

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**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**

por

**Marina CODURI PACHECO
Joaquina FERNÁNDEZ MUZIO
María Sofía SEVERI SEIZER**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2024**

Página de Aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (PhD.) Virginia Beretta

Co-director/a:

Ing. Agr. (PhD.) Álvaro Simeone

Tribunal:

Ing. Agr. (PhD.) Álvaro Simeone

Ing. Agr. (MSc.) María Victoria Burjel

Ing. Agr. (PhD.) Stefanía Pancini

Fecha:

06 de diciembre de 2024

Estudiante:

Marina Coduri Pacheco

Joaquina Fernández Muzio

María Sofía Severi Seizer

Agradecimientos

Agradecemos a nuestras familias y compañeros por estar presentes en este proceso y brindarnos apoyo en todo momento de la carrera.

A nuestros compañeros tesisistas con los que convivimos en la EEMAC, por hacer ameno en todo momento el trabajo de campo.

Al grupo del personal de la EEMAC, por su disposición y ayuda durante el desarrollo del trabajo.

A la Ingeniera Agrónoma Stefanía Pancini por el continuo apoyo y dedicación durante la realización del trabajo.

A los Ingenieros Agrónomos Álvaro Simeone y Virginia Beretta por habernos permitido realizar este experimento junto a su equipo de trabajo.

Tabla de contenidos

Página de Aprobación.....	2
Agradecimientos.....	3
Tabla de contenidos.....	4
Lista de tablas y figuras.....	6
RESUMEN.....	8
SUMMARY.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PASTORILES INVERNALES... 12	
2.1.1 Verdeos de invierno y su problemática.....	12
2.2 EFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN ENERGÉTICA EN VACUNOS EN PASTOREO.....	14
2.3 SUPLEMENTACIÓN CON GRANO DE ARROZ.....	18
2.3.1 Grano de arroz con cáscara como nueva alternativa de suplemento.....	18
2.3.2 Caracterización nutricional del grano de arroz con cáscara.....	20
2.3.3 Antecedentes de la suplementación del grano de arroz con cáscara (GACC) sobre la performance animal.....	22
2.3.4 Antecedentes de la suplementación con grano de arroz sobre los parámetros ruminales.....	23
2.4. HIPÓTESIS.....	28
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1 LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL.....	30
3.2 ANIMALES Y TRATAMIENTOS.....	30
3.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL, REGISTROS, MEDICIONES Y MUESTREOS.....	32
3.3.1 Manejo y mediciones del verdeo, y suplementación.....	32
3.3.2 Degradabilidad <i>in situ</i> del forraje y concentrado.....	33
3.3.3 Muestreo de líquido ruminal para evaluación de pH ruminal y concentración de amonio.....	34
3.3.4 Digestibilidad aparente de la materia seca consumida.....	34
3.3.5 Comportamiento ingestivo.....	35
3.3.6 Consumo de suplemento y forraje.....	35

3.4 ANÁLISIS QUÍMICO.....	36
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS	37
4.2. CONSUMO	39
4.3. COMPORTAMIENTO.....	41
4.4. AMBIENTE RUMINAL	43
4.4.1 pH Ruminal	43
4.4.2 Concentración de amonio en rumen.....	46
4.4.3 Degradabilidad <i>in situ</i> de la materia seca:.....	48
4.5 DIGESTIBILIDAD:	54
4.6 DISCUSIÓN GENERAL	55
5. CONCLUSIONES.....	58
6. BIBLIOGRAFÍA	59
7. ANEXOS.....	72

Lista de tablas y figuras

Tabla	Pág.
Tabla 1: Caracterización nutricional del verdeo de raigrás	14
Tabla 2: Composición química del arroz con cáscara y sin cáscara.....	21
Tabla 3: Digestibilidad de la materia orgánica y energía metabolizable	22
Tabla 4: Parámetros ruminales in vitro de almidón de arroz incubado en líquido ruminal de ovejas.	24
Tabla 5: Valores de pH ruminal, producción total de AGV y NH ₃ -N generados por la incubación in vitro de granos de maíz y arroz partidos.....	26
Tabla 6: Producción de gas in vitro y degradabilidad de nutrientes in vitro de granos de arroz y maíz	27
Tabla 7: Parámetros de la fermentación ruminal (24 h) en granos de arroz y maíz	28
Tabla 8: Aleatorización de los tratamientos	31
Tabla 9: Composición química del alimento ofrecido, grano de arroz con cáscara (GACC) molido y raigrás cv Jack, a los animales durante el período experimental.....	37
Tabla 10: Energía metabolizable de los alimentos utilizados para el experimento	38
Tabla 11: Composición química del GACC, comparación de resultados	39
Tabla 12: Efecto del tratamiento sobre el CMSF, CMS GACC y CMS Total	39
Tabla 13: Participación de los alimentos en cada tratamiento en porcentaje	41
Tabla 14: Efecto de los tratamientos sobre el comportamiento ingestivo de los animales	42
Tabla 15: Valores promedios de pH para los tres tratamientos por 24 horas.....	45
Tabla 16: Valores promedios de pH ruminal y concentración de N-NH ₃ en el líquido ruminal, en los diferentes tratamientos.....	47
Tabla 17: Cinética de la degradación de la MS del forraje para el tratamiento testigo...48	48
Tabla 18: Cinética de la degradación de la MS del grano de maíz, GACC y forraje para el tratamiento de suplementación diaria	49
Tabla 19: Cinética de la degradación de la MS del grano de maíz, GACC y forraje para el tratamiento de autoconsumo	49
Tabla 20: Degradabilidad efectiva de la MS (%) de los alimentos según los tres tratamientos	53
Tabla 21: Digestibilidad de la MO y MS para cada tratamiento expresada en porcentaje	54
Figura	Pág.
Figura 1: Evolución del precio de la tonelada de arroz comparado con maíz, sorgo y soja desde el ejercicio 2014-1025 a 2021-2022.	20
Figura 2: Evolución del pH ruminal según tratamiento y tiempo	44
Figura 3: Evolución del amonio según tratamiento y tiempo.....	46
Figura 4: Curvas de cinética de degradabilidad para forraje a través de las horas en los tres tratamientos. Testigo (T), suplementación diaria (SD) y autoconsumo (AC).....	51
Figura 5: Curva de cinética de la degradación del arroz a través de las horas en los dos tratamientos. Suplementación diaria (SD) y autoconsumo (AC).	52

Figura 6: Curva de cinética de la degradación del maíz a través de las horas en los dos tratamientos. Suplementación diaria (SD) y autoconsumo (AC).52

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en el potrero número 2 de la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) localizada en la Estación Experimental “Dr. Mario Alberto Cassinoni” (EEMAC) Facultad de Agronomía, Paysandú; Uruguay. El objetivo del mismo fue evaluar el efecto de la suplementación con grano de arroz quebrado con cáscara (GACC) y su forma de suministro (diariamente al 1% del peso vivo, o *ad libitum* en autoconsumo) sobre la cinética de degradación del suplemento y el forraje, parámetros de fermentación ruminal y comportamiento en novillos pastoreando raigrás en el período otoñal-invernal. Se utilizaron 3 novillos fistulados raza Hereford nacidos en primavera del 2022, provenientes del rodeo de la propia estación experimental. Presentaron peso promedio de $282,3 \pm 18,9$ kg al inicio del experimento, se sortearon los animales para asignar a cada tratamiento al azar en un diseño de cuadrado latino realizándose en tres períodos. Los tratamientos utilizados fueron: pastoreo exclusivamente de raigrás cv Jack a una asignación de forraje del 2,5% del peso vivo (PV) sin suplementación, suplementación diaria al 1% del PV con GACC y suplementación *ad libitum* con GACC. El pastoreo fue en franjas, realizándose cambios semanales y la suplementación se realizó individualmente una vez por día en la mañana. Las variables evaluadas para cada uno de los tratamientos fueron: consumo de materia seca (MS), degradabilidad *in situ*, digestibilidad *in vivo* de la MS, pH y amonio ruminal y comportamiento. Para los tratamientos no se observó diferencias significativas en consumo de MS del GACC, de forraje ni el total de la dieta. Tampoco se encontraron diferencias en el pH y el amonio ruminal. Tampoco se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en la digestibilidad de la materia orgánica y de la MS. Si existieron diferencias en la degradabilidad *in situ* de la MS de los alimentos en los tratamientos de autoconsumo y suplementación diaria. Existen pocos antecedentes a nivel mundial acerca de la cinética ruminal del GACC en la suplementación del ganado, lo que explicaría la significancia de este experimento en el ámbito de la nutrición animal.

Palabras Claves: novillos, raigrás, grano de arroz con cáscara, degradabilidad, digestibilidad

SUMMARY

The present study was conducted in paddock number 2 of the Intensive Beef Production Unit (UPIC) located at the “Dr. Mario Alberto Cassinoni” Experimental Station (EEMAC), Faculty of Agronomy, Paysandú, Uruguay. The objective was to evaluate the effect of supplementation with broken rice grain with husk (GACC) and its feeding method (daily at 1% of live weight or ad libitum self-feeding) on the degradation kinetics of the supplement and forage, ruminal fermentation parameters, and behaviour of steers grazing ryegrass during the autumn-winter period. Three Hereford steers, fistulated and born in the spring of 2022, from the experimental station's own herd were used. The steers had an average weight of 282.3 ± 18.9 kg at the beginning of the experiment. Animals were randomly assigned to each treatment using a Latin square design over three periods. The treatments applied were as follows: exclusive grazing of Jack cultivar ryegrass with forage allocation of 2.5% of live weight (LW) without supplementation, daily supplementation at 1% of LW with GACC, and ad libitum supplementation with GACC. Grazing was conducted in strips with weekly shifts, and supplementation was provided individually once a day in the morning. The variables evaluated for each treatment included dry matter (DM) intake, *in situ* degradability, *in vivo* digestibility of DM, ruminal pH and ammonia, and behaviour. No significant differences were observed among treatments in DM intake of GACC, forage, or total diet. Similarly, no differences were found in ruminal pH or ammonia levels. No significant differences were detected among treatments in organic matter and DM digestibility. However, differences were observed in the *in situ* degradability of DM of the feeds between the self-feeding and daily supplementation treatments. There is limited global research on the ruminal kinetics of GACC in livestock supplementation, which highlights the significance of this experiment in the field of animal nutrition.

Keywords: steers, ryegrass, paddy rice, degradability, digestibility

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, los sistemas pastoriles de recría y engorde vacuno se caracterizan por un bajo desempeño animal alcanzado durante el invierno, ya que esta estación del año es caracterizada por su déficit forrajero. Una de las prácticas de manejo más utilizadas en el Uruguay es el pastoreo de verdes invernales.

Los verdes anuales durante el otoño presentan tres grandes problemáticas que generan bajas performance del ganado: desbalance energético-proteico ruminal, bajo contenido de materia seca (MS) y bajo nivel de fibra efectiva. Estos factores no solo afectarían el consumo total de nutrientes, sino que además podrían generar trastornos fisiológicos y metabólicos en los animales.

La suplementación energética con granos de cereales surge como una alternativa para aumentar el consumo total de MS y el porcentaje de MS total de la dieta. A su vez corregiría el desbalance energético-proteico sincronizando estos nutrientes y permitiendo un mejor desempeño microbiano ruminal. La correcta sincronización depende de la degradabilidad del grano que aporta la energía, esta está ligada a la composición química de los granos. A su vez, el uso de concentrados energéticos causa disminuciones en el pH ruminal que podrían afectar negativamente la degradabilidad de la fibra de los forrajes.

La utilización de animales provistos de fístula ruminal incorporados en experimentos en pastoreo permite conocer información sobre la cinética de degradación de los forrajes y suplementos ofrecidos en la dieta, y evaluar desde el punto de vista digestivo la incorporación de suplementos energéticos que optimicen la utilización de los nutrientes. Este tipo de evaluación *in vivo* permite ver cómo se afecta el patrón de fermentación ruminal y digestión del alimento a lo largo del día según la cantidad, tipo de suplemento ofrecido y método de suplementación. Esto se mide a través de la variación diaria de los carbohidratos de la pastura, el patrón de consumo de forraje de los animales, selectividad y nivel de consumo de los animales.

Los suplementos energéticos más comúnmente utilizados son el grano de maíz, sorgo, cebada y avena (Cozzolino, 2000). En los últimos años, debido a las relaciones de precios de los granos en el mercado surge la posibilidad del uso del grano de arroz con

cáscara como suplemento animal. Poco se sabe de este grano y la respuesta animal, ya que tradicionalmente se utiliza para consumo humano.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación con grano de arroz quebrado con cáscara y su forma de suministro (diariamente al 1% del peso vivo, o *ad libitum* en autoconsumo) sobre la cinética de degradación del suplemento y el forraje, parámetros de fermentación ruminal y comportamiento en novillos pastoreando raigrás en el período otoñal-invernal.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PASTORILES INVERNALES

En Uruguay la recría del ganado de carne se desarrolla principalmente sobre pasturas naturales (Quintans, 2002). El campo natural durante el invierno presenta bajas tasas de crecimiento del forraje (Berretta, 1996) afectando las ganancias de peso de los animales, pudiendo perder hasta un 20% de su peso vivo (Pigurina et al., 1994).

Para levantar esta limitante es común la siembra de verdeos de invierno como el raigrás, brindando al sistema una elevada oferta de forraje en períodos cortos de tiempo (Ahunchaín et al., 1997). Sin embargo, existen limitaciones en este tipo de pasturas que no permiten alcanzar las ganancias de peso esperadas a pesar de su alta digestibilidad y calidad.

2.1.1 Verdeos de invierno y su problemática

El raigrás anual (*Lolium multiflorum*) es uno de los verdeos más utilizados debido a que aporta una gran calidad y cantidad de forraje durante el invierno siendo esta la época más crítica del año (Borrajó et al., 2011). Sin embargo, una de las principales limitantes que presentan los verdeos invernales es su bajo contenido de MS y desbalance nutricional. Verdeos de raigrás y avena en invierno, pueden alcanzar contenidos de MS aproximadamente de 18% (Pigurina & Methol, 2004; Tabla 1), lo que puede afectar el consumo de forraje y generar efectos negativos en la digestión causando diarreas debido a su alto contenido de agua (Formoso, 2010). A su vez, los verdeos contienen un bajo contenido de carbohidratos solubles y un elevado aporte de proteína muy degradable a nivel ruminal que genera una baja eficiencia de uso del nitrógeno (N) por parte de los microorganismos ruminales, además de un incremento en los costos energéticos de eliminación del N no aprovechado en forma de urea (Elizalde & Santini, 1992). Esto causa en el animal un desbalance ruminal energético-proteico afectando la producción de proteína microbiana y por lo tanto el consumo. Como consecuencia, se verá afectado el desempeño animal debido a que energía va a ser destinada a la eliminación de nitrógeno

como urea, en lugar de ser destinada a la ganancia de peso y producción de carne (7 kcal de energía neta/g de N convertido en urea) (National Research Council [NRC], 2001).

Cuando los animales consumen dietas a base de pasturas de alta calidad, como lo son los verdeos de raigrás, las pérdidas pre-duodenales de N aumentan. Estas pérdidas ocurren como consecuencia de altas concentraciones ruminales de amoníaco (N-NH₃) que pueden ser generadas por una rápida y extensa degradación del N de la pastura y por una limitada capacidad del hígado para metabolizar al N-NH₃ (Beever & Siddons, 1986).

El N-NH₃ ruminal surge como producto final de la degradación de proteínas, a partir del catabolismo microbiano ruminal de aminoácidos (aa), péptidos y sustancias nitrogenadas no proteicas como la urea, obtenida a partir de la dieta o de manera endógena (Russell & Hespell, 1981). Tanto en estudios *in vitro* como *in vivo*, este compuesto ha demostrado ser el principal nutriente nitrogenado necesario para el crecimiento de los microorganismos del rumen. La mayoría de las bacterias ruminales pueden utilizar N-NH₃ como fuente de N para su crecimiento (Russell & Wilson, 1996). De esta manera los microorganismos celulolíticos, a diferencia de la flora amilolítica, son capaces de cubrir sus requerimientos de N, para la síntesis proteica, solamente con el N-NH₃ (Bryant, 1973).

La suplementación de tipo energética podría entonces mejorar el desempeño de los animales gracias a la restauración del balance en rumen entre el nitrógeno degradable y la energía fermentable disponible, generando una sincronización entre los nutrientes (Nocek & Russell, 1988). Los suplementos energéticos comúnmente utilizados son a base de granos de cereales. Los mismos se caracterizan por presentar altos contenidos de almidón, que a nivel ruminal elevan las producciones de ácidos grasos volátiles, disminuyendo el pH, lo que podría disminuir a su vez la degradabilidad de la fibra (Firkins, 1996) del forraje consumido. Sin embargo, son utilizados por su concentración energética, permiten alcanzar los niveles requeridos de energía con mayor eficiencia que el verdeo, por lo que se decide utilizar como complementación del mismo para la alimentación del ganado vacuno. A su vez, el efecto de sustitución que se da al suplementar con concentrados energéticos, permite mantener buenas ganancias individuales prolongando la duración del verdeo y mejorando la composición nutritiva de la dieta (Pordomingo, 2003).

A partir de la inclusión de los granos de cereales se estaría disminuyendo el porcentaje de agua en la dieta e incrementando el consumo efectivo de materia seca (MS) (Simeone, 2004).

Tabla 1

Caracterización nutricional del verdeo de raigrás

	%MS	%PC	%FDA	%FDN	%DMO
Raigrás	18	21	30,4	56	77.8

Nota. Tabla de contenido nutricional de pasturas y forrajes del Uruguay. Adaptado de Pigurina & Methol (2004).

2.2 EFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN ENERGÉTICA EN VACUNOS EN PASTOREO

La suplementación con concentrados energéticos además de aumentar el consumo de materia seca en las dietas de los vacunos en pastoreo, mejora la eficiencia de utilización del nitrógeno del forraje por parte de los microorganismos ruminales (Sinclair et al., 2000).

A medida que se aumenta el nivel de suplemento energético la ingesta de forraje disminuye (Caton & Dhuyvetter, 1997). Estas reducciones en la ingesta de forraje han sido atribuidas al contenido de almidón. Sanson et al. (1990) demostraron que aumentos en los niveles de suplementación con almidón de maíz generaban una disminución en la ingesta de MS de novillos. Estas reducciones estarían ligadas a depresiones en el pH ruminal o al efecto de los carbohidratos (Mould et al., 1983). El aumento de almidón en la dieta afecta a las bacterias ruminales generando cambios en sus poblaciones, favoreciendo a las bacterias amilolíticas y disminuyendo las poblaciones de bacterias celulolíticas. Se cree que los cambios bacterianos resultantes reducen la digestión de la fibra y afectan negativamente la ingesta del forraje pastoreado perjudicando el desempeño animal si los niveles de inclusión de almidón son excesivos (Van Soest, 1982). Además, la digestibilidad del forraje también se ve afectada por el estado fenológico (contenido de fibra y lignina) (Castro Hernández et al., 2017).

En condiciones de pastoreo el ambiente ruminal de los vacunos se caracteriza por tener una flora microbiana predominantemente celulolítica, una concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) de 70 a 90 mmol/L y una relación acetato/propionato de 3-3,5 a 1 (Van Soest, 1982); con rangos de pH variables a lo largo del día que van a depender fundamentalmente del tipo de pastura, cantidad de azúcares solubles y frecuencia de alimentación (Cajarville et al., 2006). Para maximizar la digestión de la fibra gracias a la fermentación microbiana se necesita de condiciones de anaerobiosis controlada, temperatura estable entre 38 y 42°C, un rango de pH entre 6,2 y 6,8 (Church, 1979), y una concentración de N amoniacal de 5 mg/dl mínimo para el uso eficiente de los hidratos de carbono (Rearte & Santini, 1993). Los microorganismos del rumen digieren los carbohidratos de las plantas, tanto los polisacáridos no estructurales como los estructurales, para proporcionar energía y contribuir al mismo tiempo con las cadenas carbonadas a la síntesis de aminoácidos de origen bacteriano (Kaufmann & Saelzer, 1980). Los principales productos finales de la fermentación de carbohidratos en el rumen son gases (CO₂ y CH₄) y AGV (propionato, acetato y butirato). Son los AGV los que representan más del 70% del suministro de energía al rumiante por lo que es clave su absorción a través del epitelio ruminal y transporte hasta el hígado. Asimismo, su absorción a través de un mecanismo de difusión a favor del gradiente de concentración actúa como forma de amortiguar el pH ruminal y evitar situaciones de acidosis (Nava Cuéllar & Díaz Cruz, 2001). La producción de AGV resulta en una disminución del pH ruminal. Normalmente, el ácido láctico es responsable de disminuir el pH en el rumen después de la alimentación con concentrado (Opatpatanakit et al., 1994).

El tipo de hidrato de carbono predominante en la dieta, condiciona el desarrollo del tipo de población microbiana adecuada para su fermentación y el rango óptimo de pH (Relling & Mattioli, 2003). Cuando el pH del rumen desciende del rango óptimo, la digestión de la fibra podría verse afectada negativamente, Crawford et al. (1983) reportaron un pH óptimo del líquido ruminal de 6,6-6,8 para una máxima digestión de la fibra, a pH inferiores a 6,0 disminuye la actividad celulolítica y la digestión de la fibra se detiene a pH de 4,3-5,0 (Hoover et al., 1984). La eficiencia de la síntesis de proteínas microbianas también se vería reducida a valores de pH bajos (Strobel & Russell, 1986). Al maximizar el rendimiento y la actividad bacteriana no solo mejorará la digestión de la fibra en el rumen, sino que también aumentará el suministro de aminoácidos (AA) al duodeno.

Dado que los granos son generalmente más digestibles que los forrajes, se esperaría un aumento en la digestibilidad de la dieta si la proporción de grano se incrementa (Rearte & Pieroni, 2001). Sin embargo, la digestibilidad en el tracto gastrointestinal de las dietas mixtas de grano y forraje aumenta menos de lo que se esperaría debido a una reducción en la digestión de la fibra del forraje (Grigsby et al., 1993; Kennedy & Bunting, 1992; Van der Linden et al., 1984). La depresión en la digestión de fibra causada por la suplementación energética es mayor en forrajes de baja calidad que en aquellos de alta calidad (Galyean & Goetsch, 1993). La disminución en el consumo de forraje es menor en los forrajes de calidad inferior (Elizalde et al., 1999; Paterson et al., 1994). Los rumiantes pueden compensar una disminución en la digestión de la fibra a partir del incremento de la degradabilidad ruminal de esta, disminuyendo el consumo de forraje (Dixon & Stockdale, 1999).

El efecto de los concentrados energéticos sobre el pH ruminal varía dependiendo de la composición del suplemento, la forma y tipo de forraje, la tasa resultante de la fragmentación de partículas y la capacidad buffer del líquido ruminal (Horn & MacCollum, 1987). Los alimentos concentrados generan un corto tiempo de rumia con baja producción de saliva, porque tienen como propiedad química una velocidad de fermentación elevada, y una producción más intensa de AGV, lo que lleva a una disminución del pH (5,5-6) lo que favorece la digestión del almidón por parte de los microorganismos amilolíticos (Relling & Mattioli, 2003). Las bacterias amilolíticas utilizan a los almidones como sustrato gracias a que poseen la enzima amilasa que hidroliza enlaces alfa 1-4 produciendo maltosa, que por acción de la maltasa se convierte en glucosa (Dehority & Scott, 1967). Al dar dietas con alto contenido de carbohidratos rápidamente fermentables (RFC) se produce una mayor cantidad de AGV en rumen, y por acción de las bacterias amilolíticas una mayor proporción de propiónico y menor de ácido acético. El efecto que tienen los RFC sobre la reducción de la digestibilidad del forraje va a depender del contenido de FDN de ese forraje (Dixon, 1986; Dixon & Parra, 1984).

El ambiente ruminal generado por la digestión de forraje de alta calidad es similar a la digestión que ocurre con una dieta alta en granos (Rearte & Santini, 1993). El grado y la velocidad de degradación de la materia orgánica podrían ser mayores en el forraje fresco de alta calidad que en los granos de cereales comúnmente utilizados como

suplementos (cebada molida, maíz y granos de sorgo). La alteración causada en el ambiente ruminal por la adición de granos es más evidente en el forraje de baja calidad que en el de alta calidad.

Resultados obtenidos por García et al. (2000) trabajando con vaquillonas pastoreando avena suplementadas con grano de maíz o grano de cebada (30% del total de MS de la dieta), no mostraron reducciones en la digestibilidad de la materia orgánica (MO) ni de la FDN. El consumo de MO tampoco se vio afectado, el porcentaje del total de MO que fue efectivamente digerida en rumen tendió a ser menor en los animales suplementados que en aquellos que consumían solo forraje. El pH del líquido ruminal no estuvo afectado por la suplementación debido a la similitud de proporciones de MO degradada en todos los tratamientos. Rearte y Pieroni (2001) obtuvo la misma conclusión en ensayos de vaquillonas alimentadas con granos de cereales de diferente degradabilidad ruminal pastoreando pasturas de alta calidad. Un nivel de inclusión de 35% de concentrado en la dieta no afectó el pH ruminal ni la degradabilidad *in situ* de FDN. Estos resultados demuestran una menor interferencia de los concentrados sobre la digestibilidad de la fibra cuando los forrajes son de alta calidad.

Galyean y Goesch (1993) sugirieron que la suplementación con grano alteró más la población microbiana en forrajes de baja calidad que en forrajes de alta calidad. En forrajes de baja calidad, el proceso de digestión es más lento dada la complejidad de la estructura de la fibra, lo que hace necesario que ocurra una secuencia de eventos en la que diferentes especies de bacterias interactúen (Galyean & Goetsch, 1993). Además de eso, la suplementación energética cuando la alimentación se basa en forrajes de baja calidad puede ser perjudicial porque aumentará la deficiencia de nitrógeno a nivel ruminal. Sin embargo, aún con una reducción en la digestibilidad de la MO y la FDN causada por el almidón suplementado, el suministro de energía igual es superior en los animales suplementados mejorando el desempeño animal (Dixon & Stockdale, 1999).

Los resultados revisados anteriormente permiten sugerir que la degradabilidad de la MS de forrajes frescos de alta calidad no se modificaría al suplementar con alimentos concentrados en niveles no superiores al 35% del total de la dieta. La oferta de suplementos altamente digestibles, cuando la oferta de alimento no está restringida, aumentaría la ingesta total de la MO. Como consecuencia, la cantidad total de MO

degradada en el rumen será mayor y el pH ruminal podría disminuir. Sin embargo, dado que la digestión de la FDN no se vería alterada, la suplementación con concentrado lograría aumentar el suministro de nutrientes sin reducir la utilización del forraje.

La respuesta animal a la suplementación de concentrados en sistemas de pastoreo va a depender de la disponibilidad y valor nutritivo de la pastura. Se deberían tener en cuenta dos factores que afectan la ingesta de nutrientes al suplementar en pastoreo: 1) la tasa de sustitución (definida como el descenso en consumo de MS de forraje por cada unidad de concentrado consumido, siendo mínima cuando la oferta de forraje es restringida y máxima a mayores asignaciones), y 2) menor degradabilidad de la fibra (Rearte & Pieroni, 2001).

Por lo tanto, la suplementación energética con granos de cereales tendrá el objetivo de mejorar la utilización de proteínas de rápida degradabilidad, mejorar la síntesis de proteínas microbianas, disminuir las pérdidas de nitrógeno en la orina y el costo de esta excreción y, en consecuencia, mejorar el desempeño animal (Van Vuuren et al., 1993b). No solo importa la cantidad de energía suplementada, sino también el tipo de carbohidrato (degradabilidad del almidón) y el método de suplementación utilizado. En casos que no se puede realizar suplementación diaria, el autoconsumo surge como forma de levantar esta limitante operativa, no habiendo diferencias significativas en la performance de los animales según el método de suministro de la ración (Rovira & Velazco, 2012).

2.3 SUPLEMENTACIÓN CON GRANO DE ARROZ

2.3.1 Grano de arroz con cáscara como nueva alternativa de suplemento

El grano de arroz constituye el 20% de la producción mundial de granos, siendo el tercer grano en volumen de producción luego de los cereales de maíz y trigo. En su caracterización nutricional contienen niveles similares de digestibilidad, contenido de proteína y extracto etéreo comparado con el grano de maíz, siendo este el grano más utilizado como suplemento energético en bovinos (Acosta, 2015).

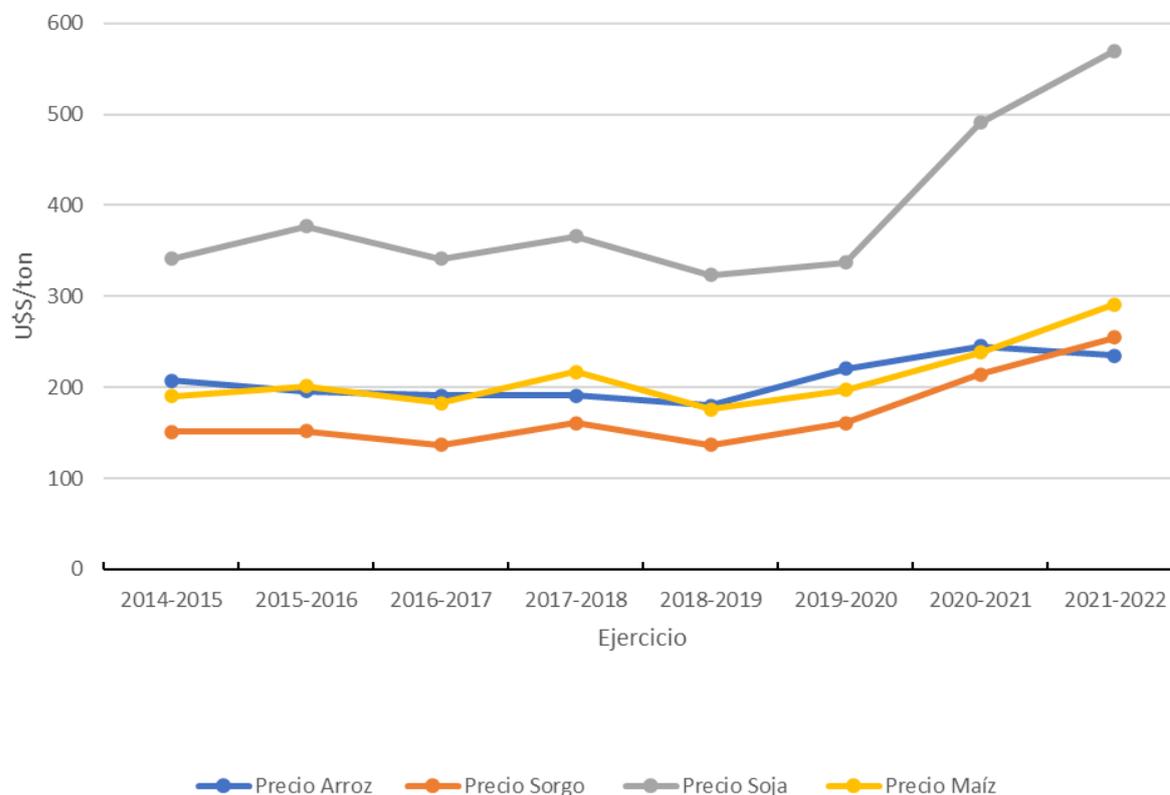
Tanto en Uruguay, como a nivel mundial, el uso del grano de arroz con cáscara (GACC) como suplemento animal no es común. Sin embargo, algunos subproductos de la industria arrocera si son comúnmente utilizados para la suplementación del ganado, como lo es el afrechillo de arroz entero por su elevado aporte de gran energía y adecuado nivel de proteína (EM: 2,6 MCal/kg de MS, PC: 13%), el afrechillo de arroz desgrasado (EM: 1,7 MCal/kg de MS, PC: 15%), y la paja de arroz, alimento con alto nivel de fibra y baja tasa de digestión (EM: 1,3 MCal/kg de MS, PC: 4,5%) (Gayo Ortiz, 2007).

La alternativa del uso del GACC como suplemento para bovinos surge de la necesidad de encontrar un nuevo suplemento energético que permita obtener ganancias significativas y tenga un menor precio a los suplementos de alto valor nutricional como el grano de soja (alto valor proteico), apoyado en un descenso local del precio del grano de arroz (figura 1). Asimismo, mediante la evolución de los precios observados en la figura 1, se puede interpretar que es necesario que el arroz a utilizar sea de buena calidad con un buen aprovechamiento y eficiencia nutricional, debido a que los costos del grano limpio y seco son similares o mayores que al precio de maíz y el sorgo.

El arroz es un producto de alimentación humana, siendo este el principal objetivo del cultivo, el uso como suplemento animal es una estrategia novedosa, lo que justifica los pocos antecedentes existentes, y la realización de este trabajo.

Figura 1

Evolución precio tonelada de arroz comparando maíz, sorgo y soja del ejercicio 2014-2015 a 2021-2022



Nota. Adaptado de valores de precios del arroz de la Asociación Cultivadores de Arroz (ACA, 2022) y Cámara Mercantil de Productos del País (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022).

2.3.2 Caracterización nutricional del grano de arroz con cáscara

El GACC es conocido industrial y comercialmente como el arroz paddy, “es el grano de arroz (*Oryza sativa L.*) después de trillado, provisto de su cubierta exterior o cáscara (glumas y glumelas) pero sin pedúnculo” (Decreto n.º 544/987, 1987).

La cáscara del grano de arroz, formada por la lemma y la palea, representa el 20% del peso total del grano. Por dentro de la capa protectora se encuentra la cariopsis o fruto formado por el pericarpio, endospermo y nucellus que cubre el embrión (Juliano, 1992). En cuanto a la caracterización nutricional del GACC, la presencia de cáscara le confiere al grano de arroz paddy altos niveles de fibra. Al comparar el GACC con el grano de arroz

sin cáscara, el porcentaje de fibra es elevadamente superior (Tabla 2). Esta característica le confiere un efecto de dilución a los valores de los restantes componentes químicos, lo que se traduce en menores valores de proteína y energía metabolizable en el GACC (Paredes et al., 2021).

Tabla 2

Composición química del arroz con cáscara y sin cáscara

Composición química	Grano de arroz con cáscara	Arroz sin cáscara
Materia seca (%)	100	88,2
Proteína (%)	8,5	8,4
Grasa (%)	2,5	1,7
Fibra cruda (%)	11	0,9
FDN (%)	26,4	-
Cenizas (%)	5,8	1

Nota. Adaptado de Gómez (1978) e Instituto Nacional de Investigación sobre Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de Francia (*Rice, paddy*, 2017-2024).

Otro aspecto a tomar en cuenta al momento de utilizar el GACC como un nuevo tipo de suplemento es la digestibilidad del mismo, para ello se puede comparar con el grano de maíz como grano energético por excelencia en la suplementación de bovinos de carne (Tabla 3). El GACC presenta menores valores de digestibilidad y energía metabolizable que el maíz y esto se puede explicar por el menor contenido de FDN del maíz (Qiao et al., 2015). La proporción de fibra afecta la digestibilidad del grano, para lo que a un mayor contenido de FDN se requerirá un mayor tiempo de retención en el rumen para su digestión y esto disminuye la tasa de pasaje de los alimentos (Van Soest, 1982). A su vez, la fibra reduce la concentración de energía de la dieta, lo que provoca una disminución en la digestibilidad (García & Klascheur, 2019).

Tabla 3*Digestibilidad de la materia orgánica y energía metabolizable*

	Maíz	Grano de arroz con cáscara
Digestibilidad de la Materia Orgánica (%)	74,55	68,84
Energía Metabolizable (Mcal/kg)	2,92	2,41
Materia Seca (%)	89,35	88,29
Fibra Detergente Neutra (%MS)	13,27	20,16

Nota. Adaptado de Qiao et al. (2015).

2.3.3 Antecedentes de la suplementación del grano de arroz con cáscara (GACC) sobre la performance animal

Los resultados productivos obtenidos sobre el uso del GACC como alimentación para el ganado de carne son escasos en comparación con otros subproductos industriales del arroz y otros granos. Sin embargo, Weaver y Moffett (1937) evaluaron el valor nutricional y la palatabilidad del GACC molido al ser sustituido por grano de maíz para ganado en engorde (6 kg/a/d, 70% de inclusión) En cuanto a la performance obtenida por estos animales, los resultados demostraron que existió un mayor consumo del GACC, pero resultó en una menor ganancia de peso, 15% inferior a la dieta suministrada con grano de maíz, con ganancias de 0,95 vs 0,81 kg/d. Como resultado, la eficiencia de conversión del GACC (10,5:1) fue menor respecto al grano de maíz (8,5:1). Posteriormente, Snell (1945) al evaluar una dieta con GACC, concluyó que es un grano que permite obtener ganancias de peso satisfactorias, pero para competir con el grano de maíz y contrarrestar una peor eficiencia de conversión, la relación de precios debe ser positiva hacia el GACC. En Brasil en la región de Río Grande del Sur, Argenta (2015) evaluó en dietas a base de grano entero de maíz (85%) para vacunos en terminación, el efecto de la sustitución total del maíz por GACC entero, sobre el consumo, ganancia de PV y eficiencia de conversión. En este experimento la sustitución de grano de maíz entero por GACC no afectó el consumo de MS, pero redujo la ganancia de PV (45%), afectando

la eficiencia de conversión, duplicándose la cantidad de alimento necesario por kg de PV ganado.

En cuanto a evaluaciones nacionales, se experimentó el uso del GACC molido en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) de la Facultad de Agronomía, evaluando el nivel de inclusión del GACC en la dieta en sustitución del grano de sorgo en una dieta altamente concentrada (70% concentrado) de recría de terneras a corral. De la misma, se concluyó que no existieron diferencias significativas a niveles crecientes de inclusión de GACC en la dieta en las variables de respuesta estudiadas, siendo la ganancia media diaria (1,12 kg/d), consumo de materia seca (7,5 kg) y conversión del alimento (6,94 kg MS/ kg PV) iguales para los tratamientos evaluados (0%, 15%, 30% y 45% niveles de GACC). Por lo tanto, se considera que la inclusión del GACC molido en sustitución del grano de sorgo en dietas para la recría de terneras no afecta el desempeño animal (Félix Alfonso et al., 2023).

2.3.4 Antecedentes de la suplementación con grano de arroz sobre los parámetros ruminales

Beuvink y Spoelstra (1992) extrajeron fluido ruminal de ovejas fistuladas y calcularon las producciones de gas, volumen de ácidos grasos volátiles y pH *in vitro* durante la fermentación de sustrato de almidón del arroz. Encontraron que la máxima tasa de producción de gas y de ácidos grasos volátiles para el almidón de arroz fue entre 4 y 12 horas de incubación *in vitro*. A su vez, al comparar el almidón de arroz con incubaciones de glucosa y celulosa, encontraron que el almidón de arroz presentó la mayor producción de gas. Los valores que obtuvieron de producción de ácidos grasos volátiles (AGV), pH y proporciones de AGV se detallan en la tabla 4. El valor inicial de pH del líquido ruminal en este ensayo fue de 6,90. A raíz de estos resultados se puede inferir que el almidón de arroz es un material de alta fermentabilidad ruminal, mayor que la glucosa y la celulosa. Las producciones de AGV contribuyeron a la disminución del pH inicial del líquido ruminal hasta valores de 6,32.

Tabla 4

Parámetros ruminales in vitro de almidón de arroz incubado en líquido ruminal de ovejas

Parámetros ruminales	Valores
Producción total de gas (ml/g MO)	375
Producción total de AGV (mmol/g MO)	8,4
<u>Cantidades absolutas de AGV (mmol/g MO)</u>	
Ácido acético	4,8
Ácido propiónico	1,7
Ácido butírico	1,6
pH	6,32
<u>Proporciones de AGV (mol/100 mol)</u>	
Ácido acético	59,2
Ácido propiónico	21,3
Ácido butírico	19,3

Nota. Adaptado de Beuvink y Spoelstra (1992).

Por otro lado, investigaciones llevadas a cabo por Reddy et al. (2021) en donde se estudió la producción de gas *in vitro*, degradabilidad y las características fermentativas de varios granos de cereales incubados en líquido ruminal de novillos post faena (Tabla 6), demostraron que el grano de arroz partido con cáscara mostró los valores más altos de degradación *in vitro* de la MS (DIVMS %), atribuible a los menores valores de fibra cruda. Esto se explica porque la fibra cruda, que incluye celulosa y lignina, es una fracción menos digestible. Menores contenidos de fibra cruda significan mayores proporciones de almidón y otros carbohidratos fácilmente fermentables, lo que facilita la acción de los microorganismos ruminales y permite una mayor DIVMS %. No se obtuvieron diferencias significativas en la degradabilidad *in vitro* de la MO (DIVMO) entre el arroz con cáscara partido y el maíz.

Las menores degradabilidades in vitro de la FDN (DIVFDN) (Tabla 6) en el arroz partido con cáscara y el maíz se atribuyen a una mayor resistencia a la actividad microbiana debido a sus matrices proteicas más densas y mayor endospermo periférico y córneo en ambos granos (Rooney & Pflugfelder, 1986), en comparación con granos como el mijo, trigo y cebada que presentan endospermos menos densos en proteínas y mayor cantidad de fibra soluble y hemicelulosa.

En desacuerdo con lo reportado por Reddy et al. (2021) en donde no se encontraron diferencias significativas (Tabla 5), Yoo et al. (2020) reportaron que la DIVFDN de la ración totalmente mezclada (RTM) de arroz era mayor que el de la RTM de maíz, lo cual podría ser el resultado del efecto asociativo de otros ingredientes alimenticios en la RTM. Yang et al. (2018) reportaron que se observó una menor DIVFDN con la RTM de trigo que con la RTM de maíz y la de arroz. Las RTM de los experimentos de Yoo et al. (2020) y Yang et al. (2018) contaban con el arroz como la principal fuente de grano en la ración. El valor más alto de partición, proporción en la que un nutriente específico se divide entre la fracción digestible y la fracción no digerible durante el proceso de degradación en el rumen, lo obtuvo el arroz partido, sin embargo, no tuvo diferencias significativas con el maíz (Reddy et al., 2021).

En este mismo ensayo, Reddy et al. (2021) demostraron una correlación negativa entre el pH y la producción total de AGV y una correlación positiva entre AGV y NH₃-N (Tabla 5). Resultados de Dijkstra y colaboradores (2012) reafirmaron la correlación existente entre la producción total de AGV y el pH ruminal. Estos descubrieron que existe una relación inversa entre las concentraciones de AGV y pH luego de la ingesta de alimento, ya que cuando aumentaba la concentración de AGV en rumen disminuía el pH.

El elevado valor de pH registrado en las incubaciones de arroz partido con cáscara fue debido a la menor producción de AGV. Investigaciones realizadas por Yoo et al. (2020) concluyeron que el pH ruminal fue más alto en una RTM que contenía maíz ($P < 0.05$) que en una RTM con arroz como ingrediente principal. En ensayos previos de RTM con arroz, Yang et al. (2018), demostraron que la RTM con grano de arroz mantuvo el valor de pH más bajo cuando se las comparó con las RTM a base de trigo y maíz. Sin embargo, en estudios posteriores, Yang et al. (2020) concluyeron que el pH no se vio

afectado ($P>0.10$) cuando en la RTM se sustituye arroz por maíz, lo cual está en concordancia con los hallazgos del estudio de Reddy et al. (2021).

Los contenidos de amoníaco (Reddy et al., 2021), expresado como $\text{NH}_3\text{-N}$, no presentaron diferencias significativas entre el arroz partido con cáscara y el maíz, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Yang et al. (2020) y Yoo et al. (2020), donde ambos reportaron que el $\text{NH}_3\text{-N}$ no se vio afectado ($P>0.10$) con la sustitución de arroz por maíz en la RTM.

Tabla 5

pH ruminal, producción total de AGV y $\text{NH}_3\text{-N}$ incubando granos de maíz y arroz partidos

Grano	pH	AGV (mmol/dl)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/40ml)
Maíz	7,23±0,03 a	3,72±0,16 b	17,92±0,01
Arroz partido con cáscara	7,2±0,01 a	3,45±0,05 b	17,17±0,75

Nota. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ($P = 0.01$). Adaptado de Reddy et al. (2021).

Tabla 6*Producción de gas y degradabilidad de nutrientes in vitro de granos de arroz y maíz*

Grano	AGV (ml/500 mg consumido)	DIVMS%	DIVMO%	DINFDN%	FP
Maíz	28,24±0,17	93,38±0,22 a	44,18±0,15	44,38±2,11	15,20±0,15
Arroz partido cáscara	28±1,21	96,36±0,25 b	44,16±1,08	45,52±0,36	15,92±0,69

Nota. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0.01$). Adaptado de Reddy et al. (2021).

Estudios realizados por Qiao et al. (2015), evaluando la fermentabilidad *in vitro* de granos de arroz enteros con cáscara y de maíz incubados en líquido ruminal de novillos canulados amortiguado bajo flujo constante de CO₂ (Tabla 7), demostraron que no existieron diferencias significativas en los valores de pH y NH₃-N luego de 24 horas de incubación *in vitro*, coincidiendo a su vez con los resultados reportados por Reddy et al. (2021) y Opatpatanakit et al. (1994). Sin embargo, a diferencia de estos, si existieron disparidades para los resultados de concentración de AGV totales para cada grano.

Tabla 7*Parámetros de la fermentación ruminal (24 h) en granos de arroz y maíz*

Valores	Maíz	Grano de arroz con cáscara	P valor
pH	5,99	6,04	0,003
NH ₃ -N (mg 100 mL ⁻¹)	25,79	25,07	< 0,001
AGV totales (mmol L ⁻¹)	70,49 a	62,25 b	0,002
VFA (Mol%)			
Acético	59,7	59,86	0,499
Propiónico	24,83	23,88	0,013
Butírico	10,89 b	12,14 a	0,02
Rel. Acetato/Propiónico	2,4	2,51	0,058

Nota. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas.

Adaptado de Qiao et al. (2015).

Según los antecedentes encontrados sobre cómo se afectan los parámetros ruminales con la ingesta de grano de arroz, se puede concluir que este grano presenta en general una alta fermentabilidad y degradabilidad ruminal que influye directamente sobre las producciones de AGV y disminución del pH del rumen en consecuencia. A su vez en algunos estudios existieron diferencias significativas en los valores de los parámetros ruminales cuando se comparaba al arroz con el maíz.

2.4. HIPÓTESIS

La suplementación invernal de novillos de sobreaño con GACC tanto en comederos de autoconsumo (*ad libitum*) como suplementación diaria (al 1% peso vivo), pastoreando *Lolium multiflorum* cv. Jack afectará los parámetros ruminales de fermentación en comparación a los animales no suplementados a través de una disminución de la curva de evolución diaria de pH. No se esperarán diferencias significativas en la degradabilidad *in sacco* de la MS entre el arroz con cáscara partido y el maíz como testigo. Las respuestas en la degradación ruminal y parámetros de la cinética

ruminal serán dependientes de la forma de suministro (diariamente o en comederos de autoconsumo). En los animales suplementados *ad libitum* se espera un efecto de sustitución mayor que en los suplementados diariamente, que afectaría el comportamiento ingestivo disminuyendo aún más el total de MS consumida del raigrás en los suplementados *ad libitum*.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) Facultad de Agronomía, ubicada en el litoral oeste del Uruguay en el departamento de Paysandú; a 32°20'9" de latitud sur, y 58°2'9" de longitud oeste. Específicamente, los animales pastorearon un cultivo anual de raigrás (*Lolium multiflorum* cv Jack) con un total de 11 ha disponibles, ubicado en el potrero 2 de la UPIC, con suelos predominantes Brunosoles éutricos típicos (háplicos), con una textura limo arcillosa y drenaje moderado de la formación Fray Bentos, dentro de la Unidad San Manuel (Durán, 1985).

El periodo experimental tuvo una duración de 53 días, desde el 2 de septiembre hasta el 23 de octubre de 2023, compuesto de tres periodos consecutivos de 17 días cada uno. El mismo estuvo precedido por un periodo pre experimental de 14 días de acostumbamiento a las dietas.

3.2 ANIMALES Y TRATAMIENTOS

Se utilizaron 3 novillos Hereford ($282,3 \pm 18,9$ kg) provenientes del rodeo de la EEMAC nacidos en la primavera 2022, cada uno provisto de una fístula ruminal con cánulas de silicona de 4 pulgadas (Kehl® Ind. Ltda.; São Carlos, SP, Brazil), que fueron aleatoriamente asignados a uno de los 3 tratamientos en un diseño experimental de Cuadrado Latino 3×3 con los tres animales recibiendo los tres tratamientos en tres períodos de tiempo.

Para el mantenimiento de la higiene de la fístula ruminal se realizaron desinfecciones cada una semana con lavados con antiséptico desinfectante y jabón, y aplicaciones de Bactrovet® plata AM curabichera de acción múltiple. Luego de la cirugía, para el manejo sanitario se utilizó Banamine® inyectable de acción analgésica, antiinflamatoria, antipirética (5,5 ml cada 24 horas por 3 días). También se realizaron aplicaciones de antibiótico durante los 3 días post operación de Repen suspensión inyectable (30 ml cada 24 horas). Posterior a los 3 días, se utilizó como antibiótico

oxitetraciclina, Oextra Long Acting (25 ml a razón de 10 ml cada 100 Kg PV cada 2 días en 3 ocasiones). En casos de infección fue necesario tratamientos antiparasitarios de solución inyectable con soluciones de doramectina, Dectomax®.

Al inicio del experimento los animales fueron asignados a cada tratamiento, siguiendo una aleatorización doble de Cuadrado Latino descrita por Montgomery (2004), de forma de asegurar que cada animal pase por cada tratamiento durante un período de muestreo (Tabla 8).

Los tratamientos fueron 1) Pastoreo de raigrás cv. Jack con una asignación de forraje (AF) al 2,5 kg de MS/100 kg de peso vivo sin suplementación (Testigo), 2) Pastoreo de raigrás cv Jack a igual AF más suplementación diaria con grano de arroz quebrado con cáscara a razón de 1 kg de MS/100 kg de peso vivo (SD), y 3) Pastoreo de raigrás cv Jack a igual AF más suplementación con grano de arroz quebrado con cáscara en comederos de autoconsumo con oferta de grano *ad libitum* (AC). Cada periodo tuvo una duración de 17 días: 14 días de transición entre dietas para borrar cualquier efecto residual, y 3 días de muestreos.

Tabla 8

Aleatorización de los tratamientos

	Testigo	Suplementación diaria	Autoconsumo
Período 1	2329	2235	2360
Período 2	2360	2329	2235
Período 3	2235	2360	2329

Nota. Números referentes a las caravanas de cada animal

3.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL, REGISTROS, MEDICIONES Y MUESTREOS

3.3.1 Manejo y mediciones del verdeo, y suplementación

Todos los animales se mantuvieron pastoreando un verdeo de invierno, *Lolium multiflorum* cv. Jack, una variedad de raigrás diploide italiano, de alta adaptación y rusticidad, que se caracteriza por presentar macollos y hojas intermedias a finas, con un ciclo de producción largo y tardío que se extiende hacia la primavera. Este verdeo fue sembrado el 22/04/2023 con una densidad de siembra de 25 kg/ha. En cuanto a las aplicaciones realizadas, previo a la siembra se realizó un control de malezas con glifosato y 2,4D amina. Al momento de la implantación, se realizó una fertilización inicial de 100 kg/ha de fosfato diamónico (18-46-0). Para la implementación del ensayo se realizó un pastoreo rotativo del raigrás a razón del 2,5% de asignación de forraje por kg de peso vivo. Se armaron parcelas con ocupación de siete días, estructuradas mediante alambrado eléctrico. La oferta de forraje fue ajustada semanalmente variando el área de la parcela en base a la materia seca disponible y al último peso vivo animal registrado.

En la pastura se determinó semanalmente la altura y biomasa de forraje disponible pre-pastoreo para el ajuste de la asignación de forraje. La disponibilidad de forraje (kg MS/ha) fue determinada semanalmente mediante el método de rendimientos comparativos (Haydock & Shaw, 1975). Se realizaron cortes según la técnica de doble muestreo (Moliterno, 1997), con tres escalas de tres puntos cada una, midiendo la altura de la pastura con regla en cinco puntos de la diagonal, registrando el punto de contacto más alto. Para cada escala se realizaba el corte utilizando cuadros de 0.09 m² (0.3×0.3m) cortando el material al ras del suelo. A su vez, sobre las muestras de las escalas se registraron por apreciación visual la proporción de restos secos y suelo desnudo. Para la determinación de frecuencia de aparición de los puntos se generaban 30 datos a partir de muestreos al azar para cada parcela individual.

Los animales se pesaron al inicio del experimento y al final de cada período de muestreo (17 días), las pesadas fueron temprano en la mañana sin previo ayuno ni orden preestablecido. Las franjas semanales y cantidad de suplemento a ofrecer fueron ajustadas durante cada periodo en base al peso vivo animal. La suplementación con grano de arroz

con cáscara quebrado fue realizada rutinariamente por la mañana, en comederos individuales ubicados dentro de cada parcela de pastoreo. Para el caso del tratamiento SD siempre se suplementó a la misma hora temprano en la mañana y en el tratamiento AC el suplemento estuvo siempre disponible para asegurar un consumo *ad libitum*, ajustando la cantidad a ofrecer en base a la presencia o no de rechazos del día anterior. La cantidad de concentrado a suministrar fue ajustada en base seca, tomando muestras del suplemento semanalmente que fueron secadas en estufa de aire forzado a 60 grados durante 48 horas.

Mientras se llevaba a cabo la rutina de suplementación se ofrecía agua a cada animal en un bebedero con boya localizado fuera de la franja dentro del mismo potrero. Los días de elevadas temperaturas, se llevaban en la mañana y en la tarde al bebedero para evitar el estrés térmico y una disminución en el consumo del suplemento.

3.3.2 Degradabilidad *in situ* del forraje y concentrado

La degradabilidad ruminal aparente en función del tiempo fue estimada según el modelo exponencial de Ørskov y McDonald (1979). El planteo consiste en medir la degradabilidad de los alimentos incubando en el saco ventral del rumen muestras por duplicado en bolsitas de filtro de $9 \times 11 \text{ cm}^2$ con poros de $40 \mu\text{m}$ (tela de serigrafía de 120 hilos-poros) previamente identificadas. Las mismas fueron colocadas el día 15 (7 am previo al suministro del suplemento) y retiradas a las 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 h.

Los alimentos incubados en rumen fueron maíz molido, arroz con cáscara quebrado, y forraje fresco de raigrás, todos incubados en base fresca, a razón de 15 mg MS/cm^2 de bolsa. La muestra de raigrás a incubar fue obtenida a inicios del experimento y posteriormente conservada congelada a -18°C , de modo de asegurar que el forraje a ser incubado fuera el mismo durante todo el ensayo. Para la preparación de las muestras de forraje fresco se cortó en trozos el raigrás de 0.5 a 1 cm de largo utilizando tijeras, para evitar el desgarre del material, y con el objetivo de simular el primer masticado. Las muestras de los suplementos también se colectaron al inicio del experimento utilizando las mismas durante los 3 periodos.

Para calcular la degradabilidad en las siguientes horas, una vez retiradas las bolsas del rumen se colocaban en una conservadora con hielo para detener la fermentación

durante el traslado desde el campo hasta el laboratorio. Una vez en el laboratorio se almacenaban en el congelador a -18°C para la conservación hasta su posterior lavado.

Al finalizar cada período de muestreo se retiran del congelador y se lavaban todas las bolsas, tal cual extraídas del rumen. El lavado se realizó en lavarropas convencional y constó de 5 ciclos de lavado con agua fría de 3 minutos, más un último enjuague con agua destilada por 5 minutos.

Después de lavar las bolsas se escurrieron y secaron a 60°C por 48 horas en estufa de aire forzado para luego ser pesadas en balanza de precisión para la determinación de la MS desaparecida. El residuo de alimento no degradado se guardó en bolsas de plástico rotuladas para su posterior análisis químico. 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 h en estufa de aire forzado a 60°C .

3.3.3 Muestreo de líquido ruminal para evaluación de pH ruminal y concentración de amonio

Se tomaron muestras de líquido ruminal del saco ventral del rumen a las 0, 3, 6, 9, 12 y 24 h comenzando el día 15 de cada periodo. Una vez tomadas las mismas se filtraban con una tela de queso doble y se procedía a medir el pH con un pHmetro portátil (pH Testers 20®, Oakton® Instruments; Vernon Hills, IL USA). Posteriormente, se guardó una alícuota de 40 ml que se mezcló con 2 ml de ácido sulfúrico puro para su conservación y posterior determinación de la concentración de amonio. Las mismas fueron conservadas congeladas a -18°C hasta su posterior análisis.

3.3.4 Digestibilidad aparente de la materia seca consumida

Para poder estimar la digestibilidad aparente de la materia seca se utilizaron cenizas insolubles en ácido como marcador interno. Los días 2, 3 y 4 dentro de cada período de muestreo se tomaron muestras de heces en el campo mediante la estimulación del recto (Van Keulen & Young, 1977), coincidiendo con el horario de retiro de bolsas en las horas 24, 48 y 72 en los días 16, 17 y 18. Se hicieron muestras compuestas por

animal y por periodo y se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C durante 7 días.

Además, se tomaron muestras de cada parcela del forraje consumido mediante la técnica de *hand-clipping* para simular el consumo de materia seca del raigrás por parte del animal, muestras de grano de arroz tal cual ofrecido en los días 15, 16 y 17 de cada periodo. La DMS se estimó utilizando el contenido de cenizas insolubles en ácido (AIA) como marcador interno determinado en heces y en el alimento consumido (Van Keulen & Young, 1977).

3.3.5 Comportamiento ingestivo

Durante el día 16 en cada período se registraron las actividades de pastoreo, rumia y descanso, tiempo en comederos (para tratamiento SD y AC) y acceso a bebederos, por apreciación visual cada 10 minutos durante las horas luz (0800-1800 h). La tasa de bocado fue medida en la primera sesión de pastoreo de la mañana y a la tarde, registrando el número de bocados de aprehensión realizados en un minuto (dos repeticiones de la medición).

3.3.6 Consumo de suplemento y forraje

Tanto en el tratamiento AC como en el SD el consumo de suplemento fue estimado como la diferencia en la MS ofrecida y residual. A su vez, se tomaron muestras del suplemento diariamente a partir del día 15, y por tres días consecutivos, durante el periodo de mediciones para el cálculo de digestibilidad total.

El mismo procedimiento fue realizado para la medición del consumo de forraje, midiendo la disponibilidad de forraje en la franja al inicio del muestreo y el forraje residual. Durante la fase de muestreos, la franja fue realizada para 3 días, y se tomaron muestras de forraje consumido mediante la técnica de *hand-clipping*. Estas luego de cortadas se llevaban a estufas de secado con aire forzado a 60°C durante 24 horas hasta peso constante para la determinación de la MS.

3.4 ANÁLISIS QUÍMICO

Cada muestra utilizada fue previamente secada y molida en molino de martillo (Willey-Mill) a 1 mm. Se determinó el contenido de MS (Latimer, 2012; método 934.01), cenizas (Latimer, 2012; método 942.05), PC (Latimer, 2012; método 984.13), FDN (Van Soest, 1982), FDA (Van Soest, 1982) en las muestras de alimento ofrecido y rechazos. El contenido de FDN y FDA fue determinado en forma secuencial. La concentración de amonio ($\mu\text{gN-NH}_4/\text{ml}$) (Latimer, 2015; método 984.13) se determinó mediante espectrofotometría según el método de Chaney y Marbach (1962).

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El experimento fue analizado según un 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, $Y_{ijk} = \mu + P_i + A_j + T_k + \epsilon_{ijk}$, siendo μ la media general, P_i el efecto del i -ésimo período, A_j el efecto del j -ésimo animal, T_k el efecto del k -ésimo tratamiento, y ϵ_{ijk} el error experimental.

Para variable con medidas repetidas en el tiempo se incluyó los efectos fijos de momento de muestreo y sus interacciones, quedando el modelo de la siguiente manera, $Y_{ijkl} = \mu + P_i + A_j + T_k + \epsilon_{ijk} + H_l + (H \times T)_{kl} + \delta_{ijkl}$, donde H_l 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 δ_{ijkl} el error de la medida repetida en el tiempo.

Las medias ajustadas para todos los modelos fueron comparadas mediante el test de Tukey. Para los resultados de consumo de MS, efecto hora sobre pH ruminal se consideró un P valor significativo $< 0,10$. 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 $< 0,05$. Por esto se consideró una tendencia en los valores de pH ruminal cuando el P valor $0,05 \leq p < 0,1$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS

En la Tabla 9 se detallan las características químicas de los alimentos ofrecidos durante el experimento a los animales.

Tabla 9

Composición química del alimento ofrecido, GACC y raigrás, a los animales durante el período experimental

	%MS	%C	%PC	%aFDNmo	%FDAmo	%EE
GACC	89,67	6,37	8,19	27,77	13,50	0,70
Raigrás P1	89,51	12,81	13,79	47,40	23,07	2,19
Raigrás P2	89,95	13,58	11,04	48,09	23,57	1,64
Raigrás P3	90,37	14,27	12,40	49,31	24,14	2,62

Nota. Los resultados están expresados en base seca, el forraje se presenta según cada período (P1, P2, y P3). MS%: Materia Seca analítica, C%: Cenizas, PC%: Proteína cruda, aFDNmo: Fibra detergente neutro con amilasa y corregida por cenizas, FDAmo: Fibra detergente ácido corregida por cenizas, EE: Extracto etéreo.

Los resultados de la composición química del raigrás se tomaron como un promedio ponderado de las tres escalas según la técnica de doble muestreo (Moliterno, 1997) del forraje ofrecido durante cada período. Al evaluar la calidad de la pastura, en cuanto a la proteína, se observa que fue un valor inferior al presentado por Mieres et al. (2004) que reportan un 26% de PC. Esto se puede explicar por un aumento en los restos secos de la pastura por el avance en el estado fenológico, ya que esto genera una disminución en el contenido proteico (Zanoniani et al., 2003).

Por otro lado, los valores obtenidos de FDN, FDA y Cenizas fueron similares a los rangos presentados por Berriel et al. (2024) en estudios sobre la utilización del raigrás cv. Jack pastoreado por terneros Hereford con una AF al 2,5%. En el mismo, los valores fueron aumentando con el pasar de las semanas de evaluación al igual que sucede en los valores que se muestran por período en la tabla 9. Esto se explica al igual que el

comportamiento de la proteína, el avance del estado fenológico aumenta el % de FDN, FDA y Cenizas.

A su vez, se calculó el aporte de energía metabolizable de ambos alimentos para poder evaluar el aporte de energía de la dieta en comparación con valores generales. En la tabla 10 se presentan dichos valores.

Tabla 10

Energía metabolizable de los alimentos utilizados para el experimento

Alimento	EM (Mcal/kg MS)
GACC	2,72
Raigrás	2,73

Nota. EM: Energía Metabolizable. $EM(Mcal/kg) = 3.044 - (0.0312 \times \%FDA)$.

El aporte de EM (Mcal/kg) fue calculado a partir de la ecuación de Van Soest (1982). Evaluando el aporte de EM (Mcal/kg MS) de la pastura, los resultados son similares a los encontrados por Berriel et al. (2024), en los cuales con un 2,5% de AF, la EM (Mcal/kg MS) de la pastura fue de 2,6. Lo mismo sucede con el GACC, donde los resultados obtenidos por Heuzé et al. (2015) presentaron valores cercanos de energía metabolizable, en este caso de 2,4 Mcal/kg MS.

En la Tabla 11 se puede observar que los resultados de la composición química del GACC fueron similares a los resultados reportados por Heuzé et al. (2015). El % C, %PC y el %FDN dieron valores muy similares, la mayor variación se dio en el %EE, siendo más alto en los resultados de Heuzé et al. (2015). Esto podría estar influenciado principalmente por el almacenamiento y procesamiento postcosecha del grano, debido a que el método de análisis fue el mismo. El tiempo y las condiciones durante el almacenamiento (humedad y temperatura) pueden alterar la composición química del arroz, especialmente la de los lípidos siendo más susceptibles a la oxidación (Urban Alandete, 2018). Durante nuestro experimento el arroz era almacenado en una bolsa de silo lo que generaba una mayor temperatura y humedad. Urban Alandete (2018) estudió el efecto del almacenamiento a distintas temperaturas en la composición química de distintos granos, ella reportó que las elevadas temperaturas y humedad disminuyeron el

contenido de extracto etéreo en las muestras por causa de una mayor oxidación de los lípidos. También la alta humedad causó una mayor hidrólisis de las grasas en ácidos grasos libres y glicerol y la mayor actividad microbiana fomentó la degradación de los lípidos, obteniéndose así un menor resultado de %EE.

Tabla 11

Composición química del GACC, comparación de resultados

	%C	%PC	%aFDNmo	%FDAmo	%EE
GACC (Heuzé)	5,80	8,5	26,4	13,50	2,5
GACC (UPIC)	6,37	8,19	27,77	13,50	0,70

Nota. C%: Cenizas, PC%: Proteína cruda, aFDNmo: Fibra detergente neutro con amilasa y corregida por cenizas, FDAmo: Fibra detergente ácido corregida por cenizas, EE: Extracto etéreo. Adaptado de Heuzé et al. (2015).

4.2. CONSUMO

Para evaluar el consumo de MS de los distintos tratamientos, se generó información sobre el consumo de forraje, GACC y total, no observándose efecto significativo de tratamiento para ninguna de las variables. Las medias por tratamiento se presentan en la tabla 12.

Tabla 12

Efecto del tratamiento sobre el CMSF, CMS GACC y CMS Total

Variables	Tratamientos				Efecto (P-Valor)
	AC	SD	T	Error estándar	
CMSF (kg/día)	6,60	7,87	7,80	1,57	ns
CMS GACC (kg/día)	4,97	2,37	NC	0,91	ns
CMS Total (kg/día)	11,57	10,24	7,80	2,44	ns

Nota. No significativo (n/s) ns= P>0,10. CMSF: Consumo de materia seca del forraje. CMS: Consumo de materia seca, AC: Autoconsumo, SD: Suministro diario, T: Testigo.

El CMSF no fue afectado significativamente por la suplementación, esto coincide con lo reportado por Carrau et al. (2023). Tampoco se reportaron diferencias significativas en el método de suministro de la dieta. El resultado obtenido sobre el consumo de forraje podría haber tenido un efecto de sustitución por causa de la adición de granos fermentables con altos contenidos de almidón, aumentando las concentraciones de AGV en el rumen y modificando las proporciones de la flora ruminal (Rovira & Velazco, 2012). Sin embargo, esto no se vio reflejado en el estudio debido a que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos suplementados con los sin suplementar. En resultados obtenidos por Elizondo Lorenzo et al. (2003) sobre el efecto de la suplementación energética (al 1% del PV) en novillos pastoreando raigrás, obtuvieron que a bajas AF de verdeo (2,5%) no existió efecto de sustitución en la dieta, tal como se vio reflejado en los resultados expuestos del CMSF (tabla 12).

El consumo de MS de GACC, expresado en kg/d, no difirió estadísticamente entre los tratamientos de autoconsumo y suplementación diaria. En la tabla 12 se presentan las estimaciones por tratamiento para esta variable y se puede ver una diferencia numérica importante ($P=0,12$) de mayor CMS de GACC en el autoconsumo que en la suplementación diaria, sin embargo, no se detectaron diferencias significativas.

Existió efecto de adición en el tratamiento de autoconsumo con respecto al CMS de GACC, el tratamiento con suplementación en autoconsumo fue el doble al tratamiento de suplementación diaria. Sin embargo, debido a la metodología del ensayo, no se detectaron diferencias estadísticas en el análisis. El resultado demuestra que no existieron diferencias significativas, pero sí una tendencia hacia mayor consumo de GACC en el tratamiento de autoconsumo ($P= 0,12$). La tendencia positiva hacia un efecto aditivo del consumo se asocia con la asignación de forraje la cuál podría ser restrictiva para el animal, justificando esta respuesta.

En la tabla 12 se puede ver como los valores representan una tendencia de mayor consumo desde el tratamiento testigo hacia el autoconsumo. Sin embargo, dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P>0,05$) para poder definir un efecto de adición en la dieta con la suplementación de GACC. Esto se contradice con Carrau et al. (2023) y Pigurina (1997) quien reportan que a bajos aportes de nutrientes

por la pastura se produce un efecto de adición por parte del suplemento. A su vez Stritzler (s.f.) afirma que cuando la disponibilidad de forraje es restrictiva los animales reducen su consumo de forraje y ganancias de peso. Esto genera que cuando se suplementa se produce un efecto de adición, es decir el consumo total aumenta.

El efecto de adición puede ocurrir cuando el animal obtiene de la pastura una escasa cantidad de forraje. Al no poder completar su capacidad de ingestión, si se le suministra una pequeña cantidad de suplemento, los nutrientes de este se le suman a los que fueron provistos por la pastura generando que el consumo total de alimento aumente (Vernet, 2003).

Tabla 13

Participación de los alimentos en cada tratamiento en porcentaje

	Tratamientos		
	AC	SD	T
% GACC	43	23	0
% Forraje	57	77	100

Nota. %GACC: proporción en porcentaje de la dieta que corresponde a consumo de GACC.

%Forraje: proporción en porcentaje de la dieta que corresponde a consumo de forraje.

En la Tabla 13 se puede observar como en el tratamiento de autoconsumo el GACC representó una mayor participación en la dieta que en el tratamiento de suplementación diaria. Sin embargo, tanto para el autoconsumo como para el diario el forraje constituye la mayor parte de la dieta.

4.3. COMPORTAMIENTO

Los resultados de las variables de comportamiento de los animales están expresados como la probabilidad de encontrarlos realizando alguna de las actividades observadas siendo este pastoreo, rumia, descanso, acceso al agua y al comedero. En la tabla 14, se presentan dichos resultados de comportamiento ingestivo.

Tabla 14*Efecto de los tratamientos sobre el comportamiento ingestivo de los animales*

Actividad	Tratamientos			P-valor
	AC	SD	T	
Pastoreo	0,371	0,382	0,410	ns
Rumia	0,277	0,295	0,299	ns
Descanso	0,259	0,257	0,265	ns
Agua	0,0207	0,0207	0,0207	ns
Acceso a comedero	0,0599	0,0396	NC	ns

Nota. AC: Autoconsumo, SD: Suministro diario, T: Testigo, No significativo (n/s) ns= $P > 0,05$.

Con respecto al comportamiento ingestivo de los animales se puede destacar que las variables analizadas no presentaron diferencias significativas para la proporción de tiempo en pastoreo, rumia, descanso, toma de agua y acceso al comedero. Independientemente del método de suministro, tanto en autoconsumo, suplementación diaria o el tratamiento testigo, la composición de la dieta no afectó estadísticamente las actividades de consumo ($P > 0,05$).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Carrau et al. (2023) donde en suplementaciones diarias, se obtuvo con respecto al comportamiento ingestivo que la suplementación no afectó la actividad de pastoreo. En el caso de la rumia no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Esto corresponde con lo reportado por Carrau et al. (2023), pero no coincide con lo explicado por Pereyra y Leiras (1991), donde muestran que la rumia depende de la calidad del alimento y que a mayor calidad del mismo menor es el tiempo de rumia. En el caso del descanso, los resultados no concuerdan con los obtenidos por García et al. (2008) en el cual se obtiene que la actividad de descanso es mayor en los animales suplementados. El mayor tiempo de

descanso se explica porque al estar consumiendo suplemento sustituyen tiempo de pastoreo por tiempo de descanso.

Una posible variable que puede generar estos resultados se relaciona con el acceso al agua. Este era restringido y de la misma duración para los tres tratamientos, lo cual se refleja en la tabla 14 al ocupar la misma proporción de tiempo de actividad. Los requerimientos de agua por parte de un animal son relativos a la dieta, dado principalmente por el porcentaje de humedad de la misma, siendo que animales con mayores consumos de MS demandan mayor cantidad de agua (Duarte, 2011). Por lo tanto, una restricción en la oferta de agua, pudo generar reducciones en el consumo del GACC generando así una distorsión en el comportamiento, asimismo aumentando el tiempo de pastoreo en los tratamientos de autoconsumo y suplementación diaria para disminuir el %MS de la dieta. Dicho comportamiento tiene como consecuencia que no existan diferencias significativas en el acceso a comedero según los tratamientos.

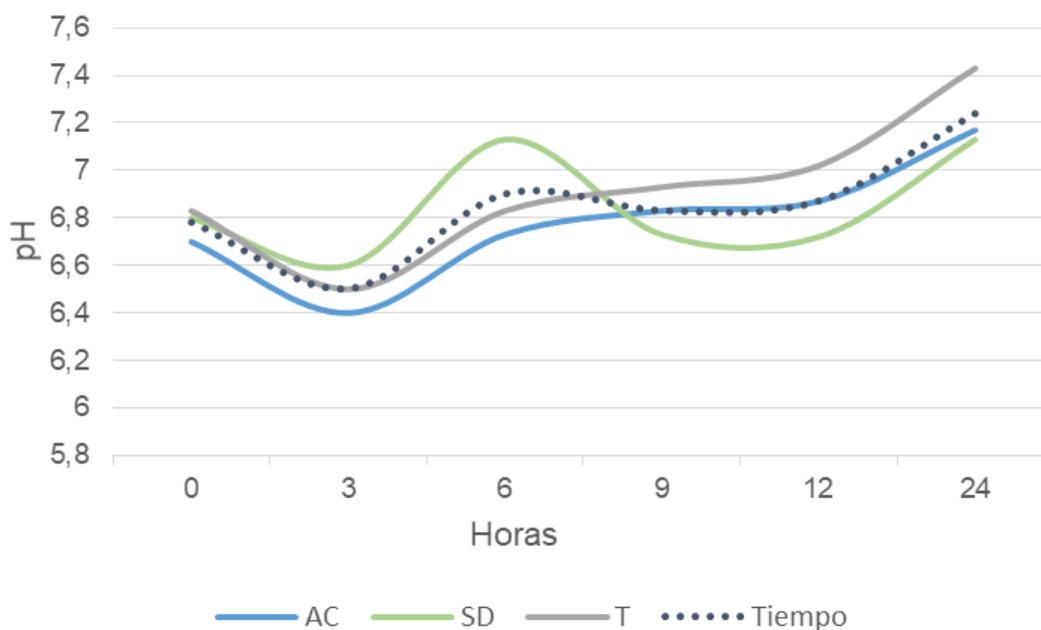
4.4. AMBIENTE RUMINAL

4.4.1 pH Ruminal

El pH ruminal de los tres tratamientos fue evaluado durante el periodo de muestreo para poder analizar la evolución de este durante las 24 horas de estudio (figura 2).

Figura 2

Evolución del pH ruminal según tratamiento y tiempo



Nota. AC: Tratamiento autoconsumo, SD: Tratamiento suplementación diaria, T: Tratamiento testigo, Tiempo: promedio de los tres tratamientos del pH en las diferentes horas.

En la figura 2 se muestra la evolución promedio del pH en el tiempo (24 h) de los tres tratamientos y la evolución del pH individual de cada tratamiento en el tiempo (tratamiento x hora). El análisis estadístico no presentó diferencias significativas en los valores medios de pH entre los tratamientos ($P=0,7378$) y tampoco en los valores de pH sobre la interacción tratamiento por tiempo ($P=0,9927$). Igualmente, en la figura 2 se puede apreciar una diferencia en la tendencia de los valores de pH entre la suplementación diaria, la del testigo y el autoconsumo.

La no significancia entre los valores de pH para los tratamientos puede atribuirse a la generación de un medio ambiente ruminal con una mayor capacidad buffer de los verdeos invernales, en este caso del raigrás, esto coincide con los resultados de French et al. (2001) en estudios sobre pasturas otoñales. Francois et al. (2003), en estudios sobre suplementaciones al 1% del PV con maíz entero en animales pastoreando raigrás, no encontraron diferencias significativas en el pH ruminal diario. Además los altos valores de FDN del GACC estarían contribuyendo a su vez a mantener estables los valores de pH sin depresiones significativas entre tratamientos.

Tabla 15*Valores promedios de pH para los tres tratamientos por 24 horas*

	Horas						P-Valor
	0	3	6	9	12	24	h
pH	6,78 ab	6,50 b	6,90 ab	6,83 ab	6,87 ab	7,24 a	0,07
Promedio							

Nota. a, b: medias seguidas por la misma letra en la fila no difieren $P > 0,05$ (Tukey) h: efecto hora

En la tabla 15 se puede observar que el efecto tiempo solo tuvo diferencias significativas en la hora 3 en comparación a la 24, además de que presenta una respuesta de tendencia ($P = 0,07$). Esto sigue un comportamiento normal del rumen, Beever et al. (2000) explica el patrón diario de pH como un balance entre la producción de AGV por parte de los microorganismos y la posterior absorción de AGV por parte de la pared ruminal. A medida que se acerca la noche y durante esta, los valores de pH tienden a subir por una menor producción de AGV (menor consumo) en relación a la absorción de estos, y por una secreción mayor de saliva mientras el animal rumia y descansa. Al inicio del día el animal retoma las actividades de pastoreo por lo que el pH disminuye a pesar de que las tasas de salivación son mayores.

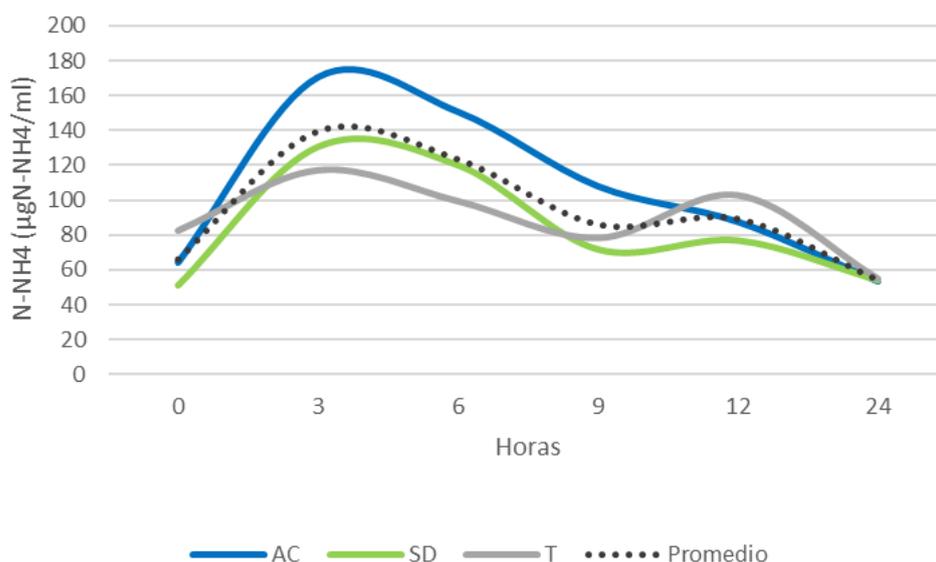
Según García et al. (2016) la ingestión de alimento suele producirse en torno a los valores máximos de pH (o momentos posteriores), mientras que los valores mínimos de pH son indicativos del momento en el que se produce la máxima actividad fermentativa en el rumen.

4.4.2 Concentración de amonio en rumen

Al igual que el pH, se evaluó la concentración de amonio en los tres tratamientos en las primeras 24 horas del periodo de muestreo, la misma se observa en la siguiente figura 3.

Figura 3

Evolución del amonio según tratamiento y tiempo



Nota. AC: Tratamiento autoconsumo, SD: Tratamiento suplementación diaria, T: Tratamiento testigo, Promedio: promedio del valor de amonio de los tres tratamientos en las diferentes horas.

En la figura 3 se muestran los resultados de la evolución promedio del amonio en el tiempo (24 h) de los tres tratamientos y la evolución individual de cada tratamiento en el tiempo (tratamiento x hora). En cuanto al análisis estadístico, los resultados demostraron que no hubo diferencias significativas en los valores medios de amonio entre los tratamientos ($P=0.7378$) y en los valores de la interacción tratamiento por tiempo existieron diferencias solo para las 3 y 24 ($P=0.9927$), ver Anexo A. Igualmente, al igual que la tendencia que se ve en la evolución del pH, se puede apreciar una diferencia en la tendencia de los valores de amonio entre la suplementación diaria, la del testigo y el autoconsumo.

Al analizar la evolución de los parámetros ruminales, se puede ver una relación entre el comportamiento del amonio y el pH. Esto ocurre al igual que en el trabajo de Michelini et al. (2009) los cuales encontraron que cuando se registraron los valores mínimos de pH, las concentraciones de N-NH₃ ruminal fueron máximas. Esto se ve en la evolución a las 3 horas de evaluación, donde se da el pico de N-NH₄ y los valores mínimos de pH.

A su vez, en la tabla 16, se ve la interacción entre ambos parámetros ruminales, esto se refleja en los análisis estadísticos, ya que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ni en la interacción tratamiento por hora, solamente en el efecto hora.

Tabla 16

Valores promedios de pH ruminal y concentración de N-NH₃ en el líquido ruminal, por tratamientos

Variables	Tratamientos			EE	P-Valor		
	AC	SD	T		t	h	t×h
pH	6.7842	6.8535	6.9261	0.1254	ns	0,07	ns
N-NH ₄ (µgN- NH ₄ /ml)	105.46	84.0192	89.1429	9.3993	ns	0.0010	ns

Nota. AC: Autoconsumo, SD: Suministro diario, T: Testigo, EE: Error estándar, t: efecto tratamiento, h: efecto hora, txh: efecto interacción tratamiento por hora. ns: no significativo ($P > 0.10$).

Al igual que en la evolución del pH, la ausencia de diferencias significativas para cada tratamiento, se puede asociar a la composición de la dieta, en la cual el aporte de los verdes de invierno, permiten generar una capacidad buffer que mantiene estable la producción de amonio. Una dieta con suplementación energética como este caso con GACC, aumenta la concentración de N-NH₃ (Mould et al., 1983). Sin embargo, como se vio en los resultados de consumo, no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Por lo tanto, para los parámetros ruminales por tratamiento no se ven

afectados significativamente. Esto demuestra que los resultados obtenidos no cumplen con la hipótesis planteada ya que no aumenta la concentración de N-NH₄ en las dietas con suplementación.

4.4.3 Degradabilidad *in situ* de la materia seca:

Los efectos de tratamiento y alimento dentro de tratamiento A(T) afectaron significativamente los parámetros describiendo de degradación *in situ* de la MS (a, b, a+b), no registrándose efecto sobre la tasa de degradación kd ($P > 0.05$). Animal o periodo no tuvieron efecto en ningún caso ($P > 0.05$). A continuación, se presenta en las tablas 17, 18 y 19, la cinética de degradación de los diferentes alimentos para los tres tratamientos por separado: forraje en Testigo; forraje, GACC y maíz, en SD y AC.

Tratamiento testigo:

Tabla 17

Cinética de la degradación de la MS del forraje para el tratamiento testigo

Alimento	Forraje	Error estándar
a	55,21	1,18
b	37,32	1,80
a+b	92,54	1,92
kd	7,5	3,43

Nota. a: fracción soluble en agua, b: fracción potencialmente degradable, a+b: suma de las fracciones a y b, kd: tasa de degradabilidad (expresado en %/hora).

Tratamiento de suplementación diaria:**Tabla 18***Cinética de degradación de MS de maíz, GACC y forraje para el tratamiento SD*

Alimento				
	Forraje	GACC	Maíz	Error estándar
a	56,98 a	7,13 b	7,24 b	1,18
b	32,24 c	69,57 b	85,57 a	1,80
a+b	89,22 a	76,70 b	92,81 a	1,92
kd	10,99 a	15,91 a	9,58 a	3,43

Nota. a, b: medias seguidas por la misma letra en la fila no difieren $P > 0,05$ (Tukey), a: fracción soluble en agua, b: fracción potencialmente degradable, a+b: suma de las fracciones a y b, kd: tasa de degradabilidad (expresado en %/hora).

Tratamiento de autoconsumo:**Tabla 19***Cinética de degradación de MS de maíz, GACC y forraje para el tratamiento AC*

Alimento				
	Forraje	GACC	Maíz	Error estándar
a	55,69 a	4,94 b	6,20 b	1,18
b	38,79 c	75,76 b	85,87 a	1,89
a+b	94,48 a	80,69 b	92,07 a	1,92
kd	13,08 a	9,81 a	7,34 a	3,43

Nota. a, b: medias seguidas por la misma letra en la fila no difieren $P > 0,05$ (Tukey), a: fracción soluble en agua, b: fracción potencialmente degradable, a+b: suma de las fracciones a y b, kd: tasa de degradabilidad (expresado en %/hora).

Como se puede ver en las tablas, tanto en el tratamiento de AC como en la SD, existieron diferencias significativas para la fracción rápidamente degradable entre el

forraje y los granos. En ambos tratamientos, el forraje obtuvo una fracción “a” significativamente superior a la del GACC y maíz que no difirieron entre sí. Esta respuesta coincide con lo reportado por Van Vuuren et al. (1993b); Reis y Combs, (2000) y French et al. (2001), estos autores revelaron valores elevados para la fracción “a” en otoño, del orden de 33,9%, 47,9% y 48%, respectivamente. Por su composición química, el raigrás presenta un alto valor de fracción rápidamente degradable en el tratamiento testigo, pero su velocidad de degradación es más lenta, esto puede deberse a la estructura fibrosa de la pastura que limita su descomposición rápida.

La MS potencialmente degradable del forraje se vio influenciada por la suplementación, tanto en el tratamiento de autoconsumo como en el de suplementación diaria. La fracción “b” presentó diferencias significativas entre los tres tipos de alimento, en los dos tratamientos suplementados. El valor más alto fue registrado para el maíz, seguido del GACC, mientras que el forraje obtuvo el valor más bajo en ambos tratamientos. El GACC se posicionó con los valores más bajos de “b” y “a+b” respecto al maíz. El GACC presenta un alto porcentaje de FDN (26,4%) comparado con otros granos, como se ve en los resultados de *Rice, paddy* (2017-2024), lo que provoca que la dieta tenga una mayor fracción lentamente degradable en el rumen.

Para la kd no se registraron diferencias significativas ($p=0.54$) entre los alimentos para ninguno de los tratamientos. Esto demuestra que no se registró un efecto negativo de la suplementación sobre la tasa de degradación de la MS de la dieta. La degradabilidad efectiva para los alimentos sería dependiente de los valores de las fracciones “a”, “b” y “a+b” y no de la kd. La similitud entre la kd del alimento base (forraje) y el suplemento (GACC), favorece la sincronización entre las fuentes de suministro de energía (suplemento) y proteína (forraje) para los microorganismos ruminales (Francois et al., 2003).

Reis y Combs, (2000), quien experimentó con vacas lecheras sobre pasturas mezcla de gramíneas y leguminosas y suplementando al 1% del PV no encontró diferencias en la kd del forraje para los animales suplementados y los no suplementados. Los valores que este autor reporta son similares a los que se encontraron en este experimento (10,3%/h). Por otro lado, French et al. (2001) trabajando con dos concentrados energéticos (almidón vs fibra de alta degradabilidad) sobre un alimento base

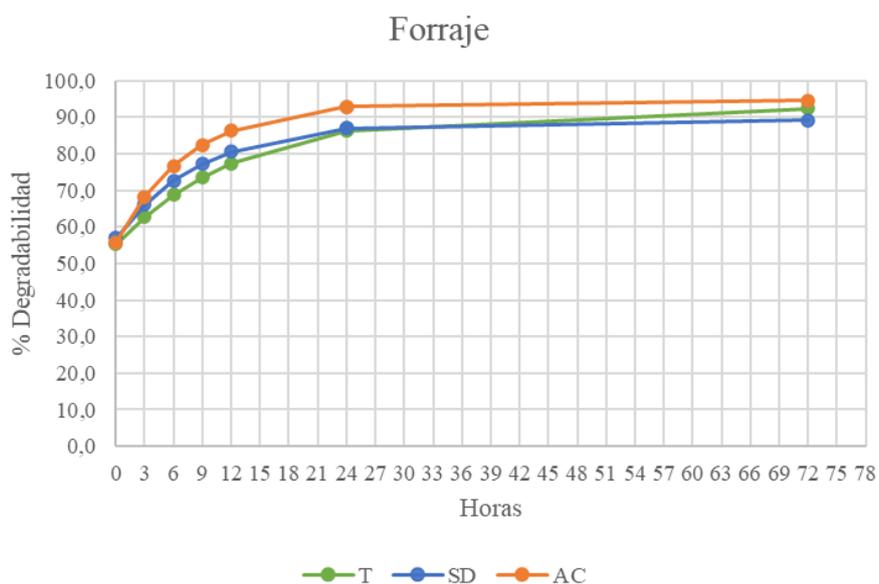
de gramíneas otoñales, no encontró diferencias en el efecto del tipo de suplemento sobre la kd del forraje.

Por otro lado, Van Vuuren et al. (1993a) resalta la importancia de similares kd entre el suplemento y el forraje para lograr una óptima sincronización y surgirían los granos de cereales, en este caso el GACC, como una opción para lograr simultaneidad entre las kd.

En las figuras 4, 5 y 6 se presentan las curvas de cinética de degradabilidad de la MS de los diferentes alimentos evaluados, estas fueron construidas a partir de los parámetros estimados por el modelo de Ørskov y Mc Donald (1979).

Figura 4

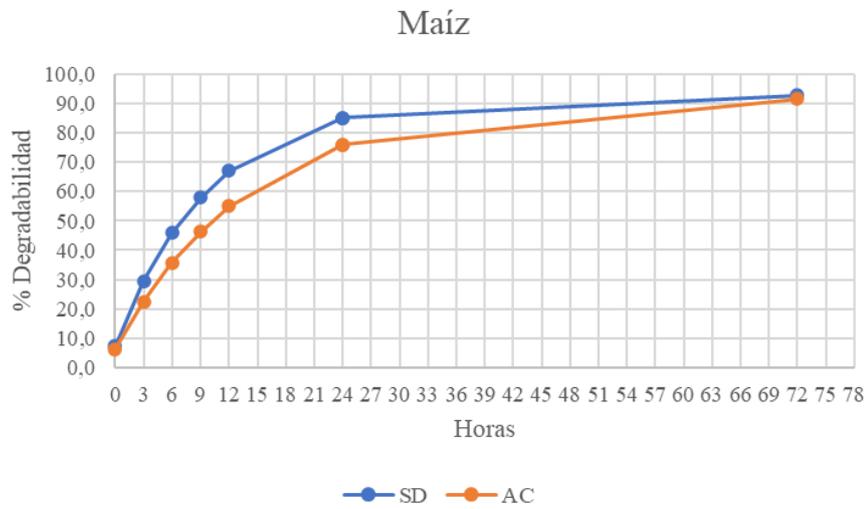
Curva de cinética de degradabilidad para forraje durante las horas en los tres tratamientos



Nota. T: Testigo, SD: Suplementación diaria, AC: Autoconsumo.

Figura 5

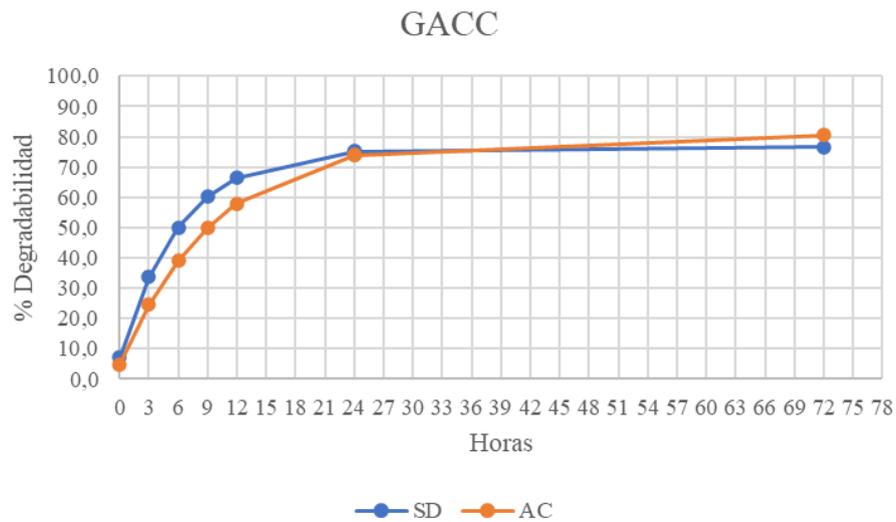
Curva de cinética de degradabilidad para GACC durante las horas en los tratamientos



Nota. SD: Suplementación diaria, AC: Autoconsumo.

Figura 6

Curva de cinética de degradabilidad para maíz durante las horas en los tratamientos



Nota. SD: Suplementación diaria, AC: Autoconsumo.

Según se puede observar en las gráficas de cinética de la degradación para los diferentes alimentos, en el caso de los granos de arroz y el maíz, el tratamiento de suplementación diaria presentó una tendencia de mayor degradabilidad a una misma hora. Esta situación se explica porque los granos tienen una degradación más rápida, por su alto contenido de almidón. Por lo tanto, en el tratamiento de suplementación diaria, los animales al recibir una cantidad específica de GACC se favorece la eficiencia de fermentación y degradación del almidón de los granos a nivel ruminal (Van Soest, 1982).

Por otro lado, para el caso del forraje, el tratamiento con el que se obtiene la tendencia de mayor degradabilidad a una misma hora es el de autoconsumo. Este comportamiento se explicaría porque los animales bajo el tratamiento de autoconsumo presentan un efecto sinérgico entre el almidón del grano de arroz y la fibra del forraje. El contenido de fibra estructural del raigrás promovería una fermentación más eficiente del almidón de los granos al evitar caídas bruscas en el pH ruminal, lo que permite que este tratamiento presente una mayor degradación (Owens et al., 1986).

A efectos de la discusión podría reportarse la degradabilidad efectiva dada una determinada tasa de pasaje, siendo esta 0,05. En la siguiente tabla 20, se muestran los resultados de la degradabilidad efectiva del forraje, GACC y maíz según los tres tratamientos.

Tabla 20

Degradabilidad efectiva de la MS (%) de los alimentos según los tres tratamientos

Alimento	Tratamiento		
	AC	SD	T
Forraje	83,72	79,14	77,59
GACC	55,45	60,14	NC
Maíz	56,29	64,29	NC

Nota. AC: Autoconsumo, SD: Suplementación Diaria, T: Testigo, NC: No Corresponde.

Valor de $k_p=0,05$

A modo de análisis, la degradabilidad efectiva de los alimentos frente a los tres tratamientos coincide con las gráficas de cinética de degradación. El tratamiento de autoconsumo permite mayor eficiencia en la degradación del forraje, mientras que los granos (GACC y maíz) presentan mayor degradabilidad efectiva bajo el tratamiento de suplementación diaria.

Sin embargo, como se mencionó, para realizar estos cálculos, se utilizó un valor de tasa de pasaje (kp) constante de 0,05. Esto permite realizar comparaciones y ver las diferencias de las propiedades intrínsecas de degradación de los alimentos, pero no refleja efectivamente como son las condiciones reales del rumen.

4.5 DIGESTIBILIDAD:

Para los tres tratamientos se evaluó la digestibilidad de la materia orgánica y de la materia seca en base a las dietas. Los resultados de dichas digestibilidades se observan en la tabla 21.

Tabla 21

Digestibilidad de la MO y MS para cada tratamiento expresada en porcentaje

Variables	Tratamientos			Error estándar	Efecto (P-Valor)
	AC	SD	T		
DMO	68,33%	68,33%	61,33%	0,3756	ns
DMS	64,67%	60,30%	58,67%	0,04247	ns

Nota. No significativo (n/s) ns= P>0,05. DMO: Digestibilidad materia orgánica, DMS: Digestibilidad materia seca, AC: Autoconsumo, SD: Suministro diario, T: Testigo, TxV: efecto interacción tratamiento por variable

No se encontraron diferencias significativas para la DMO y DMS para ningún tratamiento ni para los períodos de evaluación de cada tratamiento. Este comportamiento se corresponde con los resultados obtenidos de consumo.

La falta de diferencias significativas en el consumo entre los tratamientos puede explicarse con los resultados obtenidos por Mertens (1987) quien afirma que el potencial del llenado del rumen, en un momento dado (estático) depende de la capacidad ruminal del animal y la capacidad del alimento para ocupar espacio: “efecto llenado de alimento”. El potencial de llenado en un período de tiempo (dinámico) implica que a los elementos anteriores se agrega la velocidad de desaparición o vaciado. Entonces menor es el tiempo de permanencia de la ingesta en el retículo rumen y, por tanto, mayor velocidad de la reposición de la digesta. La desaparición del alimento desde el retículo rumen ha sido descrita por dos procesos principales: digestión y pasaje (Mertens & Ely, 1982). En este caso las digestibilidades de ambas dietas fueron similares justificando el comportamiento de su consumo.

4.6 DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados obtenidos en este estudio no ratifican la hipótesis inicial, la cual proponía que la suplementación con grano de arroz con cáscara (GACC) en novillos pastoreando raigrás (*Lolium multiflorum* cv. Jack) disminuiría el pH ruminal. Tampoco se evidenció un efecto de sustitución significativo en el tratamiento de autoconsumo, ni diferencias significativas en el consumo total de materia seca (MS) de forraje respecto a los tratamientos testigo y suplementación diaria.

El pH ruminal no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual concuerda con estudios previos sobre suplementación energética en pastoreo de raigrás (Francois et al., 2003). Esto sugiere que la capacidad buffer del raigrás mantuvo el pH ruminal relativamente estable, independientemente de la suplementación. Este efecto amortiguador del raigrás ya ha sido observado en otros trabajos (French et al., 2001), lo cual podría haber contribuido a limitar las fluctuaciones del pH a lo largo del día. De manera similar, las concentraciones de amoníaco en el rumen tampoco difirieron significativamente entre los tratamientos. La relación inversa observada entre los mínimos de pH y los máximos de amoníaco a lo largo del ciclo diario es consistente con los estudios de Michelini et al. (2009), aunque los valores globales de amoníaco permanecieron dentro de rangos fisiológicos considerados normales. Esto sugiere que el raigrás ofreció un entorno suficientemente estable como para evitar fluctuaciones extremas en los parámetros ruminales. También el tipo de suplemento administrado en

este caso contenía altos niveles de FDN lo que también contribuyó a mantener estables los valores de pH ruminal.

Aunque no se pudieron realizar las mediciones de AGV, estimamos en base a los antecedentes presentados (Dijkstra et al., 2012; Reddy et al., 2021) que al existir una correlación negativa entre el pH y la producción total de AGV y positiva entre AGV y NH₃-N, durante el presente ensayo probablemente las producciones de AGV a nivel ruminal no habrían diferido estadísticamente entre los animales con y sin suplementar. Esto debido principalmente a que no ocurrieron disminuciones en el pH ni aumentos en los valores de amoníaco en los animales suplementados con GACC que justificara diferencias en el AGV producido a nivel ruminal entre los tratamientos.

No se observaron diferencias significativas en el consumo de MS ni en la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y materia seca (DMS) entre los tratamientos. Esto puede estar relacionado con la homogeneidad en la digestibilidad de las dietas ofrecidas. A su vez, al tratarse de un forraje de alta calidad la depresión en la digestión de la fibra por causa de la suplementación con GACC fue menor (Galyean & Goetsch, 1993). El análisis de Mertens (1987) sobre el efecto de llenado ruminal respalda estos resultados, sugiriendo que las dietas con características digestivas similares tienden a generar patrones de consumo comparables. De hecho, las tasas de degradación ruminal (kd) de la MS tampoco mostraron variaciones significativas, reforzando esta interpretación. Aunque sí se notó una tendencia hacia una mayor degradabilidad en los tratamientos con autoconsumo, posiblemente debido a una mayor sincronización entre la fibra del forraje y los carbohidratos del suplemento. Además la velocidad de degradación de la MO podría ser mayor en los forrajes frescos como el raigrás que en los granos de cereales, por lo que la alteración del ambiente ruminal sería más evidente con consumos de forrajes de baja calidad.

En cuanto a la cinética de degradación de los alimentos, los resultados mostraron que los tratamientos de autoconsumo y suplementación diaria no afectaron significativamente la tasa de degradación de la MS. Sin embargo, se observó una tendencia hacia una mayor degradación en los granos de arroz y maíz bajo el tratamiento de suplementación diaria. El raigrás, por su parte, mostró una mayor degradabilidad en el tratamiento de autoconsumo, lo que podría estar asociado a la sinergia entre el almidón de los granos y la fibra estructural del forraje (Owens et al., 1986).

El comportamiento ingestivo no mostró diferencias significativas en las actividades de pastoreo, rumia o descanso entre los tratamientos. La falta de diferencias puede estar relacionada con la restricción en el acceso al agua, que pudo haber afectado el comportamiento ingestivo. A pesar de la suplementación con GACC, los animales mantuvieron una actividad de pastoreo similar, lo que concuerda con estudios previos (Carrau et al., 2023) que indican que la suplementación no siempre altera significativamente el comportamiento. El no haber detectado patrones de acceso al comedero diferentes entre el tratamiento autoconsumo y la suplementación diaria, o diferencias en comportamiento en pastoreo entre los tres tratamientos, explicaría la aparente mejor degradabilidad efectiva del forraje en el tratamiento de autoconsumo con respecto al testigo y al diario.

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que la suplementación invernal con GACC en novillos pastoreando raigrás no produjo los efectos esperados en términos de reducción de la variabilidad del pH ruminal ni aumento en las concentraciones de amoníaco. Asimismo, no se identificaron diferencias significativas en el consumo de materia seca (MS) ni en la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y de la MS entre los distintos tratamientos evaluados.

La capacidad buffer del raigrás parece haber jugado un rol clave en mantener la estabilidad del pH y las concentraciones de amoníaco en el rumen, lo que limitó los efectos potenciales de la suplementación con GACC. A su vez, al haber suministrado un grano con cáscara, los altos valores de FDN en su composición química contribuyeron a mantener estables los valores de pH y no generar depresiones de este en el rumen. Además, la similitud en las digestibilidades de las dietas justificó la homogeneidad en el consumo entre los tratamientos, independientemente de si la suplementación fue diaria o a través de autoconsumo. También se cree que la no existencia de adición ni sustitución puede haber sido debido a que la asignación de forraje no era limitante como para que el suplemento generará efecto aditivo al dar suplemento, y la capacidad buffer del raigrás no permitió que se generarán efectos sustitutivos de la pastura.

En resumen, aunque la suplementación con GACC no logró los resultados esperados, los hallazgos contribuyen al conocimiento sobre las dinámicas ruminales en condiciones de pastoreo con raigrás. Estos resultados subrayan la importancia de considerar las características del forraje disponible (capacidad buffer del raigrás) y su efecto en los parámetros ruminales al momento de diseñar estrategias de suplementación que mejoren la eficiencia de los sistemas. Además del potencial del GACC como un suplemento energético con menores riesgos de acidosis para el ganado, gracias a sus elevados contenidos de FDN. Futuros estudios podrían explorar otros tipos de suplementación o condiciones experimentales para optimizar la producción ruminal y el desempeño animal en sistemas pastoriles.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y. (2015). *Conjunto de sugerencias para enfrentar mejor la actual situación de alimentación en rodeo lechero*. INIA.
- Ahunchaín, M., Cibils, R., Restaino, E., Risso, D. F., & Zarza, A. (1997). Verdeos de invierno: Variedades doble propósito II: Actualización de información tecnológica en producción animal. En E. Restaino & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería intensiva* (pp. 67-75). INIA
- Argenta, F. M. (2015). *Grãos inteiros de milho, aveia branca ou arroz com casca na terminação de bovinos confinados desempenho e comportamento ingestivo* [Disertación doctoral, Universidade Federal de Santa Maria]. Manancial.
<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/4361>
- Asociación Cultivadores de Arroz. (2022). *Precios del arroz*.
<https://www.aca.com.uy/precios-del-arroz/caton>
- Beever, D. E., Offer, N., & Gill, M. (2000). The feeding value of grass and grass product. En A. Hopkins (Ed.), *Grass: Its production and utilization* (pp. 140-195). Blackwell Science.
- Beever, D. E., & Siddons, R. C. (1986). Digestion and metabolism in the grazing ruminant. En L. P. Miligan, W. L., Grovum, A., Dobson (Eds.), *Control of digestion and metabolism in ruminants* (pp. 479-497). Prentice Hall.
- Berretta, E. J. (1996). *Campo natural: Valor nutritivo y manejo*. INIA.
- Berriel, F., Coronel, L., & Cumbay, M. (2024). *Utilización de Raigrás (Lolium multiflorum cv. Jack) en la alimentación de terneros: Efecto de la oferta de forraje sobre el crecimiento, comportamiento animal y utilización de la pastura* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Correcciones bibliográficas de trabajos finales de grado.
<http://tesis.fagro.edu.uy/index.php/tg/catalog/view/221/159/4712>

- Beuvink, J. M. W., & Spoelstra, S. F. (1992). Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms in vitro. *Applied Microbiology and Biotechnology*, (37), 505-509.
- Borrajo, C., Barbera, P., Berdersky, D., Pizzio, R., Ramírez, M., Maidana, C., Zapata, P., Ramírez, R., & Fernández, J. (2011). *Verdeos de invierno en Corrientes*. INTA. <https://fcvinta.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/10/inta-verdeos-de-invierno-corrientes-parte-111.pdf>
- Bryant, M. P. (1973). Nutritional requirements of the predominant rumen cellulolytic bacteria. *Federation Proceeding*, 32(7), 1809-1813.
- 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(6), 511-520. https://www.researchgate.net/publication/41705538_Rumen_pH_NH_3-N_concentration_and_forage_degradation_kinetics_of_cows_grazing_temperate_pastures_and_supplemented_with_different_sources_of_grain
- Cámara Mercantil de Productos del País. (2014). *Cereales y oleaginosas* [Conjunto de datos]. <https://camaramercantil.com.uy/wp-content/uploads/2023/01/WEB-CEREALES-2014.xls>
- Cámara Mercantil de Productos del País. (2015). *Cereales y oleaginosas* [Conjunto de datos]. <https://camaramercantil.com.uy/wp-content/uploads/2023/01/WEB-CEREALES-2015.xls>
- Cámara Mercantil de Productos del País. (2016). *Cereales y oleaginosas* [Conjunto de datos]. <https://camaramercantil.com.uy/wp-content/uploads/2023/01/WEB-CEREALES-2016.xls>
- Cámara Mercantil de Productos del País. (2017). *Cereales y oleaginosas* [Conjunto de datos]. <https://camaramercantil.com.uy/wp-content/uploads/2023/01/WEB-CEREALES-2017.xls>

- Cámara Mercantil de Productos del País. (2018). *Cereales y oleaginosas* [Conjunto de datos]. <https://camaramercantil.com.uy/wp-content/uploads/2023/01/WEB-CEREALES-2018.xls>
- Cámara Mercantil de Productos del País. (2019). *Cereales y oleaginosas* [Conjunto de datos]. <https://camaramercantil.com.uy/wp-content/uploads/2023/01/WEB-CEREALES-2019.xls>
- Cámara Mercantil de Productos del País. (2020). *Cereales y oleaginosas* [Conjunto de datos]. <https://camaramercantil.com.uy/wp-content/uploads/2023/01/WEB-CEREALES-2020.xlsx>
- Cámara Mercantil de Productos del País. (2021). *Cereales y oleaginosas* [Conjunto de datos]. <https://camaramercantil.com.uy/wp-content/uploads/2022/10/Cereales-y-Oleaginosas-2021-1.xlsx>
- Cámara Mercantil de Productos del País. (2022). *Cereales y oleaginosas* [Conjunto de datos]. <https://camaramercantil.com.uy/wp-content/uploads/2022/12/Web-Cereales-12.2022-1.xlsx>
- Carrau, J., Félix, E., & Pons, J. (2023). *Evaluación del grano de arroz con cáscara como suplemento para terneras Hereford pastoreando Raigrás Bill Max durante invierno en sustitución del grano de sorgo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/1767>
- Castro Hernández, H., Domínguez Vara, I. A., Morales Almaráz, E., & Huerta Bravo, M. (2017). Composición química, contenido mineral y digestibilidad in vitro de raigrás (*Lolium perenne*) según intervalo de corte y época de crecimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(2), 201-210. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4445>
- Caton, J. S., & Dhuyvetter, D. V. (1997). Influence of energy supplementation on grazing ruminants: Requirements and responses. *Journal of Animal Science*, 75(2), 533-542. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9051477/>
- Chaney, A. L., & Marbach, E. P. (1962). Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*, 8(2), 130-132.

- Church, D. C. (1979). *The ruminal animal: Digestive physiology and nutrition of ruminants* (3rd ed.). Waveland Press.
- Cozzolino, D. (2000). *Características de los suplementos utilizados en el Uruguay para su empleo en alimentación animal*. INIA.
- Crawford, R. J., Shriver, B. J., Varge, G. A., & Hoover, W. H. (1983). Buffer requirements for maintenance of pH during fermentation of individual feeds in continuous cultures. *Journal of Dairy Science*. 66(9), 1881-1890.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(83\)82026-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)82026-8)
- Decreto n.º 544/987: *Reglamentación para la comercialización del arroz cáscara*. (1987). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/544-1987>
- Dehority, A., & Scott, H. W. (1967). Extent of cellulose and hemicellulose digestion in various forages by pure cultures of rumen bacteria. *Journal of Dairy Science*, 50(7), 1136-1141.
- Dijkstra, J., Ellis, J. L., Kebreab, E., Strathe, A. B., López, S., France, J., & Bannink, A. (2012). Ruminant pH regulation and nutritional consequences of low pH. *Animal Feed Science Technology*, 172(1-2), 22-33.
- Dixon, R. M. (1986). Effects of dietary concentrates on rumen digestion of fibrous feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology*, 14(3-4), 193-202.
- Dixon, R. M., & Parra, R. (1984). Effects of alkali treatment of forage and concentrate supplementation on rumen digestion and fermentation. *Tropical Animal Production*, 9(1), 68-80.
- Dixon, R. M., & Stockdale, C. R. (1999). Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilization. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(5), 757-773
- Duarte, E. (2011). Uso del agua en establecimientos agropecuarios: Sistema de abrevadero. *Plan Agropecuario*, (139), 52-55.
https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R139/R_139_52.pdf

- Durán, A. (1985). *Suelos del Uruguay: Vol. 1. Origen, clasificación, manejo y conservación*. Hemisferio Sur.
- Elizalde, J. C., Merchen, N. R., & Faulkner, D. B. (1999). Effects of species and stages of maturity of fresh forages on in situ dry matter and crude protein degradation. *Journal of Dairy Science*, 82(9), 1978-1990.
- Elizalde, J. C., & Santini, F. J. (1992). *Factores nutricionales que limitan las ganancias de peso en bovinos durante el periodo otoño- invierno*. INTA
- Elizondo Lorenzo, L., Gil Minteguiaga, A., & Rubio Cattani, L. (2003). *Efecto de la suplementación energética con fuentes de diferente degradabilidad ruminal sobre el consumo y comportamiento ingestivo de novillos Hereford pastoreando en dos asignaciones de forraje sobre una mezcla de avena y raigrás en estado vegetativo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/25921>
- Félix Alfonso, E., Peñalva Reyes, S., & Ulery Abilleira, S. (2023). *Evaluación del grano de arroz con cáscara como ingrediente de raciones de recría para vacunos manejados en confinamiento* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/47061>
- Firkins, J. L. (1996). Maximizing microbial protein synthesis in the rumen. *The Journal of Nutrition*, 126(4), 1347S-1354S. https://doi.org/10.1093/jn/126.suppl_4.1347S
- Formoso, F. (2010). *Producción de forraje y calidad de verdeos de invierno y otras alternativas de producción otoño-invernales*. INIA. <https://www.inia.uy/produccion-de-forraje-y-calidad-de-verdeos-de-invierno-y-otras-alternativas-de-produccion-otono>
- Francois, R., Magri, G., & Montes, F. (2003). *Suplementación energética con fuentes de diferente degradabilidad ruminal en novillos Hereford alimentados en base a pasturas de alta calidad en el período otoño-invernal: Cinética de degradabilidad y parámetros ruminales* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/27508>

- French, P., Moloney, A. P., O'Kiely, P. O., & Caffrey, P. J. (2001). Growth and rumen digestion characteristics of steers grazing autumn grass supplemented with concentrated based on different carbohydrates sources. *Journal of Animal Science*, 72(1), 139-148.
- Galyean, M., & Goetsch, A. (1993). Utilization of forage by ruminants. En H. Jung, D. Buxton, R. Haltfield, & J. Ralph (Eds.), *Forage cell wall structure and digestibility* (pp. 34-72). Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America.
- García, A., & Klascheur, K., (2019). *Tamaño de partícula y fibra efectiva en la dieta de las vacas lecheras*. USDA. <https://dairy-cattle.extension.org/tamano-de-particula-y-fibra-efectiva-en-la-dieta-de-las-vacas-lecheras/>
- García, G., García, L., & López, M. (2008). *Efecto de la suplementación energética sobre la performance de novillos manejados sobre una mezcla de raigrás perenne bajo cuatro presiones de pastoreo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/32727>
- García, J., Posado, F., Zuñiga, J., Tabernero, M., & Bordas, R. (2016). Monitoring rumen environment in finishing Lidia Bulls. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 21(2), 5355-5365.
https://www.researchgate.net/publication/304636470_Monitoring_rumen_environment_in_finishing_Lidia_bulls
- García, S. C., Santini, F. J., & Elizalde, J. C. (2000). Sites of digestion and bacterial protein synthesis in dairy heifers fed fresh oats with or without corn or barley grain. *Journal of Dairy Science*, 83(4), 746-755.
- Gayo Ortiz, J. (2007). Los subproductos del arroz en la alimentación del ganado. *Revista del Plan agropecuario*, (123), 30-31.
https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R123/R123_30.pdf
- Gómez, G. (1978). *Utilización de las pulidoras (polvillo) de arroz en raciones de cerdos en crecimiento y acabado*. CIAT.

- Grigsby, K. N., Kerley, M. S., Paterson, J. A., & Weigel, J. C. (1993). Combinations of starch and digestible fiber in supplements for steers consuming a low-quality bromegrass hay diet. *Journal of Animal Science*, 71(4), 1057-1064.
<https://doi.org/10.2527/1993.7141057x>
- Haydock, K. P., & Shaw, N. H. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Agriculture and Animal Husbandry*, 15(76), 663-670.
- Heuzé, V., Tran, G., & Hassoun, P. (2015). *Rough rice (paddy rice)*. Feedipedia.
<https://www.feedipedia.org/node/226>
- Hoover, W. H., Kincaid, C. R., Varga, G. A., Thayne, W. V., & Junking, C. I. (1984). Effects of solids and liquid flows on fermentation in continuous cultures: IV. pH and dilution rate. *Journal of Animal Science*, 58(3), 692-699.
- Horn, G. W., & MacCollum, F. T. (1987). Energy supplementation of grazing ruminants. In M. B. Judkins, D. C. Clanton, M. K. Petersen, & J. D. Wallace (Eds.), *Proceedings of the 1st Grazing Livestock Nutrition Conference* (pp 125-130). American Society of Animal Science.
- Juliano, B. O. (1992). Structure, chemistry, and function of the rice grain and its fractions. *Cereal Foods World*, 37(10), 772-774.
- Kaufmann, W., & Saelzer, V. (1980). *Fisiología digestiva aplicada al ganado vacuno*. Acribia.
- Kennedy, D., & Bunting, L. (1992). Effects of starch on ruminal fermentation and detergent fibre digestion in lambs fed ber-mudagrass hay. *Animal Feed Science and Technology*, 36(1-2), 91-100.
- 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.

- Mertens, D. R. (1987). Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of Animal Science*, 64(5), 1548-1558.
<https://doi.org/10.2527/jas1987.6451548x>
- Mertens, D. R., & Ely, L. O. (1982). Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization: A dynamic model evaluation. *Journal of Animal Science*, 54(4) 895-905.
- Michellini, J. M., Pérez, L. F., & Soldini, G. (2009). *Producción de proteína microbiana y ambiente ruminal según el tiempo y forma de acceso al alimento y la adición o no de moduladores de la fermentación en ovinos alimentados con una pastura templada de buena calidad* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/19276>
- Mieres, J., Assandri, L., & Cúneo, M. (2004). Tablas de valor nutritivo de alimentos. En J. Mieres (Ed.), *Guía para la alimentación de rumiantes* (pp. 13-68). INIA.
- Moliterno, E. (1997). Principios y usos de un método de doble muestreo: Estimación visual de la disponibilidad de forraje en praderas. *Cangüé*, (9), 32-36.
- Montgomery, D. C. (2004). *Design and analysis of experiments* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Mould, F. L., Ørskov, E. R., & Mann, S. O. (1983). Associative effects of mixed feeds: I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis in vivo and dry matter digestion of various roughages. *Animal Feed Science and Technology*, 10(1), 15-30.
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy 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

- Nocek, J. E., & Russell, J. B. (1988). Protein and energy as an integrated system: Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *Journal of Dairy Science*, 71(8), 2070-2107.
- Opatpatanakit, A. Y., Kellawayj, A. R. C., Leanj, A. I. J., Annison, G., & Kirby, A. (1994). Microbial fermentation of cereal grains in vitro. *Australian Journal of Agricultural Research*, 45(6), 1247-1263
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science*, 92(2), 499-503.
- Owens, F. N., Zinn, R. A., & Kim, Y. K. (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*, 63(5), 1634-1648.
<https://doi.org/10.2527/jas1986.6351634x>
- Paredes, M., Becerra, V., Donoso, G., & Loaiza, K. (2021). Calidad del grano de arroz. En M. Paredes, V. Becerra, & G. Donoso (Eds.), *100 años del cultivo del arroz en Chile en un contexto internacional: 1920-2020* (Vol. 1, pp. 250-279). INIA.
- Paterson, J. A., Belyea, R. L., Bowman, J. P., Kerley, M. S., & Williams, J. E. (1994). The impact of forage quality and supplementation regimen on ruminant animal intake and performance. En G. C. Fahey Jr. (Ed.), *Forage quality, evaluation, and utilization* (pp. 59-114). ASA; CSSA; SSSA.
- Pereyra, H., & Leiras, M. A. (1991). Comportamiento bovino de alimentación, rumia y bebida. *Sitio Argentino de Producción Animal*. https://www.produccion-animal.com.ar/etologia_y_bienestar/etologia_bovinos/04-comportamiento_bovino_de_alimentacion_rumia_y_bebida.pdf
- Pigurina, G. (1997). Suplementación dentro de una estrategia de manejo en áreas de ganadería extensiva. En M. Carámbula, D. Vaz Martins, & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva* (pp. 195-200). INIA.

- Pigurina, G., & Methol, M. (2004). Tabla de contenido nutricional de pasturas y forrajes del Uruguay. En J. M. Mieres (Ed.), *Guía para la alimentación de rumiantes* (pp. 3-39). INIA.
- Pigurina, G., Quintans, G., Vas Martins, D., & Carriquiry, E. (1994). *Bovinos para carne: Avances en suplementación de la Recría e Invernada Intensiva*. INIA.
- Pordomingo, A. (2003). *Suplementación con granos a bovinos en pastoreo*. INTA.
- Qiao, F. Q., Wang, F., Ren, L. P., Zhou, Z. M., Meng, Q. X., & Bao, Y. H. (2015). Effect of steam-flaking on chemical compositions, starch gelatinization, in vitro fermentability, and energetic values of maize, wheat and rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(5), 949–955.
- Quintans, G. (2002). Manejo de la recría vacuna en sistemas ganaderos. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Seminario de actualización técnica sobre cría y recría ovina y vacuna* (pp. 47-56).
- Rearte, D. H., & Pieroni, G. A. (2001). *Supplementation of temperate pastures*. INTA.
- Rearte, D. H., & Santini, F. J. (1993). Rumen digestion of temperate pasture: Effects on milk yield and composition. En International Grassland Congress (Ed.), *Proceedings XVII International Grassland Congress* (pp. 562-563).
<https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=7823&context=igc>
- Reddy, V. S., Nagalakshmi, D., Venkateswarlu, M., & Rathod, S. (2021). Rumen degradability and in vitro fermentation characteristics of various cereal grains. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 38(4), 392-399.
<https://doi.org/10.5958/2231-6744.2021.00056.6>
- Reis, R. B., & Combs, D. K. (2000). Effects of increasing levels of grain dairy cows grazing grass-legume pasture. *Journal of Dairy Science*, 83(12), 2888-2898.
- Relling, A. E., & Mattioli, G. A. (2003). *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes*. EDULP.
- Rice, paddy*. (2017-2024). INRAE; CIRAD; AFZ.
<https://www.feedtables.com/content/rice-paddy>

- Rooney, L. W., & Pflugfelder, R. L. (1986). Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science*, 63(5), 1607-1623.
- Rovira, P., & Velazco, J. (2012). *Suplementación de bovinos en pastoreo: Autoconsumo*. INIA.
- Russell, J. B., & Hespell, R. B. (1981). Microbial rumen fermentation. *Journal of Dairy Science*, 64(6), 1153-1169.
- Russell, J. B., & Wilson, D. B. (1996). Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *Journal of Dairy Science*, 79(8), 1503-1509.
- Sanson, D. W., Clanton, D. C., & Rush, I. G. (1990). Intake and digestion of low-quality meadow hay by steers and performance of cows on native range when fed protein supplements containing various levels of corn. *Journal of Animal Science*, 68(3), 595-603.
- Simeone, A. (2004). *Improving growth rates of beef cattle grazing lush autumn pastures* [Trabajo final de grado]. University of New England.
- Sinclair, K. D., Sinclair, L. A., & Robinson, J. J. (2000). Nitrogen metabolism and fertility in cattle: I. Adaptative changes in intake and metabolism to diets differing in their rate of energy and nitrogen release in the rumen. *Journal of Animal Science*, 78(10), 2659-2669.
- Snell, M. G. (1945). *Fattening steers on corn, rice products, and rice straw*. Louisiana State University.
- Stritzler, N. P. (s.f.). Suplementación de rodeos de cría e invernada en pastoreo en la región del caldenal. *Sitio Argentino de Producción Animal*.
https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/21-suplementacion_region_caldenal.pdf

- Strobel, H. J., & Russell, J. B. (1986). Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate limited cultures of mixed rumen bacteria. *Journal of Dairy Science*, 69(11), 2941-2947.
- Urban Alandete, L. (2018). *Lipid degradation during grain storage: Markers, mechanisms and shelf-life extension treatments* [Disertación doctoral, University of Queensland]. Core.
<https://core.ac.uk/download/pdf/195887741.pdf>
- Van der Linden, Y., Van Gylswyk, N. O., & Schwartz, H. M. (1984). Influence of supplementation of corn stover with corn grain on the fibrolytic bacteria in the rumen of sheep and their relation to the intake and digestion fiber. *Journal of Animal Science*, 59(3), 772-783.
- 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.
- Van Soest, P. J. (1982). *Ecología nutricional de los rumiantes*. Cornell University Press.
- Van Vuuren, A. M., Van Der Koelen, C. J., Valk, H., & De Visser, H. (1993a). Effects of partial replacement of ryegrass by low protein feeds on rumen fermentation and nitrogen loss by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 76(10), 2982-2993.
- Van Vuuren, A. M., Van Der Koelen, C. J., & Vroonede Bruin, J. (1993b). Ryegrass versus corn starch or beet pulp fiber diet effects on digestion and intestinal amino acids in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 76(9), 2692-2700.
- Vernet, E. (2003). *Manual de consulta agropecuaria*. Gráfica Guadalupe.
- Weaver, L. A., & Moffett, H. G. (1937). *Rough rice for fattening cattle, sheep, and hogs*. University of Missouri.

- Yang, S., Jung, E. S., Kim, H. B., Shin, T. S., Cho, B. W., Cho, S. K., Kim, B. W., & Seo J. K. (2018). Nutritional evaluation of rice with different processing treatments on in vitro rumen fermentation characteristics and in situ degradation. *Korean Journal of Agricultural Science*, 45(4), 741-748.
<https://doi.org/10.7744/kjoas.20180082>
- Yang, S., Kim, B., Kim, H., Moon, J., Yoo, D., Baek, Y. C., Lee, S., & Seo, J. (2020). Replacement of corn with rice grains did not alter growth performance and rumen fermentation in growing Hanwoo steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(2), 230–235.
<https://doi.org/10.5713/ajas.19.0691>
- Yoo, D., Hamid, M. M. A., Kim, H., Moon, J., Song, J., Lee, S., & Seo, J. (2020). Substitution effects of rice for corn grain in total mixed ration on rumen fermentation characteristics and microbial community in vitro. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(5), 638-647.
<https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.5.638>
- Zanoniani, R. A., Ducamp, F., & Bruni, M. A. (2003). *Utilización de verdes de invierno en sistemas de producción animal*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/66-verdeos.pdf

7. ANEXOS

Anexo A

Valores promedios de NH₄ para los tres tratamientos por 24 horas

	Horas					
	0	3	6	9	12	24
NH ₄ Promedio (µgN-NH ₄ /ml)	65,81 b	139,38 a	123,28 a	85,84 ab	88,1 ab	53,93 a

Nota. a, b: medias seguidas por la misma letra en la fila no difieren $P > 0,05$ (Tukey) h: efecto hora