

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE VETERINARIA**

**EFFECTO DEL SEGADO Y OREO DE ALFALFA SOBRE EL CONSUMO DE  
NUTRIENTES DIGESTIBLES, EL CONTENIDO DEL RUMEN Y LA TASA DE  
PASAJE DE LA DIGESTA EN VACAS SECAS.**

**Por**

**Matías ABRAHAM PIRIEVEIS**

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  
2024**

## PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por:

Presidente de mesa:



Ing. Agr., PhD., Alejandro Mendoza

Segundo miembro (Tutor):



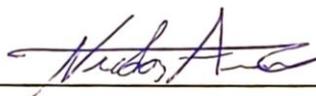
DMTV., PhD., Álvaro Santana

Tercer miembro:



DMTV., MSc. Maximiliano Pastorini

Cuarto miembro (Co-tutor):



DCV., Nicolás Amaro

Fecha:

20 de diciembre de 2024

Autores:



Bach. Matías Abraham

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer en primer lugar a mi familia que me acompañó durante toda la etapa de estudiante.

Un especial agradecimiento a mis compañeros de trabajo y unidad que han sido fuente inagotable de conocimiento y sobre todo el impulso, Analía, Alejandro, Camila, José, Juan, Jeny y Eduardo. También a todos los involucrados al trabajo de campo y tambo.

Al tutor, Álvaro Santana por las enseñanzas, la experiencia y dedicación en el proceso.

Al co-tutor, Nicolas Amaro por el tiempo dedicado y el apoyo constante.

## TABLA DE CONTENIDOS

PÁGINA DE APROBACIÓN	1
AGRADECIMIENTOS	2
1 RESUMEN	5
2 SUMMARY	6
3 INTRODUCCIÓN	7
4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
4.1 Sistemas de alimentación en sistemas de producción de leche intensivos y semi intensivos	8
4.2 Manejo de la pastura	9
4.3 Efecto del segado pre pastoreo y oreo de alfalfa sobre el consumo, contenido ruminal, tamaño de partículas, tasa de pasaje y digestibilidad de los nutrientes en vacas secas	10
5 HIPÓTESIS	13
6 OBJETIVOS	14
7 MATERIALES Y MÉTODOS	15
7.1 Diseño experimental, animales, dietas y tratamientos	15
7.2 Análisis químicos de los alimentos	18
7.3 Consumo	18
7.4 Contenido y tamaño de partículas del rumen	19
7.5 Tasa de pasaje	19
7.6 Digestibilidad aparente	20
7.7 Análisis estadístico	21
8 RESULTADOS	22
9 DISCUSIÓN	25
10 CONCLUSIONES	29
11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla 1</b> Composición química de la RPM (% de MS), la pastura (PAS), pastura fresca segada (SEG) y pastura oreada durante 24 h (ORE).....	17
<b>Tabla 2</b> Consumo de MS de cada alimento y el total expresados en kg/MS/día, de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE). .....	22
<b>Tabla 3</b> Contenido ruminal de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE).....	22
<b>Tabla 4</b> Tamaño de las partículas de forraje en el rumen de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE). Valores expresados como % de la MS total.....	23
<b>Tabla 5</b> Tasa de pasaje de las partículas de forraje por el tracto digestivo de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE). .....	24
<b>Tabla 6</b> Consumo y digestibilidad de los nutrientes de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE). .....	24
<b>Figura 1</b> Ingredientes de la ración totalmente mezclada (RTM) como % de MS. ....	16

## 1 RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de proporcionar forraje de alfalfa en pastoreo directo, segada o con 24 horas de oreo, sobre el contenido ruminal, la tasa de pasaje y el consumo de nutrientes digestibles en vacas secas. El experimento se llevó a cabo en el Departamento de Producción Animal y Salud de los Sistemas Productivos, en el Campo Experimental N° 2 (IPAV, Ruta 1, km 42.5, Departamento de San José, Uruguay). Utilizando un diseño de cuadrado latino 3x3, tres vacas lecheras secas, con cánula ruminal y  $682 \pm 18$  kg de peso vivo, que fueron asignadas a 3 tratamientos: pastura en pie (**PAS**), pastura segada (**SEG**) y pastura segada y oreada durante 24 horas (**ORE**). El experimento duró 57 días, divididos en tres períodos de 19 días cada uno. Las vacas tuvieron acceso a una parcela con una asignación de 18 kg de MS de alfalfa durante 17 horas al día y a una ración parcialmente mezclada (RPM) ofrecida al 30% de su consumo potencial durante 5 horas. La pastura se cortó 1 hora antes del ingreso de las vacas en SEG y 24 horas antes en ORE. Se determinó el consumo y digestibilidad de nutrientes, el contenido y tamaño de partículas del rumen, la tasa de pasaje utilizando fibra marcada con dicromato de sodio. El oreo duplicó la concentración de materia seca del forraje (de 21% a 40%). El segado con o sin oreo incrementaron la proporción de partículas grandes en el rumen ( $>4,75$  mm: 13,3, 33,9 y  $34,0 \pm 1,88$  %, PAS, SEG y ORE respectivamente). Sin embargo, no se encontraron diferencias entre tratamientos en el consumo de materia seca ( $14,6 \pm 1,07$  kg/d), en la tasa de pasaje ( $k_1 = 0,06 \pm 0,006$  h<sup>-1</sup>), ni en digestibilidad de nutrientes (materia seca, materia orgánica, nitrógeno, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido). En las condiciones de este experimento, el segado con o sin oreo del forraje no afectó el consumo de nutrientes y el contenido ruminal. El efecto sobre el tamaño de partículas del rumen no reflejó influencia sobre la tasa de pasaje o la digestibilidad. Se concluye que el segado con o sin oreo no afectó a los parámetros evaluados.

## 2 SUMMARY

The objective of the present work was to evaluate the effect of providing alfalfa forage in direct grazing, mowed or with 24 hours of airing, on rumen content, passage rate and digestible nutrient intake in dry cows. The experiment was carried out at the Department of Animal Production and Health of Production Systems, Experimental Field No. 2 (IPAV, Route 1, km 42.5, Department of San José, Uruguay). Using a 3x3 Latin square design, three dry dairy cows, with ruminal cannula and  $682 \pm 18$  kg live weight, were assigned to 3 treatments: standing pasture (PAS), mowed pasture (SEG) and mowed pasture and aired for 24 hours (ORE). The experiment lasted 57 days, divided into three periods of 19 days each. Cows had access to an allotment of 18 kg DM alfalfa for 17 hours per day and a partially mixed ration (PMR) offered at 30% of their potential intake for 5 hours. The pasture was cut 1 hour prior to cow entry in SEG and 24 hours prior in ORE. Nutrient intake and digestibility, rumen content and particle size, passage rate were determined using fiber labeled with sodium dichromate. ORE doubled the dry matter concentration of the forage (from 21% to 40%). Mowing with or without aeration increased the proportion of large particles in the rumen ( $>4.75$  mm: 13.3, 33.9 and  $34.0 \pm 1.88$  %, SBP, SEG and ORE, respectively). However, no differences were found between treatments in dry matter intake ( $14.6 \pm 1.07$  kg/d), passage rate ( $k_1 = 0.06 \pm 0.006$  h<sup>-1</sup>), and nutrient digestibility (dry matter, organic matter, nitrogen, neutral detergent fiber and acid detergent fiber). Under the conditions of this experiment, mowing with or without aeration of the forage did not affect nutrient intake and rumen content. The effect on rumen particle size reflected no influence on passage rate or digestibility. It is concluded that mowing with or without tedding did not affect the parameters evaluated.

### 3 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la producción de leche se espera alcance las 980 Mt en 2028, manteniendo una tasa de crecimiento del 1,7 % anual. En Uruguay durante las últimas dos décadas la lechería creció anualmente más del doble que el promedio mundial (a una tasa anual del 4,0%) y se espera que esta tendencia se mantenga durante la próxima década (OCDE-FAO, 2019).

El registro nacional de la División de Estadística Agropecuaria (DIEA) detalla que se utilizan para la producción lechera un total de 649 mil hectáreas, de las cuales el 63% son ocupadas por pasturas permanentes, campos mejorados y forrajeras anuales. El área que ocupa la producción láctea se redujo un 16% respecto a 2014, mantenido la producción de leche comercial entorno a los 2.20 millones de litros/año, lo que está directamente vinculado al aumento de la producción individual con 5.614 litros anuales/vaca masa, un 20% más respecto a 2014 (DIEA, 2023).

La industria láctea de Uruguay es netamente exportadora, por lo que los sistemas productivos lecheros tienen la necesidad de ser competitivos a un bajo costo relativo. Las pasturas, junto con la buena utilización y conversión de materia seca en leche tienen repercusión en el costo de producción (Chilibroste & Battezzore, 2014; Chilibroste, 2015, como se cita en Aguerre et al., 2017). Las pasturas son un componente importante de la dieta y contribuyen a reducir el costo de alimentación, principal componente del costo total de producción (Chilibroste et al.2005; Dillon, 2006).

La intensificación de los sistemas pastoriles resulta clave, pero mantener un bajo costo de producción es clave para la sustentabilidad de los sistemas pastoriles exportadores como la lechería uruguaya (Fariña et al., 2020). La estrategia de intensificación que ha presentado mejor resultado productivo y económico en los sistemas pastoriles exportadores a nivel internacional ha sido el incremento de la cosecha de forraje producido en el propio establecimiento (Stirling et al., 2021). En Uruguay se estima que del forraje producido (12 ton de MS/ha/año) la utilización mediante el pastoreo directo y la cosecha mecánica en los tambos uruguayos es menos de la mitad (5,3 ton de MS/ha) (Fariña et al., 2020).

Dos factores que limitan el consumo de materia seca (CMS) y de energía a partir de pastura o forraje fresco (FF) son las características de las fracciones fibrosas, fibra detergente neutro (FND) y fibra detergente ácido (FDA), y el elevado contenido de humedad (Bargo et al., 2002a; Kolver & Muller, 1998). Ambos factores pueden enlentecer la tasa de pasaje (Allen et al., 2019), aumentar la distensión del retículo – rumen y reducir la digestibilidad de los nutrientes (Allen, 1996; Allen, 2014).

En este contexto, el segado de la pastura y el oreo del forraje son prácticas que podrían contribuir a superar estas limitantes. Las mismas son utilizadas actualmente por los productores lecheros para evitar el meteorismo y realizar reservas forrajeras, pero no con el objetivo de aumentar la proporción de nutrientes aportados por el forraje.

## 4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Sistemas de alimentación en sistemas de producción de leche intensivos y semi intensivos

#### *Sistemas pastoriles*

Un sistema pastoril se define como un sistema de producción basado en el pastoreo de forrajes. Este tipo de sistema se caracteriza por ser una alternativa de bajo costo y alto valor nutritivo, lo que permite sostener niveles moderados de producción.

Las características climáticas y edáficas de Uruguay son favorables para el desarrollo de pasturas templadas, a base de leguminosas y gramíneas. Cuando son utilizadas en el estado fenológico adecuado son el alimento con menor costo por unidad de nutrientes (Chilibroste et al., 2005; Dillon, 2007). Las especies templadas, debido a que contienen menos lignina, mayor proporción de celulosa y menos hemicelulosa, tienen mayor valor nutritivo que las especies tropicales y subtropicales (Van Soest, 1994). Además de los beneficios económicos, los sistemas pastoriles promoverían un mayor bienestar de los animales, respecto a los sistemas en confinamiento (von Keyserlingk et al., 2009).

La principal desventaja de la alimentación con pasturas es que pueden limitar el consumo de MS y de energía, por lo que no permiten aprovechar todo el potencial genético de las vacas lecheras (Kolver y Muller 1998; Bargo et al., 2002a). Esto es debido a restricciones físicas (digestión y tránsito del material por el tracto digestivo), el tiempo requerido de rumia y, en ciertos casos, el alto contenido de agua de la pastura, lo que reduce significativamente la eficiencia de la cosecha de materia seca en cada bocado (Chilibroste et al., 2014; Dillon, 2006). Otros factores reportados que dificultan el consumo en pastoreo son el tiempo invertido en el desplazamiento de los animales, la búsqueda y recolección del alimento (NRC, 2001). Así como las dificultades que se presentan para mantener un flujo constante de nutrientes que se aportan a los animales a lo largo del tiempo, debido a variaciones temporales tanto en cantidad como calidad de la pastura (Powell et al., 2010).

La producción de pasturas sigue un ciclo estacional, con un pico máximo en primavera y un menor pico en otoño. No obstante, sistemas de alimentación que combinan pasturas con raciones parcialmente mezcladas (RPM), podrían maximizar la inclusión de pastura en la dieta sin reducir el consumo individual ni la productividad (Mendoza et al., 2011).

#### *Sistemas de ración totalmente mezclada*

Es un modo de alimentación en el cual los alimentos son brindados como una ración única incluyendo forraje y concentrados, mediante la cual se logran satisfacer todos los requerimientos del animal (Pastorini, 2016).

En sistemas donde la alimentación se realiza con RTM, es más fácil lograr una adecuada sincronización entre los nutrientes que son sustratos para la síntesis de proteína microbiana, comparado con sistemas de base pastoril donde la manipulación

de la composición nutricional de la pastura en pastoreo es más difícil (Hoekstra et al., 2007).

Esto facilita ofrecer una dieta con una relación forraje-concentrado adecuada aumentando el CMS y la producción, que como principales ventajas presenta una maximización del consumo individual, aporte balanceado de nutrientes, disminución de la selectividad (Gill, 1979; Coppock et al., 1981) y una menor incidencia de las variaciones climáticas (Mendoza et al., 2011). Por otra parte, como desventaja requiere una inversión de capital importante (Coppock et al., 1981). En cuanto al bienestar animal, estos sistemas han sido ampliamente cuestionados, no solo por el confinamiento que implican, sino también porque se ha reportado una mayor incidencia de mastitis y problemas podales desde el punto de vista sanitario (Charlton et al., 2011).

#### *Sistemas que combinan ración totalmente mezclada y pasturas*

Los sistemas de alimentación que consisten en ofertar RTM combinado con períodos de pastoreo en un mismo día (Bargo et al., 2002a) se denomina ración parcialmente mezclada (RPM). La ventaja de este sistema mixto es que controla la relación de nitrógeno y energía en la dieta (Coppock et al., 1981; Gill, 1979). Como desventaja de este sistema se observa que, a medida que aumenta la proporción de pastura en la dieta, resulta en una disminución en el CMS total en comparación con los animales que solo consumen RTM (Bargo et al., 2002b). Se ha descrito, en animales que consumen sólo RTM presentan 5% más producción de leche corregida por grasa al 4% en comparación a los animales que recibían aproximadamente un 30% de pastura como parte de la dieta (Vibart et al., 2008). Sin embargo, Morales et al. (2010) compararon el uso de una dieta de RTM con diferentes duraciones de acceso a una pastura de gramíneas y leguminosas; y concluyeron que a mayor tiempo de acceso a la pastura aumentaba el consumo de ésta y disminuía el de la RTM, sin que hubiese diferencias en el consumo total de materia seca (MS) entre los tratamientos.

## **4.2 Manejo de la pastura**

### *Segado*

El segado de una pastura es una técnica de manejo que consiste en cortar mecánicamente el área de pastoreo antes del ingreso de los animales a la parcela, mejorando la utilización de la pastura (Pollock, 2022). La disminución de la capacidad de selección entre diferentes plantas y partes de una misma planta es uno de los cambios más consistentes cuando se ofrece la pastura segada (Danelón et al., 2002; Mohammed et al., 2009). Como principal desventaja, aunque la eficiencia en la utilización del forraje aumenta, disminuye la rentabilidad económica debido a los mayores costos asociados al corte previo que no se compensan con ganancia por producción (Pollock, 2022).

### *Oreado de pastura*

El oreo del forraje segado implica la deshidratación de la planta por los efectos de ambiente que, dependiendo de las condiciones ambientales, responde a una curva de pérdida de humedad. Aunque la pérdida de agua en condiciones ambientales estables muestra un patrón uniforme, el período de secado puede dividirse convenientemente en tres fases, que difieren en duración, tasa de pérdida de agua y resistencia al secado (MacDonald & Clark, 1987). La primera fase de secado es rápida e implica una intensa pérdida de agua y la pérdida de agua puede alcanzar 1 g/g MS/hora en las primeras horas post segado (Lowell, 1995). Makoni et al. (1994) estudiaron las tasas iniciales de degradación in vitro de proteínas de alfalfa fresca, marchita por 24 h y de ensilajes, y reportaron que, la proteína de la alfalfa marchita tendió a degradarse más rápido que la proteína fresca, aludiendo a que la pérdida de organización celular durante el marchitamiento resulta en cambios que aumentan la degradación.

#### **4.3 Efecto del segado pre pastoreo y oreo de alfalfa sobre el consumo, contenido ruminal, tamaño de partículas, tasa de pasaje y digestibilidad de los nutrientes en vacas secas**

##### *Efecto del segado sobre el consumo, tamaño partículas, tasa de pasaje y digestibilidad*

Los principales factores que afectan el consumo voluntario incluyen el tamaño corporal, la producción de leche, la composición química y la forma física de la dieta, así como el tiempo de acceso al alimento (Broster & Swan, 1983). Limitar la capacidad de selección entre diferentes plantas y partes de una misma planta es uno de los cambios más consistentes cuando se ofrece la pastura segada (Danelón et al., 2002; Mohammed et al., 2009). Mohammed et al. (2009) reportaron que en vacas Holstein en lactación no hubo diferencia entre la pastura ofrecida como pastoreo directo y la misma ofrecida segada para el consumo de materia seca, frente a lo reportado por Dohme-Meier et al. (2014), quienes registraron un aumento del consumo cuando se ofreció segada frente al pastoreo (18,9 kg MS/vaca/día vs 16,8 kg MS/vaca/día, respectivamente). Los datos relevados para vacas secas son escasos, Oshita et al. (2008), no observaron diferencias en la ingesta de MS en vacas secas que tenían acceso a pastoreo y las que se les administraba *ad libitum* previamente cosechado.

Waghorn et al. (1989) reportaron diferencias en el tamaño y distribución del tamaño de partículas durante el día, en vacas cruzas Holstein x Jersey con cánula ruminal alimentadas con raigrás o alfalfa segadas y administrados frescos, encontrando que las vacas alimentadas con raigrás tenían una mayor proporción de MS retenida en los tamices de 4 mm y 2 mm (323-511 g/kg de materia seca) en comparación con las vacas alimentadas con alfalfa, que tenían entre 201-389 g/kg de materia seca retenida. Chilibroste et al. (2005) comparando varios autores, plantean que el contenido ruminal expresado en % de MS, tiene un máximo de 12% independientemente del % MS del alimento.

La tasa de pasaje se define como el tiempo que tarda el alimento no digerido en pasar por determinado punto del tracto digestivo, involucrando la velocidad y el caudal de la digesta. Este proceso es dinámico y depende de múltiples factores del alimento y del animal, que interactúan entre sí (Lechner-Doll et al., 1991). Factores físicos como el tamaño y la gravedad específica de las partículas son cruciales, aunque no determinantes, ya que muchas partículas retenidas en el rumen son más pequeñas que el tamaño máximo de las partículas en las heces (Allen, 1996). Generalmente, la tasa de pasaje se correlaciona directamente con el CMS y el tiempo de vaciado del rumen, e inversamente con la extensión de la degradación del alimento en el rumen (Allen, 1996). Al incrementarse la tasa de pasaje y disminuir la degradabilidad ruminal, la digestión de las fracciones fibrosas puede desplazarse hacia segmentos posteriores del tracto digestivo, lo cual puede ser relevante para compensar la digestibilidad total del alimento (Zebeli et al., 2007). Okine y Mathison (1991), observaron que el cambio de la distribución del tamaño de partículas no altera la actividad masticatoria y a la tasa de paso por retículo-rumen ( $k_1$ ).

Asimismo, ofrecer el alimento segado incrementa el tamaño de las partículas que el animal ingiere, que a su vez está determinado por el desarrollo y el tipo de pastura que se utiliza. Utilizando achicoria, raigrás o alfalfa como forraje, tanto raigrás como alfalfa tienen mayor desarrollo vertical y tuvieron un mayor tamaño de partículas mayores a 4 mm, pero la achicoria tuvo una mayor proporción de partículas menores a 2 mm evaluados en el bolo pos ingestión (Minnee et al., 2018).

En un estudio realizado por Holden et al. (1994) comparando forraje fresco, heno y ensilaje de pasturas similares, utilizando vacas secas canuladas con igual CMS, reportó que la digestibilidad aparente y el pasaje del líquido ruminal fueron mayores para el tratamiento en pastoreo directo, pero la tasa de pasaje de MS hacia duodeno fue menor para el tratamiento de pastoreo directo.

#### *Efecto del oreo sobre el consumo, digestibilidad, tamaño partículas y tasa de pasaje*

El estudio de Danelón et al. (2002) en vacas alimentadas con alfalfa oreada (35-40% de MS) mostró un incremento del CMS en un 24,6% en comparación con el pastoreo directo. Irvine et al. (2010) indicaron que, en su caso, la disminución del CMS de raigrás cuando fue ofrecido oreado, está influenciado por la contaminación del forraje con suelo que es removido por la segadora en terrenos ondulados y hace que los animales rechacen este alimento, tratando de acceder al FF más allá de la franja delimitada para el consumo diario, sumado a la disminución de la digestibilidad del forraje oreado por 12 a 24 h con 35 % MS.

El forraje oreado incrementa la proporción de componentes del alimento como FND, FDA y proteína soluble, pero disminuye la digestibilidad in vitro de la materia seca (MS) y FND en comparación con el pastoreo directo (Repetto et al., 2003; Wilkinson et al., 2003).

Otro efecto del oreo sobre la concentración de FND en el forraje determina que la fibra sea retenida más tiempo en rumen, lo que disminuye la tasa de pasaje (Allen et al., 2019).

El proceso de oreo provoca una pérdida de organización celular en el forraje, resultando en cambios que aumentan la degradación de la proteína (Makoni et al., 1994). Sin embargo, no se encontraron menciones específicas sobre la tasa de pasaje relacionada con el oreo en estudios.

## **5 HIPÓTESIS**

En comparación con el pastoreo directo, suministrar forraje de alfalfa segado (fresco u oreado) disminuirá la tasa de pasaje debido al mayor tamaño de las partículas en el rumen. Además, el oreo aumentará el consumo de nutrientes digestibles al incrementar la concentración de materia seca y, por ende, la densidad de nutrientes, compensando la reducción en la digestibilidad en comparación con el pastoreo directo y el forraje fresco segado.

## 6 OBJETIVOS

### Objetivo general:

Evaluar el efecto de proporcionar forraje de alfalfa en pastoreo directo, segada sin oreo o con 24 h de oreo, sobre el contenido ruminal, la tasa de pasaje y el consumo de nutrientes digestibles en vacas secas.

### Objetivos específicos:

En vacas secas alimentadas con una RTM asignada al 30% de su consumo *ad libitum* y 17 h de acceso a una parcela de alfalfa con una asignación de 18 kg MS/d, evaluar los efectos de suministrar la alfalfa en pastoreo directo, segada sin oreo, o con 24 h de oreo, sobre:

- a) el consumo de nutrientes
- b) el contenido sólido y líquido en el rumen
- c) el tamaño de las partículas del rumen
- d) la tasa de pasaje de forraje por el tracto digestivo
- e) la digestibilidad aparente de los nutrientes.

## 7 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó durante los meses de octubre a diciembre de 2018 en el Departamento de Producción Animal y Salud de los Sistemas Productivos ubicado en el Campo Experimental N° 2 (IPAV, Ruta 1, km 42.5, Departamento de San José, Uruguay, 34° S y 55° O), Facultad de Veterinaria, Universidad de la República. Todos los procedimientos con animales se efectuaron de acuerdo a las pautas establecidas por la Comisión de Ética en el Uso de Animales (CEUA) de la Facultad de Veterinaria (Protocolo CEUAFVET - 743/18).

Los análisis realizados en las instalaciones y laboratorio del Departamentos de Producción animal y Salud de los Sistemas Productivos fueron la composición química de la dieta, consumo y digestibilidad de nutrientes y el contenido y tamaño de partículas del rumen. La concentración de cromo en las heces para analizar la tasa de pasaje se realizó en el Laboratorio de Bromatología y Nutrición de Rumiantes (LABRUMEN) de la Universidad Federal de Santa María (UFSM; Santa María, Río Grande do Sul, Brasil).

### 7.1 Diseño experimental, animales, dietas y tratamientos

Tres vacas lecheras no lactantes, canuladas en rumen (Ankom Technology Corporation, Macedon, NY), con  $682 \pm 18$  kg de peso vivo (PV) al inicio del experimento, fueron asignadas a una secuencia de tres tratamientos alimenticios de acuerdo con un diseño experimental de cuadrado latino de  $3 \times 3$ .

Los tratamientos fueron: 1) la pastura en pie (**PAS**): alfalfa y 30 % de su consumo potencial se suministró como RPM; 2) la pastura segada (**SEG**): el mismo régimen alimenticio, pero la pastura se ofreció cortada previamente al pastoreo; y 3) la pastura segada y oreada (**ORE**): el mismo régimen alimenticio, donde la pastura se cortó y oreó durante 24h.

La duración del experimento fue de 57 días en total, dividido en tres períodos de 19 días cada uno, que comprendían 12 días para adaptación a las dietas y luego 7 días de mediciones. Los datos meteorológicos fueron recabados del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, registrando temperaturas medias en los períodos 1, 2 y 3 de 18,8, 17,9 y 17,8 °C, respectivamente. Las temperaturas extremas para los periodos uno, dos y tres respectivamente fueron, las máximas 21.7, 24.8, 23.5 °C y las mínimas 11.3, 12.9, 13.8 °C.

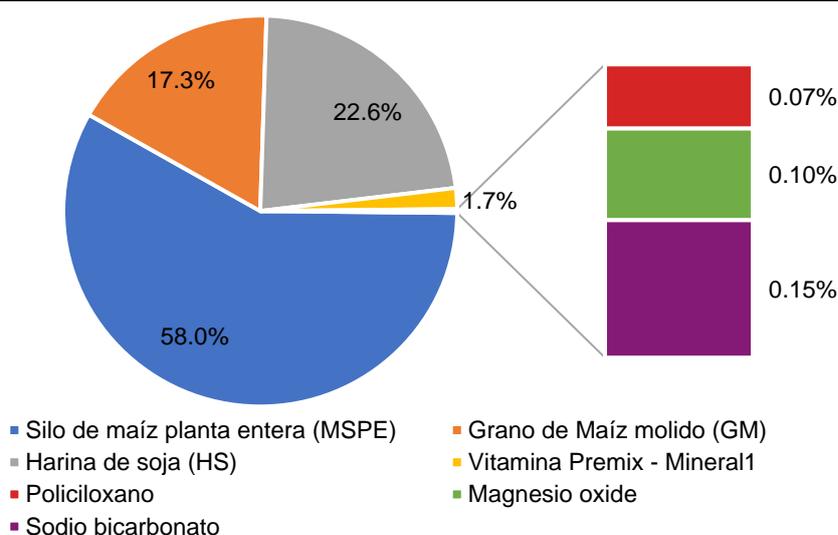
Simulando la rutina de alimentación de vacas en lactancia, para todos los tratamientos consistió 17 h de acceso a una parcela de alfalfa, más 5 h en un corral con acceso a una RPM (ofrecida al 30 % del consumo *ad libitum*) y dos veces por día (7:00 y 17:00 h) las vacas fueron retiradas de la parcela por 15 minutos y recorrieron una distancia máxima de 600 m. Las vacas tuvieron acceso *ad libitum* al agua fresca en todo momento

Diariamente, a las 17:00 h, las vacas ingresaron a una nueva parcela individual, donde permanecieron 17 h hasta las 12:00 h del día siguiente. Las parcelas individuales se

delimitaron con cerca eléctrica y el área de cada parcela se ajustó, para ofrecer 18 kg/d de MS de pastura por encima de 5 cm del suelo, como se detalla más adelante en la sección “7.3 Consumo”. La pastura se cortó previo al ingreso de los animales a la parcela, 1 h en SEG o 24 h en ORE, con una segadora de tambores (Minos Agricultural Machinery, T-TCBM 1650, Turquía) a 5 cm del suelo. Durante todo el experimento se procuró que en el forraje ofrecido las plantas de alfalfa tuvieran un desarrollo menor a 8 nudos de crecimiento. La disponibilidad y composición botánica de la pastura se determinaron el día previo al inicio de cada período en 0,6 m<sup>2</sup> (3 cuadrados de 0,2 m<sup>2</sup>) en cada período. En promedio para los tres períodos la pastura presentó una disponibilidad de 1776 ± 912 kg MS/ha y estuvo compuesta por 76,8% (± 0,7%) de alfalfa (*Medicago Sativa*, cv. Crioula), 9,2% (± 2,1%) de *Trifolium pratense*, 5,2% (± 2,6%) de gramíneas spp., 2,8% (± 0,1%) de malezas de hoja ancha y 4,6% (± 1,1%) de material muerto.

De 12:00 a 17:00 h las vacas permanecieron en bretes individuales, donde tuvieron acceso a RPM y sin acceso al forraje de alfalfa o pastoreo. A cada vaca se asignó una cantidad de RPM equivalente al 30% de su CMS potencial *ad libitum* de la misma ración ofrecida como RTM. El consumo potencial fue determinado individualmente 10 d antes de iniciar el experimento, ofreciendo cantidades crecientes hasta obtener rechazos mayores al 5% por 6 d consecutivos. La RPM se formuló según las directrices nutricionales del NRC (2001) para cubrir los requerimientos de una vaca de 650 kg de peso vivo, produciendo 28 kg de leche por día. La participación porcentual de cada uno de los insumos utilizados en la RTM se presenta en la [Figura 1](#). Los ingredientes de la ración totalmente mezclada (RTM) como % de MS, la composición química de la RPM (% de MS), la pastura (PAS), el forraje fresco segado (SEG) y el forraje oreado durante 24 h (ORE) se muestran en la [Tabla 1](#).

**Figura 1** Ingredientes de la ración totalmente mezclada (RTM) como % de MS.



<sup>1</sup> Vitamina Premix – Mineral aporta (por kg de MS): 0,85 g Cu; 2,6 g Zn; 0,9 g Se; 1,0 g manganeso; 23 mg I; 3 mg Co; 63.700 UI vitamina A; 12.700 UI de vitamina D; 250 UI de vitamina E.

**Tabla 1** Composición química de la RPM (% de MS), la pastura (PAS), pastura fresca segada (SEG) y pastura oreada durante 24 h (ORE).

Ítem	RPM	Alfalfa			MSPE	GM	HS
		PAS	SEG	ORE			
MS, (% MF)	43,2 ± 2,9	21,0 ± 1,1	21,1 ± 0,7	40,2 ± 9,8	26,7 ± 0,4	86,3 ± 0,2	88,2 ± 0,4
Nutrientes (% MS)							
MO	91,1 ± 0,3	87,7 ± 0,9	87,8 ± 0,5	88,3 ± 2,7	94,5 ± 0,0	98,6 ± 0,1	93,1 ± 0,4
FDN	32,6 ± 2,8	32,2 ± 3,6	31,7 ± 3,3	27,8 ± 1,0	60,0 ± 1,2	14,8 ± 0,4	12,6 ± 0,2
FDA	15,7 ± 0,3	22,1 ± 1,7	23,3 ± 1,8	21,8 ± 0,7	30,5 ± 0,8	2,8 ± 0,1	8,3 ± 0,1
CNF	38,6 ± 1,4	32,5 ± 1,2	32,7 ± 1,1	36,8 ± 1,7	25,2 ± 0,5	73 ± 0,7	33,5 ± 0,9
Extracto etéreo	1,4 ± 0,3	1,6 ± 0,2	1,8 ± 0,3	2,1 ± 0,8	-	3,4 ± 0,1	1,3 ± 0,1
CHS	-	9,6 ± 1,1	9,6 ± 1,1	8,2 ± 1,1	-	-	-
PC	18,4 ± 1,3	21,4 ± 0,5	21,6 ± 0,3	21,4 ± 1,1	7,3 ± 0,1	7,3 ± 0,3	45,8 ± 0,2
NIDN	4,1 ± 1,0	16,1 ± 0,8	16,3 ± 1,2	13,1 ± 1,2	2,0 ± 0,2	7,4 ± 0,03	7,1 ± 1,0
NIDA	8,0 ± 2,1	7,6 ± 1,3	7,1 ± 1,2	7,3 ± 1,3	1,8 ± 0,4	14,1 ± 1,0	16,2 ± 1,2

*MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; FND: Fibra neutro detergente; FDA: Fibra ácido detergente; CNF: Carbohidratos no fibrosos = 100 – (% FDN + % PC + % extracto etéreo + % ceniza); CHS: Carbohidratos solubles en agua; PC: Proteína cruda; NDIN: Nitrógeno insoluble en detergente neutro; NIDA: Nitrógeno insoluble en detergente ácido; ENL: Energía neta de lactación.*

*MSPE: Maíz silo planta entera; GM: Grano de maíz; HS: harina de soja.*

## 7.2 Análisis químicos de los alimentos

Las muestras de alimento (oferta y rechazo) de RPM y alfalfa fueron secadas en estufa a 60°C y se molieron a 1 mm en Molino Wiley (Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, EEUU). Se analizó el contenido de MS, cenizas y extracto etéreo (EE) (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 1990). El contenido de materia orgánica (MO) se estimó como la diferencia entre el contenido de MS y ceniza. La concentración de N total se determinó con el método Kjeldahl (AOAC, 1990) y el contenido de PC estimado como  $N \times 6,25$ . El nitrógeno insoluble en detergente neutro (NDIN) y el nitrógeno insoluble en detergente ácido (ADIN) se determinaron según Licitra et al. (1996). Las concentraciones de fibra detergente neutro (FDN) se analizaron con  $\alpha$ -amilasa termoestable y sulfito de sodio y la fibra detergente ácido (FDA) según Van Soest et al. (1991), los valores presentados no incluyen cenizas residuales. La concentración de CNF se calculó como:  $100 - (\% \text{ FDN} + \% \text{ PC} + \% \text{ EE} + \% \text{ ceniza})$  (NRC, 2001). Los carbohidratos solubles en agua (CHS) fueron extraídos siguiendo el procedimiento sugerido por Thomas (1977) y medidos de acuerdo al método propuesto por Yemm y Willis (1954).

## 7.3 Consumo

El consumo diario de RPM y alfalfa se determinó para cada vaca-parcela, del día 13 al día 17 de cada período. El consumo de RPM se calculó por la diferencia entre los kg ofrecidos y los rechazados. Los rechazos de RPM se recogieron entre 10:45 h y 11:00 h diariamente, del día 14 al 18 de cada período. El consumo de alfalfa se estimó por diferencia entre la masa de forraje previo al ingreso y posterior a la salida de la vaca de cada parcela. Los cortes para determinar la masa de forraje y la toma de muestras se realizaron todos a 5 cm del suelo con una segadora (Toro CNB94, Toro Company). Diariamente se ajustó el área de cada parcela para que la masa de forraje previo al ingreso fuera de 18 kg MS por parcela. Entre 9:30 h y 10:30 h se cortó, colectó y pesó el forraje en 5 % del área de cada parcela, y se utilizó el % de MS del día anterior para calcular el área necesaria en cada parcela. La masa de forraje posterior a la salida de las vacas se determinó pesando el total del forraje remanente en cada parcela, entre 12:00 h y 13:30 h. En el tratamiento PAS se cortó, colectó y pesó el forraje de toda el área en cada parcela. En los tratamientos SEG y ORE se colectó y pesó el forraje remanente en cada parcela. Las heces se retiraron manualmente antes de coleccionar el forraje remanente.

El consumo de MS, MO, N, FDN, FDA, EE y CNF se calcularon utilizando los datos de composición química del forraje previo al pastoreo, el forraje posterior al pastoreo y la RPM. Se tomaron muestras de 500 g aproximadamente para realizar análisis de composición química diariamente para cada vaca-parcela, de la oferta de alfalfa inmediatamente antes del ingreso de las vacas a la parcela (17:00 h) y de la oferta de RPM inmediatamente después de suministrarla (12:00 h) directamente de cada comedero. Las muestras de rechazo de RPM se colectaron a las 11:00 h antes del ingreso de los animales a los comederos y las muestras de alfalfa remanente se

tomaron entre las 12:00 y 13:30 h del total colectado. Todas las muestras se conservaron a -20°C para su posterior análisis.

#### **7.4 Contenido y tamaño de partículas del rumen**

El día 19 de cada período a las 21:00 h se realizó el vaciado total del contenido ruminal simultáneamente a las tres vacas secas. La fracción sólida fue evacuada manualmente del rumen y la fracción líquida se extrajo en su totalidad con un recipiente plástico. El contenido obtenido se filtró con paños de quesería para separar las partículas sólidas del líquido. Cada fracción fue pesada, homogeneizada para tomar una muestra de la fracción sólida (2,0 kg) y líquida (1,5 L) por separado. Se reconstituyó mezclando las fracciones para tomar una muestra final de 2 kg. Concluido el procedimiento se reintrodujo el contenido ruminal a cada animal. Las muestras se mantuvieron congeladas a -20°C. Una submuestra se descongeló a temperatura ambiente, fue secada a 60°C y utilizada para analizarse MO, FDN y FDA.

Otra submuestra de la fracción sólida se utilizó para determinar el tamaño de partículas en el rumen por tamizado húmedo siguiendo la técnica descrita por Waghorn et al. (1986) con modificaciones. Detallando la técnica, en un 1 L de agua se remojó 50,0 g de la fracción sólida y se agitó para deshacer grumos. La solución se tamizó durante 10 min, con un flujo de agua de 10 L/min, repitiéndose el procedimiento tres veces durante 5 min cada vez. Se utilizaron ocho tamices de malla de alambre (90 mm de diámetro) con orificios cuadrados de tamaños de apertura de 13,20; 9,50; 4,75; 3,35; 2,63; 1,18; 0,60; y 0,15 mm de lado, dispuestos verticalmente en orden descendente del mayor al menor tamaño de apertura. Se recuperó el material retenido en cada tamiz en papel de filtro y se secó a 100°C durante 24 h para determinar MS total. Se clasificó el material retenido como “partículas grandes” mayores a 4,75 mm, “medianas” entre 4,75 y 1,18 mm y menores a 1,18 mm “pequeñas”. La materia seca retenida se expresó como porcentaje de MS total. La cantidad de material no retenido en los tamices se estimó por diferencia del peso húmedo del total de la toma de ensayo y la suma de las partículas retenidas, la diferencia se expresa como “fracción soluble”.

#### **7.5 Tasa de pasaje**

La tasa de pasaje de las partículas se estimó usando fibra marcada con dicromato de sodio ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) como mordente. La fibra marcada se preparó con heno de alfalfa según lo sugerido por Udén et al. (1980), resultando en un material con 4,6% de Cr (base seca). La dieta no aportó Cr adicional. En el día 15 de cada período, a las 8:00 h, a cada animal se le administró 150 g de fibra marcada vía oral en una única dosis, y se tomaron muestras de heces directamente del recto a las 0, 6, 9, 13, 21, 34, 48, 50, 62, 74 y 98 h luego de la dosificación del marcador. Las muestras de heces fueron congeladas a -20°C hasta su análisis. Se descongelaron a temperatura ambiente y se secaron en estufa a 60°C para ser molidas a 1 mm en un Molino Wiley y (Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, EEUU). Luego 1 g de cada muestra por duplicado se quemaron en una mufla a 600°C por 3 h. Las cenizas se trataron con una solución de 5 ml de solución de molibdato de sodio (10 g), ácido sulfúrico ppa (150 ml), ácido

perclórico al 70 % (200 ml) y agua destilada (150 mL), para solubilizar el óxido de cromo en digestor a 200°C por 2 h o hasta que vire a color amarillo anaranjado. Tras el proceso de digestión, la muestra se filtró y diluyó en un matraz aforado de 50 mL. La concentración de cromo en la solución se determinó con un espectrofotómetro de absorción atómica (Thermo Scientific™ iCE™ 3000), a 360 nm de absorbancia y usando agua destilada como blanco, según el método de Williams et al. (1962). Las curvas individuales de excreción de Cr se ajustaron a un modelo bi compartimental propuesto por Grovum y William, (1973):

$$Y = A e^{(-k_1(t-TT))} - A e^{(-k_2(t-TT))}$$

donde Y (mg/kg MS) es la concentración del marcador en heces al tiempo t; A es un parámetro de escala; TT (h) es el tiempo calculado para la primera aparición del marcador en las heces; k1 (h<sup>-1</sup>) es la tasa de pasaje del retículo-rumen; k2 (h<sup>-1</sup>) es la tasa de pasaje por el resto del tracto gastrointestinal; El tiempo medio de retención en retículo-rumen (TMRR) y el tiempo medio de retención en el tracto posterior (TMRP) fueron calculados como 1/k1 y 1/k2, respectivamente. El tiempo medio de retención total (TMRT) fue calculado como TMRT = TMRR + TMRP + TT (Colucci et al., 1990).

## 7.6 Digestibilidad aparente

La digestibilidad aparente de los alimentos se estimó según Huhtanen et al. (1994) usando el resultado de FDN indigestible (**FDNi**) como marcador interno. En los días 14 y 15 de cada período, se recolectaron diariamente muestras de materia fecal extraídas del recto de cada animal, a las 4:00 y 16:00 h, aproximadamente 6 h antes y después de la principal sesión de alimentación. La muestra obtenida se mantuvo congelada a -20°C hasta su procesamiento. Posteriormente, las muestras se descongelaron a temperatura ambiente, para ser secadas en estufa de aire forzado a 60°C durante 72 h y luego se molieron a través de un tamiz de 2mm. Se formaron pools de muestras por vaca y período. Se determinó FDNi de las muestras de RTM y de pastura de alfalfa (oferta y rechazo). De cada muestra se colocaron 6 g en bolsas de nilón de 22 x 10,5 cm (Ankom Technology Corporation, Macedon, NY) con una relación de entre la muestra y área 13 mg/cm<sup>2</sup> con tamaño de poro de 50 μ. Las bolsas fueron incubadas durante 288 h en el rumen de 2 vacas secas alimentadas siguiendo las recomendaciones del Nordic Feed Evaluation System (Norfor, 2007a) con una dieta conformada (base MS) por heno de gramínea (67 %), harina de soja (24,7 %) grano de maíz molido seco (8,3 %), y un núcleo de minerales y vitaminas. Terminado el tiempo de incubación, las bolsas fueron retiradas y enjuagadas con agua corriente por 15 minutos para posteriormente secarse en estufa a 60°C. Luego del secado, se pesaron y con el contenido se realizó la determinación de FDN según Van Soest et al. (1991). La excreción de heces de cada animal se estimó dividiendo el consumo diario de FDNi indigestible y su concentración en las heces. Los porcentajes de digestibilidad aparente de la MS y MO, N, FDN y FDA en todo el tracto digestivo se calcularon como: % Digestibilidad = [(consumo (g/día) – excreción fecal (g/día)]/consumo (g/día) x 100.

## 7.7 Análisis estadístico

Todos los datos se analizaron utilizando el software SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc.). Inicialmente, los datos se analizaron en busca de valores atípicos y la normalidad de los residuos se verificó utilizando procedimientos univariados (PROC UNIVARIATE). Los datos de consumo, contenido ruminal, tamaño de partículas en el rumen, tasa de pasaje de la digesta y digestibilidad de nutrientes se analizaron utilizando el procedimiento PROC MIXED con el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_j(S_i) + P_k + T_l + e_{ijkl},$$

donde  $Y_{ijkl}$  es la variable dependiente,  $\mu$  es la media general,  $S_i$  es el efecto aleatorio del cuadrado ( $i = 1$  a  $3$ ),  $C_j(S_i)$  es el efecto aleatorio de las vacas anidadas dentro del cuadrado ( $j = 1$  a  $3$ ),  $P_k$  es el efecto aleatorio del período ( $k = 1$  a  $3$ ),  $T_l$  es el efecto fijo del tratamiento ( $l = \text{PAS, ORE o SEG}$ ) y  $e_{ijkl}$  es el error residual. Las medias se compararon con una prueba de Tukey, y se declararon diferencias significativas con  $P \leq 0,05$ , y se consideraron tendencias en  $0,05 < P \leq 0,10$ .

## 8 RESULTADOS

En la [Tabla 2](#) se presentan los resultados obtenidos de consumo de alfalfa, RPM y el CMS total para cada tratamiento expresados en kg de MS/d. No se observaron diferencias de consumo entre tratamientos para el consumo de alfalfa y RPM. Aunque no se observaron diferencias entre los tratamientos, aunque numéricamente el consumo de alfalfa en el tratamiento ORE fue 2 kg/MS/día mayor que en PAS; y 0,6 kg/MS/día entre SEG y ORE, siendo mayor ORE. No se observaron diferencias en el consumo total de MS entre los tratamientos.

**Tabla 2** Consumo de MS de cada alimento y el total expresados en kg/MS/día, de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE).

Ítem	Tratamiento			EEM <sup>1</sup>	Valor de P Tratamiento
	PAS	SEG	ORE		
Consumo, kg MS/d					
Alfalfa	9,1	10,5	11,1	0,98	0,424
RPM	4,3	4,4	4,4	0,24	0,537
Total	13,4	15,1	15,3	1,07	0,489
Alfalfa del total MS, %	67,7	69,8	72,7	3,62	0,312

<sup>1</sup>Error estándar de la media

En la [Tabla 3](#) se presentan los resultados de contenido ruminal y el tamaño de las partículas ruminales para las vacas secas en los distintos tratamientos. El contenido ruminal no presentó diferencias entre los tratamientos.

**Tabla 3** Contenido ruminal de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE).

Ítem	Tratamiento			EEM <sup>1</sup>	Valor de P
	PAS	SEG	ORE		
<i>Contenido ruminal</i>					
<i>kg MF</i>					
Sólido	45,8	40,2	37,3	9,91	0,796
Líquido	33,7	43,0	32,2	9,76	0,564
Total	79,5	83,2	69,7	16,72	0,719
<i>% MS</i>					
Sólido	22,4	22,3	22,5	0,75	0,982
Líquido	6,1	6,0	6,1	0,29	0,928
Reconstituido	11,9	12,7	11,4	0,50	0,366
<i>kg MS</i>					
Sólido	10,7	8,9	8,0	2,14	0,551
Líquido	2,0	2,5	2,0	0,63	0,642
Total	12,7	11,4	10,1	2,50	0,661

<sup>1</sup> Error estándar de la media

En la [Tabla 4](#) se presentan los resultados de tamaño de las partículas de forraje en el rumen de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa en tres presentaciones distintas según el tratamiento. El tamaño de partículas ruminales presentó diferencias en el acumulado siendo mayores para los tratamientos SEG y ORE en tamaños mayores a 4,75 mm. Para tamaños de las partículas 4,75 a 1,18 mm tuvo diferencias resultado mayor para el tratamiento PAS, siendo menores y sin diferencias los resultados para los tratamientos SEG y ORE. Para el acumulado en tamaño menor < 1,18 mm no se obtuvieron diferencias.

Los resultados obtenidos de tamaño de partículas por criba tuvieron diferencias siendo menores los resultados para el tratamiento PAS en los tamaños > 13,50 mm y tamaños entre 9,50 a 13,50 mm respecto a SEG y ORE. En tamaños de partículas entre 4,75 a 9,50 mm se obtuvo una tendencia hacia que el tratamiento PAS a tener un mayor % de MS respecto a los tratamientos SEG y ORE. Para tamaños de partículas de 3,35 a 4,75 mm y 2,36 a 3,35 mm el tratamiento PAS presentó diferencias respecto a los tratamientos SEG y ORE, obteniendo mayores % de MS. En tamaños de partículas menores a 2,36 mm no se presentaron diferencias entre los tratamientos.

**Tabla 4** Tamaño de las partículas de forraje en el rumen de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE). Valores expresados como % de la MS total

Tamaño de poro de la criba, mm	Tratamiento			EEM <sup>1</sup>	Valor de P
	PAS	SEG	ORE		
<i>Acumulado,</i>					
> 4,75	13,3 <sup>b</sup>	33,9 <sup>a</sup>	34,0 <sup>a</sup>	1,88	0,011
4,75 a 1,18	74,8 <sup>a</sup>	57,0 <sup>b</sup>	57,1 <sup>b</sup>	1,72	0,027
< 1,18	11,9	9,0	8,9	1,18	0,109
<i>Por criba, mm</i>					
> 13,50	3,8 <sup>b</sup>	17,5 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	0,98	0,006
9,50 a 13,50	9,5 <sup>b</sup>	16,5 <sup>a</sup>	17,2 <sup>a</sup>	0,95	0,018
4,75 a 9,50	24,0 <sup>x</sup>	21,4 <sup>y</sup>	20,9 <sup>y</sup>	1,32	0,053
3,35 a 4,75	19,5 <sup>a</sup>	11,2 <sup>b</sup>	11,4 <sup>b</sup>	0,74	0,023
2,36 a 3,35	16,4 <sup>a</sup>	10,8 <sup>b</sup>	10,9 <sup>b</sup>	0,62	0,036
1,18 a 2,36	14,9	13,6	13,9	1,41	0,810
0,60 a 1,18	6,9	5,7	5,0	0,93	0,436
0,15 a 0,06	5,0	3,3	3,8	1,03	0,456

<sup>a b</sup> Dentro de una fila, medias con distintas letras difieren ( $P \leq 0,05$ ).

<sup>x y</sup> Dentro de una fila, las medias con diferentes superíndices son diferentes ( $P < 0,10$ ).

<sup>1</sup> Error estándar de la media

En la [Tabla 5](#) se presentan los resultados de tasa de pasaje de las partículas de forraje por el tracto digestivo. No se observaron diferencias entre los tratamientos tanto para la tasa de pasaje de retículo-rumen, como para el resto del tracto digestivo.

**Tabla 5** Tasa de pasaje de las partículas de forraje por el tracto digestivo de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE).

Ítem	Tratamiento			EEM <sup>1</sup>	Valor de P
	PAS	SEG	ORE		
Tasa de pasaje <sup>2</sup>					
k1, h <sup>-1</sup>	0,06	0,06	0,06	0,006	0,623
k2, h <sup>-1</sup>	0,07 <sup>y</sup>	0,09 <sup>x</sup>	0,09 <sup>x</sup>	0,014	0,092
TT, h	11,3	8,1	11,7	2,87	0,654
TMRR, h	18,4	18,4	17,0	1,70	0,753
TMRP, h	14,5	10,2	12,3	2,02	0,160
TMRT, h	44,1	38,1	39,6	3,42	0,541

<sup>x,y</sup> Dentro de una fila, las medias con diferentes superíndices son diferentes ( $P < 0.10$ ).

<sup>1</sup> Error estándar de la media

<sup>2</sup> k1 es la tasa de pasaje por retículo-rumen; k2 tasa de pasaje del resto del tracto digestivo; TT = tiempo calculado para la primera aparición en heces; TMRR = tiempo medio de retención en el retículo-rumen; TMRP = tiempo medio de retención en el tracto posterior; TMRT = tiempo medio de retención total.

En la [Tabla 6](#) se presentan el consumo de diario de MO, N, FDN y FDA y la digestibilidad aparente de los nutrientes. No se observaron diferencias en el consumo de nutrientes entre los tratamientos, ni en la digestibilidad aparente de los nutrientes.

**Tabla 6** Consumo y digestibilidad de los nutrientes de vacas secas alimentadas con una RPM (30% del consumo potencial) y Alfalfa para los tratamientos pastoreo directo (PAS), pastura segada (SEG) y pastura oreada (ORE).

Ítem	Tratamiento			EEM <sup>1</sup>	Valor de P
	PAS	SEG	ORE		
Consumo de nutrientes, kg/d					
MO	12,0	13,5	13,5	0,98	0,509
N	0,5	0,6	0,6	0,41	0,454
FDN	5,7	6,2	6,4	0,52	0,476
FDA	3,0	3,3	3,3	0,21	0,458
EE	2,0	2,7	3,0	0,06	0,142
CNF	4,6	5,3	5,7	0,366	0,280
Digestibilidad, %					
MS	54,8	49,5	57,6	4,72	0,291
MO	59,0	54,5	61,6	3,94	0,197
N	73,5	72,8	75,6	3,33	0,704
FDN	50,8	43,8	50,5	5,10	0,293
FDA	42,5	30,2	37,9	6,10	0,340

<sup>1</sup> Error estándar de la media

## 9 DISCUSIÓN

En los tres tratamientos las vacas llegaron al potencial de CMS (14,6 kg MS/d, promedio) que se estableció previo al inicio del experimento. Para los tratamientos PAS y SEG, el CMS total alcanzado llegó a satisfacer los requerimientos y el contenido de humedad del FF no fue limitante. El CMS de alfalfa en los tres tratamientos representó el 70% de la dieta.

### *Cambios inducidos en las características del forraje de alfalfa suministrado*

En este experimento, orear el forraje durante 24h duplicó la concentración de MS del forraje, presentando en promedio una tasa de secado de 0,79 % MS h<sup>-1</sup> lo cual es consistente con las condiciones climáticas de nuestro experimento. Este resultado está en línea con a los estudios de Jahn et al. (2004) sobre la tasa de secado de la alfalfa en condiciones controladas con diferente temperatura y ventilación, quienes reportaron que la tasa de secado con 20°C dependiendo de la ventilación varía entre 0,51y 1,13% MS h<sup>-1</sup>.

El contenido de nutrientes de la pastura (en PAS y SEG) estuvo acorde a los valores reportados a nivel nacional (Fernández-Turren et al., 2020; Fernández-Turren et al., 2023) y en Argentina (Berone et al., 2020) para pasturas de alfalfa en similares estados fenológicos. Mientras que los cambios inducidos por el oreo en la composición química (MO, PC, FDN y FDA) del forraje fueron pequeños cuantitativamente, pero inversos a lo esperado.

En el tratamiento ORE la disminución en el forraje oreado del % de FND podría estar relacionada al momento en el que se desarrolló el ensayo. Siendo la primavera e inicio de verano un momento en el cual la alfalfa tiene mayor tasa de crecimiento, lo cual puede beneficiar la calidad de la misma, y como resultado del oreo, tienen menor proporción de NDIN que el FF. El oreo con temperaturas templadas favorece la pérdida rápida de agua, lo que desencadena que la respiración de la planta y actividad enzimática se detengan (MacDonald & Clark, 1987). En este sentido Kolver et al. (1999) encontraron que solo en primavera las pasturas oreadas durante 24 h tuvieron menor concentración de FDN en comparación con el FF control (48,9% vs 49,5% de FDN) y no en las demás estaciones del año.

### *Efecto sobre el consumo de materia seca total*

El segado no modificó el CMS de alfalfa en comparación con el pastoreo. Este resultado refleja las similitudes existentes entre la composición química de la pastura segada y sin segar (pastoreada directamente) y, coincide con los resultados obtenidos por Oshita et al. (2008), quienes utilizaron vacas secas. Por otro lado, el oreo, si bien no afectó los niveles de consumo, numéricamente generó 12,4 % más de consumo que el pastoreo. En el mismo sentido, Danelón et al. (2002) observaron un incremento del 24,6% de CMS de vacas secas alimentadas con alfalfa oreada (40 % de MS) frente a aquellas en pastoreo (20 % de MS).

El CMS por kg de PV en este experimento fue de 19,6, 22,1 y 22,4 g MS/kg de PV para PAS, SEG y ORE respectivamente. Estos valores son mayores que el obtenido

por Colucci et al. (1982), de 13,0 g/kg PV en vacas secas de 716,5 kg de PV alimentados con 83% de reservas de forraje (silo de maíz y henolaje de alfalfa en igual proporción) y 17% de concentrados. Aunque la proporción del forraje sea igual, el efecto que tiene el silo de maíz en la dieta estaría limitando el consumo, comparada a una dieta mayormente de alfalfa.

Danelón et al. (2002) registraron resultados de CMS según PV inferiores a los nuestros para los tratamientos PAS y ORE, 16,73 y 20,64 respectivamente, lo cual se podría atribuir a que estos autores utilizaron únicamente forraje sin suplementación, y los niveles de fibra de la pastura podrían haber limitado el consumo.

#### *Contenido ruminal, tamaño de partícula, tasa de pasaje y digestibilidad*

El contenido ruminal total, expresado como g de MS/kg de PV, fue de 18,6, 16,7 y 14,8 para PAS, SEG y ORE respectivamente. A pesar de las diferencias numéricas, no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos. Si bien son pocos los trabajos publicados que evalúen el contenido ruminal, estos valores son similares a los que se encuentran en la literatura para vacas que consumen forrajes, con un promedio de 15,7 g MS/kg PV (min 6,4 y máx. 25,5). En la literatura también se plantea que, independientemente del contenido de MS del alimento, el % de MS del contenido ruminal total tiene un máximo de 12 % reportado según la revisión realizada por Chilbroste et al. (2005) comparando varios autores. Este valor máximo de MS en el contenido ruminal coincide con los valores obtenidos en este experimento.

Independientemente del valor máximo de MS del contenido ruminal, su valor puede estar influenciado por factores como, el % de MS del forraje ingerido o la facilidad de conminución de partículas durante la masticación y la rumia. En este sentido, dentro del ensayo marco en el que se desarrolló este experimento, en el que se evaluaron más variables, entre ellas, el comportamiento ingestivo de los animales, donde se reportó que los animales del tratamiento ORE tendieron a rumiar más tiempo en comparación con los animales del tratamiento SEG. Este resultado se atribuye a que los animales en el tratamiento ORE dedicaron menos tiempo a cortar el alimento, y que la ingesta de alimento con un mayor porcentaje de materia seca (MS) resultó en una menor necesidad de masticar, compensando la disminución del tamaño de las partículas del rumen con un mayor tiempo de rumia.

Respecto al tamaño de partículas en el contenido ruminal, es importante considerar el momento en el que se realizó el vaciado ruminal. El mismo se efectuó luego del período de ingestión, a las 4 h posteriores a la principal alimentación, sin tener un tiempo de rumia. En este contexto, se registró un 35,9 % de MS del contenido ruminal total con un tamaño de partícula entre 2,36 y 4,75 mm y, el 13,3 % de MS con un tamaño de 9,50 a más de 13,50 mm en el tratamiento PAS. Resultados similares fueron obtenidos por Waghorn et al. (1989) en animales que consumían alfalfa, con un 20,1 a 38,9 % de MS partículas retenidas en tamiz de 2 y 4 mm y 17,4 % de MS de partículas mayores a 10 mm. Chilbroste et al. (1998) observaron que cuando el forraje es recién ingerido, durante el pastoreo, con una masticación poco eficiente, el contenido ruminal presenta un 75% del material con partículas de > 1,25 mm tras 1 hora de la ingestión y, a medida que la sesión de pastoreo continúa y comienzan a

rumiar, el porcentaje de partículas > 1,25 mm disminuye al 55%. Por lo tanto, el tamaño de partículas hallado en el rumen de los animales de este experimento condice con el momento en que se realizó el vaciado ruminal y con la imposibilidad de los animales para reducir el tamaño de partículas durante la ingestión.

Zebeli et al. (2007) reportaron que, al aumentar el tamaño de partícula de 6 a 30 mm, se incrementa el tiempo de rumia independientemente del nivel de concentrado en dietas con baja proporción de concentrados y 20 % de la MS o alta proporción de concentrados con 60% de la MS. Sin embargo, el aumento del tamaño de partícula del forraje no modificó la velocidad de tránsito digestivo en la dieta de bajo contenido de concentrado, pero sí en la dieta de alto concentrado. Esto resulta interesante porque tanto en nuestro acumulado de partículas mayores a 4,75 mm y por tamices de 9,50 a 13,50 y > a 13,50 mm se hallaron diferencias ( $P \leq 0,05$ ), siendo mayores SEG y ORE, resultados que se atribuyen a la imposibilidad de reducir el tamaño de partículas durante la ingestión, ya que el vaciado de ruminal se realizó sin tener grandes sesiones de rumia a los animales luego del ingreso a las parcelas.

En nuestro experimento, las diferencias encontradas en el tamaño de partículas en rumen no se correlacionaron con cambios en la tasa de pasaje, ya que es conocido que el pasaje por retículo-rumen también está influenciado por factores como la densidad específica de las partículas que intervienen en la sedimentación de las partículas pequeñas (Yansari et al., 2004). Okine y Mathison (1991) obtuvieron resultados similares donde el cambio de la distribución del tamaño de partículas no está intrínsecamente relacionado a la actividad masticatoria y a la tasa de paso por retículo-rumen ( $k_1$ ).

Al aumentar el CMS se incrementa la tasa de pasaje, pero la digestibilidad se reduce, este efecto se hace más evidente cuanto mayor es el nivel de concentrados en la dieta (Colucci et al., 1982). En nuestro ensayo no se encontraron diferencias en la tasa de pasaje  $k_1$  o en el tiempo de retención (TMRR). Estos resultados son esperables porque no se vieron diferencias en el CMS, en los porcentajes de digestibilidad de MS o FDN que justifiquen cambios en la tasa de pasaje en retículo rumen.

En este experimento no se encontraron diferencias en la digestibilidad de la MS, MO, N, FDN ni FDA entre los tratamientos PAS, SEG y ORE. Estos resultados contrastan con los reportados por Borges y Ciancio (2020), realizaron un experimento con vacas en lactación, a las cuales se le aplicaron los mismos tratamientos que los realizados en nuestro trabajo. Estos autores observaron diferencias en estos parámetros entre los tratamientos SEG, PAS y ORE, destacándose que la digestibilidad de FDN y FDA fue menor en su estudio comparado con los resultados obtenidos en el presente experimento. Se asume que estas diferencias son debidas al estado fisiológico de los animales, ya que se realizó con vacas con 232 días en lactación y que tienen una tasa de pasaje más acelerada frente a las vacas secas. Una mayor digestibilidad de la alfalfa puede promover un mayor consumo de materia seca a través de una tasa de pasaje más rápida en vacas en lactación temprana. Sin embargo, una pastura puede tener una mayor digestibilidad de la FDN cuando se alimenta a vacas con tasas de

pasaje más lentas (tiempos de retención más prolongados), como vacas en la última etapa de lactancia o vacas secas (Varga et al. 1998).

Metodológicamente, la utilización de un solo marcador de tasa de pasaje, en este caso donde el marcador estuvo en las fibras de alfalfa, dificultó encontrar diferencias ya que con la utilización de dos marcadores (fase particulada y fase líquida) se podrían hallar diferencias el tránsito de sólidos y líquidos. Así mismo, la imposibilidad de obtener diferencias podría estar determinada por el bajo número de animales utilizados ( $n=3$ ) en el experimento, que llevó a que el EEM sea más grande y no permita detectar diferencias respecto al analito.

En concordancia con la hipótesis, el oreo concentró la MS del forraje y el segado (con o sin oreo) incrementó el tamaño de las partículas de forraje en el rumen respecto al pastoreo. Sin embargo, no detectamos ningún efecto de los tratamientos sobre el consumo o la digestibilidad de los nutrientes, la tasa de pasaje de la digesta o las fracciones sólida y líquida del contenido ruminal. Por lo tanto, la hipótesis no pudo ser comprobada.

## **10 CONCLUSIONES**

En las condiciones de este experimento, que el segado del forraje con o sin oreo no tuvo diferencias en el consumo de nutrientes, la digestibilidad o la tasa de pasaje en el rumen. Aunque los tratamientos SEG y ORE sí influyeron en el tamaño de las partículas en el rumen, esto no afectó los parámetros mencionados. Por lo tanto, la hipótesis no pudo ser comprobada.

## 11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguerre, M., Cajarville, C., La Manna, A., Cavestany, D., Mendoza, A., Mattiauda, D., Carriquiry, M., Repetto, J.L., Meikle, A. & Chilbroste, P. (2019). *Estrategias de alimentación de vacas lecheras en pastoreo: ¿Qué hemos aprendido de los sistemas comerciales y qué hemos generado desde la investigación en Uruguay?* Montevideo: ANII, UDELAR, CONAPROLE, INIA, CRI, INIALE. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8181/1/Revista-estrategias-de-alimentacion-Red-Tecnologica-Sectorial-2017.pdf>
- Allen, M. S. (1996). Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of animal science*, 74(12), 3063-3075. <https://doi.org/10.2527/1996.74123063x>
- Allen, M. S. (2014). Drives and limits to feed intake in ruminants. *Animal Production Science*, 54(10), 1513-1524. <https://doi.org/10.1071/AN14478>
- Allen, M. S., Sousa, D. O., & VandeHaar, M. J. (2019). Equation to predict feed intake response by lactating cows to factors related to the filling effect of rations. *Journal of dairy science*, 102(9), 7961-7969. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16166>
- Arthur Thomas, T. (1977). An automated procedure for the determination of soluble carbohydrates in herbage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28(7), 639-642. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740280711>
- Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official Methods of analysis* (15<sup>a</sup> ed.). AOAC.
- Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E., & Cassidy, T. W. (2002a). 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. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74381-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74381-6)
- Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E., & Cassidy, T. W. (2002b). 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. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74381-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74381-6)
- Berone, G. D., Sardiña, M. C., & Moot, D. J. (2020). Animal and forage responses on lucerne (*Medicago sativa* L.) pastures under contrasting grazing managements in a temperate climate. *Grass and Forage Science*, 75(2), 192-205. <https://doi.org/10.1111/gfs.12479>
- Borges Rodríguez, C. A., & Ciancio Bruni Falero, E. Y. (2020). *Efecto del segado y*

oreo de alfalfa prepastoreo sobre la producción de leche, el consumo y la digestibilidad de los nutrientes en vacas lecheras [Tesis de grado, Facultad de Veterinaria, UDELAR]. Colibrí.

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29035/1/FV-34459.pdf>

Broster, W., & Swan, H. (1983). Estrategia de alimentación para vacas lecheras de alta producción. México, D.F.: A.G.T.

Charlton, G. L., Rutter, S. M., East, M., & Sinclair, L. A. (2011). 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. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4172>

Chilibroste, P., & Battegazzore, G. (2014). *Proyecto Producción Competitiva*. CONAPROLE.

Chilibroste, P., Gibb, M., & Tamminga, S. (2005). Pasture characteristics and animal performance. In *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism* (pp. 681-706). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851998145.0681>

Chilibroste, P., Tamminga, S., Van Bruchem, J., & Van der Togt, P. L. (1998). Effect of allowed grazing time, inert rumen bulk and length of starvation before grazing on the weight, composition and fermentative end-products of the rumen contents of lactating dairy cows. *Grass and Forage Science*, 53(2), 146-156. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1998.5320146.x>

Colucci, P. E., Chase, L. E., & Van Soest, P. J. (1982). Feed intake, apparent diet digestibility, and rate of particulate passage in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 65(8), 1445-1456. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82367-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82367-9)

Colucci, P. E., MacLeod, G. K., Grovum, W. L., McMillan, I., & Barney, D. J. (1990). Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *Journal of dairy science*, 73(8), 2143-2156. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78895-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78895-9)

Coppock, C. E., Bath, D. L., & Harris Jr, B. (1981). From feeding to feeding systems. *Journal of dairy science*, 64(6), 1230-1249. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82698-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82698-7)

Danelón, J. L., Locatelli, M. L., Gallardo, M., & Guaita, S. (2002). Herbage intake and ruminal digestion of alfalfa: a comparison between strip and zero grazed dairy cows. *Livestock production science*, 74(1), 79-91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00289-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00289-5)

Dillon, P. (2006). Achieving high dry-matter intake from pasture with grazing dairy cows. In *Fresh herbage for dairy cattle* (pp. 1-26). Springer, Dordrecht.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5452-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5452-5_1)

Dirección de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario estadístico agropecuario*. Ministerio de Agricultura y Pesca; Dirección de Estadísticas Agropecuarias, Uruguay.  
<https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2023/ANUARIO2023WEB.pdf>

Dohme-Meier, F., Kaufmann, L. D., Görs, S., Junghans, P., Metges, C. C., Van Dorland, H. A., ... & Mürger, A. (2014). Comparison of energy expenditure, eating pattern and physical activity of grazing and zero-grazing dairy cows at different time points during lactation. *Livestock Science*, 162, 86-96.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.006>

Fariña, S. R., Baudracco, J., & Bargo, F. (2020). Dairy production in diverse regions: Latin America. En *Encyclopedia of dairy sciences* (3 ed., pp. 244-252). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00052-0>

Fernandez-Turren, G., Arroyo, J. M., Pérez-Ruchel, A., Urioste, M. J., Kozloski, G. V., Repetto, J. L., & Cajarville, C. (2023). Nutrient utilization and ingestive behavior by lambs fed a partial mixed ration consisting of different carbohydrate sources combined with fresh alfalfa. *Livestock Science*, 271, 105215.  
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105215>

Fernandez-Turren, G., Repetto, J. L., Arroyo, J. M., Pérez-Ruchel, A., & Cajarville, C. (2020). Lamb fattening under intensive pasture-based systems: a review. *Animals*, 10(3), 382. <https://doi.org/10.3390/ani10030382>

Gill, M. (1979). The principles and practice of feeding ruminants on complete diets. *Grass and Forage Science*, 34, 155-161. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1979.tb01462.x>

Grovum, W. L., & Williams, V. J. (1973). Rate of passage of digesta in sheep: 4.\* Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. *British journal of Nutrition*, 30(2), 313-329.  
<https://doi.org/10.1079/BJN19730036>

Hoekstra, N. J., Schulte, R. P. O., Struik, P. C., & Lantinga, E. A. (2007). Pathways to improving the N efficiency of grazing bovines. *European journal of agronomy*, 26(4), 363-374. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.12.002>

- Holden, L. A., Muller, L. D., Varga, G. A., & Hillard, P. J. (1994). Ruminant digestion and duodenal nutrient flows in dairy cows consuming grass as pasture, hay, or silage. *Journal of Dairy Science*, 77(10), 3034-3042. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77245-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77245-3)
- Huhtanen, P., Kaustell, K., & Jaakkola, S. (1994). The use of internal markers to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3-4), 211-227. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90173-2](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90173-2)
- Irvine, L., Freeman, M., & Rawsley, R. (2010). The effect of grazing residual control methods on cow intake and milk production in late spring (Version 1). University of Tasmania. <https://hdl.handle.net/102.100.100/526202>
- Jahn, E., Avilés, R., & Barrales, L. (2004). Velocidad de secado de alfalfa bajo diferentes condiciones de secado artificial. *Agricultura Técnica*, 64(2), 163-171. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072004000200005>
- Kolver, E. S., & Muller, L. D. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *Journal of dairy science*, 81(5), 1403-1411. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75704-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75704-2)
- Kolver, E. S., Penno, J. W., Macdonald, K. A., McGrath, J. M., & Carter, W. A. (1999). Mowing pasture to improve milk production. In *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 61, 139-145. <https://doi.org/10.33584/jnzg.1999.61.2326>
- Lechner-Doll, M., Kaske, M., & Engelhardt, W. (1991). Factors affecting the mean retention time of particles in the forestomach of ruminants and camelids. In *Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants* (pp. 455-482). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-702290-1.50027-8>
- Licitra, G., Hernandez, T. M., & Van Soest, P. J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal feed science and technology*, 57(4), 347-358. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)
- Lowell, M. E. (1995). Post-harvest physiological changes in forage plants. *Post-Harvest Physiology and Preservation of Forages*, 22, 1-19. <https://doi.org/10.2135/cssaspecpub22.c1>
- Macdonald, A. D., & Clark, E. A. (1987). Water and quality loss during field drying of hay. *Advances in Agronomy*, 41, 407-437. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60810-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60810-X)

- Makoni, N. F., Shelford, J. A., & Fisher, L. J. (1994). Initial rates of degradation of protein fractions from fresh, wilted, and ensiled alfalfa. *Journal of Dairy science*, 77(6), 1598-1603. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77102-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77102-2)
- Mendoza, A., Cajarville, C., Santana, Á., & Repetto, J. L. (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 *XV Congreso Latinoamericano de Buiatría/XXXIX Jornadas Uruguayas de Buiatría*. Centro Médico Veterinario de Paysandú.
- Minnee, E. M. K., Waghorn, G. C., Gregorini, P., Bryant, R. H., & Chapman, D. F. (2019). Characteristics of boli formed by dairy cows upon ingestion of fresh ryegrass, lucerne or chicory. *Animal*, 13(6), 1188-1197. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002938>
- Mohammed, R., Stanton, C. S., Kennelly, J. J., Kramer, J. K. G., Mee, J. F., Glimm, D. R., O'Donovan, M., & Murphy, J. J. (2009). Grazing cows are more efficient than zero-grazed and grass silage-fed cows in milk rumenic acid production. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3874-3893. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1613>
- Morales-Almaráz, E., Soldado, A., González, A., Martínez-Fernández, A., Domínguez-Vara, I., de la Roza-Delgado, B., & Vicente, F. (2010). Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding of total mixed ration. *Journal of Dairy Research*, 77(2), 225-230. <https://doi.org/10.1017/S002202991000004X>
- National Research Council, Committee on Animal Nutrition, & Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle: 2001*. National Academies Press.
- NorFor. Nordic Feed Evaluation System. (2007) *Norfor in sacco standard*. [http://www.norfor.info/Files/pdfdokumenter/pdf\\_lab/Analyses/NorFor\\_in\\_sacco\\_standard\\_070910.pdf](http://www.norfor.info/Files/pdfdokumenter/pdf_lab/Analyses/NorFor_in_sacco_standard_070910.pdf).
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019/2028*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e9fe021b-c050-4d45-9d79-75db22d941a8/content>
- Okine, E. K., & 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. <https://doi.org/10.2527/1991.6983435x>

- Oshita, T., Sudo, K., Nonaka, K., Kume, S., & Ochiai, K. (2008). The effect of feed regimen on chewing time, digesta passage rate and particle size distribution in Holstein non-lactating cows fed pasture *ad libitum*. *Livestock Science*, 113(2-3), 243-250. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.04.001>
- Pastorini Corleto, M. (2016). *Combinación de diferentes niveles de raigrás y ración totalmente mezclada en dietas de vacas lecheras: efecto sobre el desempeño productivo y eficiencia de utilización de los nutrientes* [Tesis de doctorado, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República]. Colibrí. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29065/1/PASTORINI%2c%20MAXIMILIANO%20 COMBINACI%c3%93N%20DE%20DIFERENTES%20NIVELES%20DE%20RAIGR%c3%81S%20Y%20RACION%20TOTALMENTE%20MEZCLADA%20EN%20DIETAS%20DE%20VACAS%20LECHERAS %20EFECTO%20SOBRE%20EL%20DESEMPE%c3%91O%20PRODUCTIVO%20Y%20EFICIENCIA%20DE%20LA%20UTILIZACI%c3%93N%20DE%20LOS%20NUTRIENTES.pdf>
- Pollock, J. (2022). *Novel Precision Technologies and Grazing Management Approaches to Understand Grazing Behaviour, Potential to Measure Dry Matter Intake and Improve Animal Performance in Pasture Based Dairying Systems* [Doctoral dissertation, Queen's University Belfast]. Queen's University Belfast. [https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/portalfiles/portal/382504562/Final\\_Thesis\\_Jessica\\_Pollock\\_June\\_2022.pdf](https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/portalfiles/portal/382504562/Final_Thesis_Jessica_Pollock_June_2022.pdf)
- Powell, J. M., Gourley, C. J. P., Rotz, C. A., & Weaver, D. M. (2010). Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environmental Science & Policy*, 13(3), 217-228. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.03.007>
- Repetto, J. L., González, J., Cajarville, C., Alvir, M. R., & Rodríguez, C. A. (2003). Relationship between ruminal degradability and chemical composition of dehydrated lucerne. *Animal Research*, 52(1), 27-36. <https://doi.org/10.1051/animres:2003007>
- Stirling, S., Delaby, L., Mendoza, A., & Fariña, S. (2021). Intensification strategies for temperate hot-summer grazing dairy systems in South America: Effects of feeding strategy and cow genotype. *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12647-12663. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20507>
- Udén, P., Colucci, P. E., & Van Soest, P. J. (1980). Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31(7), 625-632. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740310702>

- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (Vol. 476). Cornell University Press.
- Varga, G. A., Dann, H. M., & Ishler, V. A. (1998). The use of fiber concentrations for ration formulation. *Journal of Dairy Science*, 81(11), 3063-3074.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75871-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75871-0)
- Vibart, R. E., Fellner, V., Burns, J. C., Huntington, G. B., & Green, J. T. (2008). Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *Journal of Dairy Research*, 75(4), 471-480.  
<https://doi.org/10.1017/S0022029908003361>
- von Keyserlingk, M. A., Rushen, J., de Passillé, A. M., & Weary, D. M. (2009). Invited review: The welfare of dairy cattle--key concepts and the role of science. *Journal of dairy science*, 92(9), 4101-4111. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2326>
- Waghorn, G. C., Reid, C. S. W., Ulyatt, M. J., & John, A. (1986). Feed comminution, particle composition and distribution between the four compartments of the stomach in sheep fed chaffed lucerne hay at two feeding frequencies and intake levels. *The Journal of Agricultural Science*, 106(2), 287-296.  
<https://doi.org/10.1017/S0021859600063875>
- Waghorn, G. C., Shelton, I. D., & Thomas, V. J. (1989). Particle breakdown and rumen digestion of fresh ryegrass (*Lolium perenne* L.) and lucerne (*Medicago sativa* L.) fed to cows during a restricted feeding period. *British journal of nutrition*, 61(2), 409-423. <https://doi.org/10.1079/BJN19890127>
- Wilkinson, J. M., Bolsen, K. K., Lin, C. J., Buxton, D. R., Muck, R. E., & Harrison, J. H. (2003). Silage science and technology. *Agronomy Monograph*, 42, 1-30.  
<https://doi.org/10.2134/agronmonogr42>
- Williams, C. H., David, D. J., & Iismaa, O. (1962). The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. *The Journal of Agricultural Science*, 59(3), 381-385.  
<https://doi.org/10.1017/S002185960001546X>
- Yansari, A. T., Valizadeh, R., Naserian, A., Christensen, D. A., Yu, P., & Shahroodi, F. E. (2004). Effects of alfalfa particle size and specific gravity on chewing activity, digestibility, and performance of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy*

*Science*, 87(11), 3912-3924. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73530-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73530-4)

Yemm, E. W., & Willis, A. (1954). The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, 57(3), 508. <https://doi.org/10.1042/bj0570508>

Zebeli, Q., Tafaj, M., Weber, I., Dijkstra, J., Steingass, H., & Drochner, W. (2007). Effects of varying dietary forage particle size in two concentrate levels on chewing activity, ruminal mat characteristics, and passage in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 1929-1942. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-354>