



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA



**INCLUSIÓN DE FORRAJE FRESCO EN UNA DIETA PARA NOVILLOS EN
TERMINACIÓN A CORRAL, EFECTO SOBRE EL CONSUMO DE NUTRIENTES,
EL COMPORTAMIENTO ALIMENTICIO Y LA FERMENTACIÓN RUMINAL**

Por

BROCHINI, Alexander
DE SOUZA, Soledad
FIANDRA, Juan Diego

TESIS DE GRADO presentada como uno de
los requisitos para obtener el título de Doctor
en Ciencias Veterinarias
Orientación: Producción Animal

MODALIDAD: Ensayo Experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:



Presidente de mesa:

Dr. MSc. PhD. Gonzalo Fernandez Turren

Segundo miembro (Tutor):



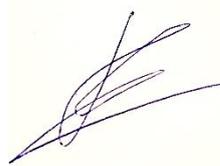
Dr. MSc. PhD. Álvaro Santana

Tercer miembro:



Dr. MSc. PhD. Alejandro Britos

Cuarto miembro (Co-Tutor)



Dr. Eliana Ciano

Fecha:

26 de diciembre de 2023

Autores:



Br. Alexander Brochini



Br. Soledad De Souza



Br. Juan Diego Fiandra

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor Dr. Álvaro Santana y co-tutora Dra. Eliana Ciancio, por el tiempo brindado, dedicación y colaboración a lo largo de este ensayo experimental.

A todo el personal del Campo Experimental N° 2 (Libertad) de la Facultad de Veterinaria, que facilitaron herramientas, tiempo, energía para que el trabajo se pudiera llevar a cabo.

A la Facultad de Veterinaria, en especial al personal de Biblioteca por la colaboración y disposición.

A nuestros compañeros con los que compartimos y desarrollamos el trabajo experimental durante tanto tiempo. Por la buena voluntad y energías brindadas en el día a día. Y por las amistades desarrolladas durante el experimento.

A nuestros amigos incondicionales, por el apoyo y acompañamiento durante todo el proceso.

Para finalizar queremos agradecerles a nuestras familias, por brindarnos la oportunidad de desarrollarnos como profesionales, de estudiar, de ser mejores y por el apoyo incondicional de siempre.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	5
RESUMEN	6
SUMMARY	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 Inclusión de pastura (FF) en la dieta de animales alimentados con RTM9	
2.2 Efecto sobre el consumo de nutrientes	10
2.3 Efecto sobre el comportamiento alimenticio y la fermentación ruminal	10
3. HIPÓTESIS	12
4. OBJETIVO.....	12
<i>Objetivo general</i>	12
<i>Objetivo específico</i>	12
5. MATERIALES Y MÉTODOS	12
5.1 Diseño experimental y tratamientos.....	12
5.2 Manejo de la alimentación	13
5.3 Toma de muestras, análisis, determinaciones	14
5.4 Análisis estadístico	15
6. RESULTADOS	16
7. DISCUSIÓN.....	20
8. CONCLUSIÓN.....	23
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro I. Proporción de AGV producidos de acuerdo a la proporción forraje/concentrado en la dieta (Adaptado de Church, 1988).....	11
Cuadro II. Proporción de los ingredientes y composición química de la RTM y el FF.	14
Cuadro III. Consumo de nutrientes (kg/d) en novillos de carne alimentados con diferentes dietas de terminación.....	16
Cuadro IV. Proporción de comportamientos alimentarios del total de observaciones por hora en cada tratamiento, TTO 1 = RTM y TTO 2 = RTM + FF.	16
Cuadro V. Fermentación ruminal de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación.....	17
Figura 1. Evolución de la concentración de AGV total de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación. TTO 1= RTM; TTO 2= RTM + FF. Las barras verticales indican el error estándar de la media.	18
Figura 2. Evolución de concentración de ácido acético de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación. TTO 1= RTM; TTO 2= RTM + FF. Las barras verticales indican el error estándar de la media.	18
Figura 3. Evolución de la concentración de ácido propiónico de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación. TTO 1= RTM; TTO 2= RTM + FF. Las barras verticales indican el error estándar de la media.	19
Figura 4. Evolución de la concentración de ácido butírico de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación. TTO 1= RTM; TTO 2= RTM + FF. Las barras verticales indican el error estándar de la media.	19

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue evaluar el comportamiento alimenticio, el consumo de nutrientes y la fermentación ruminal al incluir forraje fresco (FF) en la dieta de novillos en terminación consumiendo ración totalmente mezclada (RTM). Para esto, 20 novillos de raza carnífera bloqueados según su peso vivo (PV) y edad, se distribuyeron al azar en 2 tratamientos alimenticios (n = 10 novillos / tratamiento). Un Tratamiento 1 (**TTO 1**) alimentado con RTM asignada al 2,8% del PV / d, en materia seca (MS); o suministrando FF *ad libitum* más RTM asignada al 1,7% del PV /d, Tratamiento 2 (**TTO 2**). El alimento se suministró a los animales individualmente, teniendo acceso al agua en todo momento. La RTM se preparó en un mixer y el FF se cortó diariamente, a una altura de 5 cm del suelo. La duración total del experimento fue de 60 d, comprendiendo 19 d de adaptación, más tres periodos de mediciones (de 6 d cada uno) con una separación de 9 d entre periodos, enviándose los animales a faena 5 d después de la última medición. El consumo de materia seca (CMS) de RTM y FF se determinó durante 5 d en cada periodo de medición, se calculó mediante la diferencia en kg del alimento ofrecido y rechazado en 24 h, en forma individual. El consumo de materia orgánica (CMO), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y proteína bruta (PB) se calculó como el CMS de cada alimento por la concentración de cada nutriente. Un día en cada periodo, días 19, 33 y 47 se extrajo líquido ruminal a cada animal, en ocho horarios (9:30, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00, 21:00, 3:00 y 9:30 h) cada día, para la determinación del pH, concentración de ácido grasos volátiles (AGV) y nitrógeno amoniacal (N-NH₃). La proporción de los comportamientos “come”, “rumia” y “otros” se realizó mediante observación directa de 2 observadores entrenados. Se utilizó la técnica de muestreo focal cada 5 minutos durante 48h. Incluir FF en la dieta aumentó la proporción de observaciones comiendo y rumiando en TTO 2. No se detectó efecto del tratamiento sobre el CMS o CMO total, aumentando en TTO 2 el consumo de FND, FAD y PC comparado a TTO 1. En TTO 2 el pH promedio aumentó, pH máximo tendió a ser mayor y el rango diario de pH fue más amplio respecto a TTO 1. No hubo efecto del tratamiento sobre la concentración total de AGVs. En TTO 2 aumentó la proporción de ácido acético, disminuyó la concentración y la proporción de ácido propiónico, respecto a TTO 2. No se detectó efecto del tratamiento sobre la concentración de N-NH₃. Proporcionar FF a novillos en terminación a corral mejoro el ambiente ruminal, aumentando el pH sin disminuir la concentración total de AGV, ni el CMO comparado con los animales alimentados con RTM. Es necesario seguir investigando los efectos sobre la digestión de incluir FF en dietas de terminación a corral.

SUMMARY

The objective of this thesis was to evaluate feeding behavior, nutrient consumption, and ruminal fermentation by including fresh forage (FF) in the diet of finishing steers consuming a fully mixed ration (RTM). For this, 20 beef breed steers, blocked according to their live weight (LW) and age, were randomly distributed into 2 dietary treatments (n = 10 steers per treatment). Treatment 1 (TTO 1) fed with RTM assigned at 2.8% of the PV/d on a dry matter (DM) basis; or providing FF ad libitum plus RTM assigned to 1.7% of the PV/d, Treatment 2 (TTO 2). Food was provided to the animals individually, with access to water at all times. The RTM was prepared in a mixer, and the FF was cut daily at a height of 5 cm from the ground. The total duration of the experiment was 60 d, comprising 19 d of adaptation plus three measurement periods (6 d each) with a separation of 9 d between periods, with the animals being sent to slaughter 5 d after the last measurement. The dry matter intake (DMI) of RTM and FF was determined for 5 days in each measurement period; it was calculated by the difference in kg of the food offered and rejected in 24 hours, individually. The consumption of organic matter (OMC), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and crude protein (CP) was calculated as the DMI of each food by the concentration of each nutrient. One day in each period, days 19, 33, and 47, rumen fluid was extracted from each animal eight times (9:30, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00, 21:00, 3:00, and 9:30 a.m.) each day for the determination of pH, concentration of volatile fatty acids (VFA), and ammoniacal nitrogen (N-NH₃). The proportion of "eating," "rumination," and "other" behaviors was carried out through direct observation by two trained observers. The focal sampling technique was used every 5 minutes for 48 hours. Including FF in the diet increased the proportion of observations of eating and ruminating in TTO 2. No treatment effect was detected on total DMI or BMC, increasing in TTO 2 the consumption of NDF, FAD, and PC compared to TTO 1. In TTO 2, the average pH increased, the maximum pH tended to be higher, and the daily pH range was wider compared to TTO 1. There was no effect of the treatment on the total concentration of VFAs. In TTO 2, the proportion of acetic acid increased and the concentration and proportion of propionic acid decreased, compared to TTO 2. No effect of the treatment on the concentration of N-NH₃ was detected.

Providing FF to pen-finishing steers improved the rumen environment, increasing the pH without decreasing the total VFA concentration or BMC compared to animals fed RTM. It is necessary to continue investigating the effects on digestion of including FF in free-range finishing diets.

1. INTRODUCCIÓN

La población a nivel mundial está en constante crecimiento, al igual que la demanda de productos cárnicos que han tenido una transformación en cuanto a las preferencias alimentarias dependiendo del mercado. Se prevé que la producción mundial de carne crecerá más del doble, pasando de 229 millones de toneladas en 1999 a 465 millones de toneladas en 2050 (Amores, 2014). Uruguay produce alrededor de 550 mil toneladas de carne vacuna al año, 180 mil para el consumo interno y 370 mil para exportar al mundo (Antúnez, 2022). El país cuenta con más de 150 corrales de engorde con capacidad superior a los 300.000 vacunos (Dell’Onte, 2020). En el año 2021 la participación del corral fue de un total de 350.000 cabezas faenadas (INAC, 2021). En 2022 creció 13%, representando aproximadamente el 15 % del total de bovinos faenados (INAC, 2022). En parte, este crecimiento a nivel nacional de los sistemas de engorde a corral ha sido impulsado por las cuotas de mercado para productos diferenciados como la cuota 481¹ (ex cuota 620) y la cuota Hilton² (Cedrés y Cunha, 2013).

Las dietas utilizadas en sistemas de engorde a corral contienen principalmente granos y sub productos industriales, bajas proporciones de forraje, por lo que generalmente poseen alta concentración energética y son ofrecidas como una RTM. Las RTM son una mezcla completa y en una proporción adecuada para satisfacer las necesidades nutricionales de un tipo definido de animal, permitiendo un estricto control del consumo de alimentos (Schingoethe, 2017). En este sistema de RTM, los forrajes (ensilajes o fardos) y alimentos concentrados (granos y subproductos) son completamente mezclados, y de esta forma ofrecidos a los animales (Mendoza, Cajarville, Santana y Repetto, 2011). Las RTM tienen la ventaja de regular la ganancia media diaria (GMD) aportando los nutrientes necesarios, permiten maximizar el consumo individual y minimizar la posibilidad de seleccionar algún componente en especial.

Una desventaja de las RTM utilizadas para la terminación de novillos a corral es que comprometen la salud de los animales, debido a su alta proporción (>80%) de concentrados y baja cantidad de forraje, pudiendo afectar el ambiente ruminal (Mendoza et al., 2011). Diversos estudios han encontrado el aumento de patologías tales como la acidosis (Washburn, White, Green y Benson, 2002; Charlton, Rutter, East y Sinclair, 2011a) y laminitis (Olmos et al., 2009) en estos sistemas. Así como la afectación de otros aspectos del bienestar animal y su comportamiento natural (Charlton, Rutter, East y Sinclair, 2011b). Otra desventaja es que la rentabilidad económica de estos sistemas depende en gran medida del mercado de los granos lo que lo vuelve muy variable (Cedrés y Cunha, 2013).

¹ Cuota 481: cupo de exportación de carne de alta calidad con destino a Europa. Los cortes procederán de animales con menos de 30 meses de edad, alimentados únicamente con ración formulada con no menos del 62% de concentrados, dentro de los 100 días previos al sacrificio.

² Cuota Hilton: exportación a Europa de carne vacuna sin hueso de alta calidad y valor. Aceptando únicamente animales de 22-24 meses de edad, criados sobre pasturas con PV menor o igual a 460 kg.

Los sistemas ganaderos en países de clima templado como Uruguay tienen ventajas comparativas respecto a otros países para la producción de pasturas a bajo costo relativo y les permite aumentar el contenido en la carne de ácidos grasos beneficiosos para la salud humana, como el ácido linoleico conjugado (CLA) (Lourenço, Van Ranst, Vlaeminck, De Smet y Fievez, 2008). Sin embargo, en dietas con alta proporción de concentrados (>80%), como las utilizadas para la terminación de novillos a corral, la inclusión de FF implica disminuir el consumo de carbohidratos no fibrosos (CNF), lo que dependiendo la calidad de la pastura puede reducir la producción de AGVs y perjudicar a los sistemas de engorde a corral, que buscan altas GMD e infiltración de grasa intramuscular (o marmoleado).

Lograr incluir FF en la dieta de animales en confinamiento alimentados con RTM sin disminuir el consumo de nutrientes, ni la producción de AGVs, podría disminuir los costos de alimentación de los sistemas productivos (Soder y Rotz 2001), reducir el riesgo de acidosis y aprovechar las ventajas de ambos sistemas (Bargo, Muller, Varga, Delahoy y Cassidy, 2002b). Los antecedentes previos sobre la combinación de FF y RTM en sistemas de terminación a corral son muy escasos y la información previa se ha generado principalmente con vacas lecheras.

En esta tesis se estudia cómo afecta incluir FF en una dieta de terminación a corral para novillos, el comportamiento alimenticio, el consumo de nutrientes y la fermentación ruminal de los novillos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Inclusión de pastura (FF) en la dieta de animales alimentados con RTM

Para formular la RTM se debe mensurar y mezclar los ingredientes de forma precisa y uniforme, siendo posible mecanizar el proceso y reducir el trabajo de alimentación (Schingoethe, 2017). Las RTM permiten minimizar la posibilidad de selección de los ingredientes y maximizar el consumo, siendo cada bocado consumido por el animal de similar composición. Lo que se traduce en un mejor rendimiento del ganado y eficiencia en la producción ya que tampoco debería haber ningún nutriente en exceso. La dificultad de incorporar Forraje Fresco (FF) a una RTM radica en el volumen, la humedad y la capacidad de mezclado, lo que hace necesario investigar alternativas para combinar ambos alimentos. La limitante de incorporar la pastura fresca en la dieta de animales consumiendo RTM, conlleva a suministrarla de forma separada o cosechar las pasturas directamente del campo mediante diferentes manejos de pastoreo posibles.

Los sistemas ganaderos que utilizan pasturas para la alimentación de sus animales pueden obtener ventajas económicas, ambientales y sobre el bienestar animal (Joubran, Pierce, Garvey, Shalloo y O'Callaghan, 2021). Las pasturas templadas, aportan proteínas solubles de rápida degradación y fibra altamente degradable, lo que potencialmente puede generar en el rumen altas concentraciones de N-NH₃ (Repetto y Cajarville, 2009; Cajarville y Repetto,

2005), AGV, así como también de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) (Amaral, Piroto y Puig, 2014).

Cuando un componente de la dieta se suministra en forma separada (i.e. reservas de forrajes, FF, o suplementos concentrados) y el resto de los alimentos se mezclan y ofrecen en conjunto, se les denomina RTM parcial (**RPM**) (Bargo, Muller, Delahoy y Cassidy, 2002a). Incluir FF en la dieta de rumiantes alimentados con RPM, puede inducir cambios en la digestión y fermentación ruminal, modificando así el rendimiento productivo (Bargo, Rearte, Santini y Muller, 2001).

2.2 Efecto sobre el consumo de nutrientes

La RTM permite concentrar la densidad de nutrientes y obtener consumos de energía para sostener altos desempeños productivos de los animales (Muller y Falés, 1998; Tucker, Rude y Wittayakun, 2001; Schroeder, Couderc, Bargo y Rearte, 2005). En dietas de terminación a corral generalmente los factores que limitan el CMS son de tipo metabólicos relacionados a la degradación de sustratos, concentración de metabolitos (Poppi, Gill y France, 1994) o la cantidad de energía neta ingerida sobre el consumo de oxígeno, entre otros (Ketelaars y Tolkmamp, 1996).

En un metaanálisis conteniendo ciento ochenta y ocho observaciones, Zellmer, (2021) informó que el aumento de la proporción de FND de forraje, aumentó el CMS, pero disminuyó el consumo de energía. Sin embargo, en sentido contrario, Defoor, Galyean, Saylor, Nunnery y Pearsons (2002) evaluaron tres fuentes diferentes de forraje, en cinco niveles de inclusión en la dieta (entre 5% y 15 % en MS) de vaquillonas en terminación. Informaron un aumento lineal del CMS, la ingesta de energía y la GMD en respuesta al aumento de la FND de forraje en la dieta.

2.3 Efecto sobre el comportamiento alimenticio y la fermentación ruminal

La inclusión de FF en vacas Holstein consumiendo RTM, en general, aumenta la proporción de tiempo dedicada a comer y disminuye la tasa de CMS debido a una menor concentración de MS en el alimento (Mendoza, Cajarville y Repetto, 2017). El aporte de fibra proveniente de FF estimula la rumia y producción de saliva, pudiendo contribuir a mejorar la capacidad buffer del rumen (Maekawa, Beauchemin y Christensen, 2002; Bargo et al., 2002a; Bargo et al., 2002b). Aumentar la proporción de FF en la dieta de animales consumiendo RTM con alta proporción de concentrados, disminuye el riesgo de contraer acidosis, que es la patología de mayor prevalencia en feedlots de Uruguay (Banchemo, Chalkling y Mederos, 2016) y la segunda en Brasil (Pinto y Millen, 2019).

El efecto de aumentar la proporción de forraje en dietas de feedlot sobre el pH ruminal depende del tipo de forraje (Jeon et al., 2019) y las características de los novillos. Forrajes de alta calidad (FND < 50 %, FAD < 25 %, MS 18 - 24 %, PC 18 - 25%) generaran pH más bajos (Clark y Kanneganti, 1998; Muller y Fales, 1998).

El resultado sobre el pH ruminal al incluir FF de pastura templada es difícil de anticipar, debido a que, por un lado, incrementaría la proporción de forraje en la

dieta lo que podría estimular la rumia. Pero, por otro lado, la alta digestibilidad de la fibra aportada por las pasturas templadas, produce mayor concentración de AGVs en el rumen que otros forrajes (Delaby, Finn, Grange y Horan, 2020). En un experimento realizado por Pérez-Ruchel, Repetto y Cajarville (2017), evaluando dietas de engorde de corderos, con inclusión de 25% y 50% de FF de alfalfa (base MS), logró mayor pH comparado al suministro de una RTM, además de registrar una producción de AGV totales similares. En vaquillonas de razas carnicera la inclusión de 29% de FF en dietas RTM obtuvo una relación ácido acético : propiónico similar a Santana, Cajarville, Mendoza, y Repetto (2017), por lo que en consumos mayores de FF es de esperar mayor relación.

Los AGV (propiónico, acético y butírico) constituyen los principales productos finales de la fermentación ruminal de los carbohidratos (Kaufmann y Saelzer, 1980). Vibart, Burns y Fellner (2010) evaluaron el efecto de una pastura (Ryegrass anual) y RTM sobre el perfil fermentativo ruminal. Se observó que, a medida que aumentaba la proporción de pastura en la dieta, de la misma forma lo hacía la concentración total de AGV. Dentro de ellos, el butírico específicamente aumentaba de forma lineal, mientras que el acético y el propiónico disminuían. Cajarville, Pérez, Aguerre, Britos y Repetto (2006) observaron algo similar, ya que agregando pastura con tiempo restringido a la dieta registraron altas concentraciones de AGV totales. Contrariamente en la tesis de Amaral et al. (2014) se observó que cuando se agregaba pastura a una dieta base RTM, caía el consumo y por lo tanto la producción de AGV también caía. En el Cuadro I: Proporción de AGV producidos de acuerdo a la proporción forraje/concentrado en la dieta (Adaptado de Church, 1988), se observa como, por más que la relación forraje : concentrado varíe en proporción, el AGV producido en mayor concentración será el acetato. En base a los ensayos realizados por estos autores y en conjunto con el Cuadro I, podemos deducir que el agregado de FF en la dieta, generará una alteración en la proporción de la producción de los AGV. Tendiendo a aumentar el butírico específicamente, pero sin lograr superar la concentración de acético.

Cuadro I. Proporción de AGV producidos de acuerdo a la proporción forraje/concentrado en la dieta (Adaptado de Church, 1988).

Relación Forraje - Concentrado (%)	Proporción molar (%)		
	Acetato	Propionato	Butirato
100 - 0	71.4	16.0	7.9
75 - 25	68.2	18.1	8.0
50 - 50	65.3	18.4	10.4
40 - 60	59.8	25.9	10.2
20 - 80	53.6	30.6	10.7

3. HIPÓTESIS

La inclusión de FF en una dieta para novillos en terminación a corral, aumentará el CMS total para mantener el consumo de energía, y además elevará el pH y la relación ácido acético : propiónico en el rumen debido al incremento de la rumia y el consumo de fibra.

4. OBJETIVO

Objetivo general

Evaluar el efecto de incluir FF sobre el consumo de nutrientes, el comportamiento alimenticio y la fermentación ruminal de novillos en terminación a corral consumiendo RTM.

Objetivo específico

En la terminación a corral de novillos consumiendo únicamente RTM de terminación, o incluyendo FF en la dieta, comparar:

- a) El consumo de MS, MO, FND, FAD y PC.
- b) La proporción de observaciones comiendo y rumiando.
- c) El pH, la concentración de ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico y N-NH₃ en el rumen.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo y los análisis de laboratorio se realizaron en el Instituto Producción Animal de Veterinaria (IPAV), ubicado en la Ruta 1, Km. 42.200, Libertad, San José. Los procedimientos y el manejo de los animales se llevaron a cabo siguiendo las normas que dictan el uso de animales en experimentación, educación e investigación establecidas por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal de la Universidad de la República (Protocolo: 1198 / 2021).

5.1 Diseño experimental y tratamientos

Los novillos fueron bloqueados por edad ($36,35 \pm 6,75$ meses) y PV (441.4 ± 39.1 kg de PV) al inicio del experimento y dentro de cada bloque fueron asignados al azar a uno de dos tratamientos: Tratamiento 1 (**TTO 1**) oferta diaria de RTM equivalente (en MS) al 2,8% del PV, o Tratamiento 2 (**TTO 2**), RTM asignada al 1,7% del PV más FF *ad libitum*.

Resultando en 10 animales por tratamiento (n = 10 novillos / tratamiento), de los cuales 4 estaban equipados con sonda intraruminal (n = 4 novillos con sonda / tratamiento).

Se utilizaron 20 novillos de raza británica (Hereford, Aberdeen Angus), alojados en corrales individuales de 15 m² cada uno, a cielo abierto, con piso de tierra, equipados con comederos de plástico (60 cm de frente de comedero) y bebederos individuales. Previo a comenzar el experimento los novillos se trataron con antiparasitarios internos Ivermectina al 1 % (Ivomec, laboratorio Boehringer), ectoparasiticidas (Califly plus, laboratorio Calier) y se los vacunó contra patologías respiratorias (Neumosan, laboratorio Santa Elena). Con el fin de poder evaluar las variaciones dentro del rumen, a 8 animales se les colocó quirúrgicamente una sonda intraruminal (ESPA[®], LEVIN, Ch. 24) de forma semi permanente que se retiró al finalizar el experimento.

La duración total del experimento fue de 60 días (19 días de adaptación y tres periodos de mediciones de 6 días cada uno, con una separación de 9 días entre periodos). Los animales fueron enviados a faena 5 días después de la última medición.

5.2 Manejo de la alimentación

La RTM se formuló para obtener una GMD de 1,4 kg/d se utilizó el software Taurus versión 2014 de la Universidad de California y el Beef Cattle Nutrient Requirements Model 2016, versión 1.0.37.15., utilizando los datos de los animales (raza, edad, peso, entre otros) y la composición química de los alimentos. La composición química de la RTM utilizada se presenta en el Cuadro II.

La RTM se preparaba todos los días comenzando a las 8:00 h donde se utilizaba un mixer (Mixer vertical M8, Mary S.R.L, Santa Catalina, Uruguay). Estaba compuesta por grano de maíz molido (GM) 71,7 %, harina de soja (HS) 10,1 %, heno de pasto (heno) 17,0 %, premezcla³ 1,2 %. Se agregaba agua correspondiente al 27,1 % del alimento. Posterior a realizar la mezcla se embolsaba y pesaba individualmente para cada novillo utilizando una balanza de piso (EL-5, Marvic Ltda, Montevideo, Uruguay). En todos los tratamientos la oferta de alimento fue a las 11:00 h y 16:00 h, con una asignación diaria del 50 % de RTM en cada horario.

La composición botánica del FF utilizado fue (en base MS) gramíneas 54,2%, alfalfa 39,2%, malezas 4,7% y restos muertos 1,9%. La pastura se cortó diariamente a las 14:00 h, a una altura de 5 cm con una rotativa (T-TCBM 1650, Minos Agricultural Machinery, Turquía). Posterior al corte el FF se rastrillaba, se juntaba y se almacenaba en bolsas de 10 kg cada una. Las bolsas se suministraban individualmente a cada novillo del TTO 2, reponiendo a demanda cada comedero y se registraba la cantidad de bolsas proporcionadas en 24 h a cada novillo.

³Premezcla de vitaminas-minerales: Anavrin[®] 0.35 g/100 kg PV; vitamina A, 53000 UI; vitamina D, 10600 UI; vitamina E, 200 UI; Co, 2.6 mg/kg; I, 18.4 mg/kg; Se inorgánico, 4.4 mg/kg; Zn inorgánico, 1200 mg/kg; Cu inorgánico, 421 mg/kg; Na, 6.3 g/kg; Mg, 1.5 g/kg; Ca, 22.0 g/kg.

Cuadro II. Proporción de los ingredientes y composición química de la RTM y el FF.

Ítem	RTM	FF	GM	HS	Heno
<i>Composición de nutrientes</i>					
MS, % MF	65,0(1,4)	22,1(2,8)	86,7(0,4)	91,3(0,2)	86,6(1,0)
MO, % MS	96,4(0,4)	88,5(0,8)	98,6(0,01)	93,0(0,01)	92,4(0,01)
FND, % MS	23,0(2,8)	50,3(6,9)	8,0(0,4)	10,7(0,4)	59,4(1,0)
FAD, % MS	11,0(0,8)	29,6(3,4)	2,4(0,1)	7,8(0,9)	37,9(0,6)
PC, % MS	12,8(1,5)	14,5(2,8)	-	38,6(3,2)	6,3(0,1)
EM (Mcal/kg MS)	2,87	2,09			

5.3 Toma de muestras, análisis, determinaciones

El CMS de RTM y FF se midió individual para cada novillo durante 5 días consecutivos en cada periodo (los días 20, 34 y 48). La cantidad consumida se estimó por diferencia de peso entre la cantidad ofrecida y rechazada de cada alimento en 24 h [Consumo (kg) = (kg ofrecidos - kg rechazados)]. Se tomó una muestra de la RTM y FF ofrecidos (500g aprox.) y se congeló a -20°C para posterior análisis de composición química. Los rechazos de RTM y FF se pesaron a las 10:30 h del día siguiente.

El consumo de MO, FND, FAD y PB se calculó a partir del CMS de RTM y FF. Las muestras de alimentos fueron analizadas para MS (ID: 934.01), MO (ID: 942.05) y PB (ID: 954.01) de acuerdo al método oficial AOAC, 2000. La FND y FAD se analizó de acuerdo a la técnica descrita por Robertson y Van Soest (1981), modificada por Mertens (2003), de forma no secuencial, utilizando sulfito de sodio y expresando los resultados sin cenizas residuales.

Los últimos 2 días de cada periodo de medición se registró el comportamiento alimenticio cada 5 minutos durante 48 h, mediante observación directa (Hirata, Iwamoto, Otozu y Kiyota, 2002). Dos observadores fueron entrenados antes de comenzar el experimento para reconocer consistentemente los comportamientos de alimentación. Los cuales se definieron como, 'comer' (recoger, agarrar, masticar o consumir RTM o FF), 'rumiar' (movimientos de masticación sin alimento en la boca, regurgitación del alimento o ambos) y otros (no mostrando alguna de las actividades anteriores). La proporción de cada comportamiento, se calculó para cada hora como una fracción del total de las observaciones (Mendoza et al., 2017). El valor reportado es el promedio de 144 h totales de observación (48 h / periodo, por tres periodos de observación).

Los días 19, 33 y 47 se extrajo líquido ruminal a cada novillo en los siguientes horarios: 9:30; 13:00; 15:00; 17:00; 19:00; 21:00; 3:00 y 9:30 h. Una vez extraído el líquido ruminal el pH fue determinado en forma inmediata mediante un pHmetro digital (eChem Instruments Pte., Oakton, Singapur). Se extrajo 1 mL del líquido ruminal mediante sonda, se colocó en un eppendorf de 2 mL conteniendo 0,02 mL de ácido sulfúrico (50%, v/v), y se congeló a -20 °C para su posterior análisis. La concentración de amoníaco se determinó por colorimetría de acuerdo a Weatherburn, (1967), utilizando un espectrofotómetro (1200, UNICO®; United Products & Instruments Inc., Dayton, OH, EE. UU).

Para la concentración de AGVs se tomó una muestra de 0,5 mL de líquido ruminal en un eppendorff con 0,5 mL de ácido perclórico y se congeló a -20 °C. Posteriormente se procedió a analizar la concentración individual de los ácidos: acético, propiónico y butírico por cromatografía líquida de alta presión (HPLC) de acuerdo a Adams, Jones y Conway (1984), utilizando un equipo Dionex Ultimate® 3000 (Waltham, Massachusetts, USA) y una columna Acclaim Rezex Organic Acid H⁺ (8%), 7,8 x 300 mm y 210 nm. La concentración total de AGVs se calculó como la suma de las concentraciones individuales de ácido acético, propiónico y butírico. Las concentraciones fueron expresadas en términos absolutos (mM) y cómo % en relación a la concentración total de AGVs.

5.4 Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante la función Proc Mixed del software SAS® versión 9.0 (SAS Institute Inc.). El modelo estadístico utilizado para analizar el consumo de nutrientes fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + P_j + T_k + e_{ijkl}$$

Siendo: Y_{ijkl} = la variable en estudio, μ = la media general, B_i = el efecto aleatorio del bloque, P_j = el efecto aleatorio del periodo de medición, T_k = efecto fijo del tratamiento y e_{ijkl} = el error residual.

Mientras que, para las variables con medidas repetidas en el tiempo: comportamiento, pH, AGVs y N-NH₃ el modelo fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + P_j + T_k + H_l + (T \times H)_{kl} + e_{ijkl}$$

Siendo: H_l = el efecto fijo de la hora de medición, $T_k \times H_l$ = el efecto fijo de la interacción entre el tratamiento y la hora de medición.

Las medias se compararon con el test de Tukey, declarándose significancias con $p < 0,05$ y tendencias con valores entre $p > 0,05$ y $< 0,1$.

6. RESULTADOS

El CMS y CMO total no difirió entre tratamientos. En el TTO 2 el consumo de FF representó un 40,4% (5,1 kg) del CMS total. El TTO 2 consumió más FND, FAD y PC (53,6 %, 76,9 % y 13,3 % respectivamente) que el TTO 1. El consumo de nutrientes por tratamiento se muestra en el Cuadro III.

Cuadro III. Consumo de nutrientes (kg/d) en novillos de carne alimentados con diferentes dietas de terminación.

Ítem	Tratamiento ^a		EEM ^b	Valor de P ^c
	TTO 1	TTO 2		
CMS	12,1	12,5	0,640	0,134
MO	11,60	11,70	0,600	0,957
FND	2,80	4,30	0,200	<0,001
FAD	1,30	2,30	0,110	<0,001
PC	1,50	1,70	0,090	0,006

^aTratamientos: TTO 1= RTM ofrecida al 2,8% del PV (base MS), TTO 2= RTM ofrecida al 1,7% del PV (base MS) más forraje fresco *ad libitum*.

^bError estándar de la media.

^cProbabilidad de tratamientos.

Se observó una mayor proporción de eventos comiendo y rumiando en el TTO 2 respecto al TTO 1 siendo $p < 0,05$. En el Cuadro IV se presenta la proporción media de observaciones para cada comportamiento según el tratamiento.

Cuadro IV. Proporción de comportamientos alimentarios del total de observaciones por hora en cada tratamiento, TTO 1 = RTM y TTO 2 = RTM + FF.

Ítem	Tratamiento ^a			Valor de p ^c		
	TTO 1	TTO 2	EEM ^b	Trat	Hora	Trat* Hora
Come	0,08	0,14	0,006	<,001	<,001	<,001
Rumia	0,22	0,24	0,013	0,001	<,001	<,001
Otros	0,70	0,61	0,018	<,001	<,001	<,001

^aTratamientos: TTO 1 = RTM ofrecida al 2,8% del PV (base MS); TTO 2 = RTM ofrecida al 1,7% del PV (base MS) más FF *ad libitum*.

^bError estándar de la media.

^cProbabilidad de tratamiento; Trat = efecto tratamiento; Hora = efecto hora de medición; Trat* Hora = Interacción entre tratamiento y hora.

Los parámetros de fermentación ruminal se presentan en el Cuadro V. El rango entre el pH máximo y mínimo fue mayor en el TTO 2. El pH medio aumentó y el pH máximo tendió a ser más alto en el TTO 2 respecto al TTO 1. No hubo efecto del tratamiento en la concentración total de AGVs. La concentración de ácido propiónico disminuyó y la proporción se redujo 11 puntos porcentuales en TTO 2 respecto a TTO 1. La proporción de ácido acético aumentó 9,8 puntos porcentuales y la relación ácido acético : propiónico fue mayor en TTO 2 respecto a TTO 1. No se detectó efecto del tratamiento sobre la concentración de N-NH₃.

Cuadro V. Fermentación ruminal de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación.

Ítem	Tratamiento ^a			Valor de p ^c		
	TTO 1	TTO 2	EEM ^b	Trat	Hora	Trat* Hora
pH	6,00	6,20	0,060	0,053	<0,001	0,174
Max	6,83	7,02	0,071	0,064	0,001	0,266
Min	5,15	5,20	0,130	0,551	0,715	0,278
Rang	1,53	1,88	0,090	0,009	0,004	0,221
AGV, mM	124,00	128,7	11,420	0,689	0,000	0,061
Acético	67,70	75,4	4,740	0,249	0,007	0,163
Propiónico	42,50	25,6	5,290	0,030	0,000	0,076
Butírico	16,30	18,00	1,650	0,333	<0,001	0,020
AGV (mol/100 mol)						
Acético	54,20	64,00	1,580	<,001	0,003	0,531
Propiónico	32,50	21,50	2,360	0,002	0,050	0,175
Butírico	13,30	14,50	0,990	0,396	0,299	0,111
Acético/Propiónico	1,80	3,10	0,200	<,001	0,006	0,098
N-NH ₃ (mg/dl)	17,90	24,10	5,159	0,395	0,053	0,227

^aTratamientos: TTO 1 = RTM ofrecida al 2,8% del PV (base MS); TTO 2 = RTM ofrecida al 1,7% del PV (base MS) más FF *ad libitum*.

^bError estándar de la media

^cProbabilidad de tratamiento; Trat = efecto tratamiento; Hora = efecto hora de medición; Trat* Hora = Interacción entre tratamiento y hora

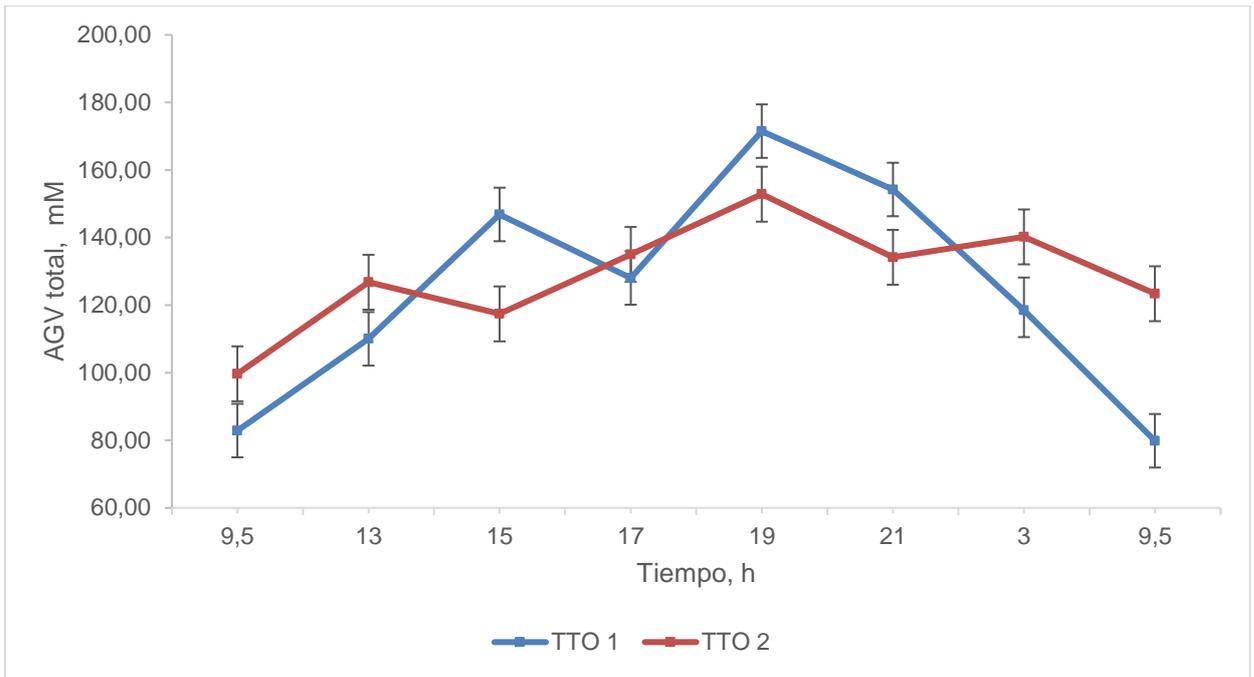


Figura 1. Evolución de la concentración de AGV total de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación. TTO 1= RTM; TTO 2= RTM + FF. Las barras verticales indican el error estándar de la media.

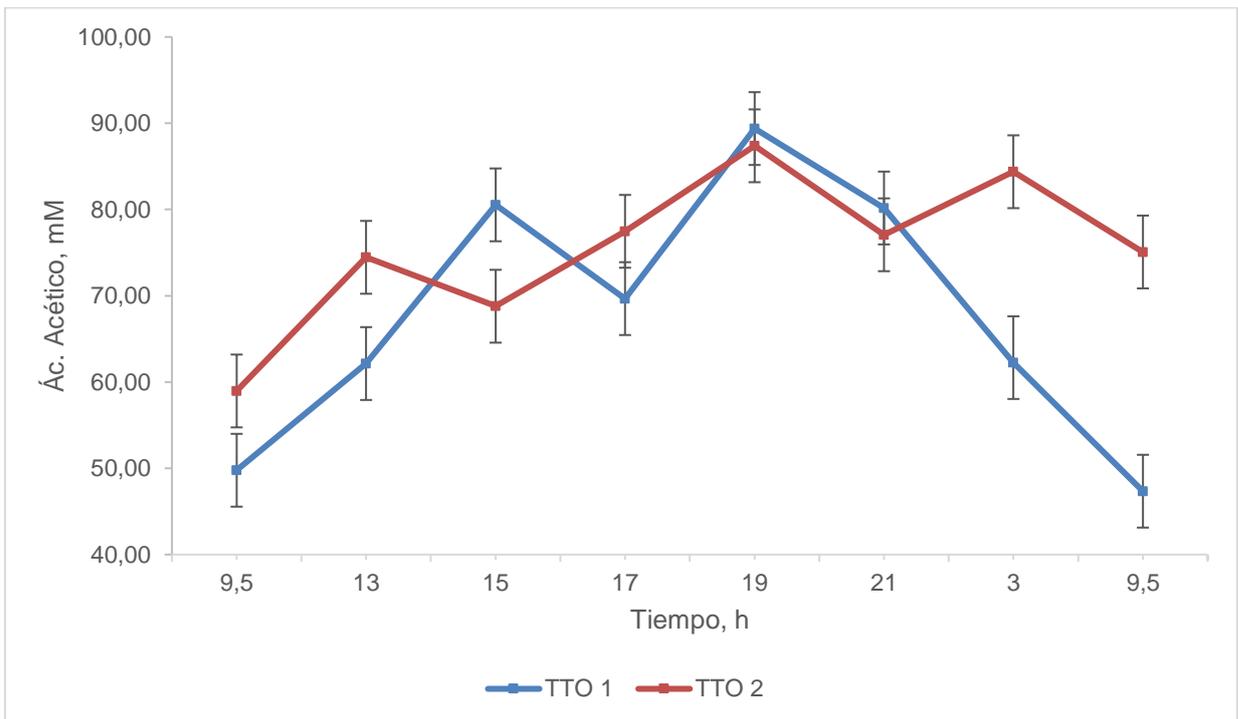


Figura 2. Evolución de concentración de ácido acético de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación. TTO 1= RTM; TTO 2= RTM + FF. Las barras verticales indican el error estándar de la media.

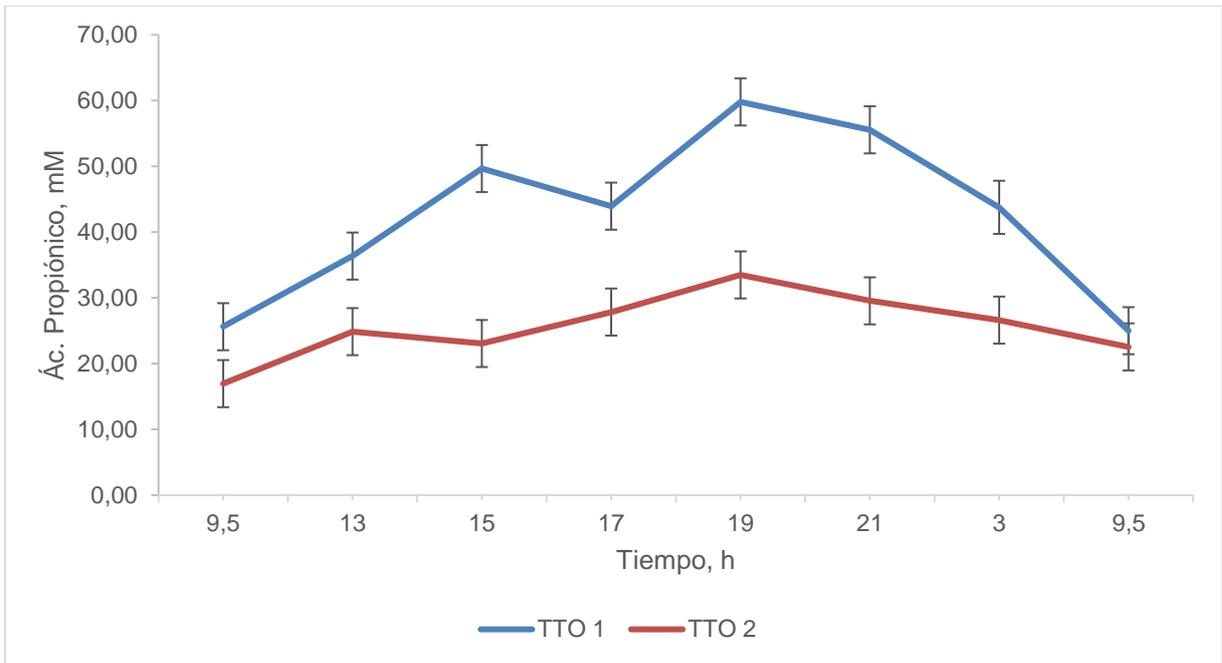


Figura 3. Evolución de la concentración de ácido propiónico de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación. TTO 1= RTM; TTO 2= RTM + FF. Las barras verticales indican el error estándar de la media.

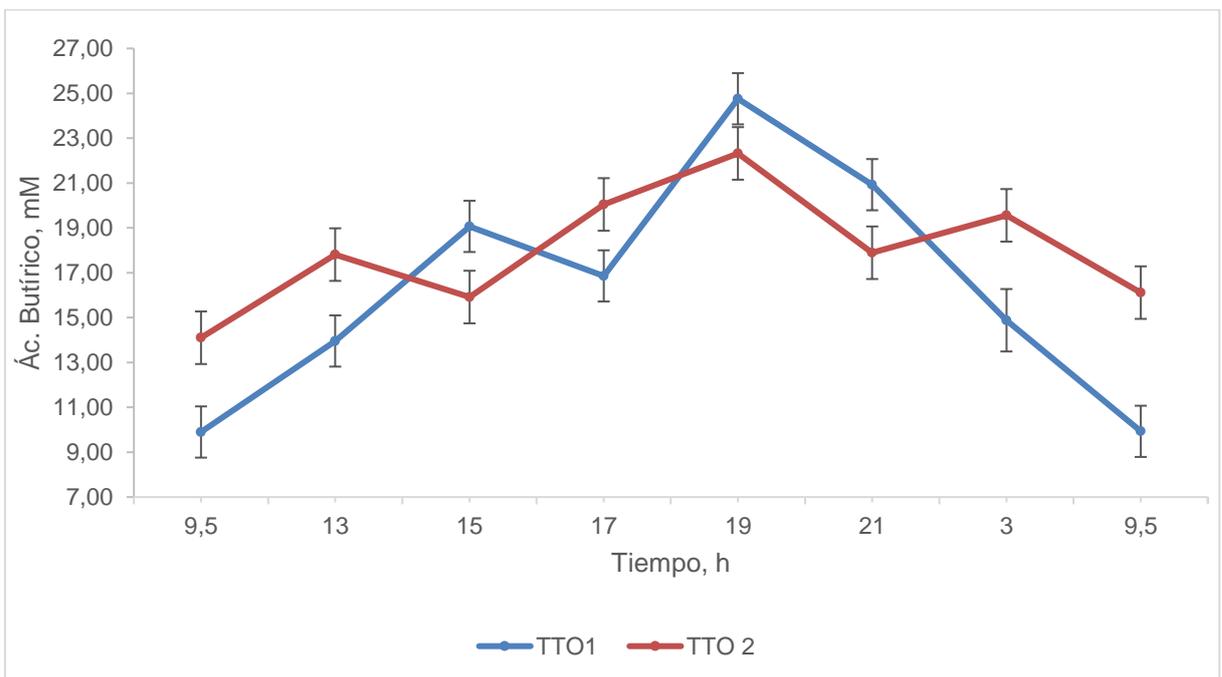


Figura 4. Evolución de la concentración de ácido butírico de novillos alimentados con diferentes dietas de terminación. TTO 1= RTM; TTO 2= RTM + FF. Las barras verticales indican el error estándar de la media.

7. DISCUSIÓN

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, la hipótesis planteada ha sido parcialmente confirmada, rechazándose la primera parte, debido a que no se incrementó el CMS total y aceptándose la segunda parte ya que si se obtuvieron los resultados esperados acerca del pH y la relación ácido acético : propiónico en rumen a causa del incremento de la rumia y el consumo de fibra.

El mayor tiempo dedicado a comer en los novillos del TTO 2 pudo deberse a la menor concentración de MS y energía del FF comparado a la RTM. Este comportamiento probablemente haya permitido compensar la menor asignación de RTM (kg / d), consumiendo un alimento con menor concentración de energía como el FF. Paralelamente el mayor consumo de fibra con la inclusión del FF implicó una mayor proporción del tiempo rumiando en relación a TTO 1. Generalmente el incremento de tiempo realizando una actividad alimenticia implica disminuir el tiempo dedicado a otras (Kilgour, Uetake, Ishiwata y Melville, 2012). Sin embargo, en nuestro experimento la inclusión de FF incrementó el tiempo comiendo y rumiando en el TTO 2. Probablemente el aumento en ambas actividades en el TTO 2 se debió a la posibilidad de hacerlo dado la escasa proporción de tiempo ocupada por los comportamientos en TTO 1. Además, los eventos de comida fueron menos concentrados, al disponer de FF durante todo el día (datos no presentados).

En vaquillonas de raza británicas Santana et al. (2017) no encontró efecto sobre el CMS al incluir 29% de FF en la dieta. Estas dietas generalmente presentan menos proporción de concentrados, con relaciones forraje / concentrado más altas que las dietas de terminación a corral.

En nuestro experimento, el CMS total no aumentó en el TTO 2, aunque se cumplieron las condiciones para lograr el incremento del CMS cuando hay una dilución de la densidad energética en la dieta, descritas por Owen, Smith y Makkar (2012), de que el consumo de energía este por debajo de los requerimientos y los factores quimiotácticos no limiten el consumo. El hecho de que la inclusión de 40% de FF no aumentara el CMS total, no parecería deberse a mecanismos físicos de saciedad, ya que el consumo de FND fue 0,9% del PV en el TTO 2, por debajo del 1,2 % del PV de FND señalado como umbral limitante del CMS, (Mertens, 1987). Por otro lado, los factores quimiotácticos de la saciedad tampoco son claramente responsables de limitar el CMS. En el TTO 2 el consumo de energía metabolizable fue de 31,9 Mcal, en tanto en el TTO 1 fue de 34,7 Mcal, con una diferencia de 3 Mcal mayor en el TTO 1. Tampoco el contenido de materias nitrogenadas parecería haber limitado el consumo, ya que en ambos tratamientos la dieta total contenía 13 % de PB señalado como lo requerido para novillos de PV y GMD similares a las de nuestro experimento (Pordomingo, Grigioni, Carduza y Volpi Lagreca, 2012). Debido a la mayor proporción de PB en el FF, el consumo de PB aumentó con la inclusión en la dieta del FF, como era esperable.

Si bien en este trabajo no se estudió la digestibilidad de nutrientes, otros factores podrían haber influido en que no se incrementara el CMS total del TTO 2, la disminución de la digestibilidad del forraje causa mayor dilución en la concentración energética de la dieta y puede reducir el CMS (Rearte y Santini, 1989). Debido al acumulo del contenido de pared celular y a una tasa de paso más lenta a través del tracto gastrointestinal (Van Soest, 1965; Ustarroz y De Leon, 1999). Además, el volumen y peso (densidad) de la FND proporcionada, así como la fragilidad (relación FND/FAD), la hidratación y el grado de lignificación de la FND, pueden determinar cambios en la tasa de pasaje (Okine y Mathison, 1991) y proporcionar una señal de llenado físico que el ganado puede detectar y usar mejor para regular el CMS de manera más eficiente (Defoor et al., 2002).

En TTO 2 el aumento del tiempo destinado a rumiar, posiblemente incrementó la producción de saliva, el aporte de sustancias buffer y la tasa de pasaje del contenido líquido en el rumen, aumentando el pH ruminal (Sauvant, Meschy y Mertens, 1999). Los valores medios de pH ruminal (5,8), están acorde a lo esperado en bovinos alimentados con dietas ricas en cereales (Plaizier, Khafipour, Li, Gozho, y Krause, 2012). De forma general, para mantener un pH ruminal superior a 5,6 (propuesto como valor umbral para la acidosis sub aguda (SARA)), (Gozho, Krause y Plaizier, 2007) los requerimientos mínimos de fibra neutro detergente efectiva (FNDe) de la dieta deberían ser del 5 a 20% de la MS total. Dependiendo del objetivo productivo, del tipo de dieta, del manejo de la alimentación y de la inclusión o no de aditivos (NRC, 1996). El pH promedio de ambos tratamientos se mantuvo sobre el valor umbral de SARA. Sin embargo, en TTO 1 de 17:00 h a 21:00 h el pH se mantuvo por debajo del umbral de 5,6 (datos no presentados) considerándose condiciones de SARA (Gozho et al., 2007). Los novillos que consumieron únicamente RTM, concentraron el tiempo comiendo en los horarios de suministro del alimento, ingirieron una mayor cantidad de concentrado y probablemente con una tasa de CMS (kg/h) más alta, siendo factores que contribuyen a disminuir el pH ruminal (Cusack, Dell'Osa, Wilkes, Grandini y Tedeschi, 2021).

El aumento del rango de pH ruminal cuando los novillos tuvieron acceso al FF, podría deberse principalmente al aumento de la capacidad buffer y no a la generación de ácidos orgánicos en el rumen. Probablemente el mayor consumo de FND y FAD al incluir FF aumentó el tiempo dedicado a rumiar en el TTO 2, lo cual incrementó la producción salival, el aporte de bicarbonato y el flujo de la fracción líquida a través del rumen que contribuye en la evacuación de hidrogeniones (Welch y Smith, 1970; Sauvant, et al., 1999). La relación entre el consumo de fibra y el pH ruminal no son lineales, porque el pH depende de múltiples factores que además interrelacionan entre sí (Calsamiglia, Blanch, Ferret, y Moya, 2012). Los valores de concentración total AGVs fueron muy similares entre tratamientos, podría inferirse que los principales factores que explican las diferencias encontradas fueron los mecanismos buffer del rumen (absorción de ácidos, la tasa de pasaje y la insalivación). En nuestro experimento el consumo de FND en TTO 2 fue equivalente al 0,9 % del PV y fue un 59 % mayor respecto a TTO 1. Además, otro aspecto que contribuiría a alcalinizar el

pH ruminal es la mayor capacidad tampón del FF de alfalfa respecto a otros forrajes y al grano de maíz o la harina de soja que contenía la RTM (Stepanova y Volovik, 2021). Sin embargo, resultados contrarios a los nuestros se han reportado cuando se utilizan dietas con mayor cantidad de forraje. En vaquillonas de razas británicas consumiendo únicamente RTM o incluyendo 29 % de FF en la dieta, Santana et al., (2017) no encontraron diferencias en el pH medio (pH = 6,51 y 6,46, respectivamente). Tampoco, Pastorini, Pomiés, Repetto, Mendoza y Cajarville, (2018) y Bargo et al., (2002b), encontraron variaciones en el pH, en vacas lecheras consumiendo únicamente RTM, o con inclusión de FF en dos proporciones (25% o 75% del CMS total), pero si al igual que en nuestro experimento, las dietas del TTO 2 tuvieron un rango más amplio de pH.

La concentración total de AGVs hallada en nuestro experimento se encontraba entre 70 y 130 mmol/L, rango considerado normal en bovinos (France y Dijkstra, 2005). Estos resultados podrían reflejar la cantidad de sustratos fermentables aportados también fue similar y es consistente con el consumo de MO que tampoco difirió entre los tratamientos.

El maíz tiene una relación lineal negativa con el pH en rumen Sauvant et al. (1999) y positiva con el ácido propiónico asociado a su consumo (Sutton et al., 2003). La ingestión del mismo parecería ser el principal factor en los cambios ruminales. Un mayor consumo de maíz en TTO 1 redujo el pH y aumentó el ácido propiónico.

Noziere, Glasser y Sauvant (2011) en un metaanálisis de experimentos *in vivo*, reportan una estrecha asociación entre la concentración molar porcentual en rumen y el flujo de producción individual de cada AGVs, para un rango importante de situaciones.

La diferente cantidad ingerida de cada nutriente en los tratamientos, resultaron en perfiles de fermentación ruminal diferentes. Las diferencias entre ambos tratamientos se explican fundamentalmente por la reducción de la concentración del ácido propiónico (en un 33,8 %) en TTO 2 respecto a TTO 1, probablemente relacionado al menor consumo de almidón u otros CNF (pectinas, azúcares). Esto concuerda con Chibisa, Beauchemin y Penner, (2016) quienes plantean que en dietas de feedlot para novillos en terminación con altas (70%) y bajas (30%) proporciones de forraje, la producción de AGVs a partir de la fermentación de los CNF es la principal explicación a los cambios de pH y perfil de fermentación ruminal. Las proporciones molares de acetato y propionato siguieron los patrones comúnmente informados según la relación forraje : concentrados en las dietas (Church, 1988; Calsamiglia et al., 2012). Coincidiendo con los resultados reportados por Van Lier y Regueiro, (2008), en nuestro experimento al incluir FF, aumentó la proporción de ácido acético y la relación ácido acético : propiónico comparado al TTO 1. Probablemente debido a la disminución en la concentración de ácido propiónico y un mayor consumo de FND en TTO 2. A su vez, la relación ácido acético : propiónico hallada para TTO 2 concuerda a la reportada por Zinn y Plasencia, (1996) para una dieta RTM conteniendo 30 % de heno de alfalfa (relación ácido acético:propiónico = 3,4). Mientras que el valor hallado para TTO 1, está en la línea a lo informado por Asizua et al., (2018) en novillos consumiendo una dieta RTM con 20 % de forraje (relación ácido acético : propiónico = 2,1). En contraposición Bargo et al., (2002b) al comparar animales consumiendo RTM o RPM más pastoreo, no encontró

diferencias en la relación ácido acético : propiónico, tampoco para la proporción de acetato.

Proporcionar a novillos en terminación a corral, RTM + FF *ad libitum* asignada al 1.7% del PV (en base a MS) no modificó el CMS total, ni la concentración total de AGVs, pero aumentó el consumo de fibra, la rumia, el pH ruminal, la proporción de ácido acético y la relación ácido acético : propiónico, comparado con novillos alimentados con RTM ofrecida al 2.8% del PV.

8. CONCLUSIÓN

Proporcionar FF a novillos en terminación a corral mejoro el ambiente ruminal, aumentando el pH sin disminuir la concentración total de AGV, ni el CMO comparado con los animales alimentados con RTM. Es necesario seguir investigando los efectos sobre la digestión de incluir FF en dietas de terminación a corral.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, R.F., Jones R.L y Conway P.L. (1984) High-performance liquid chromatography of microbial acid metabolites. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 336(1), 125-137.
- Amaral, V., Piroto, E., y Puig, M. (2014). *Evaluación del ambiente ruminal en vacas lecheras alimentadas a base de una ración totalmente mezclada y forraje fresco* (Tesis de grado). Facultad de Veterinaria. UDELAR. Montevideo.
- Amores, M.J. (2014). La tendencia mundial es la intensificación... ¿y el bienestar?. *Spei Domus*, 10(21), 69-72.
- Antúnez, P. (2022, setiembre 25). *Más carne por hectárea y con ganado más joven*. *Rurales El País*. Recuperado de <https://rurales.elpais.com.uy/ganaderia/mas-carne-por-hectarea-y-con-ganado-mas-joven>
- Asizua, D., Mpairwea, D., Kabia, F., Mutetikkaa, D., Bareebaa, F.B., Hvelplundc, T., ... Madsend, J. (2018). Effects of feeding systems on rumen environment, degradability and passage kinetics in Ankole x Friesian crossbred steers. *Livestock Science*, 210, 47-54.
- Association of Official Analytical Chemists. (2000). *Official Methods of Analysis* (17^a ed.). Arlington: AOAC.
- Banchero G, Chalkling D, Mederos A. (2016). Relevamiento de problemas sanitarios y de manejo durante la terminación en bovinos en sistemas de confinamiento en Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*, 52(202), 4-13.
- Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E., y Cassidy, T. W. (2002^a). Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 85(11), 2948-2963.
- Bargo, F., Muller, L.D., Varga, G.A., Delahoy, J.E., y Cassidy, T.W. (2002^b). Ruminal digestion and fermentation of high-producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 85(11), 2964- 2973.
- Bargo, F., Rearte, D. H., Santini, F. J., y Muller, L. D. (2001). Ruminal digestion by dairy cows grazing winter oats pasture supplemented with different levels and sources of protein. *Journal of Dairy Science*, 84(10), 2260-2272.
- Cajarville, C., Pérez, A., Aguerre, M., Britos, A., y Repetto, J.L. (2006). Effect of the timing of cut on ruminal environment of lambs consuming temperate pastures. *Journal of Animal Science*, 84(1), 103.
- Cajarville, C., y Repetto, J. (2005). Uso de concentrados para optimizar el aprovechamiento digestivo de las pasturas. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornadas Uruguayas de Buiatría* (Vol. XXXIII, pp. 121-128). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.
- Calsamiglia, S., Blanch M., Ferret, A., y Moya. D. (2012). Is subacute ruminal acidosis a pH related problem? Causes and tools for its control. *Animal Feed Science and Technology*, 172(1-2), 42-50.

- Cedrés, F., y Cunha, A. (2013). *La utilización de sistemas de engorde a corral por la industria frigorífica uruguaya* (Monografía). Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, UDELAR, Montevideo.
- Charlton, G.L., Rutter, S.M., East, M., y Sinclair, L.A. (2011a). Effects of providing total mixed rations indoors and on pasture on the behavior of lactating dairy cattle and their preference to be indoors or on pasture. *Journal of Dairy Science*, 94(8), 3875-3884.
- Charlton, G.L., Rutter, S.M., East, M., y Sinclair, L.A. (2011b). The motivation of dairy cows for access to pasture. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4387-4396.
- Chibisa, G.E., Beauchemin K.A., y Penner G.B. (2016). Relative contribution of ruminal buffering systems to pH regulation in feedlot cattle fed either low- or high-forage diets. *Animal*, 10(7), 1164-1172.
- Church, C.D. (1988). *El rumiante, fisiología digestiva y nutrición*. Zaragoza: Acribia.
- Clark, D.A., y Kanneganti, V.R. (1998). Grazing management systems for dairy cattle. En Cherney, J.H. y Cherney, D.J.R (Eds), *Grass for Dairy Cattle* (pp. 311-334). Oxon, UK: CAB International.
- Cusack, P.M.V., Dell'Osa, D., Wilkes, G., Grandini, D., y Tedeschi L.O. (2021). Ruminal pH and its relationship with dry matter intake, growth rate, and feed conversion ratio in commercial Australian feedlot cattle fed for 148 days. *Australian Veterinary Journal*, 99(8), 319-325.
- Defoor, P.J., Galyean, M.L., Sayler, G.B., Nunnery, G.A., y Pearsons, C.H. (2002). Effects of roughage source and concentration on intake and performance by finishing heifers. *Journal of Animal Science*, 80(6), 1395-1404.
- Delaby, L., Finn, J.A., Grange, G., y Horan, B. (2020). Pasture-Based Dairy Systems in Temperate Lowlands: Challenges and Opportunities for the Future. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 1-13.
- Dell'Onte, H. (2020, abril 23). El mercado de la carne de corral está cerrado y se deben buscar alternativas. *La Mañana*. Recuperado de <https://www.xn--lamaana-7za.uy/agro/el-mercado-de-la-carne-de-corral-esta-cerrado-y-se-deben-buscar-alternativas/#:~:text=Nuestro%20pa%C3%ADs%20cuenta%20con%20m%C3%A1s,20%20%25%20de%20la%20faena%20total>
- France, J., y Dijkstra, J. (2005). Volatile fatty acid production. En J. Dijkstra, J. Forbes y J. France (Eds), *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism* (2ª ed., pp. 157-175). Wallingford: CAB International.
- Gozho, G.N., Krause, D.O., y Plaizier, J.C. (2007). Ruminal Lipopolysaccharide Concentration and Inflammatory Response During Grain-Induced Subacute Ruminal Acidosis in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 90(2), 856-866.
- Hirata, M., Iwamoto, T., Otozu, W., y Kiyota, D. (2002). The effects of recording interval on the estimation of grazing behavior of cattle in a daytime grazing system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15(5), 745-750.
- Instituto Nacional de Carnes. (2021). *Anuario Estadístico*. Recuperado de https://www.inac.uy/innovaportal/file/21459/1/inac_anuario_2021.pdf

- Instituto Nacional de Carnes. (2022). *Anuario Estadístico*. Recuperado de <https://www.inac.uy/innovaportal/file/23151/1/anuario-estadistico-2022-analisis-de-cifras.pdf>
- Jeon, S., Jeong, S., Lee, M., Seo, J., Kam, D.K., Kim J.H., ... Seo S. (2019) Effects of reducing inclusion rate of roughages by changing roughage sources and concentrate types on intake, growth, rumen fermentation characteristics, and blood parameters of Hanwoo growing cattle (*Bos Taurus coreanae*). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(11), 1705-1714.
- Joubran, A. M., Pierce, K. M., Garvey, N., Shalloo, L., y O'Callaghan, T. F. (2021). Invited review: A 2020 perspective on pasture-based dairy systems and products. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7364-7382.
- Kaufmann, W., y Saelzer, V. (1980). *Fisiología digestiva aplicada al ganado vacuno*. Zaragoza: Acribia.
- Ketelaars, y J.J., Tolkamp, B.J. (1996). Oxygen efficiency and the control of energy flow in animals and humans. *Journal of Animal Science*, 74(12), 3036-3051.
- Kilgour R.J., Uetake K., Ishiwata T., y Melville, G.J. (2012). The behaviour of cattle at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, 138(1-2), 12-17.
- Lourenço, M., Van Ranst, G., Vlaeminck, B., De Smet, S., y Fievez, V. (2008). Influence of different dietary forages on the fatty acid composition of rumen digesta as well as ruminant meat and milk. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), 418-437.
- Maekawa, M., Beauchemin K.A. y Christensen, D.A. (2002). Effect of Concentrate Level and Feeding Management on Chewing Activities, Saliva Production, and Ruminal pH of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 85(5), 1165-1175.
- Mendoza, A., Cajarville, C., y Repetto, J.L. (2017). Behaviour of cows fed a total mixed ration with different access time to fresh forage. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 61(1), 102-108.
- Mendoza, A., Cajarville, C., Santana, A., y Repetto, J. (2011). ¿Hacia una nueva forma de pensar la alimentación de las vacas lecheras? La inserción del confinamiento en los sistemas pastoriles de producción de leche. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornada Uruguay Buiatría* (Vol. XXXIX, pp: 82-90). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.
- Mertens, D.R. (1987). Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of Animal Science*, 64(5), 1548-1558.
- Mertens, D.R. (2003). Challenges in measuring insoluble dietary fiber. *Journal of Dairy Science*, 81(12), 3233-3249.
- Muller, L. D., y S. L. Fales. (1998). Supplementation of cool-season grass pastures for dairy cattle. En Cherney, J.H. y Cherney, D.J.R. (Eds.), *Grass for Dairy Cattle* (pp. 335-350). New York: CAB International.
- National Research Council. (1996). *Nutrient requirements of beef cattle* (7^a ed.). Washington: National Academy Press.
- Noziere, P., Glasser, F., y Sauvant, D. (2011). In vivo production and molar percentages of volatile fatty acids in the rumen: a quantitative review by an empirical approach. *Animal*, 5(3), 403-414.

- Olmos, G., Boyle, L., Hanlon, A., Patton, J., Murphy, J.J., Mee, J.F. (2009). Hoof disorders, locomotion ability and lying times of cubicle-housed compared to pasture-based dairy cows. *Livestock Science*, 125(2-3), 199-207.
- Owen, E., Smith, T., y Makkar, H. (2012). Successes and failures with animal nutrition practices and technologies in developing countries: A synthesis of an FAO e-conference. *Animal Feed Science and Technology*, 174(3-4), 211-226.
- Okine E.K., y Mathison, G.W. (1991). Effects of feed intake on particle distribution, passage of digesta, and extent of digestion in the gastrointestinal tract of cattle. *Journal of Animal Science*, 69(8), 3435-3445.
- Pastorini, M., Pomiés, N., Repetto, J. L, Mendoza, A., y Cajarville, C. (2018). Productive performance and digestive response of dairy cows fed different diets combining a total mixed ration and fresh forage. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 4118-4130.
- Pérez, A., Repetto, J.L., y Cajarville, C. (2017). Supplementing high-quality fresh forage to growing lambs fed a total mixed ration diet led to higher intake without altering nutrient utilization. *Animal Consortium*, 11(12), 2175-2183.
- Pinto, A.C.J., y Millen, D.D. (2019). Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(2), 392-407.
- Plaizier, J.C., Khafipour, E., Li, S., Gozho, G.N., y Krause, D.O. (2012). Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. *Animal Feed Science and Technology*, 172(1-2), 9-21.
- Poppi, D.P., Gill, M., y France, J. (1994). Integration of theories of intake regulation in growing ruminants. *Journal of Theoretical Biology*, 167(2), 129-145.
- Pordomingo, A.J., Grigioni, G., Carduza, F., y Volpi Lagreca, G. (2012). Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality. *Meat Science*, 90(4), 939-946.
- Rearte, D.H., y Santini, F.J. (1989). Digestión ruminal y producción de animales en pastoreo. *Revista Argentina de Producción Animal*, 9, 93-105.
- Repetto, J.L., y Cajarville, C. (2009). ¿Es posible considerar lograr la sincronización de nutrientes en sistemas pastoriles intensivos? En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornadas Uruguayas de Buiatría* (Vol. XXXVII, pp. 60-67). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.
- Robertson, J.B., y Van Soest, P.J. (1981). The detergent system of analysis and its application to human foods. En W.P.T. James, y O. Theander (Eds), *The analysis of dietary fiber in food* (pp. 123-158). New York: Marcel Dekker.
- Santana, A., Cajarville, C., Mendoza, A., y Repetto, J. L. (2017). Combination of legume-based herbage and total mixed ration (TMR) maintains intake and nutrient utilization of TMR and improves nitrogen utilization of herbage in heifers. *Animal*, 11(4), 616-624
- Sauvant, D., Meschy, F., y Mertens, D. (1999). Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. *Productions Animales, Institut National de la Recherche Agronomique*, 12(1), 49-60.

- Schingoethe, D.J. (2017). A 100-Year review: Total mixed ration feeding of dairy cows¹. *American Dairy Science Association*, 100(12), 10143-10150.
- Schroeder, G.F., Couderc, J.J., Bargo, F., y Rearte, D.H. (2005). Milk production and fatty acid profile of milk fat by dairy cows fed a winter oats (*Avena sativa* L.) pasture only or a total mixed ration. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 48(2), 187-195.
- Soder, K.J., y Rotz, C.A. (2001). Economic and environmental impact of four levels of concentrate supplementation in grazing dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 84(11), 2560-2572.
- Stepanova, G.V., y Volovik, M.V. (2021). Dependence of the buffer capacity on the chemical composition of dry matter of alfalfa. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 901(1), 1-5.
- Sutton, J.D., Dhanoa, M.S., Morant, S.V., France, J., Napper, D.J., y Schuller, E. (2003). Rates of production of acetate, propionate, and butyrate in the rumen of lactating dairy cows given normal and low-roughage diets. *Journal of Dairy Science*, 86(11), 3620-3633.
- Tucker, W.B., Rude, B.J., y Wittayakun, S. (2001). Performance and economics of dairy cows fed a corn silage-based total mixed ration or grazing annual ryegrass during mid to late lactation. *The Professional Animal Scientist*, 17(3), 195-201.
- Ustarroz, E., y De León, M. (1999). Utilización de pasturas y suplementación con granos en invernada. Sitio Argentino de Producción Animal. Recuperado de https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_pastoril_o_a_campo/77-pasturas_y_suplementacion_en_invernada.pdf
- Van Lier, E., y Regueiro, M. (2008). *Digestión en Retículo-Rumen*. Montevideo: Facultad de Agronomía, Udelar.
- Van Soest, P.J., (1965). Development of a Comprehensive System of Feed Analyses and its Application to Forages. *Journal of Animal Science*, 26(1), 119-128.
- Vibart, R.E., Burns, J.C., y Fellner, V. (2010). Effect of replacing total mixed ration with pasture on ruminal fermentation. *Professional Animal Scientist*, 26(4), 435-442.
- Washburn, S.P., White, S.L., Green, Jr., J.T., y Benson, G.A. (2002). Reproduction, Mastitis, and Body Condition of Seasonally Calved Holstein and Jersey Cows in Confinement or Pasture Systems. *Journal of Dairy Science*, 85(1), 105-111.
- Weatherburn, M.W. (1967). Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analytical Chemistry*, 39(8), 971-974.
- Welch, J.G., y Smith, A.M. (1970). Forage Quality and Rumination Time in Cattle¹, 2. *Journal of Dairy Science*, 53(6), 797-800.
- Zellmer, C.C. (2021). *Effects of source and concentration of NDF from roughage on performance and carcass characteristics in finishing feedlot diets* (Tesis de Maestría). Facultad de la Universidad de Minnesota.
- Zinn, R.A., y Plascencia, A. (1996). Effect of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets. *Journal of Animal Science*, 74(6), 1194-1201.