

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**SUSTITUCIÓN PARCIAL DE MAÍZ POR ARROZ CON CÁSCARA (GACC)  
EN RACIONES DE ENGORDE DE VACUNOS: EFECTO DEL  
PROCESAMIENTO Y HUMEDAD EN CONSUMO, DIGESTIÓN Y  
COMPORTAMIENTO**

**Por**

**Francisco PARAVIS BONOMI**

**Ricardo Mathias PONCET MELO**

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

**PAYSANDÚ**

**URUGUAY**

**2025**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia  
"Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**".



**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

---

Ing. Agr. (PhD) Álvaro Simeone

---

Ing. Agr. (PhD) Virginia Beretta

Tribunal:

---

Ing. Agr. (PhD) Álvaro Simeone

---

Ing. Agr. (PhD) Stefanía Pancini

---

Dr. Vet. (PhD) Juan Franco

Fecha: 16/06/2025

Estudiantes:

---

Francisco Paravis Bonomi

---

Ricardo Mathias Poncet Melo

## AGRADECIMIENTOS

Al finalizar esta etapa como estudiantes, queremos brevemente agradecer a todas aquellas personas que fueron parte de este camino, todas ellas han sido fundamentales en este proceso de aprendizaje.

Para comenzar, queremos agradecer profundamente a nuestras familias por el apoyo incondicional durante todos estos años, y por brindarnos la posibilidad de formarnos académicamente como también inculcarnos buenos valores como personas.

También queremos agradecer especialmente a nuestros compañeros de tesis que fueron indispensables durante todo el experimento como también agradecer a todos los compañeros con lo cual compartimos toda la carrera y con los cuales cosechamos vivencias y momentos inolvidables.

A nuestros tutores, Álvaro Simeone, Virginia Beretta y todo el equipo docente de la UPIC por brindarnos la posibilidad de realizar nuestro trabajo final de grado en este rubro que nos apasiona.

A las funcionarias de la biblioteca de la EEMAC: Carol Guillemint y Patricia Choca, por su amabilidad, vocación de servicio y disposición, cada vez que lo necesitamos.

Queremos mencionar y agradecer a todos los docentes que nos acompañaron en nuestra etapa de formación, como también a todos los funcionarios de la Facultad de Agronomía, EEMAC y Universidad de la República (UdelaR). Gracias por brindarnos las instalaciones y los recursos disponibles.

Agradecer especialmente a los funcionarios Diego Mosqueira, Gustavo García y demás funcionarios del sector de ganadería, por estar siempre dispuestos a dar una mano, su apoyo hacia los estudiantes pasa desapercibido, pero realmente son pilares fundamentales en el trabajo de campo.

Gracias a todas las personas que compartieron este proceso tan importante en nuestras vidas como también gracias a Dios por acompañarnos durante el camino.

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS .....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS .....	7
RESUMEN.....	8
SUMMARY .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1 CONSUMO DE ALIMENTO .....	12
2.2. GRANOS DE CEREALES EN DIETAS DE ENGORDE.....	13
2.3 EFECTO TIPO DE GRANO .....	14
2.3.1. Grano de maíz .....	14
2.3.2. Grano de arroz con cáscara .....	16
2.4. CARACTERÍSTICAS DE MAÍZ Y GACC COMO FUENTES DE ENERGÍA.....	23
2.4.1. Tipos de endosperma .....	23
2.5. PROCESAMIENTO DEL GRANO.....	25
2.5.1 Métodos y grado de procesamiento .....	26
2.5.2. Efecto de procesamiento y sitios de digestión.....	28
2.5.3. Cómo afecta el procesamiento el valor energético de los granos .....	32
2.6. EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DEL GRANO HÚMEDO .....	33
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1. UBICACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL.....	35
3.2. CLIMA .....	35
3.3. INFRAESTRUCTURA .....	36
3.4. ALIMENTOS .....	37
3.5. ANIMALES Y TRATAMIENTOS .....	39
3.6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	39
3.7. MANEJO SANITARIO.....	40
3.8. REGISTROS, MEDICIONES Y MUESTREOS.....	40
3.9 ANÁLISIS QUÍMICO .....	42
3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	42
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
4.1 COMPORTAMIENTO. ....	50
4.2 PATRÓN DE CONSUMO.....	52

5. DISCUSIÓN GENERAL .....	55
6. CONCLUSIONES .....	57
7. BIBLIOGRAFÍA .....	58
8. ANEXOS.....	64

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.	Pág.
<b>Tabla 1</b> Composición química del grano de arroz con cáscara y grano de maíz.....	18
<b>Tabla 2</b> Métodos y grado de procesamientos de los granos .....	26
<b>Tabla 3</b> Digestibilidad del almidón del grano de maíz, según tipo de procesamiento...	30
<b>Tabla 4</b> Medias mensuales de temperaturas cardinales y precipitaciones para los meses del período experimental.....	36
<b>Tabla 5</b> Composición (%) de las raciones experimentales expresado en base seca .....	38
<b>Tabla 6</b> Composición química de las dietas experimentales .....	38
<b>Tabla 7</b> Consumo promedio diario de materia seca expresado en kg y %PV (peso vivo) .....	45
<b>Tabla 8</b> Digestibilidad de materia seca (DMS), materia orgánica (DMO) y consumo de materia seca (CMS) promedio.....	48
<b>Tabla 9</b> Efecto de la inclusión de GACC sobre distintas variables comportamentales .	50
<b>Tabla 10</b> Probabilidad de encontrar al menos un animal realizando una de las 4 variables comportamentales analizadas .....	51
Figura No.	Pág.
<b>Figura 1</b> Morfología del grano de maíz .....	15
<b>Figura 2</b> Morfología del grano de arroz con cáscara .....	16
<b>Figura 3</b> Ubicación geográfica del experimento.....	35
<b>Figura 4</b> Esquema de distribución de tratamientos.....	36
<b>Figura 5</b> Tipos de granos y niveles de procesamientos.....	37
<b>Figura 6</b> Evolución del consumo expresado cómo % del PV a lo largo del experimento .....	46
<b>Figura 7</b> Probabilidad de encontrar al menos un animal realizando alguna de las actividades comportamentales .....	50
<b>Figura 8</b> Patrón horario de consumo según tipo de dieta evaluado en la semana 4 del experimento .....	53
<b>Figura 9</b> Patrón horario del consumo según tipo de dieta evaluado en la semana 8 del experimento .....	53
<b>Figura 10</b> Patrón de consumo expresado en Kg de materia seca.....	54

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la sustitución parcial del grano de maíz por grano de arroz con cáscara (GACC) en raciones de engorde de novillos con 20 % de fardo, el efecto del procesamiento del GACC (quebrado vs molido) y el nivel de humedad (seco vs húmedo) sobre el consumo, digestión y comportamiento animal. Tradicionalmente el grano de maíz es el principal ingrediente en dietas de engorde intensivo debido a su alto valor energético y digestibilidad. El GACC se planteó como una alternativa potencialmente viable, sobre todo ante situaciones de mercado adversas o situaciones climáticas desfavorables para la industria arrocera. El estudio se llevó a cabo en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) de la estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), en la ciudad de Paysandú, Uruguay, en condiciones de confinamiento a cielo abierto. Cuarenta y ocho novillos Hereford fueron asignados en un diseño de bloques al azar a una de las cuatro dietas experimentales, las mismas diferían en el tipo de grano (maíz o GACC), en el grado de procesamiento del GACC (quebrado vs molido) y el nivel de humedad del GACC (seco vs húmedo) ofrecidas de forma *ad libitum* durante 77 días. Los animales fueron faenados a fecha fija en el Frigorífico Casa Blanca en el departamento de Paysandú. Los resultados mostraron que, la inclusión del GACC molido en sustitución del grano de maíz molido no afectó el consumo de materia seca ( $P= 0,7051$ ), pero redujo la digestibilidad de la materia seca ( $P= 0,0001$ ) y consecuentemente el consumo diario de materia seca digestible ( $P= 0,0001$ ). La inclusión del GACC se plantea como una alternativa para reemplazar parcialmente el maíz en dietas de engorde de novillos a corral abriendo una nueva oportunidad para integrar la producción arrocera con la ganadería.

*Palabras clave:* engorde a corral, novillos Hereford, grano de arroz con cáscara, procesamiento y humedad del grano, digestibilidad

## SUMMARY

The present study aimed to evaluate the effect of partially replacing corn grain with paddy rice grain (PRRG) in steer fattening rations containing 20% bale, as well as the effect of PRRG processing (cracked vs. ground) and moisture content (dry vs. wet) on animal intake, digestion, and performance. Traditionally, corn grain is the main ingredient in intensive fattening diets due to its high energy value and digestibility. PRRG was proposed as a potentially viable alternative, especially in the face of adverse market conditions or unfavorable weather conditions for the rice industry. The study was conducted at the Intensive Meat Production Unit (UPIC) of the Mario A. Cassinoni Experimental Station (EEMAC) in the city of Paysandú, Uruguay, under open-air confinement conditions. Forty-eight Hereford steers were randomly assigned in a block design to one of four experimental diets, which differed in grain type (corn or SGA), degree of SGA processing (cracked vs. ground), and SGA moisture level (dry vs. wet), offered ad libitum for 77 days. The animals were slaughtered on a fixed date at the Casa Blanca Slaughterhouse in the department of Paysandú. The results showed that the inclusion of ground GAS as a substitute for ground corn did not affect dry matter intake ( $P = 0.7051$ ), but reduced dry matter digestibility ( $P = 0.0001$ ) and consequently the daily intake of digestible dry matter ( $P = 0.0001$ ). The inclusion of GAS is proposed as an alternative to partially replace corn in feedlot fattening diets for steers, opening a new opportunity to integrate rice production with livestock.

*Keywords:* feedlot fattening, Hereford steers, paddy rice grain, grain processing and moisture, digestibility

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia uruguaya, la ganadería ha sido la actividad dominante a nivel país. Desde hace ya algunos años esta actividad se ha visto desplazada a zonas marginales de menor productividad como consecuencia de la expansión agrícola y por la pérdida de competitividad por recursos naturales frente a este rubro; lo que implicó un nuevo desafío de producción para la ganadería nacional.

Si bien el rubro ganadero fue desplazado, las estadísticas demuestran que ha disminuido la edad a faena, ha aumentado el peso de la canal como también la producción de carne vacuna por hectárea y en contraposición; ha disminuido la superficie de pastoreo ganadera efectiva (SPG). Estos cambios en la producción ganadera pueden estar explicados por varios factores, pero la intensificación de la producción de carne acompañada por el uso de concentrados en forma importante parecería ser la explicación más adecuada para dicho cambio (Á. Simeone, comunicación personal, s.f.).

Los sistemas de engorde a corral, también llamado *feedlots*, son aquellos establecimientos que mantienen sus animales confinados en espacios reducidos, no teniendo acceso a pastoreo directo y voluntario, y utilizan una alimentación exclusivamente en base a productos formulados (balanceados, granos, núcleos minerales u otros productos), para su terminación con destino directo a faena (Decreto n° 178/010, 2010, Artículo 2).

Los corrales de engorde o *feedlots* en Uruguay se establecieron en la década de los 90', con el objetivo de liberar área para el rubro agrícola, incrementar la carga animal de los sistemas, obtener animales homogéneos a la faena, ingresar a nuevos mercados y lograr precios diferenciales por la carne producida. Para que esto ocurra, los animales deben ser alimentados con dietas altamente energéticas para lograr buenas ganancias diarias, así como también lograr buenas eficiencias de conversión; donde el tipo de grano suministrado juega un rol muy importante en la performance animal (A. Ferrés, comunicación personal, 30 de noviembre, 2023)

Si bien existe información en cantidad sobre el valor nutricional del arroz en la alimentación humana, no ocurre lo mismo con la nutrición en ganado de carne debido a que no es el principal destino de dicho grano. En situaciones particulares de mercado

resulta interesante conocer el valor nutricional en la alimentación animal para poder valorizar dicho grano.

La información sobre la utilización de grano de arroz con cáscara (GACC) también llamado *paddy*, es relativamente escasa si es comparada con subproductos de la industria arrocera, como puede ser el afrechillo de arroz, cáscara de arroz; o bien algunos otros granos de cereales como puede ser maíz, trigo, sorgo, entre otros.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la sustitución parcial del grano de maíz por grano de arroz con cáscara (GACC) en raciones de engorde de vacunos confinados a corral; cuantificando el efecto del tipo de grano (maíz vs GACC molidos), del nivel de procesamiento del GACC (molido vs quebrado) y de la humedad sobre el consumo de alimento, la digestibilidad de la dieta y el comportamiento animal en el corral.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONSUMO DE ALIMENTO

En vacunos en crecimiento, la producción animal en cuanto a ganancia media diaria será resultado del producto entre consumo de materia seca, su digestibilidad y la eficiencia de uso de los productos finales de la digestión

Según Pordomingo (2013), el consumo de alimento es el primer factor y el más directamente asociado al crecimiento y aumento de peso vivo. Es esperable obtener altos aumentos de peso cuando se dan consumos de forma sostenida mayores al 2,5% del peso vivo (National Research Council [NRC], 1984).

El consumo de alimento está regulado por ciertos factores físicos y fisiológicos, que modifican su importancia conforme aumenta la digestibilidad de la dieta. Para aquellos alimentos que presentan una baja digestibilidad, los factores que regulan el consumo son: peso vivo (reflejando la capacidad ruminal), residuo no digerido por peso vivo por día (reflejando la tasa de pasaje) y la digestibilidad de la materia seca. En contraposición, alimentos que presenten una alta digestibilidad determinan que el consumo sea regulado por el peso metabólico, digestibilidad y nivel de producción (Conrad et al., 1964).

Defoor et al. (2002) y Pordomingo et al. (2002) mencionan que los rumiantes necesitan consumir una cantidad mínima de fibra para poder estimular la rumia y la salivación. Si la cantidad de fibra ingerida es excesiva se produce llenado de rumen, por consiguiente, disminuye la tasa de pasaje, y el consumo de materia seca voluntario se ve deprimido. Cuando las dietas son muy concentradas energéticamente, la fibra pasa a tener un rol prácticamente funcional en la prevención de trastornos metabólicos.

La digestibilidad de los alimentos puede definirse, con cierto grado de exactitud, como la cantidad que no se excreta en las heces y que, por tanto, se considera absorbida por el animal. Normalmente, se expresa en relación con la materia seca, como coeficiente, o como porcentaje (McDonald et al., 2013). La digestibilidad y el consumo son dos factores que están relacionados entre sí, debido a que actúan en forma bidireccional, es decir que el consumo afecta la digestibilidad y viceversa.

Según McDonald et al. (2013), existe una relación negativa entre el ritmo de digestión y el contenido de FDN en la dieta; donde raciones totalmente mezcladas con altos niveles de FDN presentan menor ritmo de digestión y trae como consecuencia un menor consumo de alimento.

Durante la formulación de una dieta para los animales, la energía juega un rol fundamental ya que es esencial para el crecimiento y desarrollo de los mismos. Dicha energía consumida no es totalmente eficiente debido a que hay pérdidas que ocurren en el proceso de digestión y metabolización lo que determina que no todo lo que consume el animal se transforme en cierto producto (McDonald et al., 2013).

## **2.2. GRANOS DE CEREALES EN DIETAS DE ENGORDE**

Los granos de cereales juegan un rol fundamental en la formulación de raciones de terminación en los corrales o *“feedlots”*. Son la principal fuente de energía de las dietas y en orden de importancia se ubican primero los cereales provenientes de cultivos de verano (maíz, sorgo) seguido de los provenientes de cultivos de invierno (trigo, cebada, avena). En general, los granos de cereales son el componente mayoritario en las dietas de feedlot clásico, comúnmente excede el 65% del total del alimento y define la oferta de energía metabolizable (EM) y las características físicas del alimento (Pordomingo, 2013).

En conjunto con los granos, se incluyen alimentos voluminosos que tienen como principal función el aporte de fibra efectiva a la dieta. Las fuentes de fibra, energía y proteína utilizadas en una ración totalmente mezclada (RTM) así como también la proporción entre los alimentos concentrados y voluminosos, determinarán la ingesta total de nutrientes, variaciones en la dinámica del ambiente ruminal, sitios de digestión y productos finales resultantes de la fermentación y eficiencia de uso de los productos finales de dicha fermentación (McDonald et al., 2013).

En dietas con alta concentración energética (superiores a 80% de concentrado) expresada como energía metabolizable (EM), el consumo de alimento puede verse deprimido con respecto a los niveles logrados con concentraciones energéticas menores, esto es debido al efecto que causa la alta concentración energética sobre el metabolismo y los mecanismos quimiostáticos sobre la saciedad. Por su parte, Pordomingo (2013) afirma que con el incremento de componentes fibrosos a la dieta (henos, silajes y

cáscaras) por encima del 50%, el consumo voluntario puede verse deprimido por un efecto de distensión ruminal generando un efecto de saciedad sobre el animal.

Conrad et al. (1964) demostraron que conforme se incrementa la digestibilidad de la dieta aumenta el consumo de materia seca hasta cierto punto, luego de éste comienza a descender. Con digestibilidades en torno a 65- 70 %, el contenido total de FDN de la dieta y el llenado ruminal son los principales factores responsables en determinar el consumo de materia seca. Por encima de los valores anteriormente mencionados, el consumo de alimento se verá determinado por otros factores, siendo los más importantes, los productos finales de la digestión e incremento calórico (Forbes, 2007; Van Soest, 1994).

Según Van Lier y Regueiro (2008), una vez consumida la dieta, el almidón es convertido por acción de la microflora ruminal a través de un proceso fermentativo anaeróbico, en diversos ácidos grasos volátiles (AGV). Muchos de éstos, son intermediarios en el metabolismo de microorganismos ruminales, pero hay tres de ellos que no son completamente utilizados por dichos microorganismos y quedan disponibles para el rumiante; éstos son ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico.

## **2.3 EFECTO TIPO DE GRANO**

Dentro de los granos más utilizados en la nutrición animal, el trigo es el que presenta mayor contenido de almidón (77%), seguido del maíz y sorgo (72%) y luego la cebada y avena (57 y 58% respectivamente) (Huntington et al., 2006).

Los granos de cereales son, esencialmente, concentrados de carbohidratos, cuyo componente fundamental de la materia seca es el almidón, que se localiza en el endosperma (McDonald et al., 2013).

### **2.3.1. Grano de maíz**

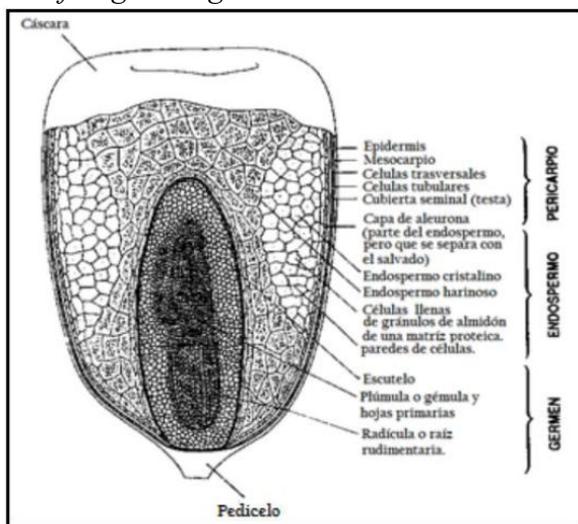
El grano de maíz es el grano más utilizado en la alimentación de ganado vacuno, se trata de una excelente fuente de energía digestible, pero al igual que otros granos, tiene limitaciones por su bajo contenido y baja calidad de la proteína (Pordomingo et al., 2002).

Los granos de maíz son cariopses desnudas, cuyas partes fundamentales son el pericarpo, el cual es la parte externa y corresponde al 5-6% del peso total del grano, el endosperma el cual representa el 80% del peso total del grano y es la fuente de almidón

y proteína. El germen, constituye entre el 8 y 14% restante del peso total del grano (Borneo, 2021).

**Figura 1**

*Morfología del grano de maíz*



*Nota.* Tomado de Borneo (2021).

El maíz es una excelente fuente de energía digestible, contiene 730 gramos de almidón/kg MS, la cantidad de fibra está en torno al 3% y es de muy baja degradabilidad y el valor de energía metabolizable es de 3,2 Mcal EM/kg MS. El almidón del maíz, a diferencia de otros granos, tiene una digestión ruminal lenta por lo cual si se administra en gran cantidad parte de este almidón llega al intestino delgado y es digerido y absorbido como glucosa. Cuando dicho grano se administra molido, la digestión del almidón se torna notablemente superior alcanzando valores de 70-75% de degradabilidad a nivel ruminal (McDonald et al., 2013).

A su vez, McDonald et al. (2013) afirman que el contenido de proteína bruta del maíz oscila entre 90 y 140 gramos/kg MS, y se han obtenido variedades que contienen cantidades superiores. Las dos principales proteínas del maíz son: la *zeína*, presente en el endospermo, siendo esta la que se encuentra en mayor cantidad, aunque es deficiente en lisina y triptófano los cuales son aminoácidos esenciales. La *gluteína* es la proteína del maíz que se encuentra en menor cantidad en el endospermo y en el germen, pero es más rica en estos aminoácidos. Por último, el contenido de grasa del maíz varía entre 40 y 60 gramos/kg MS, la cual es rica en ácido linoleico, pero tiende a producir grasa blanda en los animales que la consumen.

### 2.3.2. Grano de arroz con cáscara

El arroz (*Oryza sativa*), principal cereal cultivado en el sur y este de Asia, requiere un clima subtropical o templado por lo que, en Europa, se produce poca cantidad por encima de 49° de latitud norte (McDonald et al., 2013).

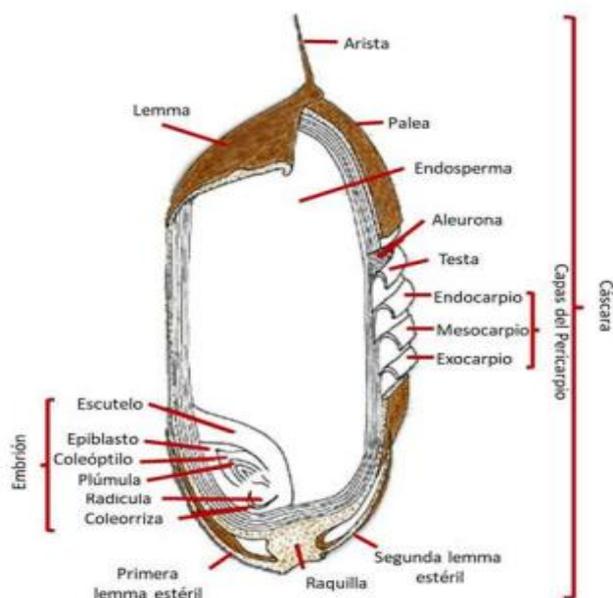
#### 2.3.2.1 Estructura, composición química y nutricional

El grano de arroz es una estructura compleja formada por una capa protectora exterior que lo cubre, llamada cáscara o cascarilla (lemma y palea), y la cariopsis de arroz o fruto. El arroz integral está compuesto de una capa exterior (pericarpio) que cubre la semilla, y el nucellus que cubre el embrión y el endosperma. El endosperma, a su vez, está constituido por una capa ubicada bajo la aleurona (sub aleurona) y el almidón o endosperma interno. El embrión está formado por el escutelo, la plúmula, la radícula y el epiblasto (Juliano, 1992).

El arroz, al igual que el grano de maíz se clasifica como un concentrado energético, pero, por su gran cantidad de fibra en la cáscara genera que dicho grano presente un menor contenido energético que el maíz porque la misma actúa como factor diluyente de la energía total (McDonald et al., 2013).

### **Figura 2**

*Morfología del grano de arroz con cáscara*



*Nota.* Adaptado de Juliano (1992).

McDonald et al. (2013) afirman que la cáscara o cascarilla es muy fibrosa semejante a la del grano de avena y que dicha estructura es muy rica en sílice pudiendo contener hasta 210 gramos de sílice por kg de MS.

Juliano (1992) menciona que la cáscara del grano de arroz representa el 20% de su peso total, aunque esa proporción puede variar entre 16% y 28%. Excluyendo la cáscara de arroz, los restantes componentes del grano están compuestos por el pericarpio (1-3% del peso), la aleurona, núcleo y cubierta de la semilla (4-6%), el embrión (1%), el escutelo (2%), y el endospermo, que puede constituir hasta el 88-90% del peso total del grano. El mismo autor menciona que la capa de aleurona y las células del embrión son ricas en proteínas y contienen gran cantidad de fitatos y lípidos. Las células del endosperma están cubiertas por una membrana que contiene amiloplastos en donde se depositan los gránulos de almidón. Los gránulos de almidón tienen forma de poliedro mientras que las proteínas son principalmente redondas y ambas estructuras varían en tamaño.

La cáscara de arroz se elimina con facilidad, obteniéndose el arroz pardo, recubierto por el salvado. Dicho salvado puede eliminarse con la capa de aleurona y el germen, pelando y puliendo el grano, con lo que se obtiene el arroz pulido. (McDonald et al., 2013).

El arroz con cáscara puede emplearse como alimento para los rumiantes y caballos, en tanto que, para cerdos y aves, es preferible el arroz descascarillado, que es más rico en proteína y tiene mayor valor energético que el maíz (McDonald et al., 2013).

Según McDonald et al. (2013), los dos subproductos principales obtenidos en la industria arrocera son la cáscara o cascarilla y la harina de arroz. La cascarilla, además de presentar alto contenido de fibra y alta cantidad de sílice por kg de MS, presenta bordes muy cortantes que pueden irritar el intestino, por lo que no debería emplearse en la alimentación animal. La harina de arroz o salvado de arroz incluye el pericarpio, la capa de aleurona, el germen, y parte del endosperma, siendo un producto muy valioso que contiene, aproximadamente de 120-145 gramos de proteína bruta por kg de MS, y 110-180 gramos de grasa por kg de MS. Dichos autores afirman que la grasa es muy insaturada, por lo que tiende a enranciarse con facilidad; si se elimina, se obtiene un producto de mejores cualidades para la conservación, salvado de arroz desengrasado.

Debido a que la mayor parte de la producción de arroz se destina al consumo humano, el grano como tal ha sido poco estudiado en la nutrición animal, aunque existen algunos antecedentes que demuestran su comportamiento en la inclusión de dietas. En el ámbito internacional el Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE et al., 2002) generó tablas que resumen la información en cuanto a la composición química y nutricional del grano de arroz con cáscara (GACC) también llamado arroz *Paddy*.

**Tabla 1**

*Composición química del grano de arroz con cáscara y grano de maíz*

<b>Composición química</b>	<b>GACC</b>	<b>Maíz</b>
Proteína cruda (%MS)	8,50	8,79
Proteína soluble (%PC)	45,00	21,08
Nitrógeno insoluble en detergente ácido NIDA (%PC)	15,00	3,09
Extracto Etéreo (%MS)	2,50	3,81
Cenizas (%MS)	5,80	1,44
Almidón (%MS)	64,3	72,1
Fibra Detergente Neutro, FDN (%MS)	26,4	9,72
Lignina (%MS)	5,50	1,18
<b>Información nutricional</b>		
Nutrientes digestibles totales, NDT (%MS)	66,8	87,6
Energía metabolizable (Mcal EM/kg MS)	2,40	3,17
Proteína no degradable en rumen, PNDR (%PC)	29,00	65,31

*Nota.* Adaptado de Heuzé et al. (2015) y NRC (2016).

### 2.3.2.2 Características que afectan el valor nutricional del GACC

Se puede afirmar que el valor nutricional del GACC es aproximadamente un 75% del valor nutricional del grano de maíz; esto es debido a que el primero presenta un mayor porcentaje de cenizas, menor contenido de almidón, y mayor FDN. Por este motivo, a la hora de formular una dieta, se debe tener presente que el GACC tendrá un menor aporte en general, pero principalmente en términos energéticos (Simeone et al., 2024).

En relación al aporte proteico no existen grandes diferencias entre el maíz y el GACC en lo que respecta al contenido de proteína cruda total. El GACC tiene un menor

porcentaje de proteína no degradable a nivel ruminal (29% vs. 65,31%, GACC y maíz respectivamente), lo que podría tener implicancias desde el punto de vista de su uso en relación a fuentes energéticas utilizadas según el aporte de energía metabólica fermentable pudiendo incidir sobre la síntesis de biomasa microbiana (Simeone et al., 2024).

Según NRC (1984) se destaca la degradabilidad del nitrógeno a nivel ruminal e influye directamente sobre la proporción de proteína microbiana en relación a la metabolizable a nivel del tracto gastrointestinal; en consecuencia, se afecta la eficiencia de uso de la misma, bajando la proporción de aprovechamiento.

### 2.3.2.3. Uso GACC como ingrediente de raciones en alimentación de vacunos

La utilización del grano de arroz con cáscara (GACC) en la alimentación animal no es una práctica muy habitual, debido a que este cereal está destinado principalmente al consumo humano. En determinadas situaciones de mercado en donde el precio del grano es demasiado bajo, o problemas sanitarios no habiliten su comercialización, poder destinar este cereal al consumo animal pasa a tomar relevancia para los ganaderos debido a que es una posible alternativa coyuntural. Por este motivo, es escasa la información disponible en cuanto al valor nutritivo propiamente dicho del grano, así como también sobre la performance animal.

Es esperable que haya abundante información sobre el valor nutritivo de dicho grano en la alimentación humana y en los subproductos de la industria del arroz como pueden ser el afrechillo de arroz o cáscara de arroz para los animales (Weaver & Moffett, 1937).

Según Argenta (2015), en determinados momentos del año, el uso de grano de maíz puede reducir la rentabilidad del negocio de los corrales por el elevado costo en dietas altas en granos o concentrados, por lo que surge la inquietud de poder encontrar algún sustituto como el arroz o la avena.

De esta manera, algunos trabajos experimentales de inicio del siglo pasado daban indicios de que era viable el uso de GACC en dietas de confinamiento. En Misuri, EEUU, dos autores Weaver y Moffett (1937) evaluaron en novillos de terminación la inclusión del GACC molido en sustitución del maíz. La dieta experimental estaba compuesta por

un 70% de GACC molido, 10% semilla de algodón como fuente proteica y el restante 20% por heno de soja.

Los autores observaron que aquellos animales que consumieron GACC molido presentaron mayor consumo de materia seca (MS) de dicho alimento, menor ganancia expresada como peso vivo (PV) (0,960 vs 0,811 kg/d) y necesitaban más cantidad de alimento para transformar un kilogramo de carne (peor eficiencia de conversión) (8:1 vs 10:1 kg MS/kg PV) comparado con aquellos animales que recibieron una dieta a base de maíz. A su vez, se mencionaba que el mismo grano (GACC) pero con diferentes grados de procesamiento se comportaba de manera distinta según si era suministrado entero o molido. Para el caso del GACC molido, el mismo presentó un mejor aprovechamiento a nivel digestivo y era más palatable para los animales en comparación al grano suministrado entero.

En conclusión, el trabajo reporta que aquellos animales que eran alimentados con GACC molido, ganaban un 18% menos de peso por animal por día si los comparaban con los mismos animales pero que recibían una dieta a base de grano de maíz.

Otro trabajo realizado por Snell et al. (1945) evaluó el engorde de novillitos hereford/angus cuando se les suministraban distintos derivados de maíz y arroz. Los alimentos utilizados en dicho experimento eran maíz, arroz pulido, GACC molido, arroz para la alimentación de pollos y salvado de arroz; todos ellos eran acompañados de una fuente proteica compuesta por harina de semilla de algodón. En resumen, el trabajo reportó que se obtuvieron las mayores ganancias diarias con aquellas dietas que contenían grano de maíz, así como también presentó la mejor eficiencia de conversión; en cuanto al grano de arroz, tanto el arroz pulido como el GACC molido presentaron ganancias diarias inferiores a la dieta que contenía maíz, pero de igual forma presentaron ganancias diarias muy satisfactorias.

Un dato interesante generado en dicho trabajo experimental es que se evaluó cuánto debería pagarse el GACC para poder competir con el grano de maíz. Debido a la peor performance del primero, se llegó a la conclusión de que el GACC debería pagarse en torno a un 80% del precio del maíz para que sea viable la utilización del grano de arroz. De esta forma, se pagaría menos el GACC a expensas de una menor performance de dicho

grano; lo que se puede inferir que cuando el GACC cuesta más caro que el maíz es inviable usar dicho alimento.

Otro trabajo reportado por Dyer y Weaver (1955) evaluaron el GACC y maíz en cuanto a características físicas y químicas, además de la performance de novillos Hereford que consumían ambos alimentos en distintos tratamientos. En cuanto a los resultados en términos de características químicas se dedujo que el GACC tiene más cantidad de fibra, pero de tipo indigestible, así como también presenta mayor cantidad de minerales en general comparado al grano de maíz. A su vez, el GACC tiene menor proporción de grasa, proteínas y nutrientes digestibles totales (NDT) si lo comparamos con el maíz.

En términos de características físicas, Dyer y Weaver (1955) clasifican al GACC como un grano relativamente pequeño, duro y cubierto por una cáscara dura acompañada por crestas afiladas similares a dientes. Esas crestas afiladas que comentan los autores se refieren a lo que comúnmente llamamos lema y palea, estructuras que contienen mucha fibra, pero de tipo indigestible. En otra parte, se evaluó la performance animal cuando se les suministraba dichos granos; arrojando como resultados que aquellos animales que consumían maíz en vez de GACC presentaban una mayor ganancia de peso individual diaria (0,980 vs 0,820 kg/d) y una mejor eficiencia de conversión. El GACC era más apetecible y en consecuencia los animales consumieron más cantidad, pero no era transformado en ganancia de peso, por lo que se puede decir que tuvieron una peor eficiencia de conversión del alimento.

Afirmando lo mencionado anteriormente, el experimento demostró que los animales alimentados a base de maíz tuvieron una mejora en la eficiencia de conversión superior al 20%, dicho de otra manera, los animales que consumían GACC necesitaban más cantidad de alimento por kg producido, evidenciando una peor eficiencia de conversión (Dyer & Weaver, 1955).

El GACC suministrado entero en la dieta de novillos en terminación generó trastornos digestivos tales como meteorismo y gastroenteritis (diarrea), mientras que cuando el mismo grano se suministraba molido se mejoraba la aceptabilidad del mismo por parte de los animales y se revertían los problemas a nivel del tracto gastrointestinal (Cruse, 1910).

Siguiendo la misma línea de razonamiento, otro investigador observó que la performance de reproductores (expresada como ganancia media diaria y eficiencia de conversión) mejoraba cuando el GACC se suministraba partido y empeoraba dicha performance si el mismo era suministrado entero. Ambas dietas contenían el mismo nivel de inclusión del GACC por encima del 80% de la dieta total, difiriendo en el grado de procesamiento del grano; una de las dietas contenía grano partido y la otra grano entero (Moran, 1973).

Por otro lado, Argenta (2015) evaluó tres dietas distintas formuladas en base a maíz, avena y GACC para novillos en terminación con inclusiones por encima de 80% de dichos granos en la dieta total; todas las dietas eran con el grano entero, sin ningún procesamiento del mismo. Los resultados del experimento demostraron que el peso final de los animales fue mayor para los que consumieron maíz y avena y menor para los que consumieron GACC; ese menor peso final de los animales que consumieron GACC fue atribuible a una menor ganancia media diaria (GMD) durante el transcurso de dicho periodo experimental.

En cuanto a la performance animal, según Argenta (2015), se obtuvieron ganancias promedio de 0,71 kg/día y una eficiencia de conversión (EC) de 11:1 para aquellos animales que consumieron GACC, mientras que para avena y maíz las GMD estuvieron en torno a 1,10 y 1,30 kg/día respectivamente y una eficiencia de conversión del alimento en torno a 6,1:1 para maíz y 8:1 para avena.

En otro relato, la autora afirma que no se encontraron diferencias entre las tres dietas en cuanto al consumo de materia seca ni el de proteína bruta (PB), pero sí se encontraron diferencias en cuanto al consumo de extracto etéreo (EE) siendo los animales alimentados a base de avena los que presentaron mayor consumo como % de PV comparado a maíz y arroz.

Alimentos que presentan cantidades razonables de extracto etéreo (EE) resultan atractivos debido a que aumentan la concentración energética de dicha dieta; cuando las concentraciones de EE están por encima de 7-8% del total de materia seca de la dieta pueden llegar a interferir en la digestión de los alimentos en el rumen. Cuando la cantidad de EE expresada como % del total de la dieta excede el valor mencionado anteriormente, ocurre que las partículas de grasa envuelven a las partículas de alimento e impiden que

los microorganismos ruminales puedan atacar con facilidad a dichas partículas (de Melo et al., 2005).

Este trabajo no reportó problemas a nivel digestivo el hecho de suministrar el GACC entero, como si se había planteado en el trabajo de Cruse (1910), pero es esperable que el suministro del GACC entero no sea del todo aprovechable a nivel digestivo debido a la alta presencia de cáscara y los altos niveles de fibra y sílice que presenta la misma. (McDonald et al., 2013; White & Hembry, 1995).

La disminución en la ganancia media diaria de los animales que consumían GACC podría estar explicada en gran parte por el alto contenido de sílice que posee la cáscara, la misma provoca una menor palatabilidad debido a que resulta en un alimento más áspero y cáustico al ingerir el grano (Van Soest, 1994). Otros autores, mencionan que el alto contenido de sílice en el grano reduce la actividad de los microorganismos ruminales encargados de descomponer los carbohidratos de dicho grano (Jones & Handreck, 1967).

## **2.4. CARACTERÍSTICAS DE MAÍZ Y GACC COMO FUENTES DE ENERGÍA**

El almidón que se encuentra en el endosperma formando gránulos, varía en forma y tamaño, dependiendo de las diferentes especies. Los almidones de los cereales están compuestos por amilosa y amilopectina. El endosperma contiene básicamente almidón y proteínas; mientras que el embrión está conformado por grasas, proteínas y vitaminas (Borneo, 2021).

### **2.4.1. Tipos de endosperma**

El endosperma está conformado por áreas bien diferenciadas: una córnea o vítrea y otra harinosa, las que a su vez están rodeadas por una zona periférica o sub-aleurona denominada endosperma periférico. La proporción en la que se encuentra cada una de dichas áreas varía según el tipo de grano y el híbrido que se considere (Montiel & Elizalde, 2004).

Los gránulos de almidón en el endosperma harinoso están más débilmente unidos a las proteínas y son más fermentables que los gránulos incrustados en la matriz proteica del endosperma vítreo (Philippeau et al., 1998).

Los gránulos de almidón están compuestos por dos principales moléculas: amilosa y amilopectina; la proporción de ambas en los gránulos determina la tasa y extensión de la digestión (Rowe et al., 1999).

Las diferencias entre los contenidos de amilosa y amilopectina pueden afectar tanto la digestibilidad del almidón, como así también las propiedades de procesamiento de los granos. Por esta razón, la variación en la relación de amilosa y amilopectina que se puedan presentar en los distintos tipos de granos podría estar relacionada con diferencias en la fracción soluble de los granos, afectando la respuesta al procesamiento (Rowe et al., 1999).

La digestibilidad del almidón es inversamente proporcional al contenido de amilosa, por lo cual los granos con mayor contenido de amilosa serían menos digestibles (Lichtenwalner et al., 1978). La disponibilidad del almidón a nivel ruminal se encuentra fuertemente influenciada por la solubilidad y fermentación de las proteínas; el tipo y cantidad de proteínas de almacenamiento en el grano determina su solubilidad (Van Barneveld, 1999).

Los maíces tipo *Flint*, también llamado anaranjado duro, presentan una mayor proporción de endosperma de tipo córneo y sus gránulos de almidón se encuentran más entrelazados en la matriz proteica. En controversia, los maíces de tipo *dent*, también llamado dentados o amarillos, tienen una mayor proporción de endosperma amiláceo o harinoso, que hace que su digestibilidad a nivel ruminal sea mayor debido a que su endosperma es más susceptible al ataque por parte de los microorganismos (Campus Bovino, 2023).

Las comparaciones entre las variedades de maíz de tipo dentado y duro demuestran que, aunque el contenido total de almidón es similar en ambos tipos de granos, el maíz de tipo duro tiene mayor grado de endosperma vítreo. En consecuencia, este tipo de grano tiene tasas de desaparición ruminal del almidón más lentas tanto sea in vitro como in vivo (Taylor & Allen, 2005).

El GACC presenta un tipo de almidón duro y vítreo a la vez, por lo que la temperatura de gelatinización del mismo es elevada (70°C) y presenta un 68% de degradabilidad ruminal, mientras que el maíz presenta una degradabilidad a nivel ruminal de 61% (INRAE et al., 2002).

## 2.5. PROCESAMIENTO DEL GRANO

Los cereales se emplean en las dietas de engorde para optimizar el rendimiento y la eficiencia del ganado, al incrementar la densidad energética de las mismas. Habitualmente, estos cereales son procesados por diversas razones: mejorar la palatabilidad, modificar el tamaño de las partículas, aumentar la digestibilidad, y alterar la velocidad, el lugar y el alcance de la digestión. Estas modificaciones pueden, a su vez, influir en el rendimiento del ganado (Richards & Hicks, 2007).

La principal razón para procesar granos es incrementar su valor nutricional, el cual está determinado por las características físicas y químicas del grano como también por su contenido nutricional del mismo, que afectan la digestibilidad y aceptabilidad. Los granos de cereales mediante procesamiento físico o molienda aumentan el grado y la velocidad de digestión ruminal del almidón ya que los granos presentan un pericarpio resistente a la penetración y al ataque microbiano y este debe ser roto mediante masticación o un proceso mecánico para posteriormente proceder con la digestión (McAllister & Cheng, 1996).

Restle et al. (2009) observaron que el aumento en la digestibilidad del grano mediante el procesamiento genera directamente un incremento en la energía digerible disponible para el animal.

La capacidad de los microorganismos ruminales para digerir los cereales será mayor al aumentar la ruptura celular del grano durante la masticación y menor el tamaño de partícula, obteniendo de esta manera mayor cantidad de nutrientes disponibles (Galyean et al., 1981).

Restle et al. (2009) evaluó la ganancia diaria de un animal confinado según distinto procesamiento del grano de avena negra en 3 tratamientos: con 100% de utilización de grano entero, 50% entero+ 50% molido y el otro 100% molido en donde los resultados de ganancia diaria fueron de 0,799; 0,967 y 1,129 kg/día respectivamente, en donde las menores ganancias en la utilización de grano entero se atribuyen a la resistencia del pericarpio negro de la avena el cual dificulta el ataque microbiano. Por otra parte, Goi et al. (1998) trabajaron con avena blanca con distintos grados de procesamiento (grano entero seco, molido, machacado y grano entero humedecido) y no encontró diferencias significativas en la ganancia diaria promedio.

Argenta (2015) plantea que la forma de suministrar el grano va a depender del tipo de grano y del animal. Para pequeños rumiantes entre ellos terneros hasta 150 kg de peso vivo aproximadamente, se puede suministrar el grano entero ya que son muy eficientes en la masticación del grano. En el caso de ganado adulto, los granos se deben someter a algún procesamiento para evitar la aparición excesiva de granos no digeridos en las heces, lo que afectará significativamente el rendimiento animal.

### **2.5.1 Métodos y grado de procesamiento**

Existen varios métodos de procesamiento y dentro de estos pueden clasificarse en secos y húmedos. En la tabla 2, se presentan los métodos de procesamiento más utilizados.

**Tabla 2**

*Métodos y grado de procesamientos de los granos*

Procesos en Seco:	Procesos en húmedo:
Grano entero	Remojado
Molido	Rolado al vapor
Rolado en seco o Quebrado	Hojuelado al vapor
Reventado	Reconstituido
Extrusado	Explotado
Micronizado	Cocinado a presión
Tostado	Coceado tempranamente
Peletizado	Ensilado de maíz
Termalizado	Ensilado de sorgo

*Nota.* Adaptado de Mendoza Martínez y Ricalde Velasco (2015).

#### **2.5.1.1 Grano quebrado**

Este método facilita la digestión al reducir el tamaño de las partículas mediante el método de quebrar el grano con un rodillo acanalado variando el tamaño de partícula según el peso del rodillo, presión y espacio, el contenido de humedad y velocidad del flujo del grano. El procesado es fundamental en el caso del maíz para mejorar la digestión

del mismo. El grano de maíz que se suministra quebrado genera un aumento de la desaparición del almidón a nivel ruminal y postruminal a diferencia del grano suministrado entero en donde menos de la tercera parte del almidón que entra al abomaso desaparece a nivel postruminal y ese grano de maíz intacto no será digerido en ningún sitio (Owens & Basalan, 2013).

#### 2.5.1.2 Grano Molido

Es el método de procesamiento más utilizado ya que es económico y simple con respecto a otros procesamientos por ejemplo hojuelado al vapor. Hay una gran variedad de equipos para moler granos, pero el molino de martillos es uno de los más utilizados, en donde mediante cambios en la criba se regula el tamaño de partícula (Mendoza Martínez & Ricalde Velasco, 2015).

El molido busca romper el pericarpio y aumentar la superficie expuesta a la acción microbiana en el rumen. Este proceso incrementa la degradabilidad ruminal y la digestión total del almidón. A su vez, cuanto menor es el tamaño de partícula del grano mayor es el incremento de la degradabilidad ruminal del almidón (Callison et al., 2001) y también de la fracción soluble (Rémond et al., 2004).

Un procesamiento más intenso no siempre va a generar una mayor respuesta productiva, si no que esta respuesta va a depender de otros factores tales como el nivel de grano en la dieta, el porcentaje de fibra y el tamaño del animal al cual es suministrado (Depetris, 2013).

Mendoza Martínez y Ricalde Velasco (2015) plantean que existe una gran controversia sobre si es mejor el molido o quebrado en pruebas de digestión y comportamiento, pero es difícil la comparación entre pruebas ya que los resultados dependen del tipo de grano, grado de procesamiento, edad del animal, nivel de consumo, nivel de FDN en la dieta, entre otros factores.

#### 2.5.1.3 Grano alto en Humedad

Consiste en cosechar granos con un contenido de humedad del 20-35% y almacenarlos en silos. Este método puede mejorar la eficiencia alimenticia si se mantiene una fermentación adecuada. Es muy importante controlar el contenido de humedad del silo y el tiempo de fermentación para maximizar la eficiencia alimenticia y la digestión

ruminal del grano ya que el grano alto en humedad 20-24% puede resultar en una pobre eficiencia alimenticia asociado a la muy rápida tasa de degradación del almidón (Mendoza Martínez & Ricalde Velasco, 2015). La respuesta a nivel de humedad y almacenaje del grano in situ indica que la desaparición del almidón en el rumen se va incrementando a medida que transcurren los meses de almacenaje y cuanto mayor es el contenido de humedad mayor es el nivel de desaparición del almidón. El costo de almacenamiento puede considerarse relativamente alto, pero se obtienen buenos resultados cuando los niveles de humedad del grano son controlados (CEA Consorcio de Ganaderos, 2017).

### **2.5.2. Efecto de procesamiento y sitios de digestión**

La digestibilidad del almidón es afectada por su estructura (proporción de amilosa y amilopectina), por las interacciones proteína-almidón, por factores anti nutricionales y por la presentación física del alimento (Rooney & Pflugfelder, 1986). La utilización del almidón puede ser mejorada con un adecuado procesamiento del grano (Theurer, 1986) así como también el sitio y la extensión de la digestibilidad del almidón en el tracto digestivo.

Si bien la digestión del almidón en el tracto digestivo es casi completa, existen diferencias entre los cereales en cuanto al grado y sitio de digestión del mismo, que afectará la cantidad y tipo de nutrientes disponibles para el animal (de Blas et al., 1995).

Según datos recabados de varios estudios, existe una relación lineal entre la ingesta de almidón y la digestión ruminal aparente; el 77% de la ingesta de almidón se digiere en rumen (Harmon & McLeod, 2005). Otros autores, resumieron datos de 87 estudios en los que la ingesta de almidón varió de 1 a 5,7 kg/día y reportaron una digestibilidad ruminal promedio de 71% (Offner & Sauvant, 2004).

En general, de todo el almidón proporcionado por los granos de cereales existe una cierta parte del mismo que no es digerido por las enzimas producidas por el rumiante, con lo cual para mejorar el aprovechamiento digestivo de los mismos es deseable maximizar la digestión ruminal (McAllister & Cheng, 1996). Ambos autores concluyen que, dentro del rango de la función ruminal normal, la cantidad de almidón digerido en el rumen tiene una correlación lineal con la ingesta.

Para que ocurra la digestión de los gránulos de almidón por parte de la flora amilolítica del rumen deben ocurrir dos procesos previos; en primer lugar, debe de haber una ruptura del pericarpio (mediante la masticación del animal o procesamiento de los granos) y, en segundo lugar, que la pared celular de las células del endosperma sea digerida por las bacterias celulolíticas (McAllister & Cheng, 1996).

Los mismos autores plantean que el procesamiento físico como la molienda de granos, aumentan el grado y la velocidad de digestión ruminal por la ruptura del pericarpio que facilita la penetración y el ataque microbiano. Según Theurer et al. (1999), el procesamiento de los granos altera la estructura de los gránulos de almidón y se ha utilizado con éxito durante varios años para mejorar la fermentación ruminal. Por otra parte, los distintos granos responden de forma diferencial a dicho proceso, es así que dicho autor afirma que la respuesta al procesamiento es la siguiente: sorgo > maíz > avena = cebada > trigo.

Por otro lado, el procesamiento de los granos, ya sea mediante ruptura o mediante calor y vapor, genera un aumento en la energía metabolizable (Mcal/kg MS) de los mismos. Según Owens y Basalan (2013), para el caso particular del maíz, pasar de un grano molido a un grano húmedo o tratado a vapor y posterior roleado (*Steam-flake*) mejora la disponibilidad de energía metabolizable en un 7% de molido a húmedo, y 15% de húmedo a roleado al vapor (3,21, 3,43, 3,71 Mcal EM/kg MS respectivamente).

Para explicar la mejora en la energía metabolizable (EM) disponible según los tipos de tratamientos de los granos, ambos autores realizaron un trabajo en el cual evaluaron que cantidad de almidón del total consumido, era digerido en cada porción del tracto. Lo que se observa en la tabla 3, es que entre los tratamientos grano húmedo y roleado al vapor en el total del almidón digerido no hay casi diferencia (98,1% vs 99,1% respectivamente); pero eso no explica la diferencia del 7% que hay entre ambos tratamientos en cuanto a la disponibilidad de EM.

Para responder eso, lo mismos autores cuantificaron como era la digestibilidad del almidón en intestino delgado según el tipo de tratamiento; lo que observaron es que en esa porción del tracto la digestibilidad del almidón es muy buena para el caso de granos tratados a vapor y posterior roleado (80,2%) y bastante inferior para el grano húmedo (61,7%) y seco molido (58%); motivo por el cual se desea maximizar la digestibilidad a

nivel ruminal a sabiendas de que en intestino delgado la misma empeora significativamente (McAllister & Cheng, 1996).

**Tabla 3**

*Digestibilidad del almidón del grano de maíz, según tipo de procesamiento*

	Digestión del almidón del grano de Maíz (%)		
	Rumen	Post-rumen	Total
Molido	68,3	24,2	92,5
Grano húmedo	77,5	20,6	98,1
Roleado al vapor	83,9	15,2	99,1

*Nota.* Adaptado de Owens y Basalan (2013).

Otro aspecto que explica la diferencia en la EM disponible de los granos según el tipo de tratamiento, es la eficiencia en los productos de la fermentación. Un trabajo realizado por Corrigan et al. (2009) explica cómo varía la relación de acético: propiónico en rumen, cuando se suministra grano de maíz con distintos tipos de procesamiento; roleado al vapor, húmedo y molido. Si bien era esperable que en todos los tratamientos el pH ruminal descendiera a causa de la producción de AGV, el mismo fue marcadamente inferior para el tratamiento roleado al vapor. Al tener un menor pH a nivel ruminal, provocó que la relación acético: propiónico descendiera, pasando de 1,95 cuando el grano era molido, a 1,63 cuando era húmedo y 1,27 cuando era roleado al vapor. En dicho trabajo, no se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento molido y húmedo, pero sí se encontró para el tratamiento roleado al vapor frente a los primeros dos.

Por su parte, Corrigan et al. (2009) cuantificaron la energía producida por cada uno de los AGV mencionados, y observó que en el caso de acético se producían 419 Kcal/mol de glucosa, mientras que para el caso de propiónico la energía producida rondaba los 740 Kcal/ mol de glucosa. Esto también explica la diferencia porcentual entre la EM disponible según el tipo de tratamiento de grano, para el caso de granos roleados y al vapor, el tener una menor relación acético: propiónico (1,27), implica tener mayor cantidad de propiónico por la misma relación de acético; como consecuencia el tener mayor cantidad de propiónico, se logra una mejora en la eficiencia de los productos finales de la digestión.

El lugar de digestión del almidón puede ser modificado por el grado de procesamiento como también por los componentes de la dieta y la ingesta de la misma. Es deseable que una porción del almidón consumido sea digerida en el intestino delgado ya que este último es más eficiente teóricamente que la digestión ruminal (Richards & Hicks, 2007). Siguiendo la misma línea de razonamiento, Owens y Basalan (2013) afirman que la fermentación a nivel de rumen o en el intestino grueso implican pérdidas de gas metano, mientras que la digestión a nivel de intestino delgado no; en consecuencia, el envío de más almidón al intestino delgado debería resultar beneficioso energéticamente si el almidón se puede digerir fácilmente en ese sitio y si los nutrientes absorbidos son utilizados productivamente por el animal.

Según Hill et al. (1991) cuando la degradabilidad a nivel ruminal aumenta, determina una disminución en la degradabilidad intestinal del almidón. La capacidad de digerir el almidón en el intestino delgado está dada por una enzima denominada alfa-amilasa que puede romper los enlaces del almidón para liberar maltosa y dextrinas (Rooney & Pflugfelder, 1986).

La cantidad de almidón digerido en el intestino delgado se incrementa a medida que aumenta su flujo hacia el duodeno, sin embargo, la cantidad de enzimas producidas puede actuar como una restricción para la digestión del almidón en el intestino (Hill et al., 1991).

Además de esto, hay otros factores que limitan la digestión del almidón en el intestino delgado; dentro de ellos, los principales tienen que ver con la limitada actividad de las enzimas digestivas a nivel del propio intestino delgado donde las principales enzimas son: amilasa, maltosa e isomaltosa; saturación en la absorción de glucosa, con límites en la cantidad que puede ser transportada y absorbida, es decir que ya tiene un volumen fijo y un tiempo limitado para que se de dicha absorción; velocidad de tránsito del material digestivo, es decir que no da el tiempo suficiente para digerir más de una cierta cantidad de almidón; interacción con otros nutrientes que pueden interferir con la digestión y absorción del almidón (Huntington et al., 2006).

El almidón que escapa a la digestión en el intestino delgado es factible de ser fermentado en el intestino grueso, donde sus productos finales son AGV al igual que en el rumen (Huntington et al., 2006; Ørskov, 1986).

### **2.5.3. Cómo afecta el procesamiento el valor energético de los granos**

En primer lugar, el procesamiento de los granos generalmente aumenta la digestibilidad del almidón al reducir la cantidad de almidón protegido por el pericarpio del grano, y, además de alterarse la digestibilidad, se puede alterar el sitio y, por lo tanto, los productos de la digestión. La digestibilidad ruminal del almidón de los granos menos vítreos (trigo, cebada, avena) es bastante alta incluso sin procesamiento, por lo que la necesidad y el beneficio del procesamiento son menores comparado a granos más vítreos (Campus Bovino, 2023).

Según Owens y Basalan (2013) cuando se someten los granos a tratamientos de presión y vapor, ocurre la desnaturalización de las proteínas que encapsulan el almidón dentro de los granos más vítreos (maíz, sorgo); esto mejora la accesibilidad del almidón a las enzimas microbianas. Por otra parte, cuando los granos son cosechados húmedos (entre 28 y 34% de humedad) y se someten a un proceso fermentativo (en anaerobiosis) ocurre lo mismo, también hay desnaturalización de proteínas de la matriz proteica. De esta manera, la desnaturalización de las proteínas de la matriz proteica ya sea a través de vapor o procesos fermentativos, mejoran la digestibilidad ruminal y del tracto total.

Por otra parte, la molienda de los granos para reducir el tamaño de las partículas puede aumentar la tasa y el grado de digestión ruminal del almidón de los granos que tienen un pericarpio grueso o fibroso cuando el tiempo de permanencia en el rumen es corto; caso típico de vacas lactantes que consumen cantidades muy altas de dietas ricas en fibra detergente neutra (FDN). En el caso de los bovinos de carne esta diferencia en la molienda del grano y sus efectos, no se ven tan marcados; presumiblemente, estas diferencias pueden estar asociadas a diferencias en el grado de masticación durante el consumo o el tiempo de retención ruminal (Owens & Basalan, 2013).

Según Ramos et al. (2009), cuando los granos secos se muelen producen partículas distribuidas en una amplia gama de tamaños. Esto tiene como consecuencia una mayor área de superficie de ataque, y, la velocidad y el grado de digestión es proporcional al tamaño de partícula. Por otra parte, el mismo autor afirma que este efecto antes mencionado es notoriamente marcado en granos que tienen endosperma de tipo harinoso comparado a aquellos granos que poseen endosperma de tipo vítreo.

Dicho autor, considera que esta diferencia en el tamaño de partícula entre híbridos de endosperma de tipo harinoso y vítreo después del procesamiento puede explicar gran parte, si no toda, la diferencia en digestibilidad entre ambos tipos de materiales.

## **2.6. EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DEL GRANO HÚMEDO**

El grano cosechado con alto contenido de humedad (entre 20-35%) y almacenado en un silo para preservar el grano, es un proceso común en Norteamérica y por más que el costo puede ser alto, presenta muy buenos resultados (Álvarez et al., 2001; Harrelson et al., 2009; Ladely et al., 1995). El grano cosechado húmedo con respecto al grano seco presenta mayor degradabilidad ruminal y mayor digestión total del almidón, ya que presenta menor contenido de prolaminas las cuales son parte de la matriz proteica que envuelve los gránulos del almidón (Hoffman et al., 2011).

Existe una relación proporcional entre el nivel de humedad al que se cosecha el grano y el incremento en la degradabilidad ruminal del almidón (Szasz et al., 2007).

Es común utilizarlo en el caso del maíz y es muy importante tener en cuenta la duración de la fermentación y el contenido de humedad (26-31% es óptimo) para maximizar la eficiencia alimenticia y la digestión en el rumen (Mendoza Martínez & Ricalde Velasco, 2015).

La respuesta a nivel de humedad y almacenaje demuestran que la desaparición del almidón en el rumen del grano de maíz se incrementa en el primer mes de almacenaje y continúa aumentando en los siguiente nueve meses (CEA Consorcio de Ganaderos, 2017).

## **2.7. HIPÓTESIS**

La sustitución parcial de grano de maíz molido como principal fuente de energía en una RTM, por grano de arroz con cáscara molido (GACC) suministrado a novillos en terminación, afecta el consumo de materia seca, el comportamiento animal y la digestibilidad de la dieta.

La utilización del grano de arroz con cáscara (GACC) con diferentes grados de procesamiento (molido vs quebrado seco) y humedad (quebrado húmedo vs quebrado

seco) mejora la digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y por ende aumenta el consumo de materia seca digestible.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN 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) perteneciente a la Facultad de Agronomía (UDELAR) (Figura 3). La misma se ubica en el kilómetro 363 de la ruta 3 en el departamento de Paysandú, litoral norte del Uruguay, a  $32^{\circ}22'41''$  de latitud sur,  $58^{\circ}03'50''$  de longitud oeste. El periodo experimental transcurrió entre el 17 de julio y el 2 de octubre de 2023, estando precedido por un periodo de acostumbramiento de 23 días (24 junio al 16 de julio).

#### Figura 3

*Ubicación geográfica del experimento*



*Nota.* Extraída de Google (2024).

#### 3.2. CLIMA

El departamento de Paysandú cuenta con un régimen hídrico de precipitaciones de 1125 mm anuales y una temperatura media anual de  $18,9^{\circ}\text{C}$  la cual varía entre un máximo promedio de  $24,3^{\circ}\text{C}$  y un mínimo promedio de  $13,7^{\circ}\text{C}$  (Anexo A). En la tabla 4, pueden observarse las medias mensuales para temperatura máxima, mínima y media,

además de las precipitaciones acumuladas para el período en estudio (Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” [EEMAC], 2023).

**Tabla 4**

*Medias mensuales de temperaturas cardinales y precipitaciones para los meses del período experimental*

	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre
Temperatura media (°C)	13,6	12,7	13,8	14,6	17,4
Temperatura Máxima (°C)	17,6	16,7	19,4	19,2	23,8
Temperatura Mínima (°C)	9,4	8,9	8	10	10,8
Precipitaciones (mm)	57	91,2	20,6	73,2	59,6

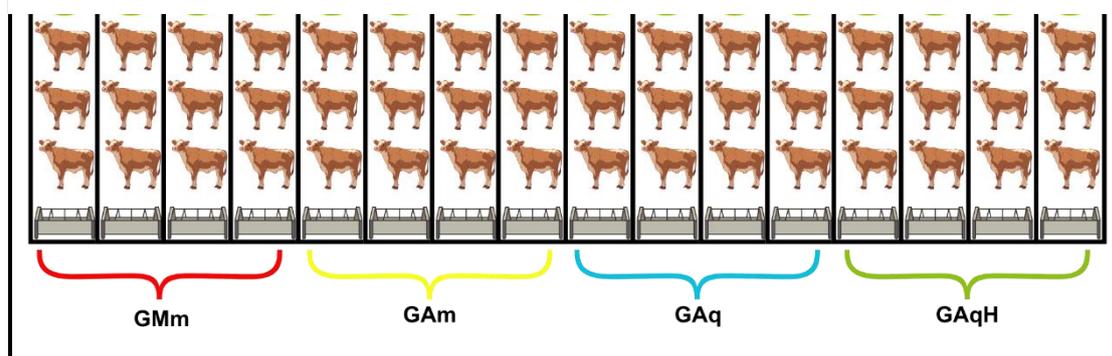
*Nota.* Elaborado en base a información de EEMAC (2023).

### 3.3. INFRAESTRUCTURA

El experimento se realizó en un corral de 80 metros de largo x 22 metros de ancho, subdividido en 16 corrales de 5 metros de ancho x 22 metros de largo con un total de 110m<sup>2</sup> para cada corral (Figura 4). Cada corral dispuso de un comedero de hormigón (largo: 1.5 m, ancho superior:0,65 m, ancho base:0,47 m, alto:0,63m-0,53m) y bebedero, asegurando así el suministro tanto de alimento como de agua fresca y limpia a voluntad durante todo el período.

**Figura 4**

*Esquema de distribución de tratamientos*



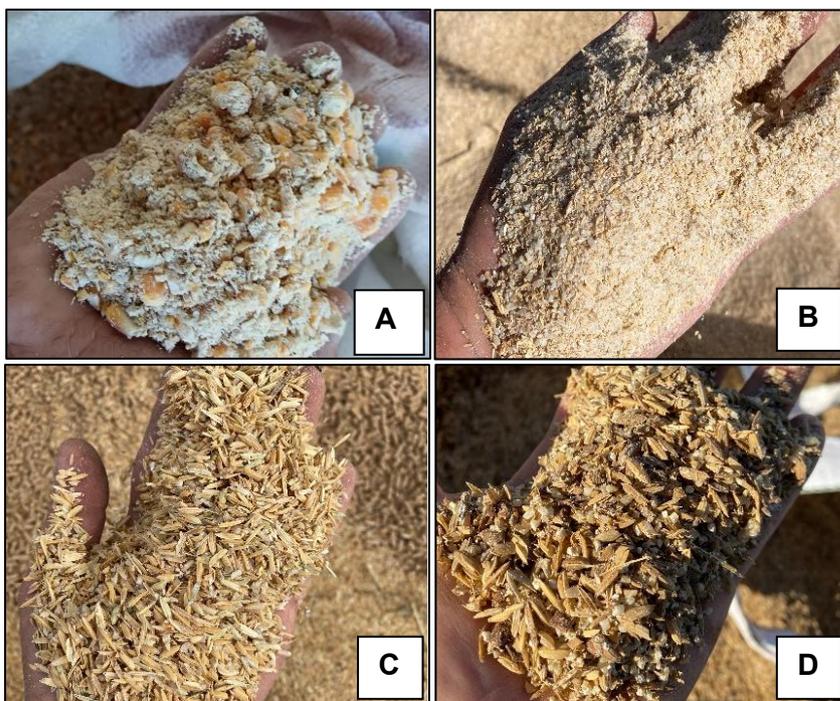
*Nota.* GMm: Grano de maíz molido; GAm: Grano de arroz molido; GAq: Grano de arroz quebrado; GAqH: Grano de arroz quebrado húmedo.

### 3.4. ALIMENTOS

Se formularon 4 raciones totalmente mezcladas (RTM), con 20 % de inclusión de heno de moha como fuente de fibra física. Las mismas fueron elaboradas en base a un núcleo común para todas las raciones que comprendía el 35% de la dieta total y el restante 45% de la dieta difería entre: maíz molido (GMm), GACC molido (GAm), GACC quebrado y seco (GAq), o GACC quebrado y húmedo (GAqH) (sustitución kg a kg). En la figura 5, se pueden observar los tipos de granos utilizados en las dietas experimentales y su respectivo procesamiento; además, en las tablas 5 y 6, se presenta la composición de ingredientes de las raciones experimentales y la composición química, respectivamente.

#### Figura 5

*Tipos de granos y niveles de procesamientos*



*Nota.* Grano de maíz molido (A), grano de arroz seco molido (B), grano de arroz seco quebrado (C) y grano de arroz quebrado húmedo (D).

**Tabla 5***Composición (%) de las raciones experimentales expresado en base seca*

<b>Ingredientes</b>	<b>GMm</b>	<b>GAm</b>	<b>GAq</b>	<b>GAqH</b>
Maíz molido	45	0	0	0
GACC molido	0	45	0	0
GACC quebrado	0	0	45	0
GACC quebrado húmedo	0	0	0	45
Heno de moha	20	20	20	20
Premezcla complementaria (Núcleo)*	35	35	35	35

*Nota.* \***Composición de la premezcla complementaria en base seca (núcleo):** 48,2% de afrechillo de trigo, 42,7% de maíz, 3,3% de UREA, 0,3% de Zoodry feedlot, 4,1% de carbonato de calcio, 1,4% de cloruro de sodio, 0,03% de una fuente conteniendo un ionóforo (20% monensina). **Tratamientos:** **GMm:** RTM conteniendo 45% de maíz molido con 9% de humedad; **GAm:** RTM conteniendo 45% de GACC molido con 9% de humedad; **GAq:** RTM conteniendo 45% de GACC quebrado con 9% de humedad; **GAqH:** RTM conteniendo 45% de GACC quebrado con 20% de humedad.

**Tabla 6***Composición química de las dietas experimentales*

<b>Composición química</b>	<b>GMm</b>	<b>GAm</b>	<b>GAq</b>	<b>GAqH</b>
Materia seca (%)	88,9	88,7	88,6	83,7
Cenizas (%)	7,4	10,3	11,9	10,8
Proteína cruda (%)	12,9	11,4	11,1	11,3
Extracto etéreo (%)	3,9	2,3	2,4	2,8
FDN (%)	31,9	34,3	41,2	36,9
FDA (%)	10,5	14,6	19,2	18,5

*Nota.* Fibra detergente neutra (FDN); Fibra detergente ácida (FDA); GMm: Grano de maíz molido, GAm: Grano de arroz molido; GAq: Grano de arroz quebrado; GAqH: Grano de arroz quebrado húmedo.

### 3.5. ANIMALES Y TRATAMIENTOS

El experimento se realizó con 48 novillos Hereford provenientes del rodeo experimental de la EEMAC, nacidos en la primavera de 2021. Los mismos fueron bloqueados por peso vivo en 4 grupos (bloque 1:  $410 \pm 26,1$  kg; bloque 2:  $370 \pm 9,2$  kg; bloque 3:  $349 \pm 19,4$  kg y bloque 4:  $327 \pm 12,1$  kg), y dentro de cada bloque distribuidos al azar en 4 grupos que fueron sorteados entre las 4 dietas experimentales de tal manera que cada tratamiento quedó integrado por 4 repeticiones (corrales) y cada corral constituyó una unidad experimental integrada por 3 novillos.

### 3.6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El período de encierre de animales en régimen de confinamiento abarcó 99 días en el cual se pueden diferenciar 2 etapas: periodo de acostumbramiento, y periodo experimental.

#### Periodo de acostumbramiento (24/6/2023 al 16/7/2023)

Los novillos provenientes de pasturas naturales fueron gradualmente introducidos al consumo de ración experimental en conjunto con el suministro de henolaje de sorgo, el cual a los pocos días fue sustituido por heno de moha. En el transcurso de este periodo se fue disminuyendo la proporción de voluminoso y aumentando el concentrado de su respectivo tratamiento hasta alcanzar el porcentaje final de inclusión de las RTM experimentales (Tabla 5).

#### Período experimental

Durante este período el alimento fue suministrado de forma *ad-libitum*, distribuidos en 2 comidas de igual proporción; a la mañana a las (10 horas) y por la tarde a las (14 horas). Para asegurarse el suministro a voluntad diariamente se realizó “lectura de comederos”, donde se tomó como criterio de oferta *ad-libitum* cuando el 50% de la superficie del comedero estaba cubierta por alimento con una altura aproximada a un grano de maíz en la mañana previo a la primera comida del día. En caso de no cumplir con este criterio se aumentaba la oferta de alimento en un 5% con respecto al ofrecido el día anterior.

Los animales fueron faenados a fecha fija el 3/10/2023 en el Frigorífico Casa Blanca, establecimiento comercial situado en el pueblo Casa Blanca en el departamento de Paysandú, a 21 kilómetros de la EEMAC.

### **3.7. MANEJO SANITARIO**

Previo al inicio del periodo de acostumbramiento, al momento del pesaje de los animales se les suministró un antiparasitario para el control de parásitos internos y externos con la dosis indicada en etiqueta. Además, durante el experimento se realizó una aplicación con POUR ON para el control de los piojos en los animales.

Diariamente los animales fueron observados con el fin de identificar posibles irregularidades en el comportamiento como ser algún trastorno digestivo, problemas motores, entre otros; los cuales no se detectaron.

### **3.8. REGISTROS, MEDICIONES Y MUESTREOS**

#### Peso vivo:

Los animales fueron pesados en forma individual, previo al periodo del acostumbramiento, al inicio del período experimental y posteriormente cada 14 días durante el transcurso del experimento, realizándose la última pesada el día 2 de octubre, día en el cual se enviaron los animales a faena.

Las mediciones de peso vivo se realizaban en la mañana sin ayuno ni orden previo con una balanza electrónica portátil con capacidad y precisión de  $2000 \text{ kg} \pm 0,5 \text{ kg}$ .

#### Consumo de materia seca (CMS):

Diariamente en la mañana, previo al suministro de la primera comida del día, se recolectaban los rechazos de los comederos, se pesaban los mismos (peso fresco) y posteriormente se corregía este valor por su contenido de materia seca. El consumo de materia seca por corral fue calculado como la diferencia entre la materia seca ofrecida y la materia seca residual.

Semanalmente se tomaron muestras de los distintos alimentos ofrecidos y del alimento residual en cada corral para la determinación de la materia seca. Para esto, las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado durante 48 horas a  $60^{\circ}\text{C}$  hasta

alcanzar pesos constantes. Las muestras secas fueron molidas en molino de martillo (Wiley-Mill) y conservadas para su posterior análisis químico.

#### Patrón diario de consumo:

El patrón diario de CMS fue caracterizado en las semanas 3 (S3) y siete (S7) del periodo experimental, durante dos días consecutivos en cada semana (días 1/8/2023 y 2/8/2023 para la S3 y los días 4/9/2023 y 5/9/2023 para la S7). A estos efectos, a lo largo del día, entre las 8 y 18 horas se pesó el alimento residual en el comedero cada 2 horas, retornándolo al comedero una vez pesado. El CMS entre las 18 horas y el rechazo pesado a la mañana siguiente fue identificado como consumo nocturno.

#### Comportamiento ingestivo:

El comportamiento ingestivo, se registró los días 3/8/2023 y 4/8/2023 en la S3, y 2/9/2023 y 3/9/2023 en la S7. Se tomaron registros de comportamiento de todos los animales cada 10 minutos entre las 8 y 18 horas mediante observación visual directa de cada uno de ellos, registrando la actividad que se encontraba realizando (consumo de alimento, consumo de agua, descanso y rumia).

#### Digestibilidad aparente *in vivo*:

La digestibilidad *in vivo* de la dieta fue estimada utilizando como marcador interno la concentración de cenizas insolubles en detergente ácido en heces y en el alimento ofrecido (Van Keulen & Young, 1977). Durante las semanas 4 y 8 del periodo experimental (del 6/8 al 11/8 y del 4/9 al 8/9, respectivamente) fueron tomadas muestras del alimento ofrecido y rechazado y de las heces de cada uno de los 48 animales durante 5 días consecutivos en cada semana. Las muestras de heces fueron recolectadas en la mañana directamente del recto de cada animal y puestas en conservadora y congeladas a -18°C.

Cumplidos los 5 días, se descongelaron las muestras y se realizó una muestra compuesta por animal y por período de aproximadamente 0,4 kg, las cuales fueron secadas en la estufa de aire forzado a 60°C durante 7 días. Las muestras secas fueron molidas en molino de martillo para su posterior análisis químico.

### 3.9 ANÁLISIS QUÍMICO

Las muestras semanales de las raciones experimentales y del alimento residual de cada corral, fueron combinadas en una muestra compuesta del alimento ofrecido y residual por tratamiento para el período experimental.

Para las muestras diarias de ofrecido y rechazado tomadas durante los períodos de evaluación de digestibilidad aparente, fueron combinadas en una muestra compuesta por alimentos y por corral, respectivamente, en ambos períodos.

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía. Sobre muestras compuestas del alimento ofrecido y residual de cada tratamiento se determinó el contenido de MS, cenizas, proteína, extracto etéreo, FDN y FDA. Sobre muestras compuestas del alimento y de heces por animal y período, se determinó el contenido de MO y cenizas insolubles en ácido.

Las cenizas es el residuo inorgánico de una muestra incinerada a 600°C (Williams, 1984).

Los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) fueron determinados con tecnología Ankom (Fiber Analyzer 200, Ankom Technology Corporation) de forma secuencial (Van Soest et al., 1991).

Para la determinación de extracto etéreo también fueron utilizadas las normas descritas por Latimer (2012).

### 3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La información experimental fue analizada según un diseño en bloque completos al azar, considerando como unidad experimental al corral, cada corral ocupado por 3 novillos.

Las variables asociadas al consumo de alimento, con medidas repetidas en el tiempo, se analizaron utilizando el procedimiento Mixed de SAS según el modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \gamma_i + \alpha_j + \epsilon_{ij} + M_k + D_l + (\alpha M)_{jk} + (\alpha D)_{jl} + \delta_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijklm}$ : variable de respuesta

$\mu$ : media poblacional

$\gamma_i$ : es el efecto del i-ésimo bloque de peso vivo (bloque 1, bloque 2, bloque 3, bloque 4)

$\alpha_j$  es el efecto de la j-ésimo tratamiento (1, 2, 3, 4)

$\varepsilon_{ij}$  es el error experimental (entre animales)

$M_k$ : Efecto relativo al m-ésimo momento de medición (semanas).

$D_i$ ; Efecto del día dentro de la semana

$\delta_{ijkl}$ : Error experimental del i-ésimo tratamiento, j-ésima repetición y k-ésimo momento de medición.

Para variables como la digestibilidad promedio de la MS y consumo promedio de MS digestible, se utilizó el procedimiento GLM de SAS, según el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \alpha_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : variable de respuesta

$\mu$ : media poblacional

$\gamma_i$ : es el efecto del i-ésimo bloque de peso vivo (bloque 1, bloque 2, bloque 3, bloque 4)

$\alpha_j$  es el efecto de la j-ésimo tratamiento (1, 2, 3, 4)

$\varepsilon_{ijk}$  es el error experimental

Los registros de comportamiento animal en el corral fueron analizados utilizando el procedimiento GLIMMIX de SAS, y expresados como la probabilidad de ocurrencia de las actividades de consumo, descanso, rumia y acceso a bebedero durante el período de observación.

$$\ln(P/(1-P)) = \mu + \gamma_i + \alpha_j + S_k + D(s) + (\alpha S)_{jk} + (\alpha D)_{jl}$$

Donde:

P: probabilidad de ocurrencia de la actividad.

$\mu$ : media poblacional.

$\gamma_i$ : efecto relativo del i-ésimo bloque (t=4).

$\alpha_i$ : efecto relativo del j-ésimo tratamiento (t=4).

$S_k$ : efecto relativo de la semana en que se realizó la medición.

D(S)m: efecto relativo del día dentro de la semana en que se realizó la medición.

( $\alpha S$ ) $_{jk}$ : efecto relativo de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y la k-ésima semana de medición.

( $\alpha D$ ) $_{jm}$ : efecto relativo de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y el m-ésimo día de medición.

Se consideró un efecto estadísticamente significativo cuando la probabilidad de error de tipo I fue  $\leq 5\%$ . Cuando el efecto de tratamiento fue significativo, las medias fueron comparadas mediante contrastes ortogonales evaluándose el efecto del tipo de grano (maíz vs GACC molidos), el efecto del procesamiento del GACC (molido vs. quebrado, ambos secos), y el efecto de la humedad del GACC (seco vs húmedo).

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla 7**

*Consumo promedio diario de materia seca expresado en kg y %PV (peso vivo)*

Variable	Tratamientos				EE	P-valor		
	GMm	GAm	GAq	GAqH		Trat	Sem	Trat*sem
Consumo (kg/MS/d)	13,37	13,49	13,69	13,96	0,37	0,70	<0,0001	0,0007
Consumo (% PV)	3,06	3,09	3,19	3,21	0,07	0,42	<0,0001	0,0002

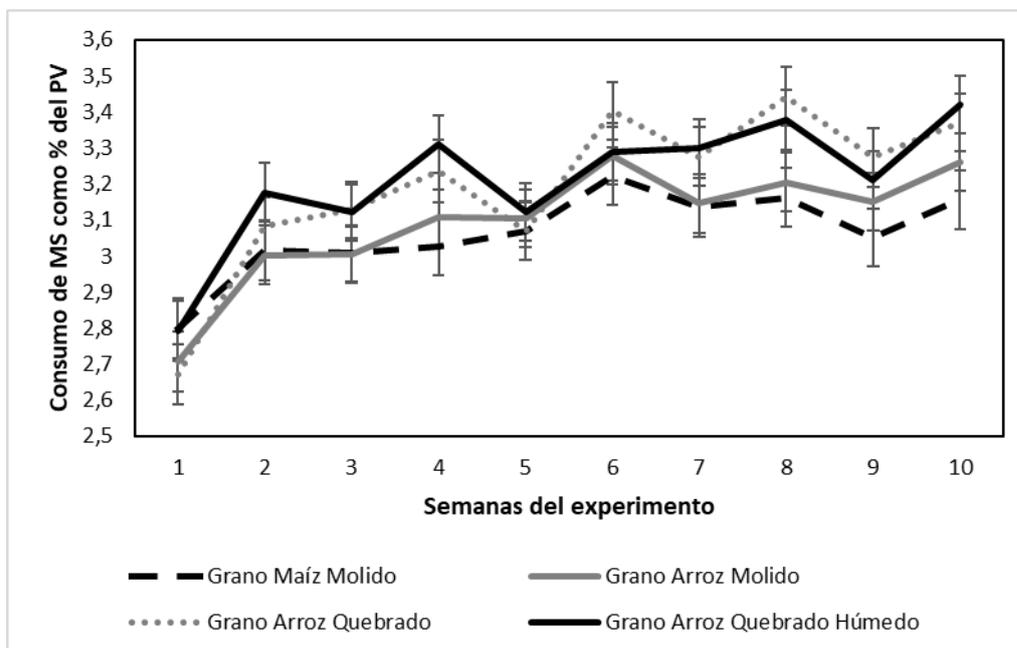
El consumo promedio diario de materia seca por animal, expresado tanto en kg como en % de PV, no presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $P=0,70$  y  $P=0,42$ , respectivamente) (Tabla 7).

Sin embargo, se observó un efecto muy significativo de la interacción ( $T \times S$ ;  $P=0,0007$ ) evidenciando diferencias en el consumo debidas al tratamiento según las distintas semanas de alimentación. Por otro lado, se puede observar que en la interacción  $T \times S$ , los tratamientos que consumían granos molidos presentaron menor consumo que los animales que consumían granos quebrados, aunque esta diferencia no sea apreciada estadísticamente (figura 6).

En la figura 6 se puede observar que en todos los tratamientos el consumo expresado en % de PV fue aumentando desde el inicio hasta el final del experimento, desde 2,7% hasta 3,2% aproximadamente. Esta tendencia generalmente se esperaría que fuera inversa, ya que a medida que los animales van aumentando de peso vivo el tamaño relativo del retículo-rumen ocupa una menor proporción al peso total del animal, por lo cual sería esperable que el animal consuma cada vez menos en relación al % del peso vivo a medida que transcurren las semanas (McDonald et al., 2013).

**Figura 6**

*Evolución del consumo expresado cómo % del PV a lo largo del experimento*



Puede observarse que los animales de los distintos tratamientos presentaron consumos por encima del 3% del PV en gran parte del período experimental, algo que no es común en los corrales de engorde de los novillos en terminación. Se podría esperar que los animales presenten un consumo promedio por debajo del 3% del PV (Pordomingo et al., 2002).

Es interesante analizar en la figura 6 como se comportan de manera similar los tratamientos con igual grado de procesamiento en cuanto al consumo en las distintas semanas del experimento como por ejemplo GMm y GAM; GAq y GAqH. Se puede observar que los granos suministrados quebrados en la dieta, presentaron en promedio, un mayor consumo que los granos suministrados molidos. Esta respuesta podría atribuirse a que los granos molidos presentan una rápida fermentación a nivel ruminal y por ende una rápida y abundante producción de AGV a nivel ruminal, la cual actuaría como reguladoras del consumo, generando un efecto de saciedad en el animal (Callison et al., 2001).

Por otro lado, en la figura 6 se puede observar que los tratamientos que utilizan granos quebrados tienen mayores picos y/o variaciones entre semanas con respecto a los tratamientos que utilizan granos molidos; a su vez, dentro de los granos molidos, el tratamiento con maíz fue el que presentó mayor estabilidad en el consumo durante todas

las semanas. Esto podría estar explicado a que los granos molidos presentan una mayor degradabilidad lo cual provoca un rápido descenso del pH y una mayor estabilidad del ambiente ruminal, lo cual actúa como regulador del consumo. A su vez, si se comparan los tratamientos entre granos molidos, se puede observar que el grano de maíz molido fue el que presentó mayor estabilidad y menor consumo, lo que se puede explicar por la mayor digestibilidad que presenta el grano de maíz con respecto al arroz y la mayor concentración energética; explicado por la ausencia de cáscara en el grano, por ende, no existe el efecto dilución de la energía.

En cuanto al consumo expresado como %PV se encontraron diferencias para el efecto semana, siendo las semanas 6, 8 y 10, las que presentaron mayores consumos, y las semanas 1, 2 y 3 las que presentaron menores consumos.

El CMS expresado como porcentaje del PV fue afectado significativamente, por la variable día dentro de semana ( $P \leq 0,01$ ), siendo este efecto independiente de la dieta consumida (0,8630). (Anexo C)

Estas diferencias significativas encontradas en cuanto a tratamiento x semana y día dentro de semana, podría estar explicado por factores climáticos y ambientales, ya que días o semanas con presencia de precipitaciones y/o elevada temperatura y humedad genera un estrés en el animal que en ocasiones se refleja en la depresión del consumo (Pordomingo et al., 2002).

En la tabla 8 se presenta la digestibilidad de la materia seca (DMS), digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y el CMS digestible promedio durante todo el experimento.

**Tabla 8**

*Digestibilidad de materia seca (DMS), materia orgánica (DMO) y consumo de materia seca (CMS) promedio*

Variable	Tratamientos				EE	P-valor
	GMm	GAm	GAq	GAqH		
DMS %	93,88	70,84	60,59	60,98	2,30	0,0001
DMO %	94,33	73,93	64,55	64,73	2,25	0,0001
CMS Digestible kg	12,55	9,53	8,26	8,54	0,25	0,0001

*Nota.* GMm: Grano de maíz molido; GAm: Grano de arroz molido; GAq: Grano de arroz quebrado; GAqH: Grano de arroz quebrado húmedo; EE: Error estándar.

La digestibilidad de la materia seca (DMS), fue significativamente afectada por el tratamiento, en donde la sustitución de GMm por GAm redujo la DMS en un 23,04% (93,88% vs.70,84%; P= 0,0001). Del mismo modo, al sustituir el GAm por GAq se observó una disminución significativa en la DMS en 10,25% (70,84 vs. 60,59; P= 0,0001), no observándose diferencias debidas al grado de humedad del GACC quebrado (P= 0,91).

Puede observarse que la DMS se vio afectada significativamente por el tipo de grano, siendo el grano de maíz entre un 20 y 30 % más digestible que el grano de arroz, explicado mayormente por la presencia de cáscara en este último. En cuanto al grado de procesamiento se observa que también presenta diferencias con respecto a la digestibilidad de la materia seca, siendo el grano de arroz molido un 10 % superior con respecto a la digestibilidad de la materia seca del grano de arroz quebrado. Por otro lado, tomando en cuenta el factor humedad del grano se puede afirmar que no provocó diferencias en la digestibilidad de la MS comparando el grano de arroz quebrado húmedo y seco.

El mismo tipo de respuesta fue observado para la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), viéndose afectada por el tipo de grano y el grado de procesamiento y sin detectarse efecto asociado a la humedad de dichos granos.

Estas diferencias en cuanto a digestibilidad tanto de la materia seca como materia orgánica para el tipo de grano podría estar explicada por el mayor contenido de fibra del GACC con respecto al grano de maíz; debido a la presencia de la cáscara la cual

representa el 20% del peso total del grano y esta misma, a su vez presenta altos contenidos de sílice lo que la hace aún más indigestible (McDonald et al., 2013).

Con respecto a las diferencias de digestibilidad según el procesamiento (GAm vs. GAq), la misma se podría justificar ya que a mayor grado de procesamiento, aumenta la superficie expuesta por la disminución en el tamaño de partícula lo cual facilita el acceso y colonización microbiana y aumenta la digestión en el rumen, abomaso e intestino (McAllister & Cheng, 1996). Esta mejora en la digestibilidad es aún más significativa en granos con problemas de digestibilidad, como es el caso de maíz de tipo anaranjado duro o *flint* o los granos con presencia de cáscara (Campus Bovino, 2023).

En cuanto a la utilización del GAqH vs. GAq se esperaba encontrar diferencias en cuanto a digestibilidad a favor del grano húmedo lo cual no sucedió. Era esperable encontrar mayor digestibilidad en el GAqH ya que al tener un mayor contenido de humedad la solubilidad de la proteína que encapsula los gránulos de almidón es mayor y por lo tanto mayor es la degradabilidad ruminal (Owens & Basalan, 2013). Por otro lado, los granos cosechados húmedos presentan mayor degradabilidad ruminal ya que presentan menor contenido de prolaminas las cuales son parte de la matriz proteica que envuelve los gránulos de almidón (Hoffman et al., 2011). La respuesta observada podría estar explicada por el nivel de humedad intermedio que presentaba el grano (20% de humedad). Según Owens y Basalan (2013); para mejorar la digestibilidad de los granos cosechados húmedos, es necesario alcanzar altos niveles de humedad (28-35% de humedad a cosecha).

En cuanto al consumo de materia seca digestible expresada en kg, se pueden observar diferencias significativas en cuanto al tipo de grano, siendo superior el GMm con respecto al GAm (12,55 vs. 9,53;  $P=0,0001$ ). Esta diferencia se podría justificar por la mayor digestibilidad en el grano de maíz, lo cual genera un menor tiempo de retención en el rumen, aumentando la tasa de pasaje del mismo y por ende una mayor reposición del consumo (Van Soest, 1994). En contraposición, el GAm al ser un alimento más indigestible por la presencia de cáscara en alta proporción, además del contenido de sílice, genera un mayor tiempo de retención en rumen, menor tasa de pasaje y, en consecuencia; se observa una depresión drástica del consumo de materia seca digestible (McDonald et al., 2013).

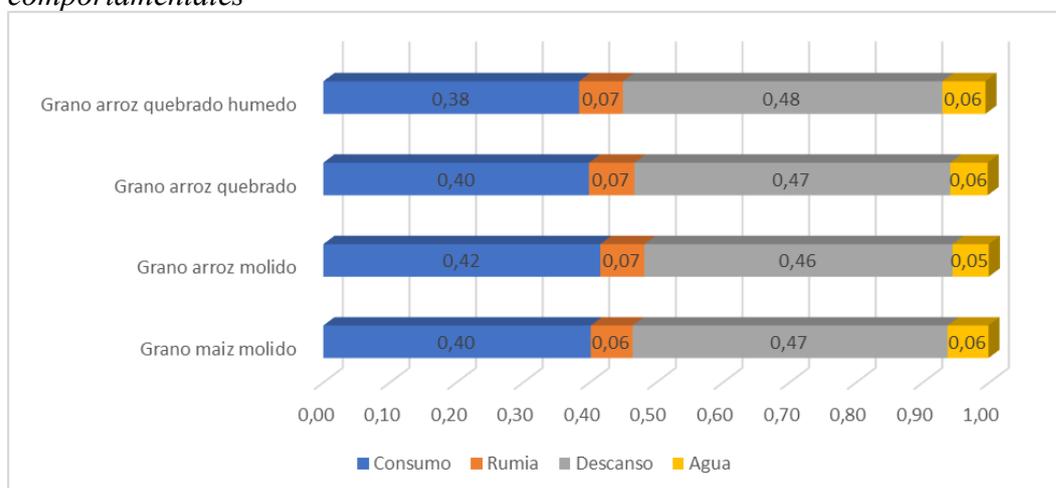
#### 4.1 COMPORTAMIENTO.

En la figura 7 y tabla 9, se detallan los resultados obtenidos en las semanas 3 (S3) y 7 (S7) sobre las variables comportamentales de los animales (consumo, rumia, descanso y agua), expresadas como la probabilidad de encontrar al menos un animal realizando alguna de estas actividades.

Al analizar el comportamiento general de los animales, se observó que el mayor tiempo fue destinado a descansar, seguido por la actividad de consumo y en menor medida el tiempo destinado a rumia y consumo de agua.

**Figura 7**

*Probabilidad de encontrar al menos un animal realizando alguna de las actividades comportamentales*



**Tabla 9**

*Efecto de la inclusión de GACC sobre distintas variables comportamentales*

Actividad	Tratamientos					P-valor		
	GMm	GAm	GAq	GAqH	EE	Trat	Sem	Trat*sem
Consumo	0,40	0,42	0,40	0,38	0,04	ns	0,0009	0,0026
Rumia	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	ns	ns	0,0007
Descanso	0,47	0,46	0,47	0,48	0,04	ns	0,0007	ns
Agua	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	ns	0,0104	ns

*Nota.* GACC: Grano de arroz con cáscara; GMm: Grano de maíz molido; GAm: Grano de arroz molido; GAq: Grano de arroz quebrado; GAqH: Grano de arroz quebrado húmedo; EE: Error estándar; Trat: Tratamiento; Sem: Semana; Trat\*sem: Tratamiento x semana

El tratamiento, no afectó las distintas actividades evaluadas ( $P > 0,05$ ), siendo este efecto dependiente de la semana experimental para la actividad de consumo ( $P= 0,0009$ ), descanso ( $P= 0,0007$ ) y agua ( $P= 0,0104$ ).

En la tabla 10, podemos evidenciar diferencias significativas entre semanas para las actividades de consumo y descanso. Para estas variables comportamentales, las diferencias se encontraron en el tratamiento GAqH, presentando un mayor consumo en la semana 7 con respecto a la semana 3 y un mayor descanso en la semana 3 con respecto a la semana 7.

**Tabla 10**

*Probabilidad de encontrar al menos un animal realizando una de las 4 variables comportamentales analizadas*

	TRATAMIENTO			
	GMm	GAm	GAq	GAqH
<b>Consumo</b>				
Semana 3 b	0,39a	0,43a	0,37a	0,34b
Semana 7 a	0,42a	0,40a	0,43a	0,43a
<b>Rumia</b>				
Semana 3 a	0,05a	0,06a	0,08a	0,08a
Semana 7 a	0,07a	0,07a	0,05a	0,05a
<b>Agua</b>				
Semana 3 a	0,06a	0,05a	0,05a	0,05a
Semana 7 a	0,06a	0,06a	0,06a	0,08a
<b>Descanso</b>				
Semana 3 a	0,50a	0,46a	0,50a	0,52a
Semana 7 b	0,45a	0,46a	0,45a	0,44b

*Nota.* Medias seguidas de diferente letra difieren significativamente ( $P < 0,05$ ).

El mayor tiempo destinado a consumo de los animales en la semana 7 podría estar explicado por el mayor peso vivo que presentan los mismos a medida que transcurre el experimento.

Estas diferencias entre semanas en las variables comportamentales, también se podrían deber a fluctuaciones climáticas que pudieron ocurrir durante el experimento como por ejemplo diferencias en cuanto a temperatura, humedad y precipitaciones, que

traen como consecuencia cambios comportamentales como puede ser una restricción de los episodios de consumo y/o descanso (Pordomingo, 2013).

#### **4.2 PATRÓN DE CONSUMO.**

En la figura 8 y 9, se ilustra el patrón diario de consumo de materia seca, en las semanas 4 y 8 respectivamente, expresado en intervalos de 2 horas cómo % del total consumido a lo largo del día, así como también expresado en kg de materia seca por parte de los animales (Anexo D).

El patrón de consumo fue similar para los 4 tratamientos, ya que los momentos de mayor consumo fueron entre las 10-12 y las 14-16 horas, lo que coincide con los horarios en los que se suministraba el alimento, por lo que atribuimos esto en parte, al estímulo de ofrecer el alimento, entre otras razones (Pordomingo, 2013).

En el horario de 10-12h se encontraron diferencias significativas debidas al efecto semana ( $P = < 0,0001$ ) y tratamiento por semana ( $P = 0,0450$ ), observándose un menor consumo para GAq en la semana 4 con respecto a los demás tratamientos.

Para el horario de las 12-14 horas se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $P = 0,036$ ), siendo el GAqH el que presentó un mayor consumo y el GMm el menor consumo; y también existieron diferencias en cuanto a semana ( $P = < 0,0001$ ), presentando un consumo mayor en la semana 8 con respecto a la semana 4, lo que se considera esperable ya que los animales aumentan su consumo a medida que transcurren los días del experimento.

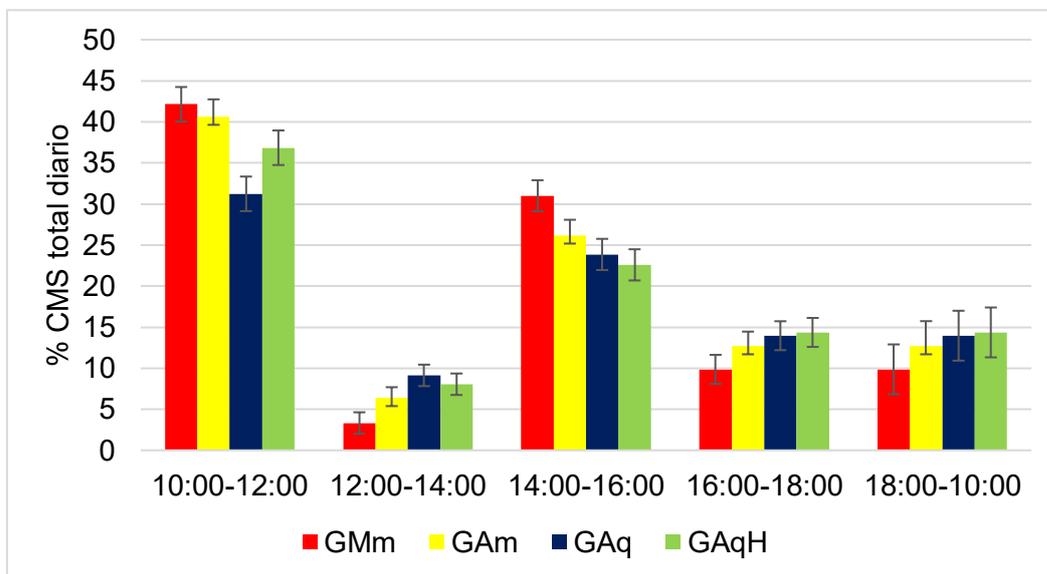
Con respecto al intervalo de 14-16 horas, pueden observarse diferencias en cuanto a tratamiento y semana ( $P = < 0,0001$  para ambos). En cuanto a tratamiento, el mayor consumo en este horario se encontró en el tratamiento de GMm y el menor consumo en GAqH. Para el efecto semana, el mayor consumo estuvo en la semana 8 con respecto a la semana 4.

En el horario de las 16-18 hrs existieron diferencias significativas, únicamente para el efecto tratamiento ( $P = 0,0078$ ), con un mayor consumo para el tratamiento GAqH y un menor consumo para el GMm con respecto a los demás tratamientos.

En lo que respecta al patrón de consumo nocturno (de 18-10hrs), no se encontraron diferencias significativas para ninguno de los efectos.

### Figura 8

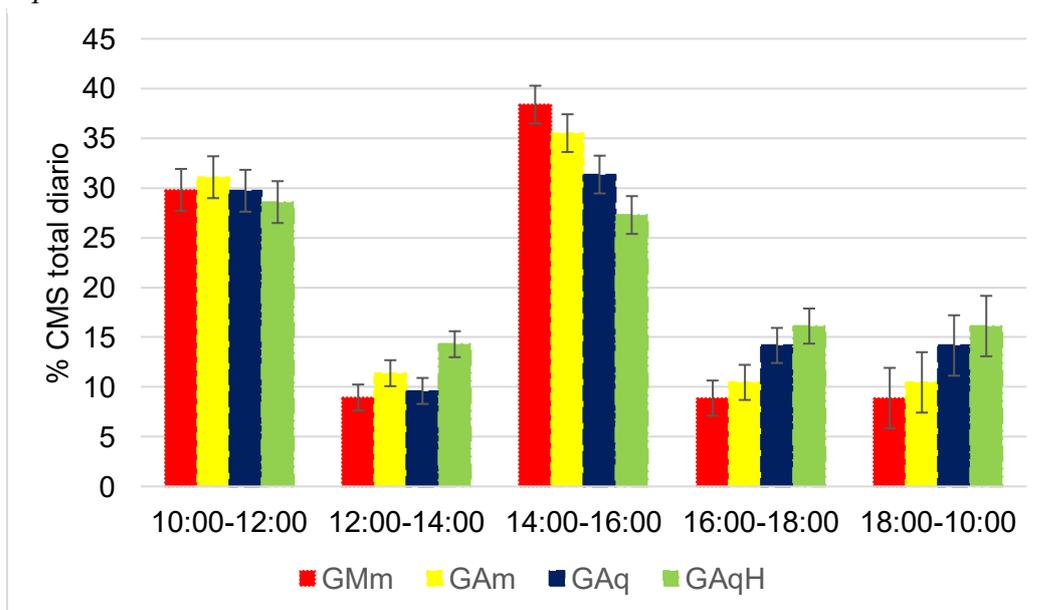
Patrón horario de consumo según tipo de dieta evaluado en la **semana 4** del experimento



Nota. GMm: grano de maíz molido; GAm: grano de arroz molido; GAq: grano de arroz quebrado; GAqH: grano de arroz quebrado húmedo.

### Figura 9

Patrón horario del consumo según tipo de dieta evaluado en la **semana 8** del experimento

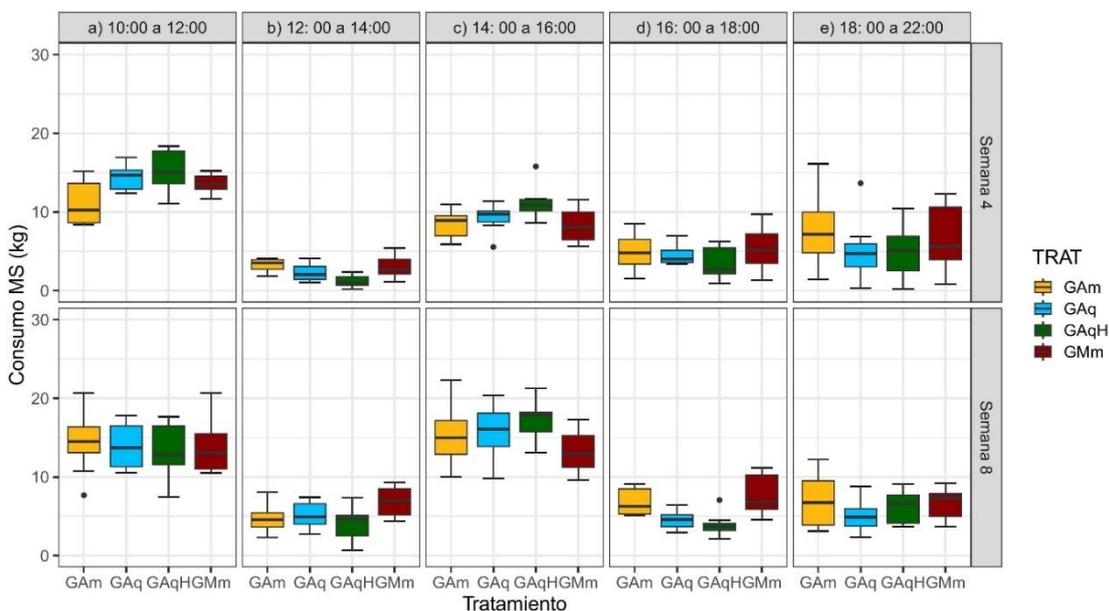


En cuanto al patrón de consumo de los animales expresado en kg de MS, se puede observar en la figura 10, como común denominador para todos los tratamientos, que el mayor consumo fue en torno a los dos momentos en que se suministró el alimento (10 y 14 hrs), quedando en evidencia el estímulo que genera el ofrecer la RTM a los animales. Transcurridas dos horas desde el momento en que se ofreció el alimento se puede observar que el consumo decae de forma pronunciada lo que se puede asociar a restricciones tanto físicas como metabólicas censadas a nivel de pared ruminal que genera el efecto de saciedad, por lo tanto, se deprime el consumo y aumentan los episodios de rumia y descanso (Pordomingo et al., 2002).

Para evitar estos picos pronunciados en cuanto a consumo se podrían aumentar las instancias de suministro del alimento, lo que podría generar una estabilización en el consumo como también en el pH ruminal lo cual presenta beneficios en cuanto a performance (Kaufmann, 1976).

**Figura 10**

*Patrón de consumo expresado en Kg de materia seca*



## 5. DISCUSIÓN GENERAL

El consumo de MS no presentó diferencias significativas entre los tratamientos a lo largo de todo el experimento, ya sea expresado en kg/animal/día como en % de PV, por lo cual el consumo no se ve afectado ni por el tipo de grano ni su nivel de procesamiento o humedad.

Estos resultados no coinciden con los reportados en el trabajo de Weaver y Moffett (1937). Dichos autores, evaluando novillos en terminación la inclusión de GACC molido en sustitución del maíz, registraron un mayor consumo en los animales alimentados con GACC molido.

Por el lado de la digestibilidad, se puede observar que tanto para digestibilidad de la MS, digestibilidad de la MO y consumo de MS digestible, existieron diferencias significativas entre tratamientos, lo cual concuerda con la hipótesis planteada inicialmente. Por un lado, observamos diferencias debidas al tipo de grano, siendo el GMm superior al GAM, lo cual concuerda con los resultados reportados por Argenta (2015). Este autor compara grano de maíz, grano de avena y grano de arroz con cáscara, todos ellos enteros, presentando el grano de maíz la mayor digestibilidad. Para el grado de procesamiento, también se puede observar que afectó significativamente la digestibilidad, siendo el GAM superior al GAq. Con respecto al nivel de humedad, se puede observar que no hubo diferencias significativas para digestibilidad de la MS, digestibilidad de la MO y consumo de materia seca digestible entre GAq y GAqH.

Las diferencias en digestibilidad según el procesamiento, podrían deberse a que aquellos granos que están procesados, presentan una mayor superficie expuesta al ataque microbiano, cuanto mayor es el grado de procesamiento, el tamaño de partícula es más pequeño y esto, facilita el acceso y colonización microbiana aumentando la digestión en el rumen, abomaso e intestino (McAllister & Cheng, 1996).

Con respecto al nivel de humedad, se ha planteado que el grano cosechado húmedo presenta mayor degradabilidad ruminal y mayor digestión total del almidón con respecto al grano seco, ya que contiene menor cantidad de prolaminas, que son parte de la matriz proteica que envuelve los gránulos de almidón (Álvarez et al., 2001; Harrelson et al., 2009; Ladely et al., 1995).

En el presente experimento no se encontraron diferencias significativas de digestibilidad entre los tratamientos GAq y GAqH, lo cual podría estar explicado por el nivel de humedad del grano, el cual estaba en torno a un 20% y las diferencias en cuanto a digestibilidad se encuentran para granos cosechados y almacenados con 28-32 y hasta 35% de humedad, presentando estos tipos de granos, mayor digestibilidad ruminal y eficiencia alimenticia (Mendoza Martínez & Ricalde Velasco, 2015).

Estos resultados en cuanto a digestibilidad están sustentados por la bibliografía en donde se plantea que el procesamiento de los granos, puede mejorar eventualmente el grado, velocidad y sitio de digestión. Según McAllister y Cheng (1996), el procesamiento físico o molienda aumentan el grado y velocidad de digestión en el rumen, ya que ocurre la ruptura del pericarpo resistente, lo cual facilita y acelera la digestión.

Para el efecto semana y tratamiento x semana, se hallaron diferencias significativas para los tratamientos en las distintas variables comportamentales, lo cual podría estar explicado por factores climáticos como temperatura, humedad, y precipitaciones; estos resultados, tampoco concuerdan con la hipótesis planteada inicialmente.

Sería interesante evaluar a futuro el efecto de utilizar en la alimentación animal el grano de arroz con cáscara (GACC) con distintos niveles de humedad contrastantes para observar si existen diferencias entre los tratamientos en cuanto a digestibilidad.

## 6. CONCLUSIONES

En el engorde de novillos Hereford alimentados a corral con dietas con 20% de inclusión de fardo y totalmente mezcladas ofrecidas de forma *ad libitum*, es viable la sustitución parcial del grano de maíz (*Zea mays*) por grano de arroz con cáscara (*Oryza sativa*). La inclusión de GACC molido (45% de la dieta) en sustitución del grano de maíz molido, no afectó el CMS, pero redujo la DMS y consecuentemente el consumo diario de MS digestible. Lo mismos resultados se obtuvieron al sustituir el grano de arroz molido por grano de arroz quebrado o por grano de arroz quebrado húmedo.

Cuando se sustituyó GMm por GAm no se observaron cambios significativos en el comportamiento animal en corral. Esta respuesta no fue modificada por efecto del procesamiento del GACC (molido vs quebrado) o la humedad del grano (seco vs húmedo).

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, H. J., Santini, F. J., Rearte, D. H., & Elizalde, J. C. (2001). Milk production and ruminal digestion in lactating dairy cows grazing temperate pastures and supplemented with dry cracked corn or high moisture corn. *Animal Feed Science and Technology*, 91(3-4), 183-195. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00206-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00206-1)
- 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. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4361>
- Borneo, R. (2021, 2 de febrero). *Estructura del grano de maíz*. Química, ciencia y tecnología de los cereales. <https://cytcereales.blogspot.com/2021/02/estructura-del-grano-de-maiz.html>
- Callison, S. L., Firkins, J. L., Eastridge, M. L., & Hull, B. L. (2001). Site of nutrient digestion by dairy cows fed corn of different particle sizes or steam-rolled. *Journal of Dairy Science*, 84(6), 1458-1467.
- Campus Bovino. (2023). *¿Cómo conviene suministrar el grano de maíz en engorde a corral? - M.Sc. Sebastián Luis Riffel* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=WhZBEeRtrFk>
- CEA Consorcio de Ganaderos. (2017). *Procesamiento de granos en confinamiento - Pablo Guiroy* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=mLdUlvmnDZo&t=3263s>
- Conrad, H. R., Pratt, A. D., & Hibbs, J. W. (1964). Regulation of feed intake in dairy cows: I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *Journal of Dairy Science*, 47(1), 54-62. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(64\)88581-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(64)88581-7)
- Corrigan, M. E., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J., Luebbe, M. K., Vander Pol, K. J., Meyer, N. F., Buckner, C. D., Vanness, S. J., & Hanford, K. J. (2009). Effect of corn processing method and corn wet distillers grains plus solubles inclusion level in finishing steers. *Journal of Animal Science*, 87(10), 3351-3362. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1836>
- Cruse, T. (1910). *Feeding experiments with steers and hogs*. Texas Agricultural Experiment Station.
- de Blas, C., Rebollar, P. G., & Méndez, J. (1995). Utilización de cereales en dietas de vacuno lechero. En C. de Blas, P. G. Rebollar, J. Méndez, & G. G. Mateos (Eds.), *XI Curso de Especialización FEDNA: Avances en nutrición y alimentación animal* (pp. 48-67). Fundación FEDNA. [https://fundacionfedna.org/sites/default/files/95CAP\\_III.pdf](https://fundacionfedna.org/sites/default/files/95CAP_III.pdf)

- Decreto n° 178/010: *Sanidad animal: Establecimientos de engorde de bovinos a corral con destino a faena*. (2010). IMPO.  
<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/178-2010>
- Defoor, P. J., Galyean, M. L., Sayler, G. B., Nunnery, G. A., & Pearsons, C. H. (2002). Effects of roughage source and concentration on intake and performance by finishing heifers. *Journal of Animal Science*, 80(5), 1395-1404.
- de Melo, A. A. S., De Andrade Ferreira, M., Chaves Verás, A. S., De Andrade Lira, M., De Lima, L. E., Silva Pessoa, R. A., Valenca Bispo, S., Duarte Cabral, A. M., & Azevedo, M. (2005). Carozo de algodão como fonte de fibra e proteína em dietas à base de palma forrageira para vacas em lactação: Digestibilidade. *Animal Sciences*, 27(3), 355-362.
- Depetris, G. J. (2013). Valor nutricional del grano y ensilaje de maíz en la alimentación de bovinos para carne. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*, (67), 59-68. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47597>
- Dyer, A. J., & Weaver, L. A. (1955). *Corn substitutes for fattening cattle*. University of Missouri.
- Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”. (2023). *Annual climatological summary*. <http://meteorologia.eemac.edu.uy/NOAAPRYR.TXT>
- Forbes, J. M. (2007). *Voluntary food intake and diet selection in farm animals* (2<sup>nd</sup> ed.). CABI.
- Galyean, M. L., Wagner, D. G., & Owens, F. N. (1981). Dry matter and starch disappearance of corn and sorghum as influenced by particle size and processing. *Journal of Dairy Science*, 64(9), 1804-1812.
- Goi, L. J., Sánchez, L. M. B., Gonçalves, M. B. F., & Olivo, C. J. (1998). Tratamentos físicos do grão de aveia branca (*Avena sativa*) na alimentação de bovinos. *Ciência Rural*, 28(2), 303-307. <https://doi.org/10.1590/S0103-84781998000200021>
- Google. (2024). [EEMAC, Paysandú, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 15 de diciembre de 2024, de  
[https://www.google.com/maps/place/Estaci%C3%B3n+Experimental+%22Dr.+Mario+A.+Cassinoni%22-Facultad+de+Agronom%C3%ADa/@-32.3804054,-58.0555022,17z/data=!4m1!1m7!3m6!1s0x95afc887f7111fc9:0x10f4daa9d0f3061f!2sEstaci%C3%B3n+Experimental+%22Dr.+Mario+A.+Cassinoni%22-Facultad+de+Agronom%C3%ADa!8m2!3d-32.3804054!4d-58.0529273!16s%2Fg%2F11x98zyzw!3m5!1s0x95afc887f7111fc9:0x10f4daa9d0f3061f!8m2!3d-32.3804054!4d-58.0529273!16s%2Fg%2F11x98zyzw?entry=tту&g\\_ep=EgoyMDI1MDUxMy4xIKXMDSOASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/place/Estaci%C3%B3n+Experimental+%22Dr.+Mario+A.+Cassinoni%22-Facultad+de+Agronom%C3%ADa/@-32.3804054,-58.0555022,17z/data=!4m1!1m7!3m6!1s0x95afc887f7111fc9:0x10f4daa9d0f3061f!2sEstaci%C3%B3n+Experimental+%22Dr.+Mario+A.+Cassinoni%22-Facultad+de+Agronom%C3%ADa!8m2!3d-32.3804054!4d-58.0529273!16s%2Fg%2F11x98zyzw!3m5!1s0x95afc887f7111fc9:0x10f4daa9d0f3061f!8m2!3d-32.3804054!4d-58.0529273!16s%2Fg%2F11x98zyzw?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUxMy4xIKXMDSOASAFQAw%3D%3D)

- Harmon, D. L., & McLeod, K. R. (2005). Factors influencing assimilation of dietary starch in beef cattle. En Texas A&M University Agricultural Research and Extension Center (Ed.), *Plains Nutrition Council Meeting, Texas A&M University AREC 05-20* (pp. 69-89).  
<https://theplainsnutritioncouncil.com/web/wp-content/uploads/2019/10/2005-Plains-Nutrition-Council-proceedings1.pdf>
- Harrelson, F. W., Luebke, M. K., Meyer, N. F., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J., Jackson, D. S., & Fithian, W. A. (2009). Influence of corn hybrid and processing method on nutrient digestibility, finishing performance, and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 87(7), 2323-2332.  
<https://doi.org/10.2527/jas.2008-1527>
- Heuzé, V., Tran, G., & Hassoun, P. (2015). *Rough rice (paddy rice)*. Feedipedia.  
<https://feedipedia.org/node/226>
- Hill, T. M., Schmidt, S. P., Russell, R. W., Thomas, E. E., & Wolfe, D. F. (1991). Influence of supplemental fat and exogenous fibrolytic enzymes on digestive function and performance of finishing steers. *Journal of Animal Science*, 69(11), 4570-4576.
- Hoffman, P. C., Esser, N. M., Shaver, R. D., Coblenz, W. K., Scott, M. P., Bodnar, A. L., Schmidt, R. J., & Charley, R. C. (2011). Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2465-2474. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3562>
- Huntington, G. B., Harmon, D. L., & Richards, C. J. (2006). Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 84(suppl. 13), E14-E24.
- Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, & Association Française de Zootechnie. (2002). *Rice, paddy*.  
<https://www.feedtables.com/content/rice-paddy>
- Jones, L. H. P., & Handreck, K. A. (1967). Silica in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy*, 19, 107-149. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60734-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60734-8)
- Juliano, B. O. (1992). Structure, chemistry, and function of the rice grain and its fractions. *Cereal Foods World*, 37(10), 772-774.
- Kaufmann, W. (1976). Influence of the composition of the ration and the feeding frequency on pH regulation in the rumen and on feed intake in ruminants. *Livestock Production Science*, 3(2), 103-114.
- Ladely, S. R., Stock, R. A., Klopfenstein, T. J., & Sindt, M. H. (1995). High-lysine corn as a source of protein and energy for finishing calves. *Journal of Animal Science*, 73(1), 228-235. <https://doi.org/10.2527/1995.731228x>

- Latimer, G. (Ed.). (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19<sup>th</sup> ed.). AOAC International.
- Lichtenwalner, R. C., Ellis, E. B., & Rooney, L. W. (1978). Effect of incremental dosages of the waxy gene of sorghum on digestibility. *Journal of Animal Science*, *46*(5), 1113-1119.
- McAllister, T. A., & Cheng, K. J. (1996). Microbial strategies in the ruminal digestion of cereal grains. *Animal Feed Science and Technology*, *62*(1), 29-36.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J., & Morgan, C. (2013). *Nutrición Animal* (7<sup>a</sup> ed.). Acribia.
- Mendoza Martínez, G. D., & Ricalde Velasco, R. (2015). *Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Montiel, M. D., & Elizalde, J. C. (2004). Factores que afectan la utilización ruminal del grano de sorgo en vacunos. *Revista Argentina de Producción Animal*, *24*(1-2), 1-20.
- Moran, J. B. (1973). The performance of cattle fed crushed sorghum, and whole, crushed or dehulled rice grain based rations. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, *13*(63), 363-368.
- National Research Council. (1984). *Nutrient requirements of beef cattle* (6<sup>th</sup> ed.). National Academy of Science. <https://doi.org/10.17226/19398>
- National Research Council. (2016). *Beef Cattle Nutrient Requirements Model* (Version 1.0.37.22) [Software]. <https://nutritionmodels.com/beef.html>
- Offner, A., & Sauvant, D. (2004). Prediction of in vivo starch digestion in cattle from in situ data. *Animal Feed Science and Technology*, *111*(1-4), 41-56.
- Ørskov, E. R. (1986). Starch digestion and utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*, *63*(5), 1624-1633. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351624x>
- Owens, F., & Basalan, M. (2013). Grain processing: Gain and efficiency responses by feedlot cattle. En The Plains Nutrition Council (Ed.), *Proceedings of the 2013 Plains Nutrition Council Spring Conference* (pp. 76-100). <https://theplainsnutritioncouncil.com/web/wp-content/uploads/2019/10/2013-Plains-Nutrition-Council-proceedings.pdf>
- Philippeau, C., Landry, J., & Michalet-Doreau, B. (1998). Influence of the biochemical and physical characteristics of the maize on ruminal starch degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *46*(10), 4287-4291.
- Pordomingo, A. J. (2013). *Feedlot: Alimentación, diseño y manejo*. Sitio Argentino de Producción Animal. [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/invernada\\_o\\_engorde\\_a\\_corral\\_o\\_feedlot/187-inta\\_feedlot\\_2013.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/187-inta_feedlot_2013.pdf)

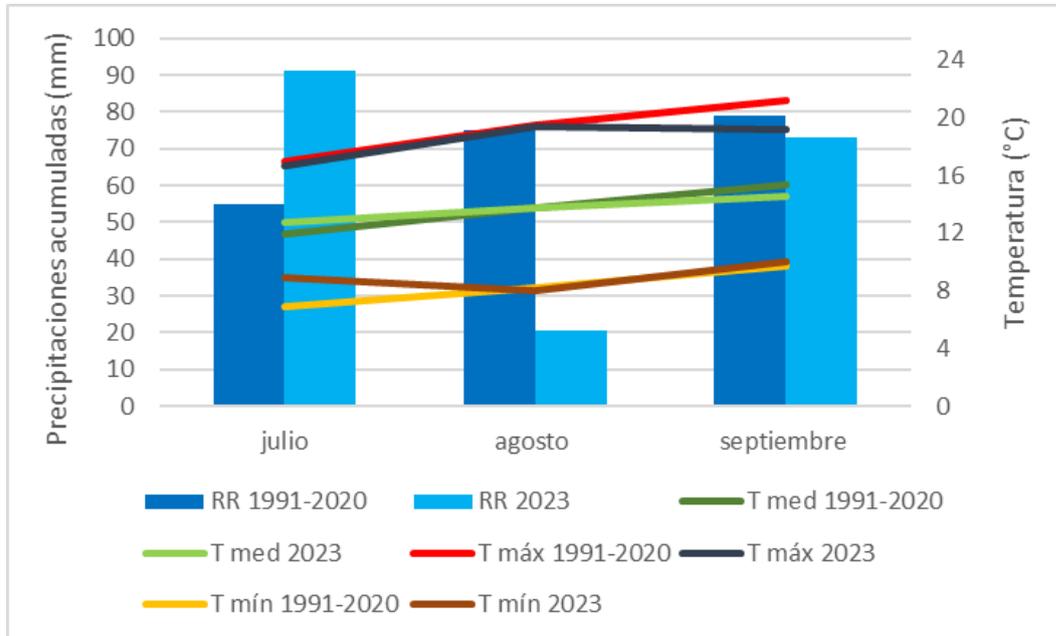
- Pordomingo, A. J., Jonas, O., Adra, M., Juan, N. A., & Azcárate, M. P. (2002). Evaluación de dietas basadas en grano entero, sin fibra larga, para engorde de bovinos a corral. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 31(1), 1-23. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3996801>
- Ramos, B. M. O., Champion, M., Poncet, C., Mizubuti, I. Y., & Nozière, P. (2009). Effects of vitreousness and particle size of maize grain on ruminal and intestinal in sacco degradation of dry matter, starch and nitrogen. *Animal Feed Science and Technology*, 148(2-4), 253-266. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.04.005>
- Rémond, D., Cabrera-Estrada, J. I., Champion, M., Chauveau, B., Coudure, R., & Poncet, C. (2004). Effect of corn particle size on site and extent of starch digestion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87(5), 1389-1399.
- Restle, J., Faturi, C., Pascoal, L. L., Rosa, J. R. P., Brondani, I. L., & Alves Filho, D. C. (2009). Processamento do grão de aveia para alimentação de vacas de descarte terminadas em confinamento. *Ciência Animal Brasileira*, 10(2), 497-503. <https://revistas.ufg.br/vet/article/view/3877>
- Richards, C. J., & Hicks, B. (2007). Processing of corn and sorghum for feedlot cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23(2), 207-221. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.05.006>
- Rooney, L. W., & Pflugfelder, R. L. (1986). Factors affecting starch digestibility with especial emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science*, 63(5), 1607-1623.
- Rowe, J. B., Choct, M., & Pethick, D. W. (1999). Processing cereal grains for animal feeding. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(6), 721-736.
- Simeone, A., Beretta, V., Burjel, V., Zabalveytia, N., Félix, E., Peñalva, S., & Ulery, S. (2024). Evaluación del uso de grano de arroz con cáscara (GACC) en la alimentación de ganado de carne. *Arroz*, (108), 50-55. <https://www.aca.com.uy/wp-content/uploads/2024/01/Evaluacion-del-uso-de-grano-de-rrroz.pdf>
- Snell, M. G., Bray, C. I., Morrison, F. L., & Jackson, M. E. (1945). *Fattening steers on corn, rice products, and rice straw*. Louisiana State University.
- Szasz, J. I., Hunt, C. W., Szasz, P. A., Weber, R. A., Owens, N., Kezar, W., & Turgeon, O. A. (2007). Influence of endosperm vitreousness and kernel moisture at harvest on site and extent of digestion of high-moisture corn by feedlot stress. *Journal of Animal Science*, 85(9), 2214-2221.
- Taylor, C. C., & Allen, M. S. (2005). Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: Site of digestion and ruminal digestion kinetics in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 88(4), 1413-1424. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72809-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72809-5)

- Theurer, C. B. (1986). Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, 63(5), 1649-1662.
- Theurer, C. B., Lozano, O., Alío, A., Delgado-Elorduy, A., Sadik, M., Huber, J. T., & Zinn, R. A. (1999). Steam-processed corn and sorghum grain flaked at different densities alters ruminal, small intestinal, and total tract digestibility of starch by steers. *Journal of Animal Science*, 77(10), 2824-2831.
- Van Barneveld, S. L. (1999). Chemical and physical characteristics of grains related to variability in energy and amino acid availability in ruminants. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(6), 651-666.
- Van Keulen, J., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287. <https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x>
- Van Lier, E., & Regueiro, M. (2008). *Digestión en Reticulo-Rumen*. Universidad de la República.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2<sup>nd</sup> ed.). Cornell University Press.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
- Weaver, L. A., & Moffett, H. C. (1937). *Rough rice for fattening cattle, sheep, and hogs*. University of Missouri.
- White, T. W., & Hembry, G. F. (1995). Rice in finishing beef diets. *The Professional Animal Scientist*, 11(1), 41-45.
- Williams, S. (Ed.). (1984). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (14<sup>th</sup> ed.). AOAC.

## 8. ANEXOS

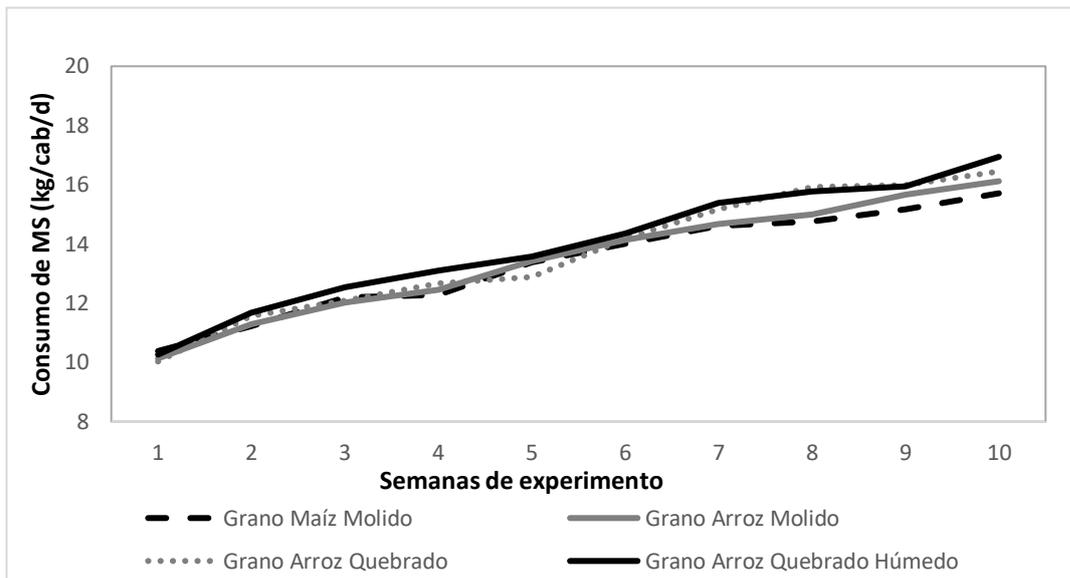
### Anexo A

*Temperaturas cardinales y precipitaciones de serie histórica y del año de experimento*



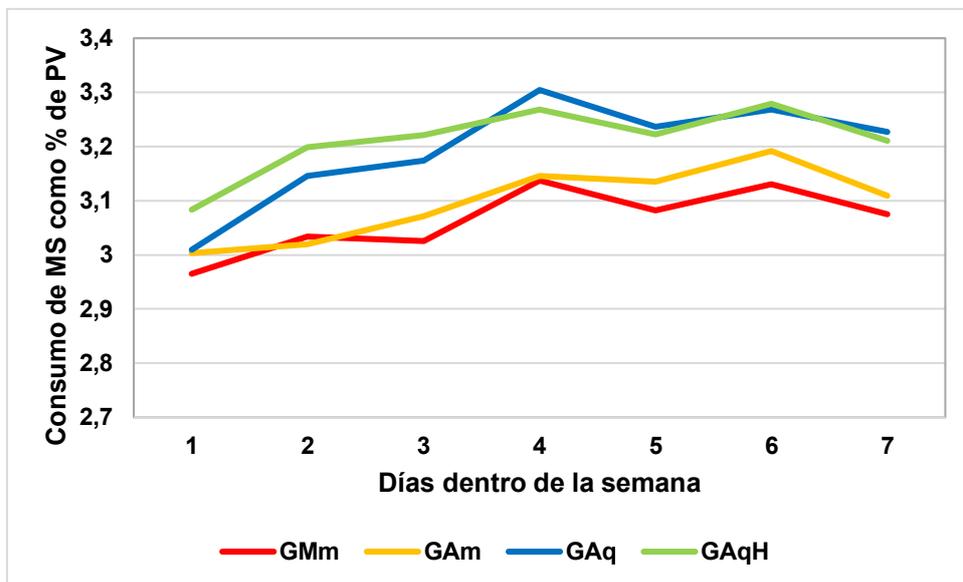
**Anexo B**

*Evolución del consumo expresado en Kg/MS a lo largo del experimento*



**Anexo C**

*Consumo de materia seca expresado como % de PV según día de la semana*



**Anexo D**

*Distribución horaria del consumo de materia seca expresado como % del total consumido*

<b>Tratamientos</b>	<b>10-12hrs</b>	<b>12-14hrs</b>	<b>14-16hrs</b>	<b>16-18 hrs</b>	<b>18-10hrs</b>
<b>GMm</b>					
Semana 4	42,14 a (±2,10)	3,33 (±1,31)	30,99 (±1,89)	9,86 (±1,76)	13,67 (±3,04)
Semana 8	29,82 (±2,10)	8,94 (±1,31)	38,39 a (±1,89)	8,88 (±1,76)	13,97 (±3,04)
<b>GAm</b>					
Semana 4	40,64 ab (±2,10)	6,38 (±1,31)	26,18 (±1,89)	12,69 (±1,76)	14,09 (±3,04)
Semana 8	31,08 (±2,10)	11,39 (±1,31)	35,52 ab (±1,89)	10,46 (±1,76)	11,54 (±3,04)
<b>GAq</b>					
Semana 4	31,24 b (±2,10)	9,13 (±1,31)	23,86 (±1,89)	13,96 (±1,76)	21,81 (±3,04)
Semana 8	29,72 (±2,10)	9,60 (±1,31)	31,36 ab (±1,89)	14,17 (±1,76)	15,14 (±3,04)
<b>GAqH</b>					
Semana 4	36,85 ab (±2,10)	8,05 (±1,31)	22,59 (±1,89)	14,36 (±1,76)	18,14 (±3,04)
Semana 8	28,58 (±2,10)	14,3 (±1,31)	27,29 b (±1,89)	16,12 (±1,76)	13,70 (±3,04)