UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DEL GRANO DE LUPINO (*Lupinus Angustifolius*) COMO SUPLEMENTO EN LA RECRÍA DE TERNEROS OFRECIDO EN COMEDEROS DE AUTOCONSUMO: EFECTO SOBRE EL PH Y CINÉTICA DE FERMENTACIÓN RUMINAL DE TERNEROS PASTOREANDO VERDEOS DE INVIERNO

por

Sebastián BRANCATO GHUISOLI

Wiston Alberto GONZÁLEZ RIVERO

Clelia LAURENCENA URÍA

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

PAYSANDÚ

URUGUAY

2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia

“Creative Commons **Reconocimiento – No comercial – Compartir igual**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a: _____

Ing. Agr. (Dra.) Virginia Beretta

Co-director/a: _____

Ing. Agr. (Dr.) Álvaro Simeone

Tribunal:

_____

Ing. Agr. (Dr.) Álvaro Simeone

_____

Ing. Agr. (Dra.) Stefanía Pancini

_____

Ing. Agr. (Mag.) Catalina Rivoir

Fecha: 1 de octubre de 2026

Estudiantes:

_____

Sebastián Brancato Ghuisoli

_____

Wiston Alberto González Rivero

_____

Clelia Laurencena Uría

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a todos nuestros familiares por habernos brindado apoyo, cariño y estar presentes en este largo camino lleno de desafíos y momentos difíciles.

También queremos agradecer a la Ing. Ágr. Stefania Pancini, que nos ayudó en todo momento y siempre estuvo pendiente de nosotros.

A nuestros directores, Ingeniero Agrónomo (PhD.) Álvaro Simeone e Ingeniera Agrónoma (Dra.) Virginia Beretta, por su dedicación en la realización de esta tesis.

Al personal de Facultad de Agronomía, en especial a Diego Mosqueira, que sin su ayuda no hubiera sido posible el trabajo.

A nuestros compañeros de generación, tesistas, por ayudarnos en este trabajo y pasar momentos amenos durante la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN 3
AGRADECIMIENTOS 4
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS 7
RESUMEN 8
SUMMARY 9
1. INTRODUCCIÓN 10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 11
2.1 USO DE VERDEOS EN LA RECRÍA DE VACUNOS 11
2.2 USO DE LA SUPLEMENTACIÓN EN LA RECRÍA DE VACUNOS 12
2.3 UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOCONSUMO 15
2.4 DEGRADABILIDAD DE LA MATERIA SECA, DIGESTIBILIDAD Y PH RUMINAL 16
2.4.1 Digestibilidad aparente in vivo 18
2.4.2 Propiedades físicas y químicas del rumen 18
2.4.3 pH Ruminal 18
2.5 CINÉTICA RUMINAL 20
2.5.1 Ácidos grasos volátiles (AGV) 20
2.5.2 Tasa de pasaje (Kp) 21
2.5.3 Capacidad buffer 22
2.5.4 Amonio (NH_4^+) en rumiantes 22
2.5.5 Metabolismo de los compuestos nitrogenados 23
2.6 CARACTERIZACIÓN DEL FORRAJE 24
2.7 CARACTERIZACIÓN DEL GRANO DE LUPINO 24
2.8 RESULTADOS EXPERIMENTALES CON GRANO DE LUPINO 26
2.9 HIPÓTESIS 29
3. MATERIALES Y MÉTODOS 31
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL 31
3.2 SUELO 32
3.3 CLIMA 32
3.4 ANIMALES 33
3.5 PASTURA Y SUPLEMENTACIÓN 34
3.6 TRATAMIENTOS 34
3.7 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 35
3.7.1 Periodo preexperimental 35
3.7.2 Periodo experimental 35
3.8 MEDICIONES, MUESTREOS Y REGISTROS. 36
3.8.1 Peso vivo 36
3.8.2 Consumo de materia seca de forraje (MSF) 36
3.8.3 Consumo de materia seca del suplemento (MS) 36
3.8.4 Degradabilidad in situ de la MS 37

3.8.5 pH ruminal y amonio 38
3.8.6 Digestibilidad aparente in vivo 39
3.8.7 Actividad de pastoreo, rumia, acceso al comedero y descanso. 39
3.9 ANÁLISIS QUÍMICO 39
3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO 40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 41
4.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS 41
4.2 CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD APARENTE DE LA MATERIA SECA 42
4.3 CINÉTICA RUMINAL 44
4.3.1 Curvas de degradabilidad 47
4.3.2 Amonio ruminal 49
4.3.3 pH ruminal 52
4.4 COMPORTAMIENTO 54
4.5 DISCUSIÓN GENERAL 55
5. CONCLUSIONES 58
6. BIBLIOGRAFÍA 59
7. ANEXOS 72

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro No.

Cuadro 1 Ganancia media diaria, c/s suplementación durante otoño-invierno sobre verdeo 14
Cuadro 2 Características de análisis químico de raigrás Bill Max para dos períodos del cultivo..... 24
Cuadro 3 Composición química de Lupino angustifolius 25
Cuadro 4 Temperaturas(°C), precipitaciones (mm) mensuales para el periodo de septiembre-octubre del año 2023..... 32
Cuadro 5 Caracterización de los alimentos suministrados durante el proceso experimental 41
Cuadro 6 Consumo diario de materia seca de forraje, suplemento y consumo total..... 42
Cuadro 7 Coeficientes de la digestibilidad de la materia orgánica (MO) y materia seca (MS) por tratamientos 43
Cuadro 8 Parámetros de degradabilidad de los alimentos en el tratamiento testigo 44
Cuadro 9 Parámetros de degradabilidad de los alimentos en el tratamiento de suplementación diaria 45
Cuadro 10 Parámetros de degradabilidad de los alimentos de autoconsumo 45
Cuadro 11 Nivel promedio de NH_4^+ según tratamientos 49
Cuadro 12 Valores de pH por tratamientos..... 53

Figura No.

Figura 1 Posibles situaciones generadas por el suministro de suplemento..... 13
Figura 2 Potrero donde se llevó a cabo el experimento 31
Figura 3 Curvas de degradabilidad para cada uno de los alimentos por tiempo (horas) 48
Figura 4 Niveles de NH_4^+ medidos por tiempo y tratamientos 50
Figura 5 Niveles de concentración de pH medidos por tratamientos y tiempo..... 52
Figura 6 Comportamiento de los tratamientos diferenciados por actividad en un período de tiempo..... 54

RESUMEN

El experimento se realizó en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) de la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), perteneciente a la Universidad de la República (UDELAR), Facultad de Agronomía, ubicada en el departamento de Paysandú, Uruguay. El objetivo fue evaluar el efecto de la suplementación con grano de lupino y el método de suministro: diario al 1 % del peso vivo (PV) y en autoconsumo ad libitum sobre la cinética de degradación del lupino y del forraje, así como sobre la fermentación ruminal y el comportamiento animal. Se utilizaron tres novillos, nacidos en la primavera de 2022, que al momento del experimento tenían una edad de 1 a 2 años, con un peso vivo inicial promedio de 310 ± 3 kg, equipados con fístulas ruminales. Los animales fueron asignados aleatoriamente a los tratamientos mediante un diseño de cuadrado latino de tres períodos, de manera que cada novillo recibió todos los tratamientos experimentales. Cada período tuvo una duración de dos semanas: una semana de adaptación y una semana de evaluación. El forraje consistió en raigrás (cultivar Bill Max, Gentos®), con una disponibilidad promedio de 8137,6 ± 3033,2 kg de materia seca (MS)/ha y una altura media de 44 ± 10,7 cm durante el período experimental. El pastoreo se realizó en franjas semanales. Los tratamientos fueron: T1 (testigo), pastoreo de raigrás con una asignación de forraje del 2,5 % del PV sin suplementación; T2, suplementación diaria con grano de lupino al 1 % del PV; y T3, suplementación en autoconsumo con oferta (*ad libitum*). En todos los tratamientos se evaluaron el consumo de MS, el comportamiento, la degradabilidad in situ, la digestibilidad in vivo de la MS, el pH ruminal y la concentración de amonio (NH_4^+). Se observaron diferencias significativas en el consumo de materia seca (CMS) total, con valores superiores en los tratamientos suplementados. En relación con la degradabilidad, se detectaron diferencias en los parámetros “a” y “b” del modelo de Ørskov y McDonald (1979), donde el lupino y el maíz presentaron valores significativamente mayores que el forraje. Asimismo, la concentración de NH_4^+ fue superior en los tratamientos con suplementación. No se registraron diferencias estadísticas en el pH ruminal ni en la digestibilidad de la materia seca (DMS) y de la materia orgánica (DMO).

Palabras clave: novillos fistulados, suplementación, lupino, degradabilidad, digestibilidad, fermentación ruminal

SUMMARY

The experiment was conducted at the Intensive Meat Production Unit (UPIC) of the Dr. Mario A. Cassinoni Experimental Station (EEMAC), belonging to the University of the Republic (UDELAR), Faculty of Agronomy, located in the department of Paysandú, Uruguay. The objective was to evaluate the effect of lupin grain supplementation and the method of supply, daily at 1% of body weight (BW) and ad libitum self-feeding, on the degradation kinetics of lupin and forage, as well as on ruminal fermentation and animal behavior. Three steers, born in the spring of 2022 and aged between 1 and 2 years at the time of the experiment, with an average initial body weight of 310 ± 3 kg, fitted with ruminal fistulas, were used. The animals were randomly assigned to treatments using a three-period Latin square design, so that each steer received all experimental treatments. Each period lasted two weeks: one week for adaptation and one week for evaluation. The forage consisted of ryegrass (cultivar Bill Max, Gentos®), with an average availability of 8,137.6 ± 3,033.2 kg of dry matter (DM)/ha and an average height of 44 ± 10.7 cm during the experimental period. Grazing was carried out in weekly strips. The treatments were: T1 (control), ryegrass grazing with a forage allowance of 2.5% of BW without supplementation; T2, daily supplementation with lupin grain at 1% of BW; and T3, *ad libitum* supplementation. In all treatments, DM intake, behavior, in situ degradability, in vivo DM digestibility, ruminal pH, and ammonium (NH_4^+) concentration were evaluated. Significant differences were observed in total dry matter intake (DMI), with higher values in the supplemented treatments. Regarding degradability, differences were detected in parameters “a” and “b” of the Ørskov and McDonald (1979) model, where lupin and corn showed significantly higher values than forage. Likewise, NH_4^+ concentration was higher in the supplemented treatments. No statistical differences were recorded in ruminal pH or in dry matter digestibility (DMD) and organic matter digestibility (OMD).

Keywords: fistulated steers, supplementation, lupin, degradability, digestibility, ruminal fermentation

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, la producción ganadera se caracteriza por realizarse sobre pasturas naturales y sembradas como fuente principal de alimentación para el ganado (Becoña & Wedderburn, 2010). La implementación de verdeos invernales se presenta como una estrategia fundamental para mitigar la falta de forraje, especialmente durante esta época, siendo esta una de las principales limitaciones del sistema. El aporte de forraje de estos verdeos es de gran cantidad y calidad, por lo cual debe ser utilizado eficientemente para mejorar la productividad del sistema. La incorporación de suplementos energéticos permite mejorar el consumo total de materia seca y manejar altas cargas sobre la pastura sin comprometer la performance individual. Los alimentos más comúnmente utilizados son grano de maíz, grano de sorgo, afrechillo de trigo y afrechillo de arroz, entre otros.

Sin embargo, el uso de este tipo suplementos puede modificar el pH ruminal, lo que provoca cambios en la microflora ruminal y disminuye la degradabilidad de la fibra (Calsamiglia & Ferret, 2002). En este contexto, el grano de lupino se presenta como una tecnología innovadora para los sistemas ganaderos en Uruguay, debido a su elevado contenido de proteína y a su aporte energético, asociado principalmente a los lípidos y la fibra fermentable, y no al almidón; por lo cual no se espera que se generen descensos drásticos en el pH ruminal, dada la ausencia de almidón en el grano (Villagrasa & Diaz, 2020), aun en sistemas de consumo a voluntad.

El uso de animales provistos de fístula ruminal permite obtener un mejor entendimiento de la cinética de degradación de forrajes y granos. La técnica de evaluación in vivo facilita la evaluación de la fermentación ruminal y la digestión del alimento, dependiendo del tipo de dieta y del método de suplementación utilizado (Ortiz, 2021).

El objetivo de este trabajo es evaluar los parámetros de cinética ruminal y los patrones de comportamiento animal de novillitos pastoreando raigrás cv. Bill Max, y determinar el efecto de la suplementación con grano de lupino, ofrecido diariamente al 1% del peso vivo o bajo un sistema *ad libitum* en autoconsumo, sobre la degradabilidad de la MS, el pH y niveles de amonio en rumen, digestibilidad y comportamiento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 USO DE VERDEOS EN LA RECRÍA DE VACUNOS

La recría se considera la etapa de desarrollo del animal; comprende desde el destete hasta el entore en hembras y en machos hasta el ingreso a la invernada. En esta etapa se considera que el animal logra convertir el alimento en músculo más eficientemente, siendo esto favorecido cuando el forraje es de mayor calidad (*Recría*, 2018).

Durante el invierno y pastoreando en el campo natural, estos animales pueden llegar a perder hasta un 20% de su peso vivo (Quintans et al., 1994). Considerando esto, los sistemas intensivos uruguayos especializados en el engorde de ganado se caracterizan por ser principalmente pastoriles, con una alta proporción de área mejorada, utilizando un sistema de rotación cultivos-pasturas que permita aplicar una estrategia ganadera que posibilite la recría y engorde de un ternero de 150 kg hasta un novillo de 450 kg (Zanoniani & Noëll, s.f.).

Los verdeos de invierno más utilizados suelen ser avena y raigrás, estos son gramíneas anuales que producen un volumen de forraje muy alto y de buena calidad en un periodo de tiempo corto, por lo que permiten cubrir las deficiencias producidas en su estación de crecimiento (Zanoniani & Noëll, s.f.). La importancia de los verdeos de invierno ha aumentado a través de los años dada la mayor intensificación de la ganadería en Uruguay, además de que las condiciones climáticas como las altas temperaturas y deficiencias hídricas estivales han condicionado que muchas veces sean la única alternativa productiva en el otoño (Zanoniani & Noëll, s.f.). Esto hace referencia a que las condiciones climáticas no permiten una buena producción de forraje en verano y se utilicen más los verdeos de invierno.

Así mismo, según Elizalde (2012), la incorporación de estas especies en una rotación agrícola tiende a maximizar el uso de los recursos del suelo y a aumentar la producción total de forraje en los sistemas ganaderos. Al pastorear estos verdeos, se puede incidir sobre la ganancia media diaria de peso vivo (GMD de PV) con un manejo sobre la asignación de forraje (AF); si se restringe la AF al 2,5% del PV, se obtienen ganancias de 0,225 kg/animal/día y si se utiliza una AF de 5%, la cual se considera ad libitum, los animales pasan a ganar 0,521 kg/animal/día (Algorta Gilardoni et al., 2015).

La problemática del verdeo: alta digestibilidad (79.9 %) y proteína (8-11%), generando un desbalance N/CHO solubles que limita la eficiencia de uso del N y producción de proteína microbiana, bajo contenido de MS que limita el CMS, bajo aporte de fibra efectiva (Elizalde & Santini, 1992; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2002). Para INIA (*Recría*, 2018), una de las estrategias más utilizadas para solucionar dicha problemática es la suplementación con concentrados energéticos; el uso de suplemento mejora el balance energético y la eficiencia mejorando la productividad animal.

2.2 USO DE LA SUPLEMENTACIÓN EN LA RECRÍA DE VACUNOS

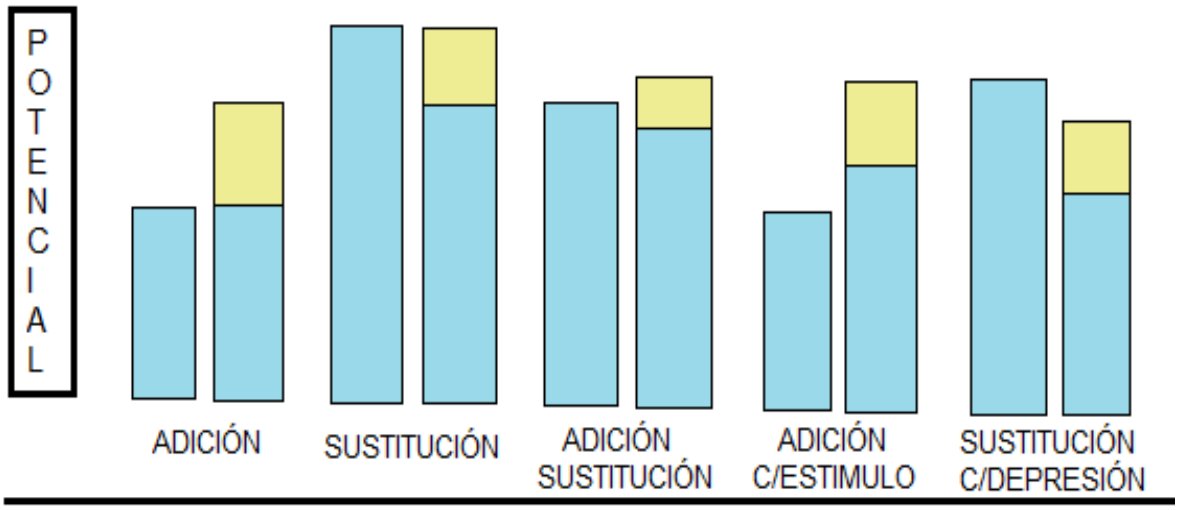
La suplementación en sistemas de producción donde la base de la dieta es forraje fresco a través del pastoreo ha sido una de las principales herramientas para lograr la intensificación de los sistemas ganaderos (Peruchena, 1999). La misma trata de cubrir principalmente deficiencias cualitativas y cuantitativas que presentan los forrajes, para de esta forma poder tener una productividad individual y por unidad de superficie óptima (Bowman & Sanson, 1996; Elizalde & Santini, 1992; Reis et al., 2009). El avance de la suplementación está asociado con la utilización de granos y subproductos agroindustriales, con alta concentración de energía y proteína y con un menor costo (Peruchena, 1999).

Suplementar con concentrados permite corregir desbalances en las dietas, aumentar la eficiencia de conversión de las pasturas, mejorando la ganancia de peso de los animales, llevando a que se puedan acortar los ciclos de crecimiento y engorde (Peruchena, 1999). A su vez, la suplementación logra aumentar la capacidad de carga de los sistemas productivos, dado que incrementa la eficiencia de utilización de las pasturas y el nivel de producción por unidad de superficie (kg/ha/año) (Leng, 1984, como se cita en Scholtz et al., 2013).

En la Figura N.º 1 se pueden identificar las diferentes situaciones que pueden suceder al suministrar un suplemento en la dieta.

Figura 1

Posibles situaciones generadas por el suministro de suplemento



Nota. El color celeste corresponde a consumo de pastura, amarillo corresponde a consumo de suplemento. Tomado de A. Simeone (comunicación personal, 15 de agosto, 2022).

En cuanto a la adición, ocurre cuando el consumo del suplemento no afecta al consumo del forraje, lo que logra aumentar el consumo total de materia seca (CMS). La sustitución causa que el consumo de forraje disminuya a medida que aumenta el de concentrado; por lo tanto, el CMS puede mantenerse o aumente. El efecto de adición con sustitución provoca que el CMS aumenta en base al consumo de concentrado, dado que el consumo de forraje disminuye (Lange, 1980). El caso contrario sería un efecto de adición con estímulo, donde el consumo de forraje aumenta causado por el consumo de concentrado, llevando a un aumento del CMS total y el efecto depresivo ocurre cuando tanto el consumo de concentrado como de forraje disminuyen, provocando una disminución de la MS total consumida (Lange, 1980).

El principal factor que determina la respuesta a la suplementación es la oferta y disponibilidad de forraje por animal. Se ha demostrado que, a mayor disponibilidad de forraje, la eficiencia de suplementar con concentrados energéticos era menor (Risso et al., 1997; Vaz Martins et al., 2005).

Generalmente, la suplementación con concentrados energéticos deprime el consumo de forraje; en la medida en que sean ricos en almidón y sean suministrados en cantidades elevadas, pueden deprimir la digestibilidad del forraje, particularmente la de la fracción fibra. Por otra parte, granos con menos contenido de almidón afectan menos la digestión de la fibra, dado que producen una menor alteración en las condiciones del rumen, tanto en pH como en la microflora ruminal (Mieres, 1996). En caso de escasez de forraje, suplementar con granos ricos en almidón puede ser beneficioso para lograr mantener cargas (Mieres, 1996).

En el cuadro N.º 1 se muestran los resultados de la respuesta de suplementación diaria con grano de sorgo molido en novillos de raza Hereford de iguales características.

Cuadro 1

Ganancia media diaria, c/s suplementación durante otoño-invierno sobre verdeo

	Sin suplementación	Con suplementación
Época	Otoño – Invierno	Otoño - Invierno
Categoría	Novillos	Novillos
Peso Vivo	300	300
AF (%PV)	2.5	2.5
Pastura	Verdeo	Verdeo
Suplementación (%PV)	-	1
GMD (kg/d)	0.338	0.985
Respuesta a suplementación	-	0.647
EC	-	5:1

Nota. Adaptado Simeone y Beretta (2004).

Al suministrar concentrados proteicos, se logra aumentar el consumo de forraje y la digestibilidad de la materia seca. Según Crucci Núñez (2016), esto ocurre como respuesta a una corrección en la deficiencia de nitrógeno ruminal y de algún aminoácido, llevando a una mayor tasa de digestión e incremento en el consumo de forraje y energía, mejorando la eficiencia de la utilización de la energía metabolizable. Además, ocurre un incremento en el flujo de nitrógeno no amoniacal al duodeno y el suministro de aminoácidos glucogénicos,

estimulando el consumo, la deposición de tejidos y la eficiencia de utilización de la energía (Mieres, 1996).

2.3 UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOCONSUMO

La suplementación en autoconsumo consiste en permitir el acceso libre por parte de los animales al alimento a medida que es requerido, a través de un comedero especialmente diseñado. En casos donde la ración brindada tenga riesgo de causar acidosis, se utiliza NaCl para limitar el consumo (8 - 15% de la ración) (Rovira & Velazco, 2012). Rovira (2012) reporta que, para la eficiencia de conversión (EC) del suplemento en autoconsumo, se han obtenido datos donde los valores orientativos son 4 y 8 kg de ración para las categorías de terneros y novillos en terminación para producir un kg de peso vivo, respectivamente.

Otros trabajos han demostrado que el sistema de autoconsumo determina que los animales sustituyan tiempo de pastoreo por consumo de suplemento y/o a permanecer echados. Se notó una tendencia de incremento del consumo de agua, lo que determina la necesidad de disponer agua suficiente en cantidad y calidad para obtener éxito en dicho manejo (Quintans et al., 2013).

El CMS expresado en kg MS aumenta significativamente con el incremento del nivel de suplementación y de proteína en la dieta. Cuando los animales ingieren elevados contenidos de nitrógeno no proteico (NNP) con relación a la energía fermentable, causa que se genere un cúmulo de NH_3, dado que se ve superada la capacidad de captar N de los microorganismos del rumen, este cúmulo provoca que se eleve el pH ruminal, favoreciendo la rápida absorción de NH_3 hacia la sangre (Kertz, 2010).

Cuando el NH_3 pasa a la sangre, es detoxificado en el hígado y posteriormente eliminado en la orina (Huntington & Archibeque, 1999). Pero cuando la capacidad de detoxificación del hígado es superada, se acumula NH_3 en sangre y dependiendo de la concentración, puede causar desde una intoxicación subclínica hasta una intoxicación grave, llevando a la muerte del animal (Emerick, 1988, como se cita en Reinoso & Soto, 2012).

En rumiantes, el nitrógeno ureico en sangre (NUS) es un indicador de la relación proteína/energía de la dieta (Hammond, 1998), por lo que puede ser usado como parámetro

para evaluar el estado nutricional y ajustar las dietas. Rennó et al. (2000) confirmaron que con la disminución de la energía de la dieta ocurren mayores pérdidas de amonio (NH_4) ruminal y se eleva la concentración de NUS con aumento en la excreción de urea a través de la orina.

2.4 DEGRADABILIDAD DE LA MATERIA SECA, DIGESTIBILIDAD Y PH RUMINAL

El nivel de consumo, la degradabilidad ruminal, la digestibilidad, la concentración de nutrientes y cómo estos pueden ser metabolizados y utilizados determinan la calidad nutritiva de los alimentos. La degradabilidad hace referencia a la cantidad de alimento que desaparece en el rumen por acción de los microorganismos presentes. La degradabilidad es esencial en el suministro de nutrientes para satisfacer las demandas de los microorganismos ruminales y de los tejidos del animal (Elizondo-Salazar & Monge-Rojas, 2020).

El método más eficaz para el estudio de la degradación en el rumen es el método *in situ,* para el cual se necesita la utilización de animales con cánulas ruminales para incubar alimentos dentro del rumen y estudiar la cinetica de degradacion (Elizondo-Salazar & Monge-Rojas, 2020).

El modelo usado para esto es el propuesto por Ørskov y McDonald (1979), el cual permite diferenciar la fracción soluble, insoluble degradable y no degradable en el rumen. También se puede saber la tasa de degradación, la degradabilidad potencial y la degradabilidad efectiva de los alimentos (Ørskov & McDonald, 1979).

Se ha demostrado que la degradabilidad del alimento va a depender de la velocidad de degradación de la fracción lentamente degradable y de la velocidad de tránsito ruminal (Calsamiglia, 1997; Ørskov & McDonald, 1979). En general, la suplementación con granos de cereales provoca descensos en el pH ruminal (Aguerre et al., 2013; Cajarville et al., 2006), siendo más importantes estos descensos a mayores niveles de inclusión (Aguerre et al., 2013). A su vez, el descenso en el pH ruminal afecta negativamente la degradabilidad ruminal y la digestibilidad de la fracción fibrosa de la dieta (Tebot et al., 2012).

Para los cereales y subproductos, se observa que la degradación de almidón varía en un rango de 60 a 95%; la degradabilidad de los almidones se correlaciona con la degradación de la MS de los granos; la degradabilidad de los cereales se explica por las fracciones solubles (25% para sorgo, maíz y 70% trigo y cebada), también por la velocidad de degradación (5% h-1 para maíz y sorgo y 30% h-1 para trigo y cebada) (Cajarville et al., 2006). Según el estudio de Trujillo Lezama (2006), que evaluó en capones provistos de cánulas ruminales los parámetros de cinética ruminal de varias pasturas mediante el método in situ, se encontró que el *Lolium multiflorum* (raigrás espontáneo) presentó los siguientes valores para los parámetros: a=38,4, b=52,6 y c=7,4. El estado fenológico, la alta proporción de hojas pueden explicar el valor de altas tasas de desaparición. Los niveles de FDN tienen un impacto negativo en la degradación de la MS, reflejado en un porcentaje de MS desaparecido significativamente menor en comparación con otras pasturas evaluadas.

En un estudio realizado por Velásquez et al. (2013), se investigó el procesamiento del grano de maíz y su impacto en la cinética de degradación y en la digestibilidad de la materia seca in vitro. La investigación se llevó a cabo mediante una dieta compuesta en un 70% por pastoreo en pasto kikuyo *(Pennisetum clandestinum)* y en un 30% con grano de maíz. Los resultados mostraron que el tipo de grano y su procesamiento influyen en la accesibilidad del almidón y en la digestibilidad, ya que modifican la tasa de pasaje. Los parámetros de degradación estimados utilizando el modelo de Ørskov y McDonald (como se cita en Velásquez et al., 2013), fueron: para el maíz molido, a = 9,30; b = 57,42; a + b = 66,72; y c = 0,05. Para el grano entero, estos valores fueron: a = 3,29; b = 40,45; a + b = 43,74; y c = 0,10.

Suplementar con granos tiene como objetivo aportar energía, sobre todo cuando la alimentación es a base de pasturas con alto contenido y degradabilidad proteica (verdeos de invierno), el aporte energético de los granos de cereales es principalmente a partir del almidón; en este trabajo se obtuvieron valores de Kd para grano de maíz de (4,9%/h) mencionado por (Sauvant et al., 1994, Sauvant & Van Milgen, 1995, como se citan en Gagliostro & Gaggiotti, s.f.). Respecto al grano de lupino, se indican valores de degradación de 3.5 %/h en base a datos publicados por el Instituto Nacional de Reforma Agraria ([INRA], et al., s.f.).

Elizalde et al. (1999 como se cita en Bargo et al., 2003) observaron que la alfalfa tenía una mayor fracción soluble de la MS más alta que las gramíneas (13,7 y 6,7%/h). La suplementación con concentrado aumentó la fracción insoluble potencialmente degradable de la fibra. Reis y Combs (2000, como se cita en Coduri Pacheco et al., 2024) afirman que en vacas lecheras sobre pasturas, mezclas de gramíneas y leguminosas suplementadas al 1 % de PV no encontró diferencias en el kd para animales suplementados y no suplementados. Coduri Pacheco et al. (2024) mencionan que la MS potencialmente degradable del forraje se vio influenciada por la suplementación con grano de arroz entero.

2.4.1 Digestibilidad aparente in vivo

La digestibilidad aparente in vivo se calcula a partir de la diferencia entre la cantidad consumida de alimento y lo excretado en heces (Minson, 1990). Dado que estas mediciones presentan un alto nivel de complejidad, se utilizan técnicas indirectas para estimar la digestibilidad; estas técnicas son digestibilidad in vitro, degradabilidad in situ y ecuaciones de predicción partiendo de la composición química del forraje (Adesogan, 2002).

2.4.2 Propiedades físicas y químicas del rumen

Los rumiantes se han especializado en alimentarse de material vegetal fibroso, dado que la fermentación provocada por los microorganismos que se encuentran en el rumen permite que estos alimentos sean degradados.

Como producto final del proceso fermentativo se encuentran los ácidos grasos volátiles; estos son absorbidos a través de la pared del rumen en un ambiente líquido amortiguado y próximo a la neutralidad (Araujo Febres & Vergara-López, 2007).

2.4.3 pH Ruminal

Son varios los factores que intervienen para cambiar el pH en el rumen. El tipo de dieta proporcionada es el factor determinante en las fluctuaciones del pH ruminal, ya que esta condiciona la cantidad de H+ que se producen. Así mismo, según Krause y Oetzel (2006, como se cita en Araujo Febres & Vergara-López, 2007), los rumiantes presentan un sistema altamente desarrollado para mantener el pH dentro de los límites fisiológicos de 5,5 a 7,0.

Se ha comprobado que un pH cercano a la neutralidad (6,7 - 6,8) brinda las condiciones ruminales óptimas para la degradación de los carbohidratos y la síntesis de proteína microbiana, existe el "efecto carbohidrato", que depende del tipo del sustrato fermentado; este efecto causa que la degradación de la fibra y el perfil de fermentación en el rumen cambien cuando se adicionan concentrados; esto ocurre independientemente de los cambios en el pH (Crucci Núñez, 2016).

El rumen, junto con el retículo, forma una cámara que mantiene un ambiente favorable para la fermentación anaerobia, donde predominan las bacterias celulolíticas. La temperatura en el rumen es de 39-40 °C, debido a la fermentación ruminal, se producen diferentes gases, cerca de 30-50 litros/hora (Nava Cuéllar & Díaz Cruz, 2001).

Cuando se suplementa con alimentos ricos en almidón, la degradación ruminal de la fibra se deprime, aun cuando no ocurre una reducción significativa en el pH ruminal (Araujo Febres & Vergara-López, 2007).

Cuando los animales se alimentan a base de forrajes, se estimula una elevada secreción de saliva y los carbohidratos presentes son lentamente digeribles, dependiendo de la composición química del forraje, estado fenológico, especie, momento del año, entre otras. Por otro lado, cuando consumen granos que presentan carbohidratos rápidamente digeribles, se produce una baja en el pH, pero la magnitud de esta baja va a depender de la capacidad buffer del rumen (Fischer et al., 1994; Krause & Oetzel, 2006).

La frecuencia del suministro de los alimentos influye directamente en la fermentación ruminal, teniendo un rol importante en la estabilidad de los valores de pH a lo largo del día, debido a las sustancias buffer de la saliva que se logran al aumentar la frecuencia de ingesta de alimento. Mejorando la síntesis de proteína microbiana y la respuesta animal, dado que se produce una máxima digestión de los componentes de la dieta, incrementando el consumo y la producción animal (Fernández Mayer, 1998). Lo recomendado cuando se suplementa con concentrados energéticos o proteicos sería suministrarlos a lo largo del día para permitir una sincronización que permita el máximo aprovechamiento de los componentes de la dieta (Fernández Mayer, 1998).

2.5 CINÉTICA RUMINAL

2.5.1 Ácidos grasos volátiles (AGV)

La producción de los AGV depende de la composición de la dieta, además de la actividad microbiana, el pH del medio y la frecuencia de alimentación (Zavaleta de Lucio, 2012).

El rumiante aprovecha los productos finales de la fermentación, particularmente los AGV y los nutrientes contenidos en los cuerpos celulares de los microorganismos, que son aprovechados al digerirse en el abomaso e intestino delgado, los AGV son principalmente retirados del líquido ruminal, al ser absorbidos en las paredes del rumen y retículo. Los principales AGV; acético (CH_3-COOH), propiónico (CH_3-CH_2-COOH) y butírico (CH_3-CH_2-CH_2-COOH) (Nava Cuéllar & Díaz Cruz, 2001).

Los AGV para los microorganismos son productos secundarios de la fermentación ruminal, pero son la principal fuente de energía para los rumiantes. El pH en el medio afecta la absorción de los ácidos grasos. Cuando el contenido ruminal se alcaliniza, la absorción se reduce, pero cuando se acidifica, la absorción aumenta (Zavaleta de Lucio, 2012).

Se ha demostrado que la digestibilidad de la materia orgánica y la fibra, así como la producción de acético, están relacionadas principalmente con el pH ruminal, dependiendo del sustrato que se fermenta y cinética ruminal. Mientras que el pH se ve afectado por los cambios en la flora ruminal, y esta es afectada por la producción total de AGV y la concentración de propionato (Calsamiglia et al., 2008).

En general, dietas con alimentos muy digestibles, ricas en carbohidratos no estructurales (almidón), generan una rápida actividad fermentativa, una concentración mayor de AGV y caídas en el pH ruminal (Antúnez Tort, 2015; Balch & Rowland, 1957). Afectando negativamente la degradabilidad ruminal y la digestibilidad de la fracción fibrosa de la dieta (Antúnez Tort, 2015; Tebot et al., 2012). Favoreciendo con esto la formación de ácido propiónico y un leve incremento del ácido butírico (Antúnez Tort, 2015; Balch & Rowland, 1957).

El suministro de dietas totalmente mezcladas, el acceso ad libitum y el suministro del alimento con mayor frecuencia generan un ambiente ruminal con menores fluctuaciones (Antúnez Tort, 2015). También la suplementación con alimentos almidonosos suele disminuir el consumo de forraje y la digestibilidad de la fibra, según (Paterson et al., 1994, como se cita en Crucci Núñez, 2016).

Según Bargo et al. (2003), estudios realizados en vacas lecheras a pastoreo determinaron que la suplementación con concentrado a base de fibra disminuye en un 5,4% la producción de propionato y aumenta la proporción de butirato y acético ruminal comparado con la suplementación con concentrado a base de almidón. Al incluir en la dieta concentrados amiláceos, en especial el almidón de cebada aumenta la producción ruminal de propionato, a diferencia de butirato y acético (Knowlton, et al., 1998, como se cita en Noro et al., 2006).

2.5.2 Tasa de pasaje (Kp)

La tasa de pasaje se refiere al pasaje o flujo de las fracciones del alimento, a través del tracto digestivo que pasa por un punto determinado en un lapso (Faichney, 2005 como se cita en De Barbieri et al., 2025).

Se calcula como el flujo de residuos no digeridos en el rumen dividido por el volumen ruminal, con un promedio de 2 a 3 % por hora (Ledea Rodriguez et al., 2017).

Kp = FDNI (g/h) / masa de FDNI en el compartimiento

El recambio ruminal (obtenido al dividir el volumen ruminal por el consumo) está en función de la tasa de digestión y de la tasa de pasaje. Entonces, la tasa de digestión es definida como la cantidad de alimento que puede ser digerido por unidad de tiempo; siendo esta variable una función esencialmente de la dieta, ya que su composición, calidad, deficiencia, exceso y disponibilidad de nutrientes determinan la velocidad de la digestión (Van Soest, 1994 como se cita en Mejía Haro & Mejía Haro, 2007).

2.5.3 Capacidad buffer

La acción buffer es la capacidad de una solución para resistir cambios en el pH y está definida como el número de moles por litro de H+ necesarios para causar un cambio en el pH. Según Counotte et al. (1979 como se cita en Araujo Febres & Vergara-López, 2007), la capacidad buffer del rumen se define por el valor de pH, la presión parcial de CO_2 y la concentración de sales de ácidos grasos de cadenas cortas (AGCC).

El sistema buffer del rumen es muy complejo, dado que hay varias variables involucradas, como son la producción de saliva, la absorción de los AGCC a través de la pared ruminal, el consumo de C por los microorganismos, la proteína del alimento y el nitrógeno no proteico que genera NH_3 al ser degradado (Araujo Febres & Vergara-López, 2007).

2.5.4 Amonio (NH_4^+) en rumiantes

El nitrógeno (N) presente en los alimentos que componen la dieta de los rumiantes se presenta en forma de proteínas, aminoácidos y compuestos nitrogenados no proteicos (NNP). En el rumen, como resultado del proceso fermentativo bacteriano, gran parte de las proteínas rápidamente degradables (PRD) presentes en los alimentos son transformadas por amonificación a NNP, principalmente amonio (NH_4^+). Sirviendo como principal fuente de N en la síntesis de proteína microbiana (Noro & Wittwer, 2012).

Cuando se da un desequilibrio en la dieta entre la energía y las PRD, ya sea por un alto aporte de PRD o un bajo consumo de energía, la concentración de NH_4^+ ruminal aumenta dado que se excede la capacidad de los microorganismos ruminales para utilizarlo. Esto alcaliniza el pH ruminal e incrementa la formación de amoníaco, aumentando la velocidad de absorción de NH_3. Cuando el pH es más ácido, se incrementa la formación de NH_4^+, pero se produce una lenta absorción ruminal. Esto último ocurre sobre todo en animales que son alimentados con dietas de alto contenido de carbohidratos no estructurales (Noro & Wittwer, 2012).

En la sangre, la concentración de NH_4^+ se eleva rápidamente después de la ingesta del alimento, alcanzando un pico máximo a las 2-3 horas. En los animales suplementados con

NNP, se da un pico de NH_4^+ en la primera hora posterior a alimentarse (Noro & Wittwer, 2012).

Los rumiantes tienen la capacidad de retener y reciclar el nitrógeno ingerido en la dieta, por lo que suministrar suplementos proteicos diariamente o de forma infrecuente no presenta diferencia cuando se compara a través de la evolución de la ganancia diaria del peso vivo, condición corporal o performance reproductiva. Sin embargo, cuando se utilizan fuentes de suplementación de NNP como la urea, es conveniente la suplementación diaria para evitar el exceso de amoniaco en rumen y sangre (Beaty et al., 1994 como se cita en Reinoso & Soto, 2012; Farmer et al., 2001, 2004).

2.5.5 Metabolismo de los compuestos nitrogenados

Los bovinos tienen la capacidad de utilizar las diferentes fuentes de nitrógeno para la síntesis de aminoácidos y la formación de proteína microbiana. Esta capacidad se la dan los microorganismos del rumen (Giraldo et al., 2005).

Se puede resumir el metabolismo del nitrógeno en rumiantes como la capacidad de la población microbiana para utilizar el amoniaco y, en presencia de cantidades adecuadas de energía, sintetizar aminoácidos apropiados que necesitan para cubrir sus necesidades de proteína (Maynard, 1986 como se cita en Giraldo et al., 2005).

Con la excepción de algunas proteínas y el N asociado a la FDA, las fuentes de N son fácilmente solubles y susceptibles a la degradación en el rumen. La proporción y la cantidad de amoniaco producido reflejan la solubilidad y fermentación de las fuentes de N, tanto de la dieta, como de origen interno. Es así como la concentración de amoniaco puede disminuir con fuentes de N menos degradables (Huntington & Archibeque, 1999).

Cuando los rumiantes consumen raigrás, con altos niveles de proteína degradable en rumen, se producen elevadas concentraciones de nitrógeno amoniacal (Aguerre et al., 2013; Pérez Ruchel, 2010; Reis & Combs, 2000; Santana Fernández, 2012). En estas situaciones, la suplementación con concentrados energéticos disminuye la concentración de $N\text{-}NH_3$., mejora la utilización del N en rumen (Reis & Combs, 2000) y reduce la excreción de N en orina (Antúnez Tort, 2015; Castillo et al., 2000).

Por otro lado, los bovinos pastoreando forrajes de baja calidad, altos en fibra y deficientes en proteína, presentan una baja a negativa ganancia de peso, dado que presentan un bajo consumo voluntario debido a la lenta degradación del forraje. La suplementación con proteína de alta degradabilidad ruminal corrige el déficit de nitrógeno, aumenta la velocidad de degradación, así como también la tasa de pasaje ruminal, la llegada de proteína verdadera al duodeno y el consumo de forraje (Soto Silva & Reinoso Ortiz, 2007).

2.6 CARACTERIZACIÓN DEL FORRAJE

La variedad de raigrás Bill Max es un cultivar anual tetraploide sin requerimientos de frío, el cual fue seleccionado por su calidad (cuadro 2), precocidad y extensión de su ciclo productivo hasta fines de invierno y comienzos de la primavera.

Cuadro 2

Características de análisis químico de raigrás Bill Max para dos períodos del cultivo

Características	Periodo 1	Periodo 2
MS%	18,4	14,9
PC%	12,7	10,2
C%	18,6	8,3
FDA%	29,3	28,8
EM Mcal/kg/MS	2,5	2,5

Nota. MS= materia seca, PC= proteína cruda, C=cenizas, FDA= fibra detergente ácido, EM= energía metabolizable. Extraído de Maschio Molinari et al., (2020).

2.7 CARACTERIZACIÓN DEL GRANO DE LUPINO

Los lupinos pertenecen a la familia Leguminoseae, subfamilia Papilionoideae, tribu Genisteae. Hay cientos de especies en el género Lupinus, pero solo Lupinus albus, Lupinus angustifolius y Lupinus luteus son las cultivadas mundialmente. Las variedades dulces (L. albus y L. angustifolius), dado su bajo contenido de alcaloides, han podido ser incorporadas en la alimentación animal. Este grano se caracteriza por presentar altos niveles de proteína y energía metabolizable (Mera Krieger, 2016).

Los lupinos prácticamente no contienen almidón, pero poseen 12-14% de carbohidratos solubles, principalmente sacarosa y oligosacáridos como ajugosa, rafinosa, estaquiosa y verbascosa. En los cotiledones, el contenido de azúcares solubles alcanza el 19%. En la siguiente tabla (cuadro 3) se podrán observar detalladamente las características de las variedades de Lupinus (Mera Krieger, 2016).

Cuadro 3

Composición química de Lupino angustifolius

Características	Entero	Descascarado
Materia seca %	90,06	88,26
Cenizas %	3,69	3,82
Proteína Cruda %*	27,19	38,32
Extracto Etéreo %	4,79	5,72
Fibra Cruda %	18,14	7,26
Fibra detergente neutro %	31,45	14,26
Fibra detergente acido %	24,86	12,23
Lignina %	10,55	6,38

Nota. *(N*6,25). Adaptado de Luna-Zamora et al. (2019).

El lupino angustifolius a nivel nacional es utilizado para consumo animal; este grano, por sus características nutricionales, es energético-proteico debido a su elevado contenido de proteína (26% a 34.2% de PC y 2.8 a 3.4 Mcal/kg de energía metabolizable) (Acosta Lagaxio, 2022, como se cita en National Research Council [NRC], 2000); Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [FEDNA], s.f.). Otras fuentes como Petterson (2000, como se cita en Simeone & Beretta, 2021), para grano de lupino con cáscara y sin cáscara muestran valores de proteína de 35,1% y 40%, mientras que para energía bruta (Mcal/kg) 4,8 y 4,3, respectivamente.

La proteína del grano de lupino se caracteriza por una elevada degradabilidad ruminal, alcanzando el 72,2 % a las 2 horas post ingestión y una degradabilidad total estimada del 80,5 % mediante la técnica *in situ,* la rápida desaparición inicial de la proteína se atribuye,

en parte, al lavado o a la solubilización de una fracción importante de esta durante las primeras horas de incubación ruminal (Guillaume et al., 1987).

Asimismo, no solamente es un grano altamente atractivo para integrar raciones de bovinos, sino que es un cultivo beneficioso para agregar a las rotaciones agrícolas-ganaderas dado su aporte de nitrógeno al suelo por la fijación biológica, su gran adaptación a suelos arenosos con bajos niveles de fósforo disponible y porque permite la utilización de graminicidas para controlar malezas más eficientemente (Mera Krieger, 2016).

2.8 RESULTADOS EXPERIMENTALES CON GRANO DE LUPINO

A continuación, se describirán resultados experimentales internacionales y nacionales, realizados para evaluar el grano de lupino como alimento para bovinos de carne.

Hawthorne (1980 como se cita en Acosta Lagaxio et al., 2022) realizó un experimento compuesto en la estación de verano de Australia del Sur. Comparó novillos Hereford suplementados con grano de lupino pastoreando praderas perennes, con novillos estabulados con una dieta en base a heno y lupino. Obtuvo como resultado que, al suministrar a los novillos en pastoreo 3,5 a 4 kg de grano de lupino, las ganancias de PV se reducen en un 21% con respecto a los novillos estabulados. Con una variación del 14 al 28%. Siendo la calidad y cantidad de forraje una causa posible de estos resultados, así como también la frecuencia de alimentación.

Otro resultado que analizó el autor fue que, al reducir la cantidad de lupino suministrada (3,5 - 2,0 - 1,0 kg/d), los animales en pastoreo tuvieron menores ganancias medias diarias y menor eficiencia de conversión, resultando esta de “3,95, 4,95 y 5,58”, respectivamente llegó a la conclusión de que suplementar a los novillos en pasturas de baja calidad produce mejores ganancias y eficiencia de conversión que suplementar en pasturas de alta calidad. No se encontró una razón clara que explique esto, pero señala que puede deberse a una sustitución del grano por la pastura o a una menor necesidad de un suplemento proteico dado el mayor contenido de proteínas en la pastura de alta calidad.

Beretta et al. (2021) publicaron un experimento realizado en UPIC en el año 2020, donde se utilizaron terneros Hereford pastoreando raigrás cv. Bill Max con dos ofertas de

forraje del 2,5% y 5% del PV y suplementados con lupino a razón del 1% del PV. Como resultado, se obtuvo que los animales suplementados tuvieron una mayor ganancia media diaria de peso vivo que los animales testigos sin suplementar. A su vez, no se registraron diferencias de ganancias de peso vivo entre las diferentes ofertas de forraje.

Acosta Lagaxio et al. (2022) evaluaron el efecto de la suplementación con grano entero y grano quebrado de lupino utilizando novillos Hereford pastoreando sorgo forrajero. Como resultado obtuvieron una gran respuesta a la suplementación, pero no hubo respuesta al procesamiento del grano, concluyendo que el quebrado del grano de lupino no repercute en beneficios a la respuesta a la suplementación; no hay diferencias significativas en la eficiencia de conversión.

Guillaume et al. (1987) evaluaron la sustitución de harina de soja por grano entero de lupino (*Lupinus albus*) como alimento de suplemento en vacas Holando en lactación. Los resultados obtenidos evidenciaron que el tratamiento con lupino registró un menor CMS que el tratamiento con harina de soja, produjo 1,8 kg menos de leche y menos porcentaje de proteína en la leche. Como conclusión a estos resultados, la causa de menor consumo no está clara, pero los autores explican que puede deberse a que las vacas en lactación son más sensibles al contenido de alcaloides o a la elevada degradación ruminal de la proteína en lupino, reduciéndose la absorción intestinal de N.

Vicenti et al. (2009) evaluaron la sustitución de harina de soja por grano de lupino, utilizando toros de raza Podolian con 240 días de edad y un peso promedio de 265 kg, llegando a la conclusión de que es efectivo el uso del grano de lupino en reemplazo de la soja como fuente de proteína. Dentro de los resultados obtenidos, no se encontraron diferencias significativas en cuanto al peso final, calidad de la carne, ganancia media diaria y composición de la carcasa, solamente en el porcentaje de grasa en la carcasa, siendo este inferior.

Debido a no obtener resultados similares con otros autores, Vicenti et al. (2009) explica que puede estar relacionado con la mayor degradabilidad y menor calidad de la proteína del lupino, en comparación con la de la soja, pobre en ácido glutámico y aminoácidos esenciales que contienen azufre.

Ragni et al. (2018) también evaluó la sustitución de harina de soja por grano entero de lupino y grano de arveja como fuente de proteína, pero con vaquillonas Charolais. Obtuvo resultados muy similares a los de Vicenti et al. (2009); los resultados obtenidos avalan el uso de grano de arveja y lupino como una alternativa válida; no hubo diferencias significativas entre las tres fuentes de proteína.

En un experimento realizado por Rojas y Catrileo (1998) sobre la comparación de grano de Lupinus angustifolius y Lupinus albus suministrado en forma de grano entero o quebrado. Durante 126 días de la temporada otoño-invierno de 1994, se utilizaron 28 novillos Hereford de 9 a 10 meses de edad y 208 kg de peso. Los resultados mostraron que la forma de procesamiento de los granos no influenció en el consumo promedio de MS de los novillos; además, se pudo concluir que la molienda de los granos de lupino blanco y australiano no se traduce en ventajas productivas en la engorda estabulada de novillos. Las raciones con grano de lupino australiano permiten un mayor consumo animal, que se traduce en mayor incremento de peso, pero con iguales eficiencias de conversión del alimento, comparado con raciones con lupino blanco.

Rojas et al. (2011) utilizaron vaquillonas Hereford x Angus, estabuladas, alimentadas con ensilaje de cebada, granos de avena y granos de lupino para evaluar la respuesta productiva y el efecto de moler los granos, además de sus interacciones y el posible impacto en la ganancia de peso. En este experimento no se encontró diferencia en suministrar granos enteros o molidos, por lo que no se justifica el costo extra que tiene el procesamiento de los granos.

En un trabajo realizado por Jahn et al. (1999) con novillos fistulados de raza Holando americano, se evaluaron cuatro tratamientos de procesamiento en referencia a la degradación de MS en grano de cebada, maíz y lupino dulce (Lupinus albus); los tratamientos fueron grano molido, grano entero y grano con aplicación de NaOH al 2%.

Como resultado, se obtuvo que hay diferencias significativas ($P \leqslant 0,05$) en la digestibilidad de la MS entre el grano entero, molido o tratado con NaOH. Para el caso del grano de lupino, no se encontraron diferencias significativas en los tratamientos de grano entero y tratado con NaOH.

El tratamiento de grano molido fue el que presentó las mayores desapariciones de la materia seca debido a una más rápida colonización y degradación efectuada por los microorganismos ruminales (Theurer, 1986 como se cita en Jahn et al., 1999), alcanzando valores de 99% de degradabilidad en 48 horas de incubación.

Según el grado de daño del grano, se incrementa la fracción de PC soluble y la tasa de desaparición; por lo tanto, la mayor degradación es en el tratamiento de grano molido. La liberación de los componentes nutritivos en el rumen es más lenta cuando se suministra grano entero que molido.

2.9 HIPÓTESIS

La suplementación con grano de lupino quebrado en la dieta de novillos de sobreaño, suministrado bajo la forma de autoconsumo o suplementación diaria, tendrá un efecto en los parámetros ruminales, generando un efecto de alcalinización del pH ruminal y un aumento en la concentración de NH_4^+ respecto al tratamiento testigo. Asimismo, se espera que existan diferencias en los parámetros ruminales en los tratamientos suplementados en función de la forma en que se suministra el alimento de forma controlada (suplementación diaria) o *ad libitum* (autoconsumo).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) ubicada en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), perteneciente a la Universidad de la República de la Facultad de Agronomía. La misma se ubica en el kilómetro 363 de la ruta 3 en el departamento de Paysandú, litoral norte del país. El periodo de experimentación transcurrió entre el 2 de septiembre y el 23 de octubre del año 2023.

En la figura N.º 2 identifica el potrero donde se realizó el trabajo experimental.

Figura 2

Potrero donde se llevó a cabo el experimento



Nota. Imagen satelital extraída de Google (2025).

3.2 SUELO

El potrero en el cual se llevó a cabo el trabajo se encuentra sobre la Formación Fray Bentos y Unidad San Manuel; estos principalmente se componen de Brunosoles Eutricos, esta Clase agrupa suelos moderadamente profundos a profundos, de color negro o pardo muy oscuro, textura media a pesada y diferenciación textural mínima a media. Por su morfología y propiedades físicas y químicas, estos son los mejores suelos del país, capaces de tolerar un uso muy diversificado e intensivo (Durán & García Préchac, 2007). Solamente pueden considerarse no arables algunos de escasa profundidad y ubicación en pendientes fuertes (Durán & García Préchac, 2007).

3.3 CLIMA

Para el periodo experimental, las temperaturas y precipitaciones promedios para la localidad de Paysandú, datos extraídos de la Estación Meteorológica EEMAC, se presentan en el cuadro N°. 4.

Cuadro 4

Temperaturas(°C), precipitaciones (mm) mensuales para el periodo de septiembre-octubre del año 2023

	Septiembre	Octubre
Temperatura máxima (°C)	19,2	23,8
Temperatura mínima (°C)	10	10,8
Temperatura media (°C)	14,6	17,4
Precipitaciones (mm)	73,2	59,6

Nota. Los datos de precipitación (mm) y temperatura (°C) corresponden al periodo experimental de 2023 y fueron obtenidos de los registros meteorológicos de la Estación Meteorológica de la Estación Mario A. Cassinoni. Debido a que dichos registros actualmente no se encuentran disponibles en la página web de la institución, los datos utilizados fueron proporcionados por EEMAC (comunicación personal, 25 de noviembre de 2023).

3.4 ANIMALES

Para el experimento se trabajó con 3 novillos de sobreaño de la raza Hereford, nacidos en la primavera del 2022, provistos de fístula ruminal, con un peso promedio al inicio del experimento de 310 kg.

La cirugía para la implantación de las cánulas fue realizada por el doctor veterinario Fernando Nan. En el preoperatorio se mantuvieron a los animales durante 24 horas en ayuno y sin agua; antes de comenzar, se depiló la región del hueco del flanco y se higienizó, lavando con agua y jabón además de desinfectar con antisépticos. El tiempo promedio de cada intervención fue de 90 minutos.

La cánula se coloca en el hueco del ijar, 5 cm por debajo de las apófisis y 5 cm por detrás de la última costilla.

Previo a la intervención quirúrgica, 30 a 45 minutos, se le suministró un sedante y luego la anestesia regional; esta consiste en un bloqueo de los nervios de manera paravertebral distal, según la técnica de Cakala; esta analgesia regional se hace en forma de L invertida.

Para la colocación de la cánula, se practicó una incisión circular de 9 cm de diámetro de piel y se extrae. Posteriormente, se incide en el músculo oblicuo abdominal externo (MOAE) siguiendo la dirección de sus fibras. Se instila lidocaína sobre el rumen, y se extrae un fondo de saco ruminal fijándolo con una pinza uterina.

Continuando, se fijó el rumen a la pared; se sutura con Vicryl 1 (sutura de tipo continua), siguiendo un recorrido a medialuna de derecha a izquierda. Esta sutura liga la pared del rumen. Se completa el círculo con puntos aislados en X. De esta manera, la cavidad peritoneal queda cerrada. Se extrae el rumen con la pinza uterina, y realizando dos suturas paralelas en bolsa de tabaco, posteriormente colocamos 4 puntos en U perforantes que toman todas las capas musculares. Se toma la cánula con sus aros distendidos y plegados sobre sí mismos. Seguidamente, se introduce hacia el rumen y se despliega, colocando el tapón.

La cánula utilizada es flexible, tipo látex, compuesta por una parte cilíndrica y dos arandelas (todo un solo cuerpo). El tapón es cilíndrico, con borde externo cónico que se ajusta en un reborde en la pared. Mide 11 cm de diámetro por 10 cm de profundidad.

3.5 PASTURA Y SUPLEMENTACIÓN

Se utilizaron 0,8 ha de raigrás (*Lolium multiflorum*), cultivar Bill Max correspondiente a la empresa Gentos, con una disponibilidad promedio durante los meses de septiembre-octubre de 8137,6 kg MS/ha ± 3033,2 kg MS/ha y con 44 cm ± 10,7 cm de altura.

El manejo de dicho verdeo fue el siguiente: Previo a la siembra, se efectuó una pulverización con glifosato + amina (2,4-D). La fecha de siembra fue el 22 de abril a una densidad de siembra de 25 kg/ha y se realizó una fertilización inicial de 100 kg/ha de 18-46-0 (fosfato diamónico).

Como suplemento se utilizó grano de lupino quebrado (*Lupinus angustifolius*) proveniente del establecimiento “El Cerro”.

3.6 TRATAMIENTOS

Fueron evaluados tres tratamientos:

- Tratamiento testigo (T1): pastoreo de raigrás sin suplementación.

- Tratamiento diario (T2): pastoreo de raigrás más suplementación con grano de lupino a razón de 1 kg de MS/100 kg de PV.

- Tratamiento autoconsumo (T3): pastoreo de raigrás más suplementación *ad libitum* con grano de lupino ofrecido en comederos de autoconsumo.

Todos los tratamientos pastorearon a una oferta de forraje al 2,5% de PV.

Los 3 animales fueron asignados al azar en un diseño en cuadrado latino 3 × 3 (3 tratamientos × periodos de evaluación) de esta forma todos los animales pasan por todos los tratamientos. Cada periodo tuvo una duración de 17 días, siendo que durante los primeros 14

días se realizó la transición entre dietas y en los últimos 3 se realizaron los muestreos y mediciones.

3.7 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.7.1 Periodo preexperimental

El periodo preexperimental se inició dos meses antes; a principios del mes de julio se comenzó con el periodo de amansamiento de los animales. Constaba en colocar el bozal de piola diariamente, atarlos e interactuar con ellos para que en la etapa de campo logren ser dóciles.

El 2 de agosto se realizó la cirugía y colocación de cánulas ruminales explicada anteriormente. La curación diaria de los animales estuvo a cargo de la DVM Lourdes Adrien.

Postcirugía, los animales se dejaron en un potrero restringido. Una vez por día se lavó con antisépticos y se aplicó antimiásico. Esto se realizó durante 10 días. El antibiótico se aplicó por 5 días. Se restringe por tres días la administración de hidratos de carbono de fácil fermentabilidad, basándose la dieta en pasturas naturales.

La colocación de las fístulas fue aprobada por la Comisión de Ética en el Uso de Animales (CEUA).

3.7.2 Periodo experimental

El periodo experimental estuvo constituido por tres periodos de 14 días, 3 días de muestreo. Cada animal pasó por los tres tratamientos (testigo, suplementación diaria y autoconsumo) al completar la totalidad de los periodos. Durante el ensayo, el manejo del pastoreo fue semanal y, en el caso de los tratamientos 2 y 3, la suplementación y la lectura de comederos donde se ofrecía el grano de lupino se efectuaron diariamente a las 8:00 a. m. En el caso de que, al momento de realizar la lectura, en el T3 no tuviera rechazo, se ajustaban los kilogramos de suplemento a suministrar y se aumentaba el 10% respecto al 2% de PV, esto hasta que el animal dejara un rechazo y no consumiera todo lo suministrado, simulando un comedero de autoconsumo.

La asignación de forraje al 2,5% de PV fue ajustada variando el área de la parcela en base a la MS disponible, y por el peso vivo registrado cada 14 días para cada animal al final del periodo de muestreo. El pastoreo que se realizó fue rotativo con franjas de 7 días de ocupación; luego, en el periodo de muestreo, se ingresaban a franjas de duración de 3 días. Las parcelas fueron delimitadas por alfajías y por alambre eléctrico; en cada una de ellas se colocó un bebedero donde se suministró agua diariamente, y un comedero en las parcelas en que el animal era suplementado.

La cantidad en base seca fue ajustada para el verdeo y suplemento en función del cambio de peso de los animales y el contenido de MS de cada alimento, determinado en el laboratorio mediante el secado de muestras durante 48 horas en estufa a 60 ºC.

3.8 MEDICIONES, MUESTREOS Y REGISTROS.

3.8.1 Peso vivo

Los animales fueron pesados de forma individual al inicio del experimento y al final de cada periodo experimental, coincidiendo con el cambio de periodo. El objetivo de estas mediciones fue para la oferta de forraje y de suplemento.

3.8.2 Consumo de materia seca de forraje (MSF)

Para la estimación de disponibilidad de forraje, se estimó mediante la técnica de doble muestreo (Pravia et al., 2023 como se cita en Haydock & Shaw, 1975). Al comienzo de cada periodo se realizaba un muestreo de tres escalas de diferente altura cada una; se cortaban muestras representativas de cada escala, con dos repeticiones cada una y posteriormente se envían a estufa de aire forzado a 60 °C por 48 horas, para de esta forma obtener el peso en seco del forraje. Luego se pesaba y se realizaba el cálculo al 2,5% de PV restringidos. En el último día del periodo se realizaba el mismo procedimiento antes mencionado para obtener la muestra seca del rechazo y determinar el consumo de forraje en cada periodo experimental.

3.8.3 Consumo de materia seca del suplemento (MS)

El consumo de materia seca fue estimado en cada periodo de muestreo en los días 1, 2 y 3 como la diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado. Para medir lo consumido en

autoconsumo, se pesaba el remanente del comedero en fresco, se tomaba una muestra y se enviaba a estufa de aire forzado a 60 °C por 48 horas, para obtener el peso en seco y además para conservarlas para su posterior análisis químico.

3.8.4 Degradabilidad in situ de la MS

La degradabilidad *in situ* de la materia seca del lupino, grano molido de maíz (incluido para tener un valor de referencia y poder tener una comparación con los valores obtenidos del lupino) y raigrás, fue estimada durante los días 1, 2 y 3 mediante la incubación de los materiales en el saco ventral del rumen.

El raigrás incubado fue cortado a inicios del primer muestreo cuando dicho verdeo se encontraba en etapa vegetativa, simulando el pastoreo. Posteriormente, se picó en partículas de 1 cm, representando la masticación, para luego ser conservado y congelado para su incubación en los diferentes periodos.

Además, para conocer la composición química del forraje, se realizó la técnica de hand clipping, que consiste en cortar el forraje a la altura que consume el animal en el día 1, 2 y 3 del periodo de muestreo.

Grano quebrado de lupino, grano molido de maíz y raigrás picado en fresco con tijeras, en partículas pequeñas simulando la masticación del animal, se incubaron en bolsas por duplicado, todas al inicio de cada periodo de muestreo al tiempo cero (T0) y fueron retiradas a las 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 horas de haber sido incubadas. Cada bolsa se cerró herméticamente con un precinto plástico y se ató a una piola común, conteniendo los diferentes tiempos por alimento. Una vez retiradas, fueron inmediatamente colocadas en una conservadora con hielo para detener la fermentación y posteriormente congeladas a -18°C, para su conservación. Finalmente, se realizó una secuencia de 5 lavados de 3 minutos en lavarropas, un enjuague en agua destilada por 5 minutos para luego ser escurridas y secadas durante 48 horas en estufa de aire forzado a 60 °C, hasta peso constante.

Se utilizaron bolsas de filtro de 9 × 11 cm (tela de serigrafía de 120 hilos) con 40 µm de porosidad. La muestra incubada debe ser capaz de moverse libremente dentro de la bolsa, con el objetivo de evitar microambientes que afecten la repetibilidad del análisis. La relación

ideal entre la muestra y el tamaño de la bolsa es de 15 mg de ms/cm^2 (Ørskov, 1992). Previo a la colocación de las muestras, se registró el peso seco de cada bolsa en balanza analítica (precisión 0,0001 g), siendo luego las bolsas llenadas con los granos de lupino, maíz y el raigrás a incubar.

La degradabilidad en el tiempo 0 se determinó colocando 2 bolsas por muestra en agua a 39°C, simulando la temperatura ruminal, durante 15 minutos, las cuales también se escurrieron y secaron durante 48 horas en estufa de aire forzado a 60°C, hasta peso constante.

Las bolsas, incluyendo sus respectivos residuos ya secos, fueron pesadas para luego determinar la MS desaparecida en rumen como la diferencia entre el peso seco de bolsa + residuo y el peso seco de la bolsa vacía. El residuo de cada bolsita se retiró y se guardó en bolsas plásticas para su conservación.

3.8.5 pH ruminal y amonio

Las muestras de líquido del saco ventral del rumen fueron obtenidas al tiempo cero, 3 ,6, 9, 12 horas del día 1 y a primera hora de la mañana, 6 a.m. T24 del día 2 postsuministro de suplemento T2 y T3 en cada periodo de muestreo. El T0 corresponde al pH inicial y está relacionado con los tratamientos de T2 y T3 para determinar las fluctuaciones de pH a medida que transcurre el tiempo y el consumo del alimento, cómo afecta dicho consumo al pH.

Las muestras de líquido ruminal fueron filtradas en tela de queso doble y se midió pH de forma inmediata, utilizando un pH-ímetro portátil (pHTestrs 20®, Oakton® Instruments; Vernon Hills, IL, USA).

Además, se obtuvo una submuestra de ese mismo líquido ruminal filtrado; una alícuota de 40 ml se mezcló con 2 ml de ácido sulfúrico puro para la posterior determinación de amonio. Esto ocurrió en los mismos periodos de medición del pH; una vez realizadas, también fueron inmediatamente colocadas en una conservadora con hielo para detener la fermentación y posteriormente congeladas a -18°C, para su conservación.

3.8.6 Digestibilidad aparente in vivo

La digestibilidad aparente *in vivo* de la MS fue estimada mediante la recolección parcial de heces durante los días 2, 3 y 4. Se tomó una muestra por animal a primera hora de la mañana durante el periodo mencionado. La digestibilidad de los alimentos se evaluó usando la prueba de cenizas insolubles en ácido (AIA) como marcador natural (Van Keulen & Young, 1977).

Fueron combinadas en una muestra compuesta por animal por día; dichas muestras se pesaron y se secaron en estufa de aire forzado a 60°C hasta peso constante (una semana). Posteriormente, fueron procesadas en el molino de forraje de la EEMAC y conservadas para el análisis químico.

Se recolectaron muestras de forraje de cada parcela mediante la técnica de hand-clipping para simular el consumo animal de raigrás; como muestra de grano de lupino, se sacó una muestra del ofrecido en los 3 días de muestreo y se secaron en estufa de aire forzado a 60°C por 48 horas.

3.8.7 Actividad de pastoreo, rumia, acceso al comedero y descanso.

Durante el día 2 de cada periodo de muestreo se observó el patrón de consumo y comportamiento de los animales durante 10 horas (desde 8:00 am - 6:00 pm, periodo de horas luz), tomando registro en una planilla cada 10 minutos de las actividades que realizaba cada animal: pastoreo, acceso a comedero, acceso a agua, rumia y descanso. En el primer turno de pastoreo de la mañana y de la tarde se contabilizó el número de bocados/minutos.

3.9 ANÁLISIS QUÍMICO

Los análisis químicos a realizarse son contenido de MS (Latimer, 2012, método 934.01), cenizas (Latimer, 2012; método 942.05), PC (Latimer, 2012; método 984.13), NIDA (%N; Van Soest et al., 1991), FDN (Van Soest et al., 1991), FDA (Van Soest et al., 1991) en las muestras de alimento ofrecido y rechazos. El contenido de FDN y FDA fue determinado en forma secuencial. La concentración de amonio (µg N- NH_4^+/ml) (Latimer, 2015; método

984.13) se determinó mediante espectrofotometría según el método de Chaney y Marbach (1962).

3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Diseño de cuadrado latino 3×3, con tres animales y tres períodos de tiempo (dos restricciones a la aleatorización), sin réplica, bajo el supuesto de que no existe interacción significativa entre período, animal y tratamiento (Montgomery, 2004).

El modelo estadístico general incluyó al tratamiento y período de tiempo como efecto fijo, y al animal como efecto aleatorio: $Yijk = \mu + Pi + Aj + Tk + Eijk$, siendo μ la media general, Pi el efecto del i-ésimo período, Aj el efecto del j-ésimo animal, Tk el efecto del k-ésimo tratamiento y Eijk el error experimental.

Variables con medidas repetidas en el tiempo: se incluyeron los efectos fijos de momento de muestreo y sus interacciones, quedando el modelo de la siguiente manera: $Yijkl = \mu + Pi + Aj + Tk + Eijk + Hl + (H \times T)\,kl + \delta ijkl$, donde Hl es el efecto del l-ésimo momento de muestreo (hora de muestreo), $(H \times T)\,kl$ la interacción entre tratamiento y momento de muestreo, y $\delta ijkl$ el error de la medida repetida en el tiempo.

Las medias ajustadas para todos los modelos fueron comparadas mediante la prueba de Tukey. Para los resultados de consumo de MS, efecto hora sobre pH ruminal, se consideró un P-valor significativo <0,05. Para los resultados de comportamiento ingestivo, pH ruminal, digestibilidad de la MO y MS, degradabilidad in situ de la MS, se consideró un P-valor significativo cuando $P<0,05$, y una tendencia en los valores de pH ruminal cuando $0,05 \geq P<0,1$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS

En el cuadro N.º 5 se presentan los resultados de análisis químicos del grano de lupino y forrajes utilizados en el experimento.

Cuadro 5

Caracterización de los alimentos suministrados durante el proceso experimental

	MS %	C %	PC %	aFDNmo %	FDAmo %	EE %	EB Mcal/kg
Lupino	90.9	4.6	34.5	33.6	21.0	6.6	4.1
Raigrás P1	90.7	14.6	12.4	50.6	26.9	2.3	
Raigrás P2	91.2	12.6	8.7	55.8	30.7	1.8	
Raigrás P3	89.1	16.1	15.1	47.4	24.7	2.8	

Nota. Resultados expresados en base seca; el forraje se presenta desagregado en cada periodo 1, 2 y 3. Materia seca analítica (MS%), Cenizas (C%), Proteína cruda (PC%), Fibra detergente neutro con amilasa y corregida por cenizas (aFDNmo %), FDAmo: Fibra detergente ácido corregida por cenizas, EE: Extracto etéreo, EB: Energía bruta.

Los resultados de la tabla muestran un promedio ponderado de las tres escalas según la técnica de doble muestreo del forraje ofrecido para cada periodo de estudio.

En cuanto a los indicadores de calidad nutricional del forraje, los valores de proteína cruda, cenizas y FDA obtenidos en el presente análisis se observan ligeramente inferiores a los reportados por Maschio Molinari et al. (2020), en el cual se utilizó la variedad de raigrás Bill Max (Gentos®). Las diferencias entre los resultados obtenidos y los de Maschio Molinari et al. (2020) pueden estar dadas debido a la etapa fenológica y condiciones de cultivo, entre otros.

Los resultados obtenidos del análisis químico para el grano de Lupino quebrado presentaron valores que son superiores a los recabados por Luna-Zamora et al. (2019),

excepto para la FDA; esto puede deberse a factores como la variedad, el origen, las condiciones de cultivo, el procesamiento, entre otros.

A su vez, para poder comparar el resultado de la energía bruta, arrojada por el análisis químico con datos de referencia, se calculó la energía metabolizable con la ecuación de Van Soest (1991): EM (Mcal/kg) = 3,044 - (0,0312 × %FDA), dando como resultado una EM = 2,39 Mcal/kg, valor ligeramente superior al obtenido por Luna-Zamora et al. (2019), que es de 2,27 Mcal/kg para granos enteros.

4.2 CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD APARENTE DE LA MATERIA SECA

En el cuadro N.º 6 se presenta el consumo diario de materia seca, el consumo de materia seca de suplemento y el consumo total de materia seca, expresados en kilogramos por día, de los tres tratamientos analizados.

Cuadro 6

Consumo diario de materia seca de forraje, suplemento y consumo total

	Testigo	Suplementación diaria	Autoconsumo	P-Valor
Consumo de materia seca forraje (kg/día)	7,87 a	6,51 a	6,11 a	0,25
Consumo de materia seca suplemento (kg/día)	NC	3,15 a	5,72 a	0,07
Consumo de materia seca total (kg/día)	7,87 b	9,66 ab	11,83 a	0,03

Nota. No significativo (ns), P>0,05; NC = No corresponde.

El consumo de forraje (kg MS/d, CMSF) no se afectó significativamente por la suplementación; tampoco se detectaron diferencias significativas generadas según la forma

de suministrar el alimento, diaria vs. autoconsumo. En el consumo total (kg MS/d, CMST) se detectaron diferencias significativas. Estas se explican por la suplementación, debido a un efecto de adición con sustitución, donde el consumo de materia seca aumenta por el aporte de concentrado y, al mismo tiempo, el consumo de forraje disminuye numéricamente, aunque en menor magnitud. Este comportamiento coincide con lo descrito por Lange (1980). Independientemente de que el consumo de suplemento (kg MS/d, CMSS) no fue diferente estadísticamente, se ve cómo la suplementación diaria fue efectivamente del 1% PV ofrecido, mientras que en el autoconsumo el suplemento consumido representó el 2% PV.

En el cuadro N.° 7 se presentan los resultados del efecto de la suplementación y forma de suministro sobre la digestibilidad aparente de la materia seca y la digestibilidad de la materia orgánica (DMO).

Cuadro 7

Coeficientes de la digestibilidad de la materia orgánica (MO) y materia seca (MS) por tratamientos

	Testigo	Suplementación diaria	Autoconsumo	P-Valor
Digestibilidad de materia orgánica (MO)	0,78 a	0,76 a	0,72 a	0,39 ns
Digestibilidad de materia seca (MS)	0,74 a	0,72 a	0,70 a	0,53 ns

Nota. No significativo (ns), medias en la línea seguidas de distinta letra difieren estadísticamente (P<0,05).

La DMS de la dieta y la DMO no se vieron afectadas por la suplementación con lupino. Esto resulta coherente, dado que una depresión en la digestibilidad sería esperable únicamente si el suplemento fuera rico en almidón y se suministrara en altas cantidades, condiciones que pueden reducir tanto el consumo como la digestibilidad del forraje, especialmente la fracción fibra (Mieres, 1996).

El lupino es caracterizado como un alimento energético-proteico, con un aporte energético proveniente de la fibra altamente digestible y del contenido de lípidos, además de altos niveles de proteína, entre 27% y 38% según el grado de procesamiento (Luna-Zamora et al., 2019), lo cual explica que no haya una disminución significativa del consumo ni de la digestibilidad. Esto se explica porque, al suministrar un concentrado proteico, se incrementa tanto el consumo de forraje como la digestibilidad de la materia seca. Este tipo de suplemento contribuye a corregir el balance de nitrógeno ruminal y, en consecuencia, favorece el consumo de forraje y la disponibilidad de energía (Mccollum & Horn, 1990).

4.3 CINÉTICA RUMINAL

En el cuadro N.º 8 se presentan los valores de las fracciones de degradabilidad ruminal del forraje (expresadas en porcentaje), incluyendo la fracción soluble (a), la fracción insoluble potencialmente degradable (b), la suma de ambas (a+b) y la tasa de degradación (k, expresada en %/hora) para el tratamiento testigo.

Cuadro 8

Parámetros de degradabilidad de los alimentos en el tratamiento testigo

	Forraje Testigo	Error estándar
A	16,01	0,54
B	71,35	2,13
a+b	87,36	2,09
K	16,4	3,69

Nota: a= Fracción soluble en agua, b= Fracción insoluble potencialmente degradable, a+b= suma de las fracciones a y b, k= Tasa de degradabilidad (expresada en %/hora). Medias en la línea seguidas de distinta letra difieren estadísticamente (P<0,05). Extraído de Ørskov y McDonald (1979).

En el cuadro N.° 9 se muestran los parámetros de degradabilidad de los alimentos para el forraje, el lupino y el maíz, junto con sus respectivos errores estándar, permitiendo comparar la respuesta de cada alimento bajo un esquema de suplementación diaria.

Cuadro 9

Parámetros de degradabilidad de los alimentos en el tratamiento de suplementación diaria

	Forraje	Lupino	Maíz	Error estándar
a	16,01 a	7,48 b	5,19 b	0,54
b	72,88 b	91,56 a	88,59 a	2,13
a+b	88,89 a	99,04 a	93,78 a	2,09
k	17,51 a	6,8 a	6,4 a	3,69

Nota: a= Fracción soluble en agua, b= Fracción insoluble potencialmente degradable, a+b= suma de las fracciones a y b, k= Tasa de degradabilidad (expresada en %/hora). Medias en la línea seguidas de distinta letra difieren estadísticamente (P<0,05). Extraído de Ørskov y McDonald (1979).

En el cuadro N.° 10 se muestran los parámetros de degradabilidad de los alimentos para el forraje, el lupino y el maíz, junto con sus respectivos errores estándar, permitiendo comparar la respuesta de cada alimento bajo un **esquema de autoconsumo.**

Cuadro 10

Parámetros de degradabilidad de los alimentos de autoconsumo

	Forraje	Lupino	Maíz	Error estándar
A	15,86 a	7,11 b	4,57 b	0,54
B	71,67 b	89,42 a	92,84 a	2,13
a+b	87,53 a	96,53 a	97,41 a	2,09
K	16,32 a	6,4 a	6,1 a	3,69

Nota: a= Fracción soluble en agua, b= Fracción insoluble potencialmente degradable, a+b= suma de las fracciones a y b, k= Tasa de degradabilidad (expresada en %/hora). Medias en la línea seguidas de distinta letra difieren estadísticamente (P<0,05). Extraído de Ørskov y McDonald (1979).

En los cuadros se muestran los parámetros de cinética ruminal según el modelo de Ørskov y McDonald (1979); se encontraron diferencias significativas en el parámetro de “a” (fracción soluble) y “b” (fracción potencialmente degradable en rumen) en forraje respecto a los granos.

En el tratamiento testigo, el forraje presentó una fracción soluble “a” igual o superior a la observada en los demás tratamientos. Asimismo, se aprecia que la tasa de degradación “k” del forraje (16,32 %/h) es considerablemente mayor que la de los granos (6,4 y 6,1 %/h). Esto indica que la tasa de pasaje o tránsito es menor cuando el animal consume granos en comparación con el consumo de forraje, reflejando diferencias en la velocidad con que cada alimento es degradado en el rumen. Las variaciones observadas en los parámetros ruminales pueden atribuirse a factores como la edad y el estado fenológico de la planta, así como a la variedad o especie de raigrás utilizada, dado que cada una presenta diferencias en su composición y digestibilidad (Trujillo Lezama, 2006).

En los tratamientos **de suplementación diaria y autoconsumo** se observa una diferencia significativa, un valor mayor del parámetro “a” de raigrás con respecto a maíz y lupino, mientras que para estos últimos no hay diferencia. Los valores obtenidos en el análisis están por debajo de los reportados por Trujillo Lezama (2006), en el cual se analizaron los parámetros ruminales para *Lolium multiflorum* (raigrás espontáneo) mediante la técnica *in situ*, sobre capones provistos de fístulas ruminales, los resultados obtenidos fueron: fracción soluble, a=38,4; así mismo, este autor obtuvo valores para b y c de 62,8 y 7,4 respectivamente. Se puede ver que la suma de las fracciones a+b se asemeja a los reportados por el autor y los resultados del trabajo. Sí, se observan diferencias respecto a los datos reportados por Trujillo Lezama (2006) en el parámetro “c”; para este último, lo notificado fue de 7,4, mientras lo reportado en el estudio fue en torno a 16-17%. Trujillo Lezama (2006) menciona que, en el estado fenológico, la alta proporción de hojas pueden explicar el valor de altas tasas de desaparición.

Los tratamientos **de suplementación diaria y autoconsumo** para el parámetro “b”, fracción potencialmente degradable, fueron superiores al valor obtenido en el tratamiento testigo. Esto concuerda con lo mencionado por Elizalde et al. (1999 como se cita en Bargo et al., 2002). La suplementación con concentrado aumentó la fracción insoluble potencialmente

degradable de la fibra. También se demuestra que existieron diferencias significativas en la fracción “b” para suplementación diaria y autoconsumo del forraje respecto a lupino y maíz.

Cuando se compara la suma de las fracciones a+b, no se reportan diferencias estadísticas entre los tratamientos. No se registró significancia en los tratamientos suplementados, registrando una elevada degradabilidad en lupino y maíz.

Para los valores de k no hubo diferencias entre los alimentos y tampoco entre los tratamientos; por lo tanto, se puede afirmar que la suplementación no tuvo efecto en la tasa de pasaje (%/h) de la MS. En relación al maíz, concuerda con los resultados obtenidos por Velásquez et al. (2013), donde obtuvo valores para kd (tasa constante de degradación), de 4 y 10% en grano entero y molido.

Para poder analizar el valor de k de grano lupino, se hizo una comparación con datos extraídos de la tabla (INRA et al., s.f.), en la cual para Lupinus angustifolius la tasa de degradación es de 3,5 %/h. Los resultados que se obtuvieron en el análisis para lupino están por encima del valor teórico extraído de tabla; esto explica que el lupino utilizado en el trabajo presenta una mayor degradabilidad por hora y mayor kd que el maíz.

4.3.1 Curvas de degradabilidad

En la figura N.°3 se presenta una gráfica de las curvas de degradabilidad de los tres alimentos: forraje, maíz y lupino, a lo largo de un periodo de 72 horas. La línea azul representa el forraje, la amarilla el maíz y la verde el lupino.

En la figura N°.3 se puede ver el ajuste de las curvas de degradación según el modelo de Ørskov y McDonald (1979) para los alimentos suministrados en el periodo experimental.

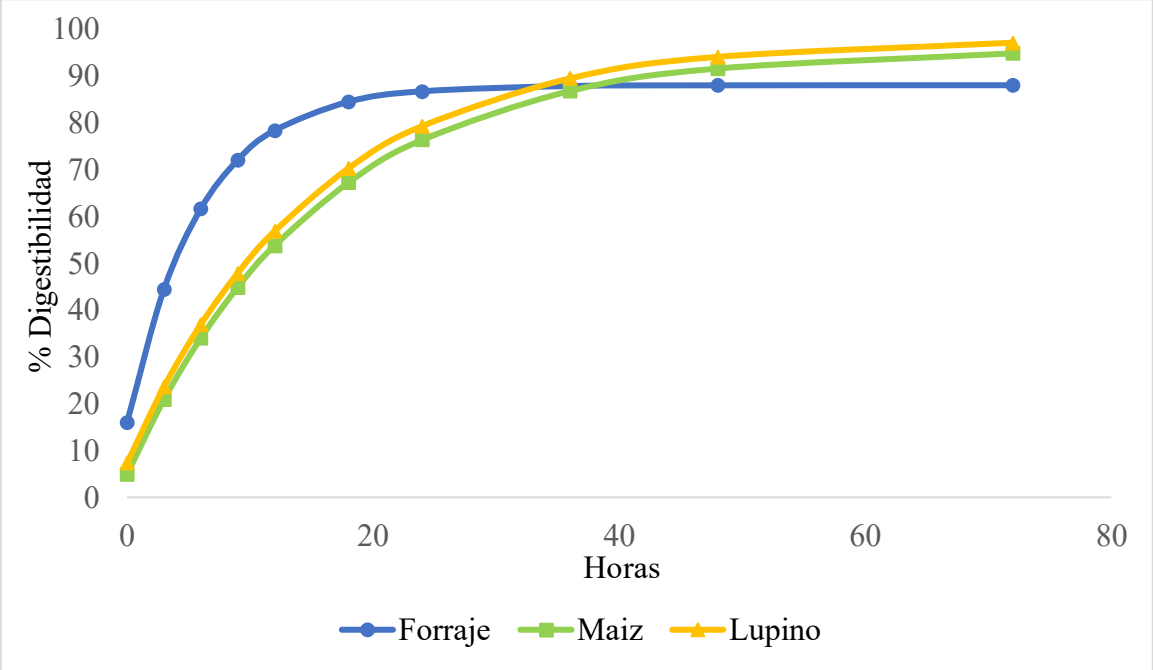
En el análisis de la degradabilidad de los diferentes alimentos evaluados, se observa que el forraje presenta una mayor tasa de degradación durante las primeras 24 horas de incubación, alcanzando un 86% de degradación para ese periodo de tiempo. En contraste, el maíz y el lupino muestran valores de degradabilidad inferiores, con 76% y 79% respectivamente a las 24h, debido a una tasa de degradación menor. Esto evidencia que el forraje se degrada más rápidamente en el rumen, lo que podría resultar en una liberación

temprana de nutrientes, propiciando un rápido aporte energético al animal en fases iniciales de la fermentación. A partir de las 36 horas de incubación, las curvas de degradabilidad de los tres alimentos tienden a converger, con valores que oscilan entre 87% y 89% del total del alimento ya degradado a ese punto.

Posteriormente, tras las 36 horas de incubación, la curva de degradabilidad del forraje presenta una estabilización, indicando que la mayoría de los nutrientes degradables han sido metabolizados, alcanzando un valor máximo (*plateau*). Por otro lado, los granos exhiben un comportamiento diferente. Antes de las 24 horas, su degradabilidad se mantiene por debajo del 80%; sin embargo, a las 40 horas, los valores de degradabilidad de los granos superan a los del forraje y continúan aumentando, aunque de manera decreciente. A las 72 horas, se registran niveles de degradabilidad del 95% para el maíz y un 97% para el lupino.

Figura 3

Curvas de degradabilidad para cada uno de los alimentos por tiempo (horas)



Nota. La curva de digestibilidad de forraje corresponde a un promedio de los tres tratamientos: testigo, suplementación diaria y autoconsumo, expresado en % por hora. Las curvas de digestibilidad de lupino y maíz son un promedio de los tratamientos: suplementación diaria y autoconsumo expresado en %/h.

En conclusión, mientras que el forraje muestra una degradación más rápida en las etapas iniciales, los granos tienen un perfil de degradación que, aunque más tardío, culmina en una mayor degradabilidad a largo plazo.

4.3.2 Amonio ruminal

En el Cuadro N.º 11 se presenta el nivel promedio de amonio ruminal (NH_4^+) para los tres tratamientos evaluados: testigo, suplementación diaria y autoconsumo. Los valores se expresan en mg/L e incluyen la comparación estadística entre tratamientos.

Cuadro 11

Nivel promedio de NH_4^+ según tratamientos

	Testigo	Suplementación diaria	Autoconsumo	P-Valor
NH_4^+	182,18 c	282,01 b	379,6 a	0,001

Nota. No significativo (ns), medias en la línea seguidas de distinta letra difieren estadísticamente (P<0,05).

Se observaron diferencias significativas en los niveles de amonio entre los tratamientos, registrándose el menor valor para el tratamiento testigo, seguido de la suplementación diaria, y el mayor valor en condiciones de suplementación en autoconsumo. Esto sugiere que el consumo de grano de lupino, y más aún a voluntad en el sistema de autoconsumo, está relacionado con un aumento en el nivel de ingesta del mismo, lo que a su vez incrementa el nivel de amonio en rumen.

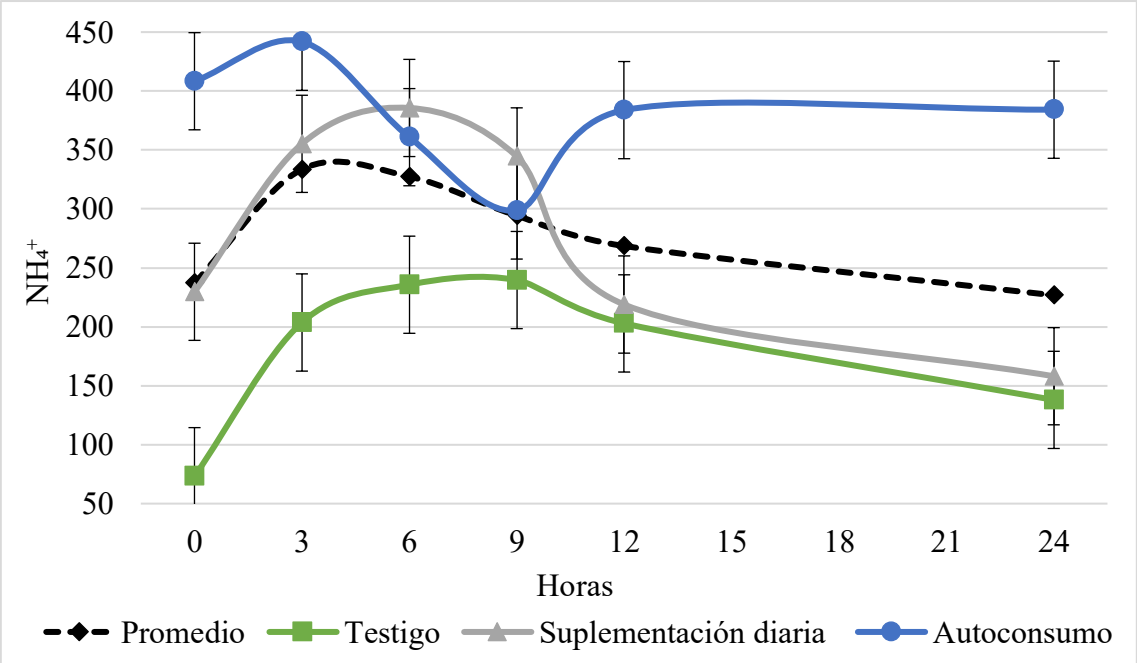
Esto coincide con lo mencionado por Kertz (2010): el desbalance en la dieta provoca acumulación de amoniaco (NH_3), generado por exceder la capacidad de los microorganismos del rumen para captar nitrógeno.

Cuando el pH es más ácido, se incrementa la formación de NH_4^+, pero se produce una lenta absorción ruminal (Noro & Wittwer, 2012).

En la figura N.° 4 se puede ver la evolución de las concentraciones de amonio (NH_4^+) a lo largo de 24 horas para los distintos tratamientos: testigo, suplementación diaria, autoconsumo y con línea punteada, el promedio de los tres tratamientos.

Figura 4

Niveles de NH_4^+ medidos por tiempo y tratamientos



Nota. Curvas de concentraciones de NH_4^+ en un periodo de 24 horas.

En el gráfico se muestra la tendencia que tienen los tratamientos en el transcurso de las horas de evaluación (ver Anexo A); el pico máximo de amonio ocurre a las 3 horas después de que el animal ha consumido el alimento en los tratamientos suplementados. Esto coincide con lo mencionado por Noro y Wittwer (2012): la concentración de NH_4^+ se eleva rápidamente después de la ingesta del alimento, alcanzando un pico máximo a las 2-3 horas post-consumo. En el tratamiento de autoconsumo se observa un segundo pico a las 12 horas, debido a que el animal en este tratamiento dispone de más comida y distribuye el consumo a lo largo del día.

A medida que transcurre el tiempo, los niveles comienzan a disminuir, alcanzando a las 24 horas un valor comparable al registrado al tiempo cero; este comportamiento fue igual para todos los tratamientos. De igual forma, los tratamientos testigo y suplementación diaria

(T2) son los que muestran una mayor tendencia a la baja en la concentración de amonio en el transcurso del tiempo; se puede deber a que T2 consume inmediatamente después de suministrar el alimento al tiempo 0 y el resto del día el animal solo consume forraje; por lo tanto, los niveles de NH_4^+ disminuyen.

Para el tratamiento de suplementación diaria, se ve una concentración intermedia de NH_4^+, situándose por debajo de autoconsumo, pero por encima del testigo; muestra un pico inicial alrededor de las 3 horas, luego tiende a estabilizarse hasta las 9 horas, donde se da una disminución del nivel de NH_4^+. Esto concuerda con la bibliografía (Beaty et al., 1994 como se cita en Reinoso & Soto, 2012; Farmer et al., 2001, 2004), donde se menciona que los rumiantes tienen la capacidad de retener y reciclar el nitrógeno ingerido en la dieta.

El tratamiento de autoconsumo tiende a presentar niveles más altos de NH_4^+ en casi todos los tiempos (horas) de medición; esto estaría provocado por el acceso ad libitum del animal, favoreciendo una mayor ingestión y, por lo tanto, una mayor concentración de NH_4^+. El pico de NH_4^+ en los tres tratamientos ocurre a las 3 horas; podría estar explicado por el consumo de suplemento de los tratamientos, suplementación diaria y autoconsumo, mientras que para el testigo podría estar explicado por el ingreso a una nueva franja y el consumo voraz de forraje.

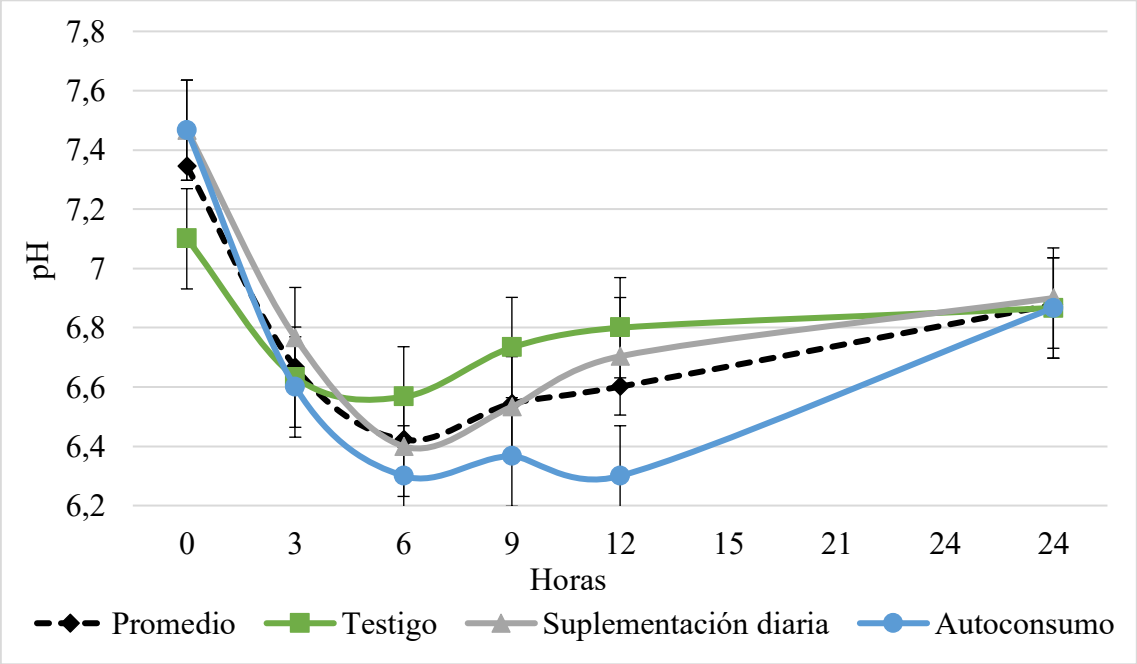
El menor valor de NH_4^+ se registró en el tratamiento testigo; esto se debe a un desequilibrio en la dieta de energía y proteína degradable en rumen, ya sea por un alto aporte de proteína degradable en rumen o bajo consumo de energía; la concentración de NH_4^+ aumenta dado que se excede la capacidad de los microorganismos ruminales para utilizarlo (Noro & Wittwer, 2012).

Esto también coincide con lo reportado por otros autores (Aguerre et al., 2013; Pérez Ruchel, 2010; Reis & Combs, 2000; Santana Fernández, 2012), donde se afirma que cuando los rumiantes consumen raigrás con altos niveles de proteína degradable en rumen, se producen elevadas cantidades de nitrógeno amoniacal. A su vez, Reis y Combs (2000) reportan que, para disminuir esto, recomiendan la utilización de suplementación con concentrados energéticos, mejorando la utilización de N en el rumen.

4.3.3 pH ruminal

Figura 5

Niveles de concentración de pH medidos por tratamientos y tiempo



Nota. Curvas de concentraciones de pH en un periodo de 24 horas.

El gráfico muestra la evolución de pH en un periodo de tiempo de muestreo (ver Anexo B); se observa que existe una bajada en el pH desde el tiempo 0 hasta la hora 6. Esto estaría explicado por la ingesta del suplemento, dada la presencia de carbohidratos rápidamente fermentables en este, causando una disminución en el pH. Al pasar las horas, el pH aumenta y tiende a llegar a la neutralidad, dado que al rumiar y descansar durante la noche los valores de pH tienden a subir debido a la menor producción de AGV en relación a la absorción de estos (Beever et al., 2000 como se cita en Coduri Pacheco et al., 2024). Se demuestra que, por más que el consumo del grano de lupino haya sido a voluntad, no hubo un efecto negativo en el pH ruminal.

En el tratamiento testigo se identifica que existe una disminución de pH menos prolongada que los tratamientos suplementados; esto se asemeja a lo mencionado por (French et al., 2001 como se cita en Coduri Pacheco et al., 2024), donde en estudios sobre pasturas

otoñales obtuvo como resultado que, en los verdeos invernales, se puede lograr un medio ambiente ruminal con mayor capacidad buffer, evitando depresiones significativas en el pH.

El menor descenso de pH del testigo, en base a una dieta exclusivamente a forraje, se debe a lo mencionado por (Fischer et al., 1994; Krause & Oetzel, 2006): en las dietas a base de forraje, se estimula la secreción de saliva y los carbohidratos son digeridos lentamente. Cuando se consumen granos que presentan carbohidratos rápidamente digeribles, se produce una mayor baja en el pH, pero depende de la capacidad buffer del rumen.

En el cuadro N.º 12 se presentan los valores promedio de pH ruminal obtenidos para los tres tratamientos evaluados: testigo, suplementación diaria y autoconsumo. Los resultados permiten comparar el efecto del tipo de alimentación sobre el pH del rumen.

Cuadro 12

Valores de pH por tratamientos

	Testigo	Suplementación diaria	Autoconsumo	P-valor
pH	6,65 a	6,8 a	6,78 a	0,54

Nota. No significativo (ns), medias en la línea seguidas de distinta letra difieren estadísticamente (P<0,05).

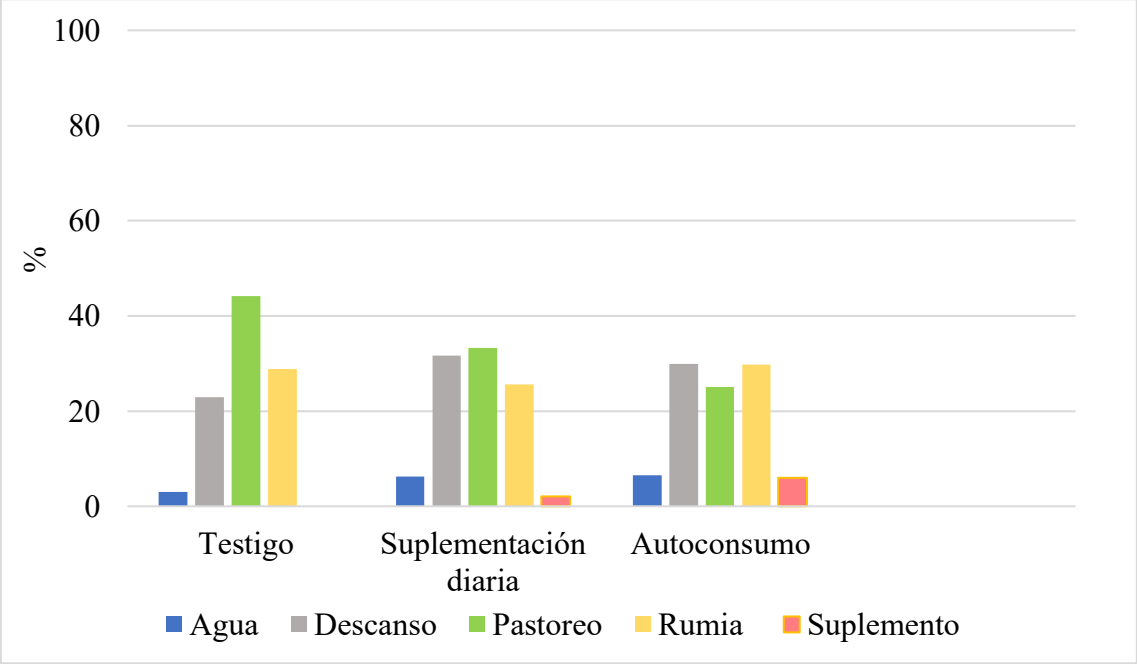
Los valores de pH, cuando se comparan entre tratamientos, no se arrojan diferencias significativas. Si bien no hay diferencias entre tratamientos, sí se puede observar (figura N.°3) una diferencia en la tendencia de los valores de pH entre los tratamientos de autoconsumo y suplementación diaria, teniendo un descenso más pronunciado en autoconsumo y manteniendo niveles menores por más tiempo, explicado por un mayor consumo de suplemento, por ende, mayor presencia de carbohidratos rápidamente fermentables y mayor producción de AGV (Beever et al., 2000, como se cita en Coduri Pacheco et al., 2024).

4.4 COMPORTAMIENTO

En la figura N.º 6 se puede ver un gráfico de barras que muestra la distribución porcentual del tiempo que los animales dedican a las actividades: descanso, pastoreo, consumo de suplemento y agua.

Figura 6

Comportamiento de los tratamientos diferenciados por actividad en un período de tiempo



Nota. Distribución porcentual del comportamiento para los tratamientos testigo, suplementación diaria y autoconsumo, durante 10 horas (8 a.m.-6 p.m.).

En el tratamiento testigo es el que presentó el mayor % en el comportamiento de pastoreo, lo que significa mayor tiempo de pastoreo; esto es debido a que la única fuente de alimento era el forraje, por lo que la mayor cantidad de tiempo dedicaba al pastoreo. Otra observación es el tratamiento que presenta menos tiempo dedicado al descanso debido a la búsqueda y cosecha de forraje.

Por otro lado, el tratamiento de suplementación diaria presenta mayor tiempo dedicado al descanso comparado con los otros tratamientos; se puede observar una disminución en el tiempo de pastoreo, pero compensado por el consumo de suplemento.

En todos los tratamientos se observa lo reflejado en la figura N.º 4; la misma indica que el tratamiento testigo estuvo con mayor frecuencia pastoreando, más del 40 % del tiempo consumiendo forraje. También para los dos tratamientos suplementados registraron mayor frecuencia entre consumo de suplemento y forraje, más del 30% del tiempo evaluado. Esto corresponde con lo mencionado por Fernández Mayer (1998), quien menciona que la frecuencia del suministro de los alimentos influye directamente en la fermentación ruminal, teniendo un rol importante en la estabilidad de los valores de pH a lo largo del día.

4.5 DISCUSIÓN GENERAL

El grano de lupino (*Lupinus angustifolius*) ha emergido como un suplemento prometedor, gracias a su perfil nutricional que combina altos niveles de proteína y carbohidratos no almidonosos, siendo un grano muy seguro para los rumiantes.

Fischer et al. (1994) y Krause y Oetzel (2006) indican que en los granos que presentan carbohidratos rápidamente digeribles producen una baja en el pH, pero la magnitud de esta baja va a depender de la capacidad buffer del rumen. El pH es uno de los factores que va a determinar el perfil de AGV que se producen en el rumen además del tipo de dieta y frecuencia de alimentación (Zavaleta de Lucio, 2012). En el caso del grano de lupino, este presenta un perfil de carbohidratos solubles entre 12 y 14% (Mera Krieger, 2016) y un contenido de extracto etéreo de 4,79 % para grano entero (Luna-Zamora et al., 2019). Crucci Núñez (2016) reporta que cada grano presenta un "efecto carbohidrato" que depende del tipo de sustrato fermentado; este efecto causa la degradación de la fibra y el perfil de fermentación en el rumen cambia cuando se adicionan concentrados; esto es independiente de los cambios en el pH.

Dada la hipótesis de este trabajo, donde se definió que el uso de grano de lupino generaría un efecto de alcalinización del pH ruminal y un aumento en el NH_4^+ ruminal debido a la suplementación con grano de lupino quebrado, exacerbado según el método de suministro, se vio que los resultados obtenidos concuerdan con la hipótesis inicial ya que, si bien se registró una pequeña caída de pH luego de T0 en los tres tratamientos (figura N.°3) evaluados, estadísticamente no hubo diferencias significativas según el método de suministro

(cuadro N.°12), la inclusión de lupino en la dieta genera un efecto de alcalinización del pH alcanzando valores cercanos a la neutralidad a las 24 horas de evaluación.

A su vez, las dietas a base de forrajes estimulan la secreción de saliva y los carbohidratos presentes son lentamente digeribles, mejorando la capacidad buffer (Fischer et al., 1994; Krause & Oetzel, 2006); esto explicaría los valores de pH del tratamiento testigo. Se registró un descenso más prolongado en los tratamientos que se suplementó, pero a un mayor descenso de pH en el autoconsumo. Los valores obtenidos durante el trabajo, en pH para un periodo de 24 horas de evaluación, se registraron en un entorno de 6,3-7,5; esto coincide con lo mencionado en Krause y Oetzel (2006), donde indican que los rumiantes presentan un sistema altamente desarrollado para mantener el pH en límites fisiológicos de 5,5 a 7.

Asimismo, como se plantea en la primera hipótesis, los tratamientos en los cuales se suplementó, sí se observó un aumento en la concentración de NH_4^+ en los tratamientos suplementados, lo que concuerda con la hipótesis inicial. Especialmente el autoconsumo muestra concentraciones mayores en todo el periodo respecto al testigo; esto coincide con lo mencionado por (Noro & Wittwer, 2012): mayor aporte de proteína degradable o NNP incrementa el NH_4^+ ruminal. También se aprecia un aumento rápido de NH_4^+ en las primeras horas de los tratamientos evaluados, lo que concuerda con lo reportado por Noro y Wittwer (2012); se genera un pico post-ingesta de NH_4^+ en la primera hora después de consumir el alimento.

Las diferencias entre autoconsumo y suplementación diaria sugieren que la forma y cantidad de suministro influye en el ambiente ruminal. El autoconsumo presenta valores más altos y sostenidos en el tiempo en la concentración de NH_4^+, lo que está indicando que el consumo a voluntad genera mayor desbalance de energía y proteína. En cambio, la suplementación diaria muestra valores más moderados, generando una idea de que tener un consumo medido ocasiona un uso más eficiente del nitrógeno.

La mejor relación energía-proteína provocada por la incorporación de este alimento permite a los microorganismos del rumen un ambiente benéfico para la síntesis de

aminoácidos apropiados que cubren las necesidades de proteína (Maynard, 1986 como se cita en Giraldo et al., 2005).

Respecto a la degradabilidad y digestibilidad aparente de la fracción MS de la dieta (cuadro N°3) se muestra una diferencia numérica pero no significativa con respecto a la digestibilidad de la materia orgánica (MO) y materia seca (MS); por ende, no hay diferencia entre tratamientos. Se puede ver que existió una tendencia de k (%/h) en suplementación diaria en donde se notan los mayores valores respecto a los otros dos tratamientos. Lo mismo ocurre con la degradabilidad de la MS; no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, lo que refleja que la inclusión de grano de lupino no disminuye la degradabilidad del forraje. Esto se puede deber a que el lupino, por más que sea caracterizado como un alimento energético-proteico, su alto contenido de proteína hace que se comporte como un alimento proteico, no afectando negativamente el consumo ni la digestibilidad de la dieta (Mccollum & Horn, 1990). Los resultados concuerdan con lo reportado por Crucci Núñez (2016), donde los concentrados proteicos permiten generar una corrección en la deficiencia de nitrógeno ruminal; como consecuencia, incrementa la tasa de digestión e incrementa el consumo. En el experimento se generó un efecto de adición; el consumo del suplemento no afecta al consumo del forraje, lo que logra aumentar el consumo total de materia seca MS (Lange, 1980).

5. CONCLUSIONES

En base en los resultados obtenidos, se concluye que la suplementación con grano de lupino quebrado en novillos de sobreaño pastoreando raigrás Bill Max con una AF de 2,5%PV, generó un incremento en la concentración de amonio, sin un descenso marcado en el pH ruminal, aun cuando el grano fue ofrecido a voluntad en autoconsumo.

A pesar de su elevado aporte de energía metabolizable, esta proviene mayoritariamente del extracto etéreo y de la fibra altamente digestible y no del almidón, lo que evita caídas abruptas del pH ruminal, evitando enfermedades metabólicas como la acidosis en el rumen. Si bien se observó variabilidad en las curvas correspondientes a los distintos tratamientos, no se registraron diferencias significativas entre ellos, aunque los valores de pH tendieron a ser menores en los tratamientos de autoconsumo y suplementación diaria. Por otro lado, en referencia a la concentración de amonio, se encontraron importantes diferencias entre métodos. Los niveles de NH_4^+ aumentaron considerablemente en los tratamientos suplementados, presentando concentraciones de amonio superiores al promedio de los tres tratamientos evaluados.

Asimismo, la digestibilidad de la materia orgánica (MO) y de la materia seca (MS) no mostró diferencias significativas entre tratamientos. En términos de degradabilidad, se observaron diferencias significativas en el parámetro “a”, indicando que la degradación del forraje, en comparación con el grano de lupino, fue mayor, lo que se asocia a una menor tasa de degradación y a un menor pasaje (%/h). Para la fracción potencialmente degradable “b” también se registraron diferencias significativas, siendo esta menor en el forraje en comparación con el grano de lupino. Por su parte, para el factor “k” no se observaron diferencias entre tratamientos, por lo que se puede concluir que la suplementación no generó efectos sobre la tasa de pasaje.

Los resultados obtenidos en este trabajo contribuyen al conocimiento sobre el consumo y los parámetros ruminales como respuesta a ala suplementación con grano de lupino quebrado, viabilizando su uso como suplemento en condiciones de pastore, sin restricciones en la cantidad ofrecida, debido a su composición química que lo posiciona como un grano “seguro” evitando la ocurrencia de trastornos metabólicos como la acidosis.

6. BIBLIOGRAFÍA

Acosta Lagaxio, A., Simeone Beretta, P., & Ubilla Rodríguez, N. (2022). *Efecto de la suplementación con grano de lupino y su procesamiento sobre la performance de novillos Hereford pastoreando sorgo forrajero durante el verano* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/36673

Adesogan, A. T. (2002). What are feeds worth? A critical evaluation of selected nutritive value methods. En A. T. Adesogan (Ed.), *13° Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium* (pp. 33-46). University of Florida. https://www.researchgate.net/publication/242151831_What_are_feeds_worth_A_critical_evaluation_of_selected

Aguerre, M., Cajarville, C., Kozloski, G. V., & Repetto, J. L. (2013). Intake and digestive responses by ruminants fed fresh temperate pasture supplemented with increased levels of sorghum grain: A comparison between cattle and sheep. *Animal Feed Science and Techology, 186*(1-2), 12-19. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.08.007

Algorta Gilardoni, B., Iruleguy Irazábal, G., & López Saralegui, I. (2015). *Evaluación del uso de comederos de autoconsumo para la suplementación invernal de terneros en condiciones de oferta contrastante* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/8725

Antúnez Tort, G. (2015). *Frecuencia diaria de suplementación en bovinos: Efectos sobre el aprovechamiento digestivo y metabólico de la dieta, la actividad fermentativa y el ambiente ruminal* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/24011

Araujo Febres, O., & Vergara-López, J. (2007). *Propiedades físicas y químicas del rumen.* Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/49-rumen.pdf

Balch, D. A., & Rowland, S. J. (1957). Volatile fatty acids and lactic acid in the rumen of dairy cows receiving a variety of diets. *British Journal of Nutrition, 11*(3), 288-298. https://doi.org/10.1079/BJN19570046

Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E., & Cassidy, T. W. (2002). Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *Journal of Dairy Science, 85*(7), 1777-1792. https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(02)74252-5/fulltext

Bargo, F., Muller, L. D., Kolver, E. S., & Delahoy, J. E. (2003). Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science, 86*(1), 1-42. https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(03)73581-4/fulltext

Becoña, G., & Wedderburn, L. (2010). *Revisión de los sistemas de producción vacuna a cielo abierto, en Uruguay y Nueva Zelanda, y la influencia de factores de conducción contemporáneos internos y externos: Comparación del impacto ambiental en relación a gases de efecto invernadero en sistemas ganaderos de Uruguay y Nueva Zelanda*. AgResearsh; Plan Agropecuario. https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/13_comparacion_del_impacto_ambiental_en_relacion_a_gases_de_efecto_invernadero_en_sistemas.pdf

Beretta, V., Simeone, A., Zabalveytia, N., Burjel, V., Acland, M., Blanco, W., Soca, D., & Victorica, M. (2021). Suplementación con Lupino en la recría de terneros pastoreando raigrás Bill Max. En *22ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Nuevos datos para una ganadería más eficiente* (pp. 34-39). UPIC. http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2021.pdf

Bowman, J. G. P., & Sanson, D. W. (1996). Starch- or fiber-based energy supplements for grazing ruminants. En J. G. P. Bowman & D. W. Sanson (Eds.), *Grazing Livestock Nutrition Conference* (pp. 118-135). Montana State University; Louisiana State University. https://www.researchgate.net/publication/302935748_Starch-_or_fiber%20based_energy_supplements_for_grazing_ruminants

Cajarville, C., Aguerre, M., & Repetto, J. L. (2006). Rumen pH, NH3-N concentration and forage degradation kinetics of cows grazing temperate pastures and supplemented with different sources of grain. *Animal Research, 55,* 511-520. http://doi.org/10.1051/animres:2006036

Calsamiglia, S. (1997, 6-7 de noviembre). *Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes* [Contribución]. XIII Curso de Especialización Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid. https://fedna.biolucas.com/wp-content/uploads/2021/11/97CAP_I.pdf

Calsamiglia, S., & Ferret, A. (2002). *Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: Acidosis y meteorismo*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/metabolicas/metabolicas_bovinos/27-acidosis_meteorismo.pdf

Calsamiglia, S., Cardozo, P. W., Ferret, A., & Bach, A. (2008). Changes in rumen microbial fermentation are due to a combined effect of type of diet and pH. *Journal of Animal Science*, *86*(3), 702-711. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18073289/

Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D. E., & France, J. (2000). A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. *Journal of Animal and Feed Sciences, 9*(1), 1-32. https://doi.org/10.1051/animres:2006036

Chaney, A. L., & Marbach, E. P. (1962). Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry, 8*(2), 130-132. https://doi.org/10.1093/clinchem/8.2.130

Coduri Pacheco, M., Fernández Muzio, J., & Severi Seizer, M. S. (2024). *Evaluación del grano de arroz con cáscara (GACC) como suplemento ofrecido en autoconsumo a vacunos pastoreando raigrás: Efecto sobre el consumo, fermentación ruminal, cinética de la degradación in situ y digestibilidad* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/51406

Crucci Núñez, L. (2016). *Suplementación y frecuencia diaria de suministro del concentrado en vaquillonas de carne: Evaluación de la capacidad fermentativa del inoculo ruminal mediante la técnica de producción de gas in vitro* [Trabajo final de grado Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/10345

De Barbieri, I., Navajas, E., Ramos, Z., Ferreira, G., Velazco, J., & Ciappesoni, G. (2025). Una alta eficiencia de conversión del alimento no afecta negativamente variables productivas de borregas y ovejas. En I. De Barbieri, E. Navajas, E. Van Lier, & G. Ciappesoni (Eds.), *Genética y tecnología para una producción ovina sostenible* (pp.13-29). INIA. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/18232/1/st-272-2025-p13-29.pdf

Durán, A., & García Préchac, F. (2007). *Suelos del Uruguay: Origen, clasificación, manejo y conservación.* Hemisferio Sur.

Elizalde, J. C., & Santini, F. J. (1992). *Factores nutricionales que limitan las ganancias de peso en bovinos durante el periodo otoño- invierno.* INTA.

Elizalde, J. M. (2012). *Evaluación de verdeos de invierno en la secuencia de cultivos para optimizar la producción de forraje* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires]. Repositorio digital UNNOBA. https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/291/TFG-ELIZALDE%20Juan%20-%20VF%20seguridad.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Elizondo-Salazar, J. A., & Monge-Rojas, C. R. (2020). Fistulación en bovinos y uso de la técnica de degradabilidad ruminal para análisis de alimentos. *Nutrición Animal Tropical, 14*(2), 209-229. https://doi.org/10.15517/nat.v14i2.45167

Farmer, C., Cochran, R., Simms, D., Klevesahl, E., Wichersahm, T., & Johnson, D. (2001). The effects of several supplementation frequencies on forage use and the performance of beef cattle consuming dormant tallgrass prairie forage. *Journal of Animal Science, 79*(9), 2276-2285. https://doi.org/10.2527/2001.7992276x

Farmer, C., Woods, B., Cochran, R., Heldt, J., Mathis, C., Olson, K., Titgemeyer, E., & Wickersham, T. (2004). Effect of supplementation frequency and supplemental urea level on dormant tallgrass-prairie hay intake and digestion by beef steers and prepartum performance of beef cows grazing dormant tallgrass-prairie. *Journal of Animal Science, 82*(3), 884-894. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15032447/

Fernández Mayer, A. (1998). *Fisiología de la producción de carne.* Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/32-fisiologia_de_la_produccion_de-carne.pdf

Fischer, J., Buchanan-Smith, J., Campbell, C., Grieve, D., & Allen, O. (1994). Effects of forage particle size and long hay for cows fed total mixed rations based on alfalfa and corn. *Journal of Dairy Science, 77,* 217-229. https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(94)76944-7/pdf

Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. (s.f.). *Altramuz australiano.* https://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/altramuz-australiano

Gagliostro, G. A., & Gaggiotti, M. (s.f.). *Evaluación de alimentos para rumiantes e implicancias productivas*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/14-evalalimentos.pdf

Giraldo, L. M., Medina, G. E., & Osorio, F. (2005). Utilización del Nitrógeno por los rumiantes. En L. M. Giraldo, G. E. Medina, & F. Osorio (Eds.), *Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca* (pp. 46-66). Universidad de Antioquia. https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/326390/20783663

Google. (2025). [EEMAC, Paysandú, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 28 de enero de 2026, de https://earth.google.com/web/@-32.38779724,-58.04259715,47.63287a,162.03624273d,35y,350.40941061h,0t,0r/data=CgRCAggBQgIIAEoNCP_____wEQAA

Guillaume, B., Otterby, D. E., Linn, J. G., Stern, M. D., & Johnson, D. G. (1987). Comparison of sweet white lupin seeds with soybean meal as a protein supplement for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science, 70*(11), 2339-2348. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80294-1

Hammond, A. (1998). Uso de niveles de nitrógeno uréico en sangre (BUN) y leche (MUN) como guía para la suplementación proteica y energética en bovinos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 2*(2), 44-48. https://doi.org/10.21930/rcta.vol2_num2_art:171

Haydock, K., & Shaw, N. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 15*(76), 663-670. https://doi.org/10.1071/EA9750663

Huntington, G. B., & Archibeque, S. L. (1999). Practical aspects of urea and ammonia metabolism in ruminants. *Journal of Animal Science*, *77*(Suppl.), 1-11. https://doi.org/10.2527/jas2000.77E-Suppl1y

Instituto Nacional de Reforma Agraria, Centre de Coopération Internationale en Recerche Agronomique pour le Développement & Association Française de Zootechnie. (s.f.). *Feed profile: Tables of composition and nutritional values of feed materials*. Feedtables. https://www.feedtables.com/content/table-feed-profile?feed_pr_id=12442

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2002). *Utilización de verdeos invernales.* Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/27-utilizacion_vedeos.pdf

Jahn, E., Cortés, K., Bórquez, F., Venegas, P., & González, C. (1999). Degradación ruminal in situ del grano de maíz (Zea mays), cebada (Hordeum vulgare) y lupino dulce (Lupinus albus) con el uso de diferentes métodos de procesamiento. *Agricultura Técnica*, *59*(2), 96-106. https://oes.chileanjar.cl/files/V59I2A03_es.pdf

Kertz, A. F. (2010). Review: Urea feeding to dairy cattle: A historical perspective and review. *The Professional Animal Scientist*, *26*(2010), 257-272. https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30593-3

Krause, K. M., & Oetzel, G. R. (2006). Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology*, *126*(3-4), 215-236. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.004

Lange, A. (1980). *Suplementación de pasturas para la producción de carnes*. Comisión Técnica Intercrea de Producción de Carnes.

Latimer, G. W. (Ed.). (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19th ed.). AOAC International.

Latimer, G. W. (Ed.). (2015). *Official methods of analysis of AOAC International* (20th ed.). AOAC International.

Ledea Rodríguez, J. L., La O-León, O., & González García, H. (2017). Tasa de pasaje ruminal de la materia seca y orgánica de variedades de *Cenchrus purpureus*. *Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología, 15,* 39-47. https://www.researchgate.net/publication/323883857_Tasa_de_pasaje_ruminal_de_la_materia_seca_y_organica_de_variedades_de_Cenchrus_purpureus

Luna-Zamora, G., Pro-Martínez, A., Mendoza-Pedroza, S., Gonzáles-Cerón, F., Sosa-Montes, E., Rodríguez-Ortega, L., Rodríguez-Ortega, A., & Luna-Botello, A. (2019). Lupino: Una alternativa de proteína para consumo animal y humano en México. *Agro Productividad*, *12*(8), 53-57. https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1451

Maschio Molinari, F., Soria Pereira, S., & Stábile Montes De Oca, F. E. (2020). *Producción animal sobre una pastura de raigrás (Lolium multiflorum cv. Bill max) pastoreada por novillos bajo diferentes ofertas de forraje* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/36675

Mccollum, F. T., & Horn, G. W. (1990). Protein supplementation of grazing livestock: A review. *The Professional Animal Scientist, 6*(2), 1-16. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1080744615322518

Mejía Haro, J., & Mejía Haro, I. (2007). Nutrición proteica de bovinos productores de carne en pastoreo. *Acta Universitaria Dirección de Investigación y Posgrado*, *17*(2), 45-54. https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/180/158

Mera Krieger, M. (2016). Especies de lupino y su utilización. En M. Mera Krieger (Ed.), *Lupino dulce y amargo producción en Chile* (pp. 7-26). INIA. https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/756c3110-4cfd-4f58-bad5-0a59d334fcae/content

Mieres, J. M. (1996). Tipo de suplemento y su efecto sobre el forraje. En *Suplementación estratégica para el engorde de ganado* (pp. 1-6). INIA. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15669/1/UY.INIA.SAD.n.96.pdf;suplementacion

Minson, D. J. (1990). *Forage in ruminant nutrition*. Academic Press. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xnOVGsdCktwC&oi=fnd&pg=PP1&dq=minson,+D.J.+1990.+Forage+in+ruminant+nutrition.&ots=p3QwO0008V&sig=LZusFn0xkxRlT-HVmPYkflo9AGw#v=onepage&q&f=false

Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (2da ed.). Limusa Wiley. https://drive.google.com/file/d/0B777IY0M9mOCTnhhM1hZWFlOMXM/view?resourcekey=0-eCe6FfCsdmurvbwOqm5MLw

National Research Council. (2000). *Nutrient requirements of beef cattle* (7th rev. ed.). National Academy Press.

Nava Cuéllar, C., & Díaz Cruz, A. (2001). *Introducción a la digestión ruminal*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/79-introduccion_a_la_digestion_ruminal.pdf

Noro, M., & Wittwer, F. (2012). Interrelaciones entre ureagénesis y gluconeogénesis hepática en rumiantes alimentados con elevado contenido de nitrógeno. *Veterinaria México*, *43*(2), 143-154. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922012000200006

Noro, M., Vargas, V., Pulido, R. G., & Wittwer, F. (2006). Efecto del tipo de concentrado sobre indicadores sanguíneos del metabolismo de energía y de proteínas en vacas lecheras en pastoreo primaveral. *Archivos de Medicina Veterinaria, 38*(3), 227-232. https://www.scielo.cl/pdf/amv/v38n3/art05.pdf

Ørskov, E. R. (1992). *Protein nutrition in ruminants* (2nd ed.). Academic Press.

Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science, 92*(2), 499-503. https://doi.org/10.1017/S0021859600063048

Ortiz, D. A. (2021). *Efecto del ambiente ruminal y la fuente de fibra sobre la dinámica de desaparición de la materia orgánica y sus componentes en bovinos en confinamiento* [Disertación doctoral, Universidad Nacional del Sur]. RID-UNS. https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/5733/ORTIZ%20D.A._TESIS..pdf?sequence=2&isAllowed=y

Pérez Ruchel, A. (2010). *Tiempo y forma de acceso al forraje y uso de buffers o levaduras: Efecto sobre el aprovechamiento digestivo de la dieta en ovinos* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/31841

Peruchena, C. O. (1999). S*uplementación de bovinos para carne sobre pasturas tropicales: Aspectos nutricionales, productivos y económicos.* Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/32-suplementacion_sobre_pasturas_tropicales.pdf

Quintans, G., Echeverría, J., Scarsi, A., & Rovira, P. (2013). Efecto del suministro de ración en comederos de autoconsumo en terneros destetados precozmente. En G. Quintans, J. Echeverría, A. Scarsi, & P. Rovira (Eds.) *Seminario de actualización técnica: Cría Vacuna* (pp. 207-218). INIA. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/st-208-2013.-p.207-218.pdf

Quintans, G., Vaz Martins, D., & Carriquiry, E. (1994). Alternativas de suplementación de vaquillonas. En G. Quintans & G. Pigurina (Coords.), *Bovinos para carne: Avances en suplementación de la recría e invernada intensiva* (pp. 2-2-2-7). INIA. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/357/1/14445101212094954.pdf

Ragni, M., Colonna, M. A., Lestingi, A., Tarricone, S., Giannico, F., Marsico, G., & Facciolongo, A. M. (2018). Effects of protein sources on performance, carcass composition, blood parameters and meat quality in Charolais heifers. *South African Journal of Animal Science, 48*(4), 683-694. https://www.researchgate.net/publication/328092583_Effects_of_protein_sources_on_performance_carcass_composition_blood_parameters_and_meat_quality_in_Charolais_heifers

Recría. (2018). INIA. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9517/1/Ficha-tecnica-7v5-Alimentacion-invernal.pdf

Reinoso, V., & Soto, C. (2012). *Suplementación proteica en ganado de carne a pastoreo*. https://www.researchgate.net/profile/Claudio-Soto-12/publication/343065923_Suplementacion_proteica_en_ganado_de_carne_a_pastoreo_Teoria_y_Practica/links/5f157dbb299bf1e548c66d8e/Suplementacion-proteica-en-ganado-de-carne-a-pastoreo-Teoria-y-Practica.pdf

Reis, R. A., Ruggieri, A. C., Casagrande, D. R., & Páscoa, A. G. (2009). Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. *Revista Brasileira de Zootecnia, 83*(Supl.), 147-159. https://www.scielo.br/j/rbz/a/KFBrh4wPtd5TQSBGqGTf5Pj/?format=pdf&lang=pt

Reis, R. B., & Combs, D. K. (2000). Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *Journal of Dairy Science*, *83*(12), 2888-2898. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75189-7

Rennó, L. N., Valadares, R. F. D., Valadares Filho, S. D. C., Leão, M. I., Coelho da Silva, J. F., Cecon, P. R., Gonçalves, L. C., Chaves Dias, H. L., & Linhares, R. S. (2000). Concentração plasmática de uréia e excreções de uréia e creatinina em novilhos. *Revista Brasileira de Zootecnia, 29*(4), 1235-1243. https://rbz.org.br/pt-br/article/concentracao-plasmatica-de-ureia-e-excrecoes-de-ureia-e-creatinina-em-novilhos/

Risso, D. F., Ahunchaín, M., Cibils, R., & Zarza, A. (1997). Suplementación en invernadas del litoral. En D. F. Risso, M. Ahunchaín, R. Cibils, & A. Zarza (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería intensiva* (pp. 51-65). INIA. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8339/1/111219220807114211-p.51-65.pdf

Rojas, C., & Catrileo, A. (1998). Grano de lupino blanco (Lupinus albus) y australiano (Lupinus angustifolius) entero o chancado, en la engorda invernal de novillos. *Agro Sur, 26*(2), 70-77. http://revistas.uach.cl/html/agrosur/v26n2/body/art08.htm

Rojas, C., Catrileo, A., & Hormazábal, W. (2011). Evaluación productiva y económica de urea, grano de lupino, expeller de maní y afrecho de soya en raciones de engorda de vaquillas. *Agro Sur, 39*(1), 57-67. https://doi.org/10.4206/agrosur.2011.v39n1-06

Rovira, P. (2012). *Suplementación en autoconsumo de bovinos en pastoreo.* INIA. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1703/1/128221300713093511.pdf

Rovira, P., & Velazco, J. (2012). *Suplementación de bovinos en pastoreo: Autoconsumo.* INIA. https://inia.uy/sites/default/files/publications/2025-09/st-199-2012.pdf

Santana Fernández, Á. (2012). *Inclusión de pastura templada en una dieta completa totalmente mezclada en vaquillonas: Efectos sobre el consumo, el aprovechamiento digestivo y metabólico de los nutrientes* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/24072

Scholtz, M. M., McManus, C., Leeuw, K. J., Louvandini, H., Seixas, L., De. Melo, C. B., Theunissen, A., & Neser, F. W. C. (2013). The effect of global warming on beef production in developing countries of the southern hemisphere. *Natural Science, 5*(1A), 106-119. https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=27610

Simeone, Á., & Beretta, V. (2004). Manejo nutricional en ganado de carne. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Manejo nutricional en ganado de carne* (pp. 4-19). UPIC. http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2004.pdf

Simeone, Á., & Beretta, V. (2021). Caracterización del grano de lupino como alimento para el ganado de carne. En *22ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Nuevos datos para una ganadería más eficiente* (pp. 28-33). UPIC. http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2021.pdf

Soto Silva, C., & Reinoso Ortiz, V. (2007). Suplementación proteica en ganado de carne. *Veterinaria (Montevideo), 42*(167), 27-34. https://revistasmvu.com.uy/index.php/smvu/article/view/316/197

Tebot, I., Cajarville, C., Repetto, J. L., & Cirio, A. (2012). Supplementation with non-fibrous carbohydrates reduced fiber digestibility and did not improve microbial protein synthesis in sheep fed fresh forage of two nutritive values. *Animal, 6*(4), 617-623. https://doi.org/10.1017/S1751731111002011

Trujillo Lezama, A. I. (2006). *Evaluación de un método in vitro gravimétrico en la estimación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/24125

Van Keulen, J., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, *44*(2), 282-287. https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991) Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science, 74,* 3583-3597. http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Vaz Martins, D., Fernández, E., La Manna, A., Mieres, J., & Banchero, G. (2005). Efecto de la degradabilidad del grano como suplemento sobre la ganancia de peso vivo de novillos sobre una pastura de leguminosas durante otoño-invierno y primavera. En *Jornada Producción Animal Intensiva* (pp. 13-16). INIA. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/429/1/111219230807174455.pdf

Velásquez, R., Noguera, R. R., & Posada, S. (2013). Procesamiento del grano de maíz sobre la cinética de degradación de la materia seca in vitro. *Revista MVZ Córdoba, 18*(3), 3877-3885. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-02682013000300018&script=sci_arttext

Vicenti, A., Toteda, F., Turi, L. D., Cocca, C., Perrucci, M., Melodia, L., & Ragni, M. (2009). Use of sweet lupin (*Lupinus albus* L. var. Multitalia) in feeding for Podolian young bulls and influence on productive performances and meat quality traits. *Meat Science, 82*(2), 247-251. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.018

Villagrasa, M., & Diaz, F. (2020). *Inclusion of lupins in dairy cow diets improves milk fatty acid profile.* Dairy Knowledge Center. https://dellait.com/inclusion-of-lupins-in-dairy-cow-diets-improves-milk-fatty-acid-profile/

Zanoniani, R. A., & Noëll, S. (s.f.). *Verdeos en invierno.* Plan Agropecuario. https://planagropecuario.org.uy/publicaciones/uedy/Publica/Cart2/Cart2.htm

Zavaleta de Lucio, E. (2012). Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía en los rumiantes. *Revista Ciencia veterinaria*, *1*, 223-233. https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CVvol1/CVv1c09.pdf

7. ANEXOS

Anexo A

Niveles de NH_4^+ *en tiempos por tratamientos*

	Testigo	Suplementación diaria	Autoconsumo	P-Valor
0	73,24 a	229,69 ab	408,3 a	0,08 ns
3	203,65 a	355,21 ab	441,81 a	0,08 ns
6	235,69 a	385, 63 a	360,85 a	0,08 ns
9	239,65 a	344,5 ab	298,69 a	0,08 ns
12	202,88 a	218,88 ab	383,8 a	0,08 ns
24	137,99 a	158,06 b	384,17 a	0,08 ns

Nota. No significativo (ns), ns= PV>0,05

Anexo B

Tabla B1

Niveles de pH ruminal por tiempos de medición

	0	3	6	9	12	24	P-Valor
pH	7,34 a	6,67 bc	6,42 c	6,54 bc	6,6 bc	6,88 b	<,0001

Nota. No significativo(ns), ns= P>0,05.

Tabla B2

Valores de pH medidos por tratamientos y tiempos de evaluación

	Testigo	Suplementación diaria	Autoconsumo	P-Valor
0	7,1 a	7,47 a	7,47 a	0,52 ns
3	6,63 a	6,77 a	6,6 a	0,52 ns
6	6,57 a	6,4 a	6,3 a	0,52 ns
9	6,73 a	6,53 a	6,3 a	0,52 ns
12	6,8 a	6,7 a	6,3 a	0,52 ns
24	6,87 a	6,9 a	6,87 a	0,52 ns

Nota. No significativos (ns), ns= PV>0,05.