en la ingestión (Montanholi et al., 2010), lo que puede reflejar un mejor control metabólico. En la misma línea, Pires et al. (2022) señalan que el comportamiento ingestivo puede explicar hasta un 18% de la variación fenotípica del RFI,

dado que los animales más eficientes dedican menos tiempo a actividades relacionadas con la alimentación. En su estudio con bovinos Caracú, encontraron que los animales de alto RFI visitaron menos veces el comedero que los eficientes, aunque una mayor frecuencia de visitas no siempre se tradujo en un mayor crecimiento. Asimismo, observaron diferencias por sexo: los machos realizaron menos visitas y presentaron menor frecuencia de consumo, mientras que las hembras mostraron mayores tasas de consumo por minuto. Además, la dominancia social también fue identificada como un factor que influye en la eficiencia alimentaria, ya que los animales subordinados permanecieron menos tiempo en el comedero, lo que puede condicionar su desempeño. De forma complementaria, Brown et al. (2022) trabajando con vacas Holando en lactancia media, reportaron que los animales de menor eficiencia presentaron una mayor tasa de alimentación, visitas de mayor consumo de materia seca, aunque sin diferencias en el tiempo total de consumo ni en la frecuencia de visitas. El análisis temporal demostró que esta mayor tasa de alimentación en vacas ineficientes se mantenía en casi todos los momentos del día, especialmente tras la distribución del alimento. Estos resultados refuerzan que la eficiencia no depende solo del tiempo dedicado a la alimentación, sino también de la intensidad y del patrón temporal de consumo.

Asociado al comportamiento, además, animales con RFI bajo muestran menor actividad física espontánea, pasan más tiempo en reposo (echado/parado) lo cual se traduce en un menor gasto energético por movimiento, además, el reposo está asociado a procesos digestivos más eficientes y un menor estrés (Andreini et al., 2020; Kelly et al., 2010; Montanholi et al., 2010). Adicionalmente, el consumo de agua suele ser menor en animales con menor RFI, posiblemente debido a una menor tasa metabólica y menor producción de calor corporal (Nkrumah et al., 2006), lo cual puede reflejarse en una mejor conversión energética global de estos animales. Sin embargo, al corregir por el consumo de materia seca, estas diferencias en cuanto a comportamiento ingestivo se reducen, lo que sugiere que estas conductas podrían ser consecuencia del menor consumo, y no una causa del RFI.

Herd y Arthur (2009) estimaron que diferencias en la digestibilidad del alimento pueden explicar hasta un 10% de la variación en RFI. En una revisión reciente, Cantalapiedra-Hijar et al. (2018) sostienen que esta relación se debe más al menor consumo que a una eficiencia digestiva intrínseca. Asimismo, la producción de metano, por su parte, representa entre un 6 y 10 % de la energía bruta consumida por el animal (Johnson & Johnson, 1995), y ha sido asociada negativamente al RFI en algunos estudios (Goopy et al., 2014), aunque esta relación también parece depender del nivel de consumo. La microbiota ruminal también ha sido objeto de estudio; Myer et al. (2015) identificaron diferencias en la composición bacteriana entre animales que difieren en RFI, particularmente en el género como *Prevotella*, que es central para el metabolismo de carbohidratos e hidrógeno, así como también es indicador de un microbioma saludable (Betancur-Murillo et al., 2023). Elolimy et al. (2018) agregan que estas diferencias podrían estar vinculadas a la eficiencia en la absorción de nutrientes y la actividad

epitelial, aunque los resultados aún no permiten definir un perfil microbiano universal para animales más eficientes.

Por lo tanto, el RFI no responde a un único mecanismo, sino que es el resultado de una interacción compleja entre factores fisiológicos, conductuales y moleculares. Cantalapiedra-Hijar et al. (2018) subrayan que los mecanismos metabólicos, como la mayor eficiencia en la producción de ATP en las mitocondrias y la reducción del recambio proteico, constituyen determinantes reales de la eficiencia alimentaria, mientras que procesos relacionados con la digestión o al comportamiento se asocian al RFI principalmente por su vínculo con el nivel de consumo. En conjunto, esta evidencia confirma que la eficiencia alimentaria es un rasgo complejo y multifactorial, regulado por procesos integrados a distintos niveles fisiológicos. Comprender esta integración de procesos no solo mejora la capacidad de seleccionar animales eficientes, sino que también permite diseñar estrategias de alimentación y manejo más sustentables.

2.4. Raza bovina y consumo residual de alimento

Se ha propuesto que existen diferencias raciales en RFI, ya que el genotipo influye en la expresión de los mecanismos biológicos que subyacen a esta característica, condicionando la respuesta individual frente a la alimentación (Basarab et al., 2003). En este sentido, se ha reportado que las razas *Bos indicus* suelen consumir menos y con una eficiencia mayor que las *Bos taurus* europeas, aunque este patrón puede variar según el sistema de alimentación y el entorno (Cárdenas-Medina et al., 2010). En contraste, estudios recientes (Zhang et al., 2022) con ganado Angus, Charolais y Kinsella Composit si bien reportan un efecto raza sobre el microbiota ruminal debido a las tendencias poblacionales de ciertas eucariotas del rumen en función de la genética del huésped (raza), evidencian una escasa relación entre la raza y el RFI.

En particular, estudios en la raza Wagyu indican que el RFI es una característica moderadamente heredable en esta raza (Hoque et al., 2009) haciendo de ésta un factor de selección para el mejoramiento genético. Asimismo, se reportó una correlación favorable entre el RFI y un conjunto de características físicas deseables como PV elevado, mayor longitud del rumen en relación con la longitud corporal, mayor ancho a nivel de la pelvis en relación al ancho de la cadera, menor profundidad de pecho y menor ancho entre los huesos isquiáticos en Wagyu, demostrando que al seleccionar en favor de dichas características, el RFI mejoraba (Kemotsu et al., 2024). Tal es así que, otros estudios evidencian que aquellos animales Wagyu más eficientes (menor RFI) presentan un mayor marmoleo (+13,2%) y una mejor clasificación de calidad de carne (+12,0%) que aquellos con RFI menos eficiente (Guarnido-Lopez et al., 2024). Otros estudios (McGee et al., 2013) con toros Wagyu fortalecen la teoría del RFI como factor de selección ya que demuestran que los % de grasa intramuscular (marbling) se correlacionan negativamente con el RFI, sugiriendo que aquellos animales más eficientes tendrán un marbling más deseable. De este último estudio también se desprende una asociación negativa entre GMD y % de grasa intramuscular, demostrando que mayores GMD (vinculado a mayores consumos de materia seca, MS) implican pérdidas en el marmoleo. Sumado a esto, se

encuentra que con el aumento de consumo de MS (y así en GMD) aumenta el RFI, y de este modo se afecta negativamente el marmoleo. Estos resultados sugieren que la utilización del RFI como herramienta de selección mejora también el marmoleo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue llevada a cabo en el establecimiento “El Oriental”, ubicado a 7 km al sur de la ciudad de Mercedes por Ruta 2, en el departamento de Soriano, Uruguay. Los propietarios, Andres y Martin Rogberg, destinan la totalidad del área al desarrollo de un sistema agrícola-ganadero que cuenta además con un encierro de animales para su terminación, cuyo alimento proviene principalmente de la producción agrícola del predio. Tienen como objetivo además convertir al establecimiento en un campo experimental que contribuya al desarrollo y avance de la investigación en relación al confinamiento de animales. Todos los procedimientos experimentales fueron previamente aprobados por el Comité de Experimentación Animal de la Universidad de la República (CHEA; 020300-001143-19) (M. Carriquiry, comunicación personal, 20 de febrero, 2026)

3.1. Diseño experimental, animales y determinaciones

El experimento se llevó adelante en un diseño completamente aleatorizado en el cual se evaluaron 16 novillos: Wagyu puros ($n = 8$; *W*) y F1 Wagyu X Holando ($n = 8$; *WH*). Los novillos de cada grupo se evaluaron en 2 corrales de idénticas dimensiones, de 7,5 x 23 metros (172,5 m²; 21,56 m²/animal); cada uno contando con un bebedero automatizado y un comedero inteligente Hook (*Comederos inteligentes Hook*, s.f.).

Los animales ingresaron a los corrales el 13/02/2025 con 30 meses de edad y un PV que fue diferente para animales *W* vs. *WH* (424 vs. 608 ±11,9 kg PV), determinado principalmente por la genética de la raza pura y su cruce, buscando lograr un PV de terminación luego de aproximadamente 120 días de encierro de 630 y 830 kg potencialmente. El período de evaluación comenzó el 16/4/25 y tuvo una duración de 56 días de medición finalizando el 11/06/25. Por lo tanto, los animales, tuvieron 62 días para acostumbrarse a la dieta y a las condiciones de confinamiento (período mínimo de acostumbramiento = 21 días). Durante todo el período los animales fueron alimentados *ad libitum* con una dieta totalmente mezclada (TMR; Tabla 1) con una relación 43:57 forraje:concentrado, basada en ensilaje de maíz, grano de maíz molido, harina de canola, núcleo de minerales y vitaminas, y suplemento de urea de liberación controlada (Eface, 2018). La dieta se homogeneizaba en el mixer y era ofrecida como TMR en el comedero inteligente dos veces al día, en turno matutino y vespertino, respectivamente. En la mañana luego de la limpieza del comedero, se ofrecían 60 kg (tal cual ofrecido) de TMR por grupo, y en la tarde se completaban nuevamente los comederos con lo necesario para llegar a 60 kg de TMR, ofreciéndose como máximo 120 kg TMR/d para los 8 novillos de cada corral. Durante el período de evaluación, se tomaron muestras de la TMR quincenalmente en ambos comederos al momento que el alimento era ofrecido a los animales. Las muestras se congelaron a -20°C hasta su análisis químico.

El consumo de MS y el comportamiento de consumo en comedero se evaluó de manera automática y continua mediante el uso de los comederos inteligentes Hook durante 20 días (del 1/5 al 20/5/2025). Durante el período de evaluación, se registró el peso vivo (PV) de los animales por medio de una balanza (Tru-Test MP600)

quincenalmente. En los últimos 42 días del período de evaluación, se tomaron 3 instancias (espaciadas cada 14 días) para recolectar muestras de heces en el corral durante dos días consecutivos desde 09:00 a 17:00. Se colectaron en promedio 8,7 muestras de heces por animal. Las muestras de heces fueron congeladas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis químico.

Se determinó el comportamiento postural (echado/parado) de los novillos durante los últimos 42 días del período de evaluación usando acelerómetros de tres ejes (HOBO pendant-G, Onset Corp., USA) que fueron colocados en la cara lateral de la pata trasera izquierda (Ledgerwood et al., 2010), que realizaron la aceleración del eje X cada 1 min durante los últimos 42 días del período de evaluación. Se utilizó un valor de corte de 0,65 del eje X para determinar si la vaca estaba acostada ($\leq 0,65$) o de pie ($> 0,65$) (Talmón et al., 2025). El intervalo de medición fue seleccionado para 1 min ya que periodos menores a 30 seg. de medición requieren de filtrado de eventos cortos parado/echado, e intervalos mayores a 300 seg. pueden sobreestimar los episodios de parado/echado (Ledgerwood et al., 2010). Con estos registros se determinó el tiempo diario (min/d) que los novillos estuvieron echados, el número de sesiones que cada novillo se echó y la duración promedio de cada sesión (min/sesión).

3.2. Procesamiento y análisis químico de muestras de alimento y heces

Las muestras de TMR fueron compuestas en una única muestra para el período de evaluación y las muestras de heces fueron compuestas en una única muestra por animal. Las muestras de TMR y heces fueron secadas a 60°C en estufas a aire forzado y posteriormente molidas con un molino eléctrico a 1 mm. La composición química se determinó en el Laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Producción Animal y Pasturas de Facultad de Agronomía (Udelar). Se determinó las concentraciones de proteína cruda (PC), cenizas totales (C), cenizas insolubles y fibra detergente neutra (FDN) con amilasa corregida por cenizas según Horwitz y Latimer (2005). La composición química del TMR se presenta en la tabla 1.

Tabla 1.
Composición de la dieta ofrecida (TMR)

	TMR
<i>Ingredientes (%)</i>	
Ensilaje de maíz	43,2
Grano de maíz	50,0
Harina de canola	3,8
Núcleo minerales y vitaminas	2,5
Urea ¹	0,5
<i>Composición química</i>	
Materia seca (%)	45
Materia orgánica (% base seca) ²	92,7
Proteína cruda (% base seca)	12,5
Fibra detergente neutro (% materia orgánica)	26,7

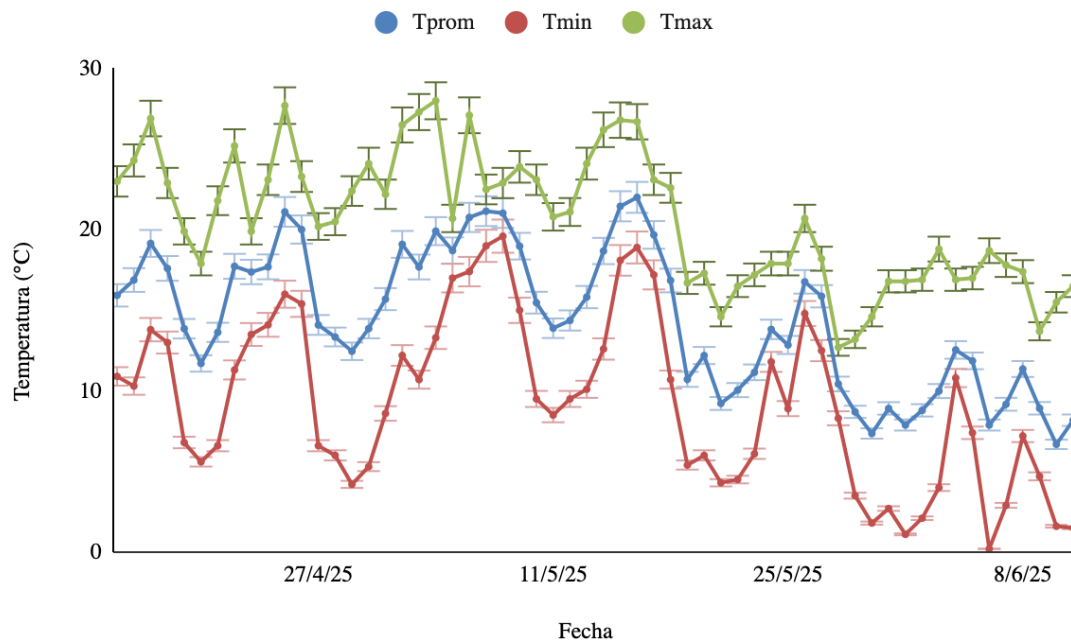
Nota. ¹Suplemento de urea de liberación controlada (Convertec, Eface SA, Montevideo, Uruguay). ²Concentración materia orgánica (% base seca) = 100- cenizas (% base seca)

3.3. Registros agroclimáticos

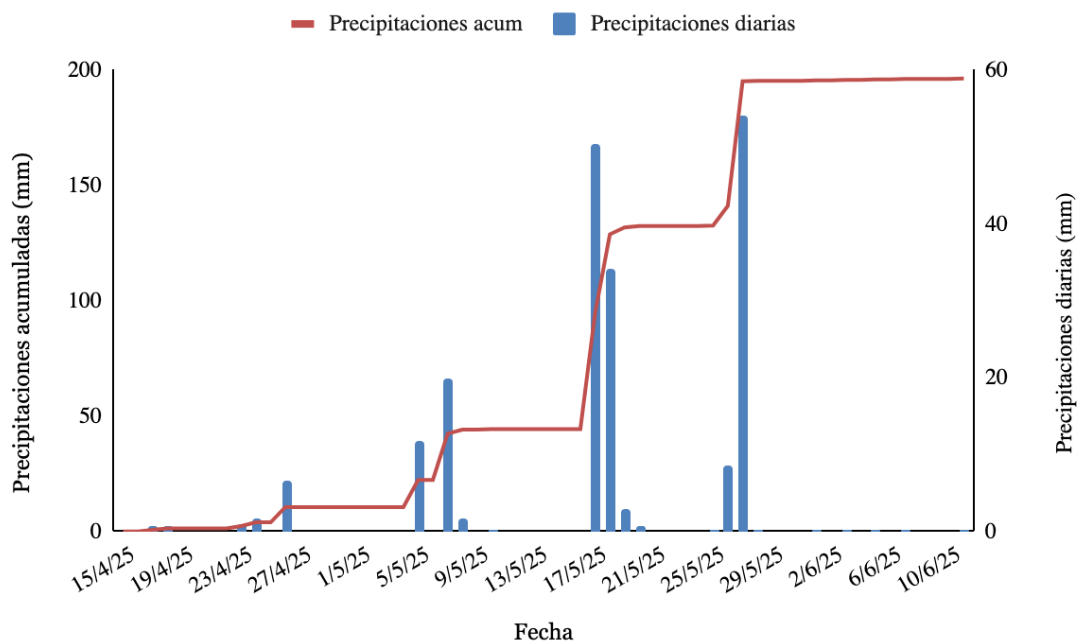
La temperatura durante los 56 días de medición promedió 14,5°C con temperaturas máximas y mínimas promedio de 20,7 y 9,3°C respectivamente, en donde el día más caluroso alcanzó una máxima de 27,7°C y el día más frío marcó una mínima de 0,2°C según la información provista por la estación meteorológica de INUMET más cercana al predio (Mercedes G3). La temperatura promedio durante el período de investigación estuvo 3,2°C por debajo de lo habitual en la zona, cuyo promedio histórico es de 17,7°C (Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], 2025), ya que los días más calurosos (mayo) conforman al promedio histórico y no al de la investigación, así como los días de junio están excluidos del promedio INUMET y no así del período evaluado. Por su parte, el registro de precipitaciones mostró un acumulado de 196 mm en el período de medición según INUMET, con dos eventos de lluvias marcados de 50, 34 y 54 mm que hacen al promedio. Comparado a la media histórica de precipitaciones en otoño según el boletín de INUMET (2025) (368,0 mm en todo otoño), se puede decir que durante el período de investigación faltaron 41 mm para alcanzar el promedio país, ya que si interpolamos la media otoñal al periodo de medición se genera un promedio de 237 mm.

Figura 4.

Temperaturas diarias promedio, máximas y mínimas para el período de evaluación

**Figura 5.**

Precipitaciones diarias y acumuladas para el período de evaluación



Se calculó el ITH diario (Figura 6) para el periodo de evaluación según Dikmen y Hansen (2009):

$$ITH = (1,8 \times T^{\circ} + 32) - (0,55 - 0,55 \times HR\% / 100) \times (1,8 \times T^{\circ} - 26,8)$$

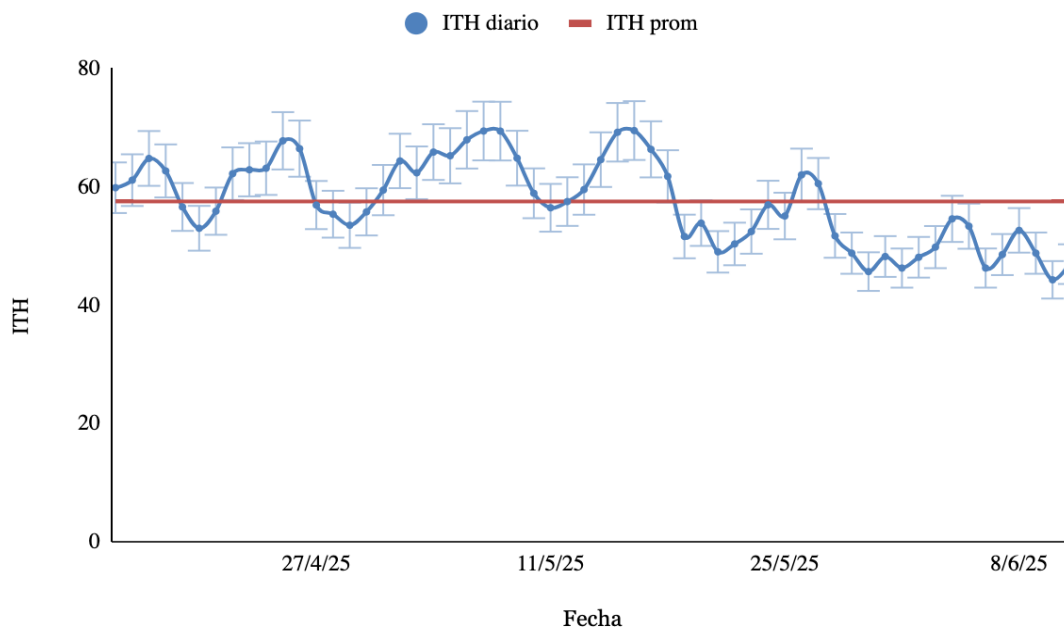
Donde:

- ITH es el índice de temperatura y humedad.

- T° es la temperatura promedio diaria.
- HR% es la humedad relativa promedio diaria.

Figura 6.

ITH diario y promedio para el período de evaluación



El ITH (índice de temperatura y humedad) integra la incidencia de precipitaciones y temperaturas sobre la performance animal, permitiendo evaluar el grado de estrés térmico en el ganado, pues presenta un marcado efecto sobre funciones fisiológicas como la frecuencia respiratoria y temperatura corporal, comprometiendo la productividad de los animales a través de un menor consumo de materia seca por ejemplo (Dikmen & Hansen, 2009). En este sentido, se proponen distintos grados de estrés térmico según un rango de valores para ITH: normal (ITH < 74), alerta (ITH entre 75 y 78), peligro (ITH entre 79 y 83) y emergencia (ITH > 84) (Herbut et al., 2018).

3.4. Cálculos y Análisis estadístico

Se ajustó una regresión lineal del PV individual en función de los días de medición para cada animal para estimar el peso metabólico ($PV^{0,75}$) de los novillos de la mitad del período de evaluación y la GMD. La GMD se estimó como la pendiente de la regresión lineal. El CMS esperado, se calculó como la pendiente y la intersección de una regresión lineal múltiple de la dependencia del CMS con respecto al $PV^{0,75}$ de los novillos en mitad del período y la GMD, el RFI se calculará como la diferencia entre el CMS medido y esperado (Sainz & Paulino, 2004), tal como se detalla a continuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon$$

Donde:

- Y es el consumo esperado de MS
- β_0 es la ordenada al origen de la ecuación (intercepto)

- β_1 y β_2 son los coeficientes de la ecuación
- X_1 es el peso metabólico promedio al ensayo ($PV^{0,75}$)
- X_2 es la ganancia diaria promedio (GMD)
- ε es el residuo o RFI

Se definió el componente de cenizas insolubles de las heces como marcador interno para determinar la digestibilidad de la dieta (Schneider & Flatt, 1975).

$$Dig (\%) = ((1 - (Cio/Cih)) * (Nuth/Nutof)) * 100$$

Donde:

- DCi es la digestibilidad de materia orgánica a través de cenizas insolubles
- Cio es % cenizas insolubles ofrecidas en dieta
- Cih es % cenizas insolubles presentes en heces
- Nuth es % de MO, PC o FDN presente en heces
- Nutof es % de MO, PC o FDN presente en heces

Se calculó también la eficiencia de conversión alimenticia como la relación entre la GMD y el CMS (Trujillo, 2015).

Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el paquete estadístico SAS (SAS® OnDemand for Academics; SAS Institute, Cary, NC, USA). Los datos PV, GMD e indicadores de eficiencia (eficiencia de conversión y RFI) se analizaron mediante modelos lineales usando un modelo que incluyó el grupo (*W* vs. *WH*) como efecto fijo. Los datos de consumo, digestibilidad se analizaron mediante modelos lineales mixtos usando un modelo que incluyó el grupo (*W* vs. *WH*) como efecto fijo y el día y el animal como efectos aleatorios. Adicionalmente, estos datos (consumo y digestibilidad) fueron resumidos en un único valor para el período de evaluación y analizados de igual manera que los datos de PV, GMD y eficiencia. El comportamiento de consumo en comedero (tiempo de comedero, número de visitas al comedero, consumo de MS /visita, largo de visita, consumo de MS por min) fue analizado mediante un modelo lineal mixto que incluyó el grupo (*W* vs. *WH*) como efecto fijo y el día de medición y el animal como efectos aleatorios. El comportamiento postural (tiempo echados, número de sesiones de echado y largo de la sesión echados) fue resumido en dos turnos (horas luz de 6:00 a 19:00 h y durante la noche de 19:00 a 6:00) y fue analizado mediante un modelo lineal mixto que incluyó el grupo (*W* vs. *WH*), el turno (horas luz vs. oscuridad) y su interacción como efectos fijos y el día de medición y el animal como efectos aleatorios, utilizando la estructura de covarianza autorregresiva de primer orden (AR(1)).

La significancia de los efectos fijos se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA) de tipo III. Las comparaciones entre tratamientos se realizaron a partir de las medias ajustadas del modelo, se consideró que las medias eran diferentes cuando $P \leq 0,05$ y se identificaron tendencias cuando $0,05 < P < 0,10$. La verificación de supuestos del modelo (normalidad y homogeneidad de varianzas) se realizó mediante análisis de

residuos y gráficos de dispersión. Las relaciones entre las variables se estudiaron mediante correlaciones de Pearson y análisis de regresiones.

4. RESULTADOS

4.1. Respuesta productiva

El PV inicial, final y promedio fue mayor ($P < 0,001$) para los novillos *WH* que *W*, sin embargo, las diferencias en el PV entre grupos fueron mayores al final que al inicio del período de evaluación (281 vs. 235 kg) ya que la GMD fueron mayores ($P < 0,001$) para los novillos *WH* que *W* (Tabla 2). Cabe destacar, que la GMD de los novillos *W*, fue no diferente de cero ($P = 0,665$) ya que de los 8 novillos *W*, sólo 2 mostraron GMD $> 0,300$ kg/d, 2 mantuvieron su PV y 3 mostraron GMD < 0 kg/d. En contraste, la GMD de todos los novillos *WH* fue positiva. La GMD estuvo alta y positivamente correlacionada con el CMS ($r = 0,96$, $P = 0,001$).

Los novillos *WH* presentaron mayores consumos diarios de alimento ($P < 0,001$), MS y MO (kg/d) que los novillos *W* (Tabla 2). Sin embargo, el CMS en relación con el PV (%PV/d) no difirió entre grupos de novillos y promedio $0,91 \pm 0,05$ %PV/d. Asimismo, el CMS considerando solo los días en que se colectaron heces para determinar la digestibilidad, estuvo en el rango del CMS para todo el período (5,9 y $3,7 \pm 0,4$ kg MS/d para *WH* y *W* respectivamente). No se reportaron diferencias en la digestibilidad de la dieta para los componentes MO y MS, pero sí para las fracciones FDN y PC que fueron mayores para los novillos *WH* que *W* (Tabla 2). Independientemente del grupo de novillos, el CMS se correlacionó positivamente con la digestibilidad de FDN ($r = 0,65$, $P = 0,009$) y de la PC ($r = 0,61$, $P = 0,016$). Sin embargo, estas correlaciones estuvieron determinadas por los novillos *W* ($r = 0,63$; $P = 0,129$; $r = 0,815$ $P = 0,026$; para digestibilidad de FDN y PC, respectivamente) ya que no fueron significativas ($P > 0,292$) para los novillos *WH*. El CMS (%PV) se correlacionó positivamente con la GMD, independientemente del grupo de novillos ($r = 0,62$, $P = 0,011$) y esta correlación se mantuvo significativa para los dos grupos de novillos.

La eficiencia de conversión (g GMD/kg CMS) fue mayor ($P < 0,001$) para novillos *WH* que *W* (Tabla 2). La regresión del CMS en función del PV fue significativa ($\text{CMS} = 0,93 \pm 1,61 + 0,040 \pm 0,016 \times \text{PV}^{0,75} + 2,20 \pm 0,72$; $r = 0,97$, $P < 0,001$), siendo tanto el $\text{PV}^{0,75}$ como la GMD predictores del modelo ($P = 0,032$ y $P = 0,010$, respectivamente). Si bien, en promedio, el RFI no fue diferente entre novillos *W* y *WH*, este índice fue más variable para los novillos *W* (rango RFI de -0,504 a 1,026 kg/d; desvío standard = 0,466) que para los novillos *WH* (rango RFI de -0,384 a 0,495 kg/d; desvío standard = 0,272). La eficiencia de conversión no se correlacionó con el RFI ($r = 0,07$; $P = 0,800$). Sin embargo, se correlacionó positivamente tanto con el CMS (kg/d y %PV/d; $r = 0,90$, $P < 0,001$ y $r = 0,606$, $P < 0,013$, respectivamente) como la GMD ($r = 0,960$, $P < 0,001$), correlaciones que se mantuvieron significativas para los dos grupos de novillos. A su vez, el RFI se correlacionó positivamente con el CMS digestible (kg/d, $r = 0,58$, $P < 0,023$) y con el CMS expresado como %PV/d ($r = 0,65$, $P < 0,007$). Ni la eficiencia de conversión ni el RFI se correlacionaron con la digestibilidad de la MS o sus componentes ($P > 0,050$), con excepción de la eficiencia de conversión con la digestibilidad de FDN cuya correlación fue moderada positiva ($r = 0,516$; $P = 0,049$).

Tabla 2.

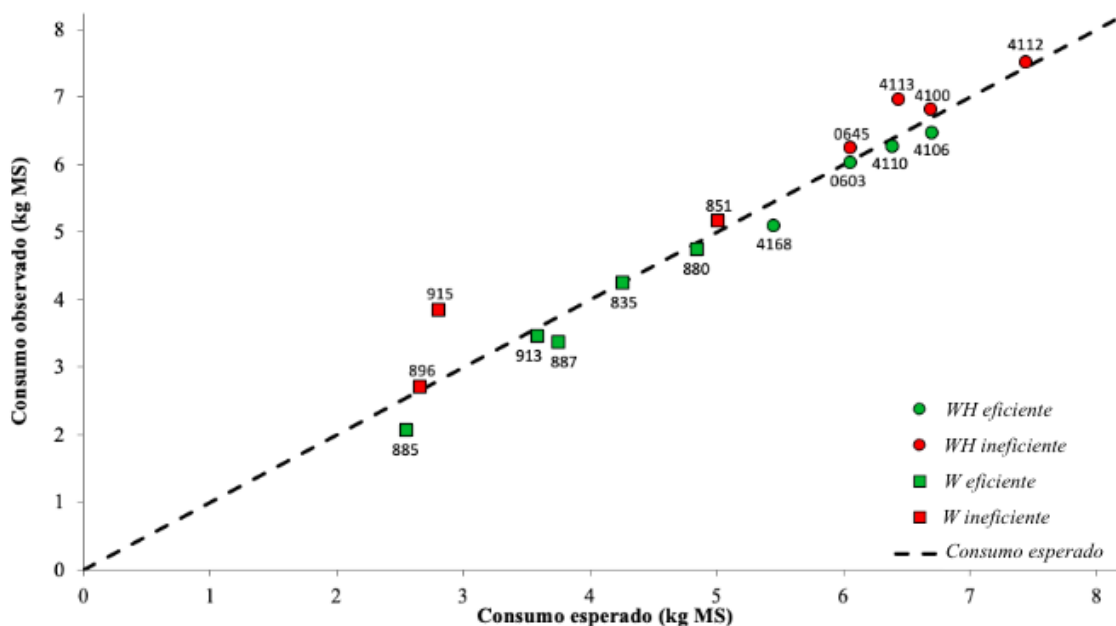
Respuesta productiva, consumo y digestibilidad para novillos Wagyu (W) y cruce Wagyu x Holando (WH)

	Grupo		SEM	P-valor
	WH	W		
Peso vivo inicial, kg	654	419	15,4	<0,001
Peso vivo final, kg	696	415	19,8	<0,001
Peso vivo promedio, kg	685	417	17,5	<0,001
Ganancia media diaria, g/d	761	-0,460	104	<0,001
<i>Consumo y digestibilidad¹</i>				
Consumo, kg/d	14,2	8,2	0,7	<0,001
Consumo MS, kg/d	6,4	3,7	0,313	<0,001
Consumo MS, %PV/d	0,95	0,87	0,05	0,255
Consumo MS digestible, kg/d	4,2	2,5	0,27	<0,001
Digestibilidad MS, %	71,5	68,7	1,8	0,278
Digestibilidad MO, %	77,6	75,1	1,7	0,317
Digestibilidad FDN, %	60,3	49,2	3,1	0,025
Digestibilidad PC, %	70,8	63,8	1,8	0,019
<i>Eficiencia alimenticia</i>				
Eficiencia de conversión ²	116,8	22,2	11,8	<0,001
Consumo residual de alimento (RFI, kg/d)	-0,020	0,020	0,137	0,842

Nota. ¹MS = materia seca, MO = materia orgánica, FDN = fibra detergente neutra, PC= proteína cruda. ²Eficiencia de conversión = ganancia de peso (GMD, g) por kg MS consumida

Figura 7.

Regresión entre consumo de materia seca esperado y observado en novillos *W* y *WH*



4.2. Comportamiento de consumo en comedero

Durante los 20 días de registro del comportamiento en comedero, el CMS estuvo en el rango de CMS para todo el período ($6,0$ y $3,5 \pm 0,4$ kg MS/d para novillo *WH* y *W*). El tiempo en comedero (min/d) fue casi 30 min menor ($P < 0,001$) en novillos *WH* que *W* (Tabla 3) asociado a un menor largo promedio de la visita ($P < 0,001$) ya que el número de visitas por día no fue diferente ($P < 0,167$) entre grupos de novillos, promediando en $17,3 \pm 1,9$ visitas por día. En contraparte, la tasa de consumo de MS (g/min) en comedero fue 64,6% mayor ($P < 0,001$) para novillos *WH* que *W* determinando que en promedio los novillos *WH* consumieran más MS por visita ($P < 0,001$).

Independientemente del grupo de novillos, la duración de visita por evento de consumo se correlacionó negativamente con el consumo de MS ($r = -0,86$, $P < 0,001$) y la GMD ($r = -0,85$, $P < 0,001$). A su vez, la digestibilidad de la FDN y la PC se correlacionaron negativamente con la duración de la visita ($r = -0,74$, $P < 0,002$) ($r = -0,73$, $P < 0,002$) y positivamente al número de visitas ($r = 0,48$, $P < 0,070$) ($r = 0,37$, $P < 0,178$) solamente en novillos *W*. En novillos *WH*, la conversión alimenticia se correlacionó positivamente con el tiempo en comedero total ($r = 0,79$, $P < 0,020$) y el número de visitas ($r = 0,67$, $P < 0,070$) pero negativamente con consumo por visita ($r = -0,64$, $P < 0,091$). El RFI no se correlacionó con ninguna de las variables de comportamiento en comedero ($P < 0,007$).

Tabla 3.

Comportamiento ingestivo en comedero de novillos Wagyu (W) y cruce Wagyu x Holando (WH)

	Grupo		SEM	P-valor
	<i>WH</i>	<i>W</i>		
Tiempo en comedero, min/d	56,0	83,0	5,8	<0,001
Tiempo de visita, min/visita	3,4	6,1	0,4	<0,001
Consumo de MS ¹ (20 d), kg/d	6,02	3,50	0,40	<0,001
Número de visitas, n/d	19,0	15,6	1,9	0,167
Consumo de MS g/min	119,5	42,3	6,80	<0,001
Consumo de MS, g/visita	353,2	241,9	23,5	<0,001

Nota. ¹MS = materia seca.

4.3. Comportamiento postural

En promedio, los novillos *WH* estuvieron más tiempo echado ($P < 0,001$) a lo largo del día (736 vs. $702 \pm 12,6$ min/d), asociado a un número de sesiones de echado mayor ($P < 0,0001$; $11,8$ vs. $10,2 \pm 0,2$ sesiones/d) de largo similar ($69 \pm 2,9$ min/sesión) que los novillos *W*. A su vez, el tiempo echado, el número de sesiones de echado y el largo promedio de la sesión de echado fueron mayores ($P < 0,001$) de noche que de día ($511 \pm 12,9$; $6,1 \pm 0,2$; $92,9 \pm 3$, respectivamente). No obstante, la interacción entre el grupo de novillos y el turno afectó ($P < 0,001$) el tiempo echado y las sesiones de echado y tendió a afectar ($P = 0,078$) el largo de la sesión de echado (Tabla 4; Figura 8). Durante el día (horas de luz), el tiempo en que estuvieron echados fue casi 35 min mayor ($P < 0,001$) para los novillos *WH* que *W*, no existiendo diferencias entre grupos durante la noche. Tanto de día como de noche, el número de sesiones fue mayor ($P < 0,001$) para los novillos *WH* que *W* pero si bien las sesiones fueron más cortas ($P < 0,001$) para los novillos *WH* que *W* durante el día, éstas tuvieron un largo similar durante la noche (Tabla 4).

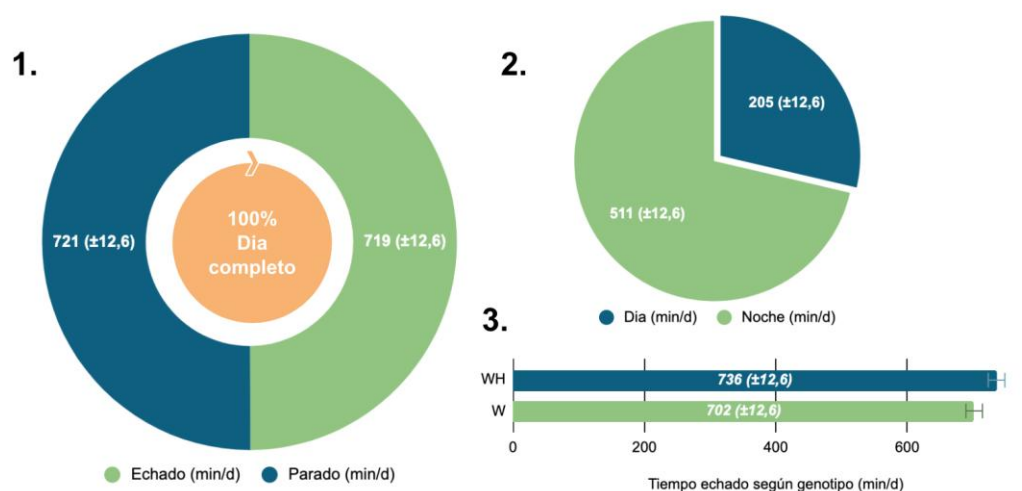
Tabla 4.Comportamiento echado de novillos Wagyu (*W*) y cruce Wagyu x Holando (*WH*)

	Diurno (6:00 a 19:00 h)		Nocturno (19 :00 a 6:00 h)		SE	Valor-P		
	<i>WH</i>	<i>W</i>	<i>WH</i>	<i>W</i>		<i>Grupo</i>	<i>Turno</i>	<i>GxT</i>
	Tiempo (min/d)	222 ^b	188 ^c	508 ^a		514 ^a	12,9	<0,001
Núm. de sesiones (sesiones/d)	5,7 ^b	4,3 ^c	6,2 ^a	5,9 ^b	0,2	<0,001	<0,001	<0,001
Largo promedio (min/sesión)	42,8 ^c	47,8 ^b	92,7 ^a	93,1 ^a	3,0	0,125	<0,001	0,078

Nota. ¹Literales diferentes indican medidas que difieren con $P < 0,05$.

Figura 8.

Caracterización de comportamiento postural según turno y genotipo



Nota. ¹Tiempo echado/parado total, ²Tiempo echado según turno, ³Tiempo echado según genotipo; *W*: Wagyu, *WH*: F1 Wagyu x Holando.

5. DISCUSIÓN

De manera general los resultados muestran claras diferencias tanto productivas como comportamentales entre los grupos de novillos. Los novillos *WH* mostraron mayores PV, GMD y CMS que los *W*. A nivel comportamental, los *WH* mostraron menores tiempos de permanencia en comedero que los *W* pero con tasas de consumo mayores y mayor consumo por visita, mientras que en el plano postural permanecieron más tiempo echados, acentuándose esta postura durante la noche para ambos grupos. En conjunto, estos resultados demuestran un mayor desempeño productivo y una mayor eficiencia en el uso del alimento para los novillos *WH* que *W*.

El mayor PV inicial y final, así como la mayor GMD de los novillos *WH*, concuerdan con lo esperado dado su mayor tamaño corporal y potencial de crecimiento asociado a la influencia genética de la raza Holando. Reportes previos como los de Henderson (2023) y Aramberri y Olano (2022) indican que las cruzas “beef on dairy” presentan ventajas productivas respecto a los Wagyu puros, combinando la eficiencia de crecimiento y la mayor capacidad de consumo de las razas lecheras con la calidad de carne propia del Wagyu. La GMD está directamente asociada con el CMS y el consumo de nutrientes (Pravia et al., 2018) lo que se refleja en la alta correlación positiva reportada entre CMS (kg/d) y GMD (g/d) en este trabajo. Es así que, en acuerdo con la mayor GMD, los novillos *WH* tuvieron un mayor CMS (kg/d), consistente con la mayor capacidad de ingestión y tránsito digestivo asociada a razas de mayor talla y proporción visceral (Arthur & Herd, 2008; Basarab et al., 2003). El CMS es intrínseco al PV y a la GMD ya que representan los requerimientos de energía (mantenimiento y deposición de tejido) predominantes en un novillo en engorde (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [NASEM], 2016). De hecho, en el presente trabajo, cuando el CMS se expresó como %PV no fue diferente entre grupos, existiendo también una correlación positiva entre el la GMD (g/d) y el CMS (%PV/d).

El CMS esperado, expresado tanto en kg/d como en %PV, fue menor del estimado a partir de los requerimientos energéticos calculados a partir del PV promedio y la relación entre la energía metabolizable y bruta de la dieta ofrecida; se estimó que los animales tenían un CMS potencial de 13,0 y 9,4 kg MS/d, representando 1,9 y 2,3 %PV, para novillos *WH* y *W*, respectivamente. El consumo observado, en términos de MS (kg/d) fue 51% y 61% menor y en términos de %PV fue 0,93% y 1,38% menor que el estimado para novillos *WH* y *W* (NASEM, 2016). La disparidad entre el CMS observado y real, determinó que las GMD observadas también sean menores a las esperadas. Las GMD esperadas acorde al CMS potencial se estimaron en 1,30 kg/d para *WH* y 0,94 kg/d para *W* (Pino, 2008). Esta diferencia significó una pérdida de GMD de 539 g/d para *WH* y de 940 g/d para *W* respecto a las GMD observadas, lo cual se traduce en 30 kg/animal para *WH* y 53 kg/animal para *W* kg a fin de ciclo, valuado en 150 y 265 USD/animal, de acuerdo con un promedio anual del precio del novillo gordo según la Asociación de Consignatarios de Ganado (ACG, 2026), para *WH* y *W*, respectivamente. En línea con las GMD esperadas los animales deberían haber promediado un PV durante el encierro de 445 kg y 690 kg para *W* y *WH*, respectivamente.

Los bajos CMS observados no se pueden atribuir a condiciones de estrés calórico dado que los valores ITH promedio estuvieron por debajo del umbral de riesgo. Solamente si se toma en cuenta los valores máximos diarios se alcanza un valor de “alerta” según los autores Herbut et al. (2018) (ITH máximo diario registrado: 76,3 el 6/5/25; días con valores máximos de alerta: 8 de 58 días). Por tanto, los eventos registrados no inciden en la performance animal debido al bajo periodo de exposición a ITH de riesgo (<5% del periodo donde ITH>Umbral alerta), descartando un efecto de la temperatura y humedad sobre las variables en estudio.

En esta línea, para lograr el CMS estimado promedio (9,4 y 13,0 kgMS/d por animal para *W* y *WH*) (NASEM, 2016), la oferta de TMR en base tal cual ofrecido, debería haber sido de 167,2 kg/d y 231,2 kg/d en total para los 8 animales *W* y *WH* de cada corral, 39,3% y 92,7% mayor que los 120 kg/d de TMR ofrecidos en cada corral. Es así que, en primer lugar el CMS de los animales habría estado limitado por la oferta de TMR; el grupo *WH* consumió el 95% de lo ofrecido en comedero, permitiendo un 5% de rechazo lo que está por debajo del 10-15% de rechazo necesario para considerar el consumo *ad libitum* (NASEM, 2016). En este grupo de novillos (*WH*), esta restricción en el CMS fue determinante del desempeño productivo ya que la GMD predicha acorde a los CMS observado fue de 640 g/d (Pino, 2008), GMD que se encontraría en el rango de la determinada en este trabajo (761 ± 104 g/d para *WH*). En contraste, los animales *W* expresaron un CMS del 55% de lo ofrecido y más aún, la GMD predicha acorde al el CMS observado debería haber sido 370 g/d (Pino, 2008), contrastando con los resultados obtenidos que indican los novillos de este grupo no ganaron peso durante el período evaluado. Más aún, el grupo *WH*, expuesto a iguales condiciones ambientales y de dieta que el grupo *W*, lograron en promedio GMD de 200 g/d mayores que el individuo *W* con mejor desempeño productivo. Es así que, en el presente trabajo los bajos CMS y GMD de los novillos *W* no pueden atribuirse únicamente a la restricción en la oferta de forraje, sino que posiblemente, otros factores, como por ejemplo la incidencia de acidosis ruminal subaguda (SARA) que determina problemas - digestivos y/o metabólicos, la competencia entre animales o la combinación de estos factores, puedan explicar estos resultados.

La SARA es un trastorno digestivo que puede resultar de la rápida digestión de concentrados que contienen almidón en la ración de finalización, lo que produce una acumulación de ácidos grasos volátiles en el rumen con la consiguiente disminución del pH ruminal e impacto en la flora microbiana, particularmente las bacterias celulolíticas (Mitchell et al., 2016). De hecho, el CMS y la digestibilidad de MO presentan relaciones diferentes en función del grupo. En los novillos *WH* no se encontró relación entre las variables, resultado esperable para una dieta de alta digestibilidad (NASEM, 2016), sin embargo, para los novillos *W*, la correlación entre las variables fue moderadamente positiva sugiriendo una restricción a nivel digestivo. Rabaza (2016) estudió el efecto de la acidosis inducida en 20 novillos Hereford y demostró que el cuadro de acidosis provoca mayor tiempo total destinado al consumo y un menor tiempo destinado a la rumia, resultando también en valores de digestibilidad menores en los componentes fibrosos de la dieta. Asimismo, se ha indicado que bovinos alimentados a corral con TMR, realizan

una clasificación de las partículas en el comedero, consumiendo selectivamente en general, partículas de alimento más pequeñas y densas en energía (por ejemplo, granos) mientras rechaza forraje más largo, fibroso o menos palatable, lo que no solo conduce a una ingesta inconsistente de nutrientes, sino que conlleva el riesgo de acidosis (DeVries et al., 2009). A su vez, Greter y DeVries (2011) reportan que la selección en contra de partículas más largas se asocia con menores tasas de consumo (g/min) y CMS (kg/d). En acuerdo con estos resultados, en el presente trabajo, el tiempo de consumo diario (min/d) y por visita (min/vista) fueron mayores, las tasas de consumo (g/min o g/d) fueron menores y la digestibilidad de la FDN y PC de la dieta fue menor, en los novillos *W* que *WH*. Por otra parte, la reiteración de heces líquidas con mayor aparición de grano entero de maíz en *W* que *WH*, la irritación en la zona anterior de los cuartos, sumado a la presencia de mucosa en la zona rectal posterior al bosteo sugieren claramente un típico cuadro de acidosis probablemente asociado a la selección de alimentos/fracciones de rápida digestibilidad (alto contenido de carbohidratos solubles) (Cooper, 2009). Más aún, se ha observado que tanto la rumia como el descanso se realiza preferiblemente en la postura echada (Kilgour, 2012; Newman et al., 1995) y que existe una relación inversa entre la rumia y la acidosis ruminal, puesto que el tiempo de rumia se relaciona directamente con la producción de saliva, quién es la encargada de actuar como solución buffer sobre el rumen y así evitar una reducción drástica en el pH (Mao & Wang, 2025). En este sentido, los novillos *W* estuvieron menos tiempo echados, particularmente en horas diurnas, lo que podría sugerir un menor tiempo de rumia. Es así que, los resultados sugieren la respuesta productiva de los novillos *W* estuvo limitada por la ocurrencia de SARA, observándose una reducción en el consumo de alimento y en la digestibilidad de FDN y PC, posiblemente asociado a menores tiempos de rumia, con la consiguiente reducción de la performance (Almada, 2008).

Por otra parte, la competencia en el comedero y corral entre animales podría explicar los resultados obtenidos en el presente trabajo. En este sentido, se ha indicado que las visitas/d al comedero pueden variar de 9 a 30, con tiempos diarios en comedero de 69 a 139 min/d y tasas de CMS de 83 a 182 g/min (Loseke et al., 2025; Pérez-Álvarez et al., 2018; Schwartzkopf-Genswein et al., 2003). Si bien en términos generales los resultados de este trabajo se encuentran en los rangos reportados, los tiempos diarios de visita al comedero, así como el número de visitas/d se encuentran en el extremo inferior, sobre todo en novillos *WH*, sugiriendo que los animales destinaron menor actividad al consumo asociado posiblemente a un frente de comedero más restrictivo debido a su mayor tamaño (Callejo Ramos, 2021; Pordomingo, 2013b). Más aún, se ha reportado que los rumiantes consumen preferencialmente durante las horas luz del día (DeVries et al., 2003). En este sentido, comparando los novillos *WH* vs. *W*, el tiempo en comedero representó el 70,8% vs. 104,3% de las horas luz del día (7 h 28 min vs. 11 h) considerando un fotoperíodo promedio para el período de evaluación de comportamiento ingestivo fue de 10 h 33 min por día (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 2024). Estos resultados reflejan el alto grado de competencia existente dentro de los grupos, acentuándose en *W*, donde el comedero estuvo la totalidad de las horas luz del día ocupado por los animales.

Asimismo, coincidiendo con los mayores tiempos en comedero de los novillos *W*, el tiempo echado, y particularmente, durante las horas luz, fue menor que en los novillos *WH*. En promedio, los novillos pasaron el 50,0% del tiempo del día echados, en particular durante la noche donde permanecieron el 71,0% del tiempo perteneciente a este horario echado, lo que a su vez representa el 71,4% del tiempo total echado, mientras que el restante 28,6% se dió en horario diurno. Resultados similares fueron reportados por otros estudios (Robért et al., 2011), quienes observaron un tiempo echado que superaba el 55% en horario nocturno y menos del 30% el resto del tiempo. Los autores asocian este comportamiento al ritmo circadiano de los bovinos que determina mayores tiempos de descanso durante la noche, y mayor actividad durante el día. De hecho, esto coincide con los resultados observados, donde por ejemplo las visitas nocturnas a comedero representaron únicamente un 22% del total de visitas. En promedio los novillos descansaron 11,9 horas/día, distribuidas en 11,1 sesiones de descanso por día, con una duración promedio de 69,1 min/sesión. Resultados similares fueron reportados por Wolfger et al. (2015), quienes analizaron los patrones de descanso de 16 novillos Hereford x Angus en confinamiento y observaron un descanso diario de 11,4 horas, distribuidas en 10 sesiones de 68,4 min/sesión.

En acuerdo con el desempeño superior de los *WH* frente a los *W* y la deposición diferencial de tejido (Forlino, 2023), la eficiencia de conversión (g GMD/kg MS consumida) fue mayor. La mayor eficiencia observada en los *WH* parece deberse principalmente a la mayor digestibilidad de la dieta frente a *W*, más que a diferencias en el CMS ya que no hubo diferencias cuando se expresó como %PV. No obstante, en razas cuyo objetivo es generar porcentajes elevados de marbling, la eficiencia alimenticia, en términos de GMD/kg MS consumida, puede perder interés, puesto que se busca favorecer la deposición de tejido adiposo intramuscular el cual efectivamente tiene mayor costo energético y tiene como consecuencia menores GMD. Por tanto, la medida de eficiencia como GMD/kg MS consumida, puede no ser un indicador útil de medición para los novillos *W* ya que opaca el interés productivo que tiene la raza respecto a otras cruza carniceras cuya productividad se mide directamente por el aumento de PV.

Coincidiendo con Arthur y Herd (2008) y Cantalapiedra-Híjar et al. (2018), el RFI fue independiente del PV y del nivel productivo (GMD), siendo el CMS mayor en animales menos eficientes (bajo RFI vs. alto RFI), lo que se reflejó en las correlaciones positivas entre RFI y CMS digestible o CMS como %PV observadas en el presente trabajo. Sin embargo, a pesar de que la eficiencia de conversión fue mayor en novillos *WH* que *W* y en contraste con resultados previos (Durunna et al., 2011) que reportan una relación consistente entre eficiencia de conversión y RFI, en este trabajo no se observaron diferencias entre grupos para RFI.

Es importante considerar que las pruebas de RFI están diseñadas para que este índice sea evaluado en condiciones *ad libitum*, donde los animales pueden expresar plenamente su consumo voluntario (Durunna et al., 2011; Lahart et al., 2020). Cambios en la densidad energética o en el sistema alimentario pueden afectar la repetibilidad de esta característica y generar cambios en el ranking de eficiencia entre periodos de

evaluación (Durunna et al., 2011). Andreini et al. (2020) demostraron que animales divergentes en RFI responden diferencialmente cuando son alimentados al 75% del consumo *ad libitum*, observándose cambios en la partición energética y en los requerimientos de mantenimiento. En esta misma línea, estudios previos han reportado menor capacidad discriminante del RFI cuando los animales son evaluados bajo restricción o niveles cercanos al mantenimiento (Herd et al., 2011; Roberts et al., 2007). De acuerdo con estos reportes, si bien existió diferencias dentro de cada grupo de novillos, las diferencias en RFI entre novillos *W* y *WH* fueron mínimas. Además, estudios recientes que demuestran que aquellos animales más eficientes (bajo RFI) presentan menos visitas a comedero que los ineficientes sumado a un menor tiempo en comedero (min/d), aunque con visitas de igual duración (min/evento) (Pérez-Álvarez et al., 2018) y mayores tiempos de rumia, probablemente reflejándose en mayores tiempos echados (Nascimento et al., 2024), Es así que posiblemente, la restricción en la oferta de TMR, la competencia en comedero, sumado a los posibles problemas digestivos o metabólicos no hayan permitido expresar diferencias entre animales y/o grupos para esta característica. Esta limitante también determinó que en el presente trabajo, el RFI no se asoció a comportamientos en comedero o de postura.

6. CONCLUSIÓN

Los resultados en este estudio evidencian diferencias en el desempeño productivo y patrones de comportamiento entre novillos *W* y cruce *WH* en confinamiento, asociado principalmente al mayor potencial de crecimiento y consumo de los animales cruce. En conjunto, los novillos *WH* mostraron un uso más eficiente del alimento en términos de ganancia de peso, acompañado por mayores digestibilidades de FDN y PC y diferencias en el comportamiento de consumo en comedero, caracterizadas por mayores tasas de ingestión y mayor consumo por visita, así como mayores tiempos de descanso, lo que sugiere una utilización más favorable de los nutrientes disponibles. Sin embargo, las condiciones de manejo durante el periodo experimental, particularmente la posible restricción en la oferta de alimento, la competencia entre animales por espacio de comedero, así como la posible ocurrencia de trastornos digestivos, particularmente en novillos *W*, pudieron haber limitado los resultados obtenidos y en consecuencia, la capacidad del RFI para discriminar diferencias entre genotipos. En este contexto, los resultados aportan evidencia sobre el comportamiento productivo y alimenticio de novillos Wagyu y sus cruces en sistemas de confinamiento, contribuyendo al entendimiento de los factores que condicionan la eficiencia alimenticia individual en estos sistemas productivos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almada, A. (2008). *Acidosis ruminal aguda (clínica) y crónica (subclínica)*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/metabolicas/metabolicas_bovinos/24-Acidosis.pdf
- Andreini, E. M., Augenstein, S. M., Fales, C. S., Sainz, R. D., & Oltjen, J. W. (2020). Effects of feeding level on efficiency of high- and low-residual feed intake beef steers. *Journal of Animal Science*, 98(10), Artículo eskaa286. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa286>
- Aramberri, F., & Olano, J. (2022). *Caracterización de variables a la faena de novillos Wagyu puros o cruza con Angus, Hereford y Holando* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/36624>
- Arthur, J., & Herd, R. (2008). Residual feed intake in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(Suppl. Esp.), 269-279. <https://www.scielo.br/j/rbz/a/CcGzFdm64ypMBwbKLfp6v5k/?format=pdf&lang=en>
- Arthur, P., Renand, G., & Krauss, D. (2001). Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and efficiency in young Charolais bulls. *Livestock Production Science*, 68(2-3), 131-139. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00243-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00243-8)
- Asociación de Consignatarios de Ganado. (2026, 3 de febrero). *Ganado gordo*. <https://acg.com.uy/>
- Azarapajouh, S., Colpoys, J. D., Dekkers, J. C. M., Gabler, N. K., Huff-Lonergan, E., Lonergan, S. M., Patience, J. F., & Johnson, A. K. (2017). *How has selection for residual feed intake (RFI) affected nursery and finisher pig's feeding behavior and performance?* Pork Information Gateway. <https://porkgateway.org/resource/selection-residual-feed-intake-rfi-affected-nursery-finisher-pigs-feeding-behavior-performance/>
- Basarab, J. A., Price, M. A., Aalhus, J. L., Okine, E. K., Snelling, W. M., & Lyle, K. L. (2003). Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(2), 189-204. <https://doi.org/10.4141/A02-065>
- Bavera, G. (s.f.). *Raza bovina japonesa: Wagyu*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/a_curso_produccion_bovina_de_carne/7B-11-Capitulo-XI-Raza-Japonesa.pdf
- Beef on Dairy Crossing*. (s.f.). Colorado State University <https://agnext.colostate.edu/beef-on-dairy-crossing/>
- Betancur-Murillo, C. L., Aguilar-Marín, S. B., & Jovel, J. (2023). Prevotella: A key player in ruminal metabolism. *Microorganisms*, 11(1), Artículo e1. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010001>

- Brown, W., Cavani, L., Peñaricano, F., Weigel, K., & White, H. (2022). Feeding behavior parameters and temporal patterns in mid-lactation Holstein cows across a range of residual feed intake values. *Journal of Dairy Science*, 105(10), 8130-8142. <https://www.journalofdairyscience.org/action/showPdf?pii=S0022-0302%2822%2900506-9>
- Calidad y seguridad*. (s.f.). Estancia del Valle; AWA. <https://www.wagyu.uy/index.php/es/calidad-y-seguridad.html>
- Callejo Ramos, A. (2021, 28 de mayo). *Comederos: Diseño, dimensionamiento y manejo*. Engormix. https://www.engormix.com/lecheria/instalaciones-produccion-lechera/comederos-diseno-dimensionamiento-manejo_a47160/
- Cantalapiedra-Hijar, G., Abo-Ismael, M., Carstens, G. E., Guan, L. L., Hegarty, R., Kenny, D. A., McGee, M., Plastow, G., Relling, A., & Ortigues-Marty, I. (2018). Biological determinants of between-animal variation in feed efficiency of growing beef cattle. *Animal*, 12(Suppl. 2), s321-s335. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001489>
- Cárdenas-Medina, J., Ku-Vera, J., & Magana-Monforte, J. (2010). Estimation of metabolizable energy requirements for maintenance and energetic efficiency of weight gain in bos taurus and bos indicus cows in tropical Mexico. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(2), 421-428. <https://scispace.com/pdf/estimation-of-metabolizable-energy-requirements-for-15zx6pxm8l.pdf>
- Casal, A., Garcia-Roche, M., Navajas, E. A., Cassina, A., & Carriquiry, M. (2018). Hepatic mitochondrial function in Hereford steers with divergent residual feed intake phenotypes. *Journal of Animal Science*, 96(10), 4431-4443. <https://doi.org/10.1093/jas/sky285>
- Comederos inteligentes Hook*. (s.f.). Balanzas Hook. <https://balanzashook.com.ar/comederointeligente/>
- Cooper, R. (2009). *Part 2 - Sub Acute Ruminant Acidosis (SARA): Consequences of SARA*. NADIS Animal Health Skills. <https://www.nadis.org.uk/disease-a-z/cattle/nutrition-of-dairy-herds/part-2-sub-acute-ruminal-acidosis-sara/#:~:text=4>
- Culbertson, M., Speidel, S., Peel, R., Cockrum, R., Thomas, M., & Enns, R. (2015). Optimum measurement period for evaluating feed intake traits in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 93(5), 2482-2487. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8364>
- Cho, H., Kang, K., Kang, H., Jeon, S., Lee, M., Park, E., Hong, S., & Seo, S. (2024). Repeatability of feed efficiency and its relationship with carcass traits in Hanwoo steers during their entire growing and fattening period. *Animal Bioscience*, 37(9), 1568-1580. <https://www.animbiosci.org/upload/pdf/ab-24-0074.pdf>

- DeVries, T. J., Beauchemin, K. A., Dohme, F., & Schwartzkopf-Genswein, K. S. (2009). Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feeding, ruminating, and lying behavior. *Journal of Dairy Science*, 92(10), 5067-5078. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2102>
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G., & Beauchemin, K. A. (2003). Short communication: Diurnal feeding pattern of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(12), 4079-4082. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74020-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74020-X)
- Dikmen, S., & Hansen, P. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, 92(1), 109-116. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370>
- Durunna, O. N., Mujibi, F. D. N., Goonewardene, L., Okine, E. K., Basarab, J. A., Wang, Z., & Moore, S. S. (2011). Feed efficiency differences and reranking in beef steers fed grower and finisher diets. *Journal of Animal Science*, 89(1), 158-167. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2514>
- Efice. (2018). *ConverTec: Urea de acción controlada*. <https://www.efice.uy/wp-content/uploads/2018/03/Resumen-Ensayo.pdf>
- Elolimy, A. A., Abdelmegeid, M. K., McCann, J. C., Shike, D. W., & Loor, J. J. (2018). Residual feed intake in beef cattle and its association with carcass traits, ruminal solid-fraction bacteria, and epithelium gene expression. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9, Artículo e67. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0283-8>
- Enciso, L. (2024, 30 de abril). *Raza de ganado normando: ¡Características y cualidades!* Agrocampo <https://blog.agrocampo.com.co/raza-de-ganado-normando/#:~:text=parto%20y%20docilidad,-.Precocidad,hasta%20%20a%C3%B1os%20o%20m%C3%A1s>
- Forlino, A. (2023, 6 de febrero). *Los factores importantes que influyen en el marmoleo de la carne bovina*. Wagyu 360. <https://www.wagyu360.com.ar/post/los-factores-importantes-que-influyen-el-marmoleo-de-la-carne-bovina>
- Goopy, J. P., Donaldson, A., Hegarty, R. S., Vercoe, P. E., Haynes, F., Barnett, M., & Hutton Oddy, V. (2014). Low-methane yield sheep have smaller rumens and shorter rumen retention time. *British Journal of Nutrition*, 111(4), 578-585. <https://doi.org/10.1017/S0007114513002936>
- Greter, A. M., & DeVries, T. J. (2011). Effect of feeding amount on the feeding and sorting behaviour of lactating dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(1), 47-54. <https://doi.org/10.4141/CJAS10067>
- Guarnido-Lopez, P., Ortigues-Marty, I., David, J., Polakof, S., & Cantalapiedra-Hijar, G. (2023). Comparative analysis of signalling pathways in tissue protein metabolism in efficient and non-efficient beef cattle: Acute response to an identical single meal size. *Animal*, 17(11), Artículo e101017. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101017>

- Guarnido-Lopez, P., Pinna, D., Maeda, Y., Ogawa, Y., BenAouda, M., Kohama, N., Fukushima, M., Nagaoka, S., & Kondo, N. (2024). Phenotypic relationships between meat quality parameters and residual feed intake in Japanese black Wagyu cattle. *Journal of Animal Science*, *102*, Artículo eskae192. <https://doi.org/10.1093/jas/skae192>
- Henderson, G. (2023, 12 de setiembre). *Beef-on-dairy: A revolution in American beef production?* Drovers. <https://www.drovers.com/news/industry/beef-dairy-revolution-american-beef-production>
- Herbut, P., Angrecka, S., & Walczak, J. (2018). Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle: A review. *International Journal of Biometeorology*, *62*(12), 2089-2097. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>
- Herd, R. A., Arthur, P. F., & Archer, J. A. (2011). Associations between residual feed intake on ad-libitum, pasture and restricted feeding in Angus cows. *Proceedings of the 19th Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics*, *19*(1), 47-50. <http://www.aaabg.org/livestocklibrary/2011/herd047.pdf>
- Herd, R. M., & Arthur, P. F. (2009). Physiological basis for residual feed intake. *Journal of Animal Science*, *87*(suppl. 14), E64-E71. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1345>
- Hook TV Argentina. (2023). *Comederos inteligentes* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=9dXaHOBqWL4>
- Hoque, M. A., Hosono, M., Oikawa, T., & Suzuki, K. (2009). Genetic parameters for measures of energetic efficiency of bulls and their relationships with carcass traits of field progeny in Japanese Black cattle. *Journal of Animal Science*, *87*(1), 99-106. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0766>
- Horwitz, W., & Latimer, G. (Eds.). (2005). *Official methods of analysis of AOAC international* (18th ed.). AOAC international.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2021). *Producción Ganadera - Hábitats Naturales - Bienestar Humano: Producir carne preservando hábitats naturales e impactando positivamente en el bienestar humano*. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15381/1/INIA-Produccion-Carne-Habitats-Bienestar-Humano-WEB.pdf>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (2025). *Otoño 2025: Boletín climático estacional N°2*. <https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2025-06/Boletin%20OTO%C3%91O.pdf>
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, *73*(8), 2483-2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Kelly, A. K., McGee, M., Crews, D. H., Fahey, A. G., Wylie, A. R., & Kenny, D. A. (2010). Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *Journal of Animal Science*, *88*(1), 109-123. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2196>

- Kemmotsu, N., Takeda, M., Ogino, A., Watanabe, T., Kurogi, K., Satoh, M., & Uemoto, Y. (2024). Incorporating body measurement traits to increase genetic gain of feed efficiency and carcass traits in Japanese Black steers. *Journal of Animal Science*, 102(1), Artículo eskae176. <https://doi.org/10.1093/jas/skae176>
- Kilgour, R. J. (2012). In pursuit of “normal”: A review of the behaviour of cattle at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, 138(1-2), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.12.002>
- Koch, R., Swiger, L., Chambers, D., & Gregory, K. (1963). Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 22(2), 486-494. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>
- La carne Wagyu de Uruguay recibe un precio entre 30% y 40% mayor al mejor ganado engordado con granos, valoró Aishemberg. (2022, 9 de agosto). *VerdeNews*. <https://revistaverde.com.uy/ganaderia/la-carne-wagyu-de-uruguay-recibe-un-precio-entre-30-y-40-mayor-al-mejor-ganado-engordado-con-granos-valor-aishemberg/>
- La ganadería en Uruguay que es pionera en producción de carne wagyu. (2023, 14 de noviembre). *CONtexto Ganadero*. https://www.contextoganadero.com/cronica/cronica-de-estancias-del-valle-ganaderia-de-wagyu-en-uruguay?utm_source=chatgpt.com
- Lahart, B., Prendiville, R., Buckley, F., Kennedy, E., Conroy, S. B., Boland, T. M., & McGee, M. (2020). The repeatability of feed intake and feed efficiency in beef cattle offered high-concentrate, grass silage and pasture-based diets. *Animal*, 14(11), 2288-2297. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000853>
- Ledgerwood, D., Winckler, C., & Tucker, C. (2010). Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 93(11), 5129-5139. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2945>
- Loseke, C., McDermott, R., Benton, J., O'Reilly, K., Erickson, G., & MacDonald, J. (2025). *Effect of feed access time on feedlot cattle performance, carcass characteristics, feeding behavior and ruminal pH*. University of Nebraska–Lincoln. <https://beef.unl.edu/2026-beef-cattle-report/feedlot-nutrition-and-management/effect-feed-access-time-feedlot-cattle/>
- Mao, J., & Wang, L. (2025). Rumen acidosis in ruminants: A review of the effects of high-concentrate diets and the potential modulatory role of rumen foam. *Frontiers in Veterinary Science*, 12(1), Artículo e1595615. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1595615>
- Mazolla, M. (2022). Apuntes sobre Wagyu en Uruguay. *Revista del Plan Agropecuario*, (183), 16-18. https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/199_3119.pdf
- McGee, M., Welch, C. M., Hall, J. B., Small, W., & Hill, R. A. (2013). Evaluation of Wagyu for residual feed intake: Optimizing feed efficiency, growth, and marbling in Wagyu cattle. *The Professional Animal Scientist*, 29(1), 51-56. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30195-9](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30195-9)

- Menezes, A. C. B., Valadares Filho, S. C., Benedeti, P. D. B., Zanetti, D., Paulino, M. F., Silva, F. F., & Caton, J. S. (2020). Feeding behavior, water intake, and energy and protein requirements of young Nellore bulls with different residual feed intakes. *Journal of Animal Science*, 98(9), Artículo eskaa279. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa279>
- Mitchell, C., ALZahal, O., Or-Rashid, M., Steele, M., & McBride, B. (2016). The effects of subacute ruminal acidosis on milk fatty acid profile in dairy cattle. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 11(2), 55-60. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2016.55.60>
- Montanholi, Y., Swanson, K., Palme, R., Schenkel, S., McBride, B., Lu, D., & Miller, S. (2010). Assessing feed efficiency in beef steers throughout feeding behaviour, infrared thermography and glucocorticoids. *Animal*, 4(5), 692-701. <https://doi.org/10.1017/S1751731109991522>
- Myer, P. R., Smith, T. P. L., Wells, J. E., Kuehn, L. A., & Freetly, H. C. (2015). Rumen microbiome from steers differing in feed efficiency. *PLoS ONE*, 10(6), Artículo e0129174. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129174>
- Nascimento, B., Cavani, L., Caputo, M., Marinho, M., Borchers, M., Wallace, R., Santos, J., White, H., Peñagarciano, F., & Weigel, K. (2024). Genetic relationships between behavioral traits and feed efficiency traits in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 107(10), 8141-8149. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24526>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). *Nutrient requirements of beef cattle* (8th rev. ed.). The National Academies Press.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2024). *NOAA solar calculator*. <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/>
- Newman, J. A., Parsons, A. J., Thornley, J. H. M., Penning, P. D., & Krebs, J. R. (1995). Optimal diet selection by a generalist grazing herbivore. *Functional Ecology*, 9(2), 255-268. <https://doi.org/10.2307/2390572>
- Nkrumah, J. D., Okine, E. K., Mathison, G. W., Schmid, K., Li, C., Basarab, J. A., Price, Z., Wang, S., & Moore, S. S. (2006). Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 84(1), 145-153. <https://doi.org/10.2527/2006.841145x>
- Pérez-Álvarez J. G., Rodríguez-Almeida, F. A., Domínguez-Viveros, J., Jahuey-Martínez F. J., & Carstens, G. (2018). Relación del comportamiento de alimentación con el desempeño productivo y temperamento de toretes en prueba de comportamiento. En J. Herrera, A. Juventino, F. Casanova, A. Trinidad, L. Márquez, E. S. Ferreyra, J. A. Menocal (Eds.), *Avances de la investigación sobre producción animal y seguridad alimentaria en México* (pp. 947-952). Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. https://www.researchgate.net/profile/Luis-Cruz-Bacab/publication/326679463_Efecto_del_uso_de_castana_Artocarpus_camansi_como_suplemento_preiniciador_en_lechones/links/5ba51626a6fdccd3cb69c885/Efecto-del-uso-de-castana-Artocarpus-camansi-como-suple

- Petryk, N. (2006). *Wagyu o buey de Kobe en Argentina*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/razas_bovinas/58-wagyu.pdf
- Pino, F. (2008). *Evaluación productiva de la raza wagyu en cruzamiento con diferentes razas bovinas presentes en Chile* [Trabajo final de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Academico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/131106>
- Pires, B., Reolon, H., Abduch, N., Souza, L., Sakamoto, L., Mercadante, M., Silva, R., Fragomeni, B., Baldi, F., Paz, C., & Stafuzza, N. (2022). Effects of feeding and drinking behavior on performance and carcass traits in beef cattle. *Animals*, 12(22), Artículo e3196. <https://doi.org/10.3390/ani12223196>
- Pordomingo, A. (2013a). *Feedlot: Alimentación, diseño y manejo*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/187-inta_feedlot_2013.pdf
- Pordomingo, A. (2013b). *Simposio de feedlot: Instalaciones en el feedlot*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/12-2-jornadas_CPMVPC.pdf
- Pordomingo, A. (2022). Residual feed intake: Un indicador de eficiencia que se instala en la ganadería. *IDIA 21*, 2(1), 28-35. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/12173/pubid_ia22_ano2_n1mayo_v4_p.28-35.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pravia, M., Navajas, E., Macedo, F., Clariget, J., & Luzardo, S. (2018, 11-16 febrero). *Association between feed efficiency and carcass and meat quality traits in Hereford steers* [Contribución]. World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Auckland. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15395/1/association-between-feed-efficiency-and-carcass-and-meat-quality-traits-hereford-steers.pdf>
- Rabaza, A. V. (2016). *Acidosis ruminal subaguda en novillos en engorde: Efecto del ayuno y la realimentación* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29066>
- Robért, B. D., White, B. J., Renter, D. G., & Larson, R. L. (2011). Determination of lying behavior patterns in healthy beef cattle by use of wireless accelerometers. *American Journal of Veterinary Research*, 72(4), 467-473. <https://doi.org/10.2460/ajvr.72.4.467>
- Roberts, A. J., Paisley, S. I., Geary, T. W., Grings, E. E., Waterman, R. C., & MacNeil, M. D. (2007). Effects of restricted feeding of beef heifers during the postweaning period on growth, efficiency, and ultrasound carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 85(10), 2740-2745. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0141>
- Sainz, R. D., & Paulino, P. V. (2004). *Residual feed intake*. University of California. <https://escholarship.org/uc/item/9w93f7ks>

- Schneider, B. H., & Flatt, W. P. (1975). *The evaluation of feeds through digestibility experiments*. University of Georgia Press.
- Schwartzkopf-Genswein, K., Silasi, R., & McAllister, T. (2003). Use of remote bunk monitoring to record effects of breed, feeding regime and weather on feeding behaviour and growth performance of cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(1), 29-38. <https://doi.org/10.4141/A02-027>
- Talmón, D., Jasinsky, A., Marin, F., Menegazzi, G., Chilbroste, P., & Carriquiry, M. (2025). Estimation of the energy cost of activities in grazing dairy cows using the oxygen pulse-heart rate method. *Journal of Dairy Science*, 108(6), 5847-5859. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25756>
- Taylor, R., & Field, T. (1999). *Beef production and management decisions* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Tizioto, P., Coutinho, L., Decker, J., Schnabel, R., Rosa, K., Oliveira, P., Souza, M., Mourão, G., Tullio, R. Chaves, A., Lanna, D., Zerlotini-Neto, A., Mudadu, M., Taylor, J., & Regitano, L. (2015). Global liver gene expression differences in nelore steers with divergent residual feed intake phenotypes. *BMC Genomics*, 16(1), Artículo e242. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1464-x>
- Trujillo, A. (Coord.). (2015). *Eficiencia alimenticia en bovinos de carne en pastoreo*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5291/1/fpta-59-2015.pdf>
- Wolfger, B., Mang, A. V., Cook, N., Orsel, K., & Timsit, E. (2015). Evaluation of a system for monitoring individual feeding behavior and activity in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 93(8), 4110-4114. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-8947>
- Zhang, Y., Li, F., Chen, Y., & Guan, L. (2022). The effects of breed and residual feed intake divergence on the abundance and active population of rumen microbiota in beef cattle. *Animals*, 12(15), Artículo e1966. <https://doi.org/10.3390/ani12151966>