

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL GRANO DE MAÍZ POR GRANO DE ARROZ CON
CÁSCARA EN RACIONES DE ENGORDE DE VACUNOS: EFECTO DEL
PROCESAMIENTO Y NIVEL DE HUMEDAD DEL GRANO SOBRE LA GANANCIA
DE PESO Y EFICIENCIA DE CONVERSIÓN**

por

**Mariana BASSAGAISTÉGUY DUPETIT
Arantxazú IRURUETA IGLESIAS**

**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 – Compartir igual**”



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

Ing. Agr. (PhD) Álvaro Simeone

Codirectora:

Ing. Agr. (PhD) Virginia Beretta

Tribunal:

Ing. Agr. (PhD) Álvaro Simeone

Ing. Agr. (PhD) Stefanía Pancini

Dr. Vet. (PhD) Juan Franco

Fecha:

21 de mayo de 2025

Estudiantes:

Mariana Bassagaistéguy Dupetit

Arantxazú Irurueta Iglesias

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias y amigos, por el apoyo incondicional a lo largo de esta carrera.

A los tesisistas de la Unidad Intensiva de Producción de Carne con los que convivimos en la EEMAC por el tiempo compartido y por hacer más ameno el trabajo de campo.

Al personal de la EEMAC, por su ayuda durante todo el período experimental.

A nuestros tutores, Ing. Agr. Virginia Beretta, Ing. Agr. Álvaro Simeone e Ing. Agr. Victoria Burjel por el apoyo técnico y la orientación brindada para llevar a cabo este trabajo.

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.....	11
2.1. GRANO DE ARROZ CON CÁSCARA.....	11
2.1.1 Estructura del grano, composición química y características nutricionales..	11
2.1.2 Antecedentes del uso de grano de arroz con cáscara en raciones para vacunos	12
2.2 APOORTE DE ENERGÍA EN GRANOS.....	15
2.2.1 Almidón.....	15
2.2.2 Granos de verano más utilizados en dietas para feedlot.....	16
2.2.3. Efectos del procesamiento del grano	18
2.2.4. Humedad del grano	19
2.3. VARIABLES QUE AFECTAN LA PERFORMANCE ANIMAL	21
2.3.1. Consumo y digestibilidad	21
2.3.2. Ganancia media diaria y eficiencia de conversión.....	21
2.4. HIPÓTESIS	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL	22
3.2 CLIMA	22
3.3 INFRAESTRUCTURA	22
3.4 ANIMALES	22
3.5 ALIMENTOS.....	22
3.6 TRATAMIENTOS	23
3.7 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	23
3.7.1 Período de acostumbramiento	23
3.7.2 Período experimental.....	24
3.8 MANEJO SANITARIO	24
3.9 REGISTROS, MEDICIONES Y MUESTREOS	24
3.9.1 Peso vivo y altura de anca	24
3.9.2 Consumo de materia seca	24

3.9.3 Caracterización del aporte de fibra efectiva en la dieta	25
3.10 VARIABLES CALCULADAS	25
3.10.1 Ganancia media diaria	25
3.10.2 Eficiencia de conversión	25
3.11 ANÁLISIS QUÍMICO	25
3.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	25
4. RESULTADOS	27
4.1 REGISTROS CLIMÁTICOS	27
4.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA	27
4.3 CRECIMIENTO ANIMAL	28
4.4 CONSUMO	29
4.5 EFICIENCIA DE CONVERSIÓN	30
5. DISCUSIÓN	32
5.1 CONDICIONES AMBIENTALES	32
5.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS RACIONES EXPERIMENTALES	32
5.3 PERFORMANCE ANIMAL	33
5.3.1 EFECTO DEL TIPO DE GRANO	33
5.3.2 EFECTO DEL PROCESAMIENTO	34
5.3.3 RESPUESTA CON GRANO HÚMEDO	35
5.4 DISCUSIÓN GENERAL	35
6. CONCLUSIÓN	36
7. BIBLIOGRAFÍA	37
8. ANEXOS	42

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla n.

Tabla 1 <i>Composición química del arroz paddy y degradabilidad</i>	12
Tabla 2 <i>Resultados del experimento</i>	12
Tabla 3 <i>Efecto de tratamientos sobre la performance animal</i>	15
Tabla 4 <i>Proporción de amilosa y amilopectina para diferentes granos</i>	16
Tabla 5 <i>Composición química del maíz</i>	17
Tabla 6 <i>Composición química del sorgo</i>	18
Tabla 7 <i>Procesamiento y digestibilidad del almidón del grano de maíz y sorgo</i>	19
Tabla 8 <i>Composición de las RTM experimentales</i>	23
Tabla 9 <i>Composición del núcleo</i>	23
Tabla 10 <i>Composición química de las raciones experimentales</i>	28
Tabla 11 <i>Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento, peso final, ganancia media diaria y altura final</i>	28
Tabla 12 <i>Efecto de los tratamientos sobre consumo de materia seca, semana y la interacción entre ambos</i>	29
Tabla 13 <i>Efecto de los tratamientos sobre consumo de materia seca, semana y la interacción entre ambos</i>	31

Figura n.

Figura 1 <i>Temperatura media y precipitación promedio mensual para los meses experimentales y la serie histórica 1991-2020</i>	27
Figura 2 <i>Evolución del peso vivo (kg) a lo largo del período experimental para cada tratamiento</i>	29
Figura 3 <i>Evolución del consumo de materia seca (kg/a/d) a lo largo del período experimental para cada tratamiento</i>	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) en Paysandú, Uruguay, desde el 24 de junio hasta el 2 de octubre. El objetivo fue evaluar el efecto de la sustitución parcial del grano de maíz molido en la dieta por grano de arroz con cáscara (GACC) con diferente grado de procesamiento y nivel de humedad sobre la performance animal de novillos en engorde alimentados a corral. Para ello se describieron las curvas de crecimiento, se cuantificó la ganancia de peso vivo y la eficiencia de conversión para cada tratamiento. Se trabajó con 48 novillos de raza Hereford, provenientes del rodeo experimental de la EEMAC, nacidos en la primavera de 2022, con un peso promedio inicial 363.7 ± 17.8 kg. Se asignaron a cuatro bloques según peso vivo y posteriormente se asignaron al azar a cuatro tratamientos, siendo cada tratamiento una ración totalmente mezclada (RTM), resultando en un total de 16 grupos de tres animales cada uno, cada grupo fue asignado a un corral y cada tratamiento quedó integrado por cuatro corrales, siendo cada uno una unidad experimental. Las cuatro RTM presentaban relación voluminoso/concentrado 20/80, difiriendo el tipo de grano (45% de maíz molido 14% de humedad o 45% de GACC molido con 14% de humedad), el nivel de procesamiento (45% de GACC quebrado 14% humedad), y el nivel de humedad (45% de GACC quebrado con 77% MS). La sustitución del grano de maíz por grano de arroz con cáscara en la dieta de novillos tuvo efecto sobre la eficiencia de conversión cuando se comparó nivel de procesamiento y nivel de humedad. La eficiencia de conversión (EC) para la RTM con GACC molido fue de 6.48 kg MS/ kg PV y para GACC quebrado 6.94 kg MS / kg PV, mejorando un 7% a menor tamaño de partícula y para la RTM con GACC quebrado húmedo el resultado fue 6.36 kg MS / kg PV, mejorando en un 8% la eficiencia de conversión a mayor contenido de humedad en el grano. Sobre la ganancia media diaria (GMD) y el consumo de materia seca (CMS) no se generaron cambios significativos, registrándose promedios de 1.98 ± 0.09 kg/d para la GMD y 3.14 ± 0.07 %PV para el CMS. Esto indica que, en dietas a corral, el GACC podría presentar un potencial uso como fuente de energía.

Palabras clave: corral de engorde, novillo, grano de arroz con cáscara, procesamiento, nivel de humedad

SUMMARY

The experiment was conducted at the Intensive Meat Production Unit (UPIC) of the “Dr. Mario A. Cassinoni” Experimental Station (EEMAC) in Paysandú, Uruguay, from June 24 to October 2. The objective was to evaluate the effect of partially replacing ground corn grain in the diet with rice grain with hulls (GACC) of different processing levels and moisture content on the performance of feedlot-finished steers. Growth curves were described, and live weight gain and feed conversion efficiency were quantified for each treatment. The study involved 48 Hereford steers from the EEMAC experimental herd, born in spring 2022, with an initial average weight of 363.7 ± 17.8 kg. The animals were assigned to four blocks according to live weight and then randomly allocated to four treatments. Each treatment consisted of a total mixed ration (TMR), resulting in 16 groups of three animals each. Each group was housed in a separate pen, and each treatment was made up of four pens, each considered an experimental unit. All four TMRs had a forage-to-concentrate ratio of 20/80, differing in the type of grain (45% ground corn at 14% moisture or 45% ground GACC at 14% moisture), processing level (45% cracked GACC at 14% moisture), and moisture content (45% cracked GACC with 77% dry matter). The replacement of corn grain with rice grain with hulls in the steers' diet affected feed conversion efficiency when comparing processing level and moisture content. The feed conversion efficiency (FCE) for the TMR with ground GACC was 6.48 kg DM/kg BW, and for cracked GACC it was 6.94 kg DM/kg BW—representing a 7% improvement with smaller particle size. For the TMR with wet cracked GACC, the result was 6.36 kg DM/kg BW, showing an 8% improvement in feed conversion efficiency with higher grain moisture content. There were no significant changes in average daily gain (ADG) or dry matter intake (DMI), with averages recorded at 1.98 ± 0.09 kg/day for ADG and 3.14 ± 0.07 %BW for DMI. This indicates that, in feedlot diets, GACC could have potential as an energy source.

Keywords: feedlot, steer, rice bran, processing, moisture level

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente el cultivo de arroz ha sido un componente básico de la dieta humana a nivel mundial, Uruguay presenta este producto como el quinto más exportado del país con una participación del 5% del total (Uruguay XXI, 2023).

En los últimos años, el rubro ha presentado algunas dificultades debido a la disminución del precio del arroz elaborado, aumentando las exportaciones del grano sin valor agregado, es decir sin procesar.

Debido a esta problemática, se plantea una inquietud en relación al valor nutricional del grano de arroz con cáscara (GACC), como ingrediente de raciones para vacunos. La información sobre el uso de este producto en la alimentación de ganado de carne es escasa, siendo lo más utilizado para alimentación animal subproductos de la industria arrocera como el afrechillo y la cáscara de arroz, sin embargo, debido a la dificultad económica de agregar valor al producto podría justificarse su utilización en el uso de este para alimentación animal.

En el año 2023 en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC), Felix et al. (2023) realizaron una investigación la cual tuvo como objetivo principal caracterizar el valor nutritivo del GACC como ingrediente en las raciones de recría de terneras utilizadas en la alimentación a corral. En este trabajo se utilizaron cuatro raciones totalmente mezcladas que presentaban diferentes niveles crecientes de inclusión de GACC en sustitución de grano de sorgo, con una inclusión máxima del 45%, lo cual no generó cambios significativos en el consumo, la ganancia de peso ni la eficiencia de conversión.

No obstante, surge la interrogante en cuanto a la respuesta esperada cuando el GACC sustituye al grano de maíz molido como principal fuente de energía en dietas de terminación de vacunos alimentados a corral, así como la respuesta a cambios en el procesamiento y en el nivel de humedad del GACC.

En tal sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución del grano de maíz molido en la dieta por GACC con diferente grado de procesamiento y nivel de humedad sobre la performance de novillos en engorde alimentados a corral. Se busca describir las curvas de crecimiento en cada tratamiento, cuantificar la ganancia de peso vivo y la eficiencia de conversión del alimento. Disponer de estos coeficientes técnicos, contribuirá a la toma de decisión en cuanto a la viabilidad bioeconómica de uso del GACC en raciones de engorde para vacunos en terminación.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. GRANO DE ARROZ CON CÁSCARA

En climas templados, el arroz cultivado se considera una planta anual, semi-acuática, de día corto y sin requerimientos de vernalización (Paredes et al., 2021).

El grano de arroz con cáscara o *paddy* refiere al grano cosechado provisto de su cubierta exterior o cáscara (Decreto n° 544/987, 1987).

El arroz es uno de los principales componentes de la dieta global debido a su alta concentración de almidón, siendo una excelente fuente de energía para el consumo humano (Argenta, 2015), existen pocos antecedentes sobre el uso de este alimento en dietas de rumiantes. El GACC se clasifica como un alimento energético al igual que el maíz, pero debido a la alta cantidad de fibra en la cáscara presenta un menor valor nutritivo ya que esta genera un efecto de dilución de la concentración del almidón.

2.1.1 Estructura del grano, composición química y características nutricionales

La estructura está formada por dos brácteas, una externa (lemma), otra interna (pálea) y la cariopsis o cariósipide que corresponde al fruto. En el grano maduro, la lemma y la pálea están unidas y encierran la cariopsis (Paredes et al., 2021).

La cáscara constituye 20% del peso total del grano, el salvado 10% y el arroz blanco pulido un 70%, este último es el endospermo en el que está contenido principalmente el almidón (Paredes et al., 2021), caracterizado por ser duro y vítreo a la vez (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [FEDNA], s.f.).

Dentro del GACC la principal fuente de fibra se encuentra en la cáscara, mientras que el salvado se compone de proteínas y lípidos. En cuanto al endosperma, este contiene amiloplastos en los cuales se alojan los gránulos de almidón (Juliano, 1992).

Cabe destacar que la cáscara de arroz presenta en su composición sílice (Prada & Cortés, 2010), esto podría afectar la digestibilidad del alimento ya que reduce la actividad de los microorganismos ruminales encargados de degradar los carbohidratos (Jones & Handreck, 1967).

En la tabla 1 se presenta la composición química del grano de arroz con cáscara, conocido industrialmente como arroz paddy.

Tabla 1*Composición química del arroz paddy y degradabilidad*

Parámetro	% en base seca
Materia seca	88
Proteína cruda	8.5
Extracto etéreo	2.5
Cenizas	5.8
FDN	26.4
FDA	13.5
Almidón	64.3
Degradabilidad del almidón	68
Degradabilidad N	69
Digestibilidad de la materia seca	57
PNDR (%PC)	29

Nota. Adaptado de INRAE et al. (s.f.b).

2.1.2 Antecedentes del uso de grano de arroz con cáscara en raciones para vacunos

En Luisiana, EEUU, Snell et al. (1945) realizaron un experimento durante tres años, con novillos de engorde comparando la alimentación con maíz molido, grano de arroz con cáscara molido, arroz pulido, salvado de arroz y arroz usado para alimentación de pollos. La dieta además contenía paja de arroz como forraje y harina de semilla de algodón como fuente de proteína. El estudio se realizó en novillos de raza Hereford y Angus con un peso promedio de 230 kg. Se evaluó el consumo de alimento, ganancia de peso vivo.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en este trabajo, éstos reflejan una superioridad del grano de maíz en cuanto ganancia de peso, con la menor cantidad de alimento requerido, seguido por el tratamiento de arroz pulido y arroz con cáscara molido que también obtuvieron buenas ganancias y eficiencias. El arroz para alimentación de pollos y el salvado de arroz tuvieron las ganancias más bajas.

Tabla 2*Resultados del experimento*

Alimento o tratamiento	Ganancia media diaria (kg/d)	EC (kg concentrado/kg PV)
Maíz molido	1.15	4.37
GACC molido	1.08	4.68
Arroz pulido	1.09	4.62
Salvado de arroz	0.86	5.84
Arroz para alimentación de pollos	0.95	5.28

Nota. Adaptado de Snell et al. (1945).

En términos relativos al valor del alimento, como resultado de los tres años, el grano de arroz pulido y el arroz con cáscara molido obtuvieron los mejores resultados, representando aproximadamente el 87% y el 85% del valor alimenticio del maíz,

respectivamente. Con respecto a arroz para pollos el valor relativo fue de 73% y el salvado de arroz obtuvo el menor resultado, siendo este 66% del valor del maíz.

Dyer y Weaver (1955) realizaron en la Estación Experimental Agrícola de Missouri un experimento donde se evaluaron diferentes granos como sustitutos del grano de maíz utilizado como alimento para engorde de ganado, en este experimento se utilizó trigo, cebada, avena y arroz con cáscara molido.

Según Dyer y Weaver (1955), se alimentaron dos lotes de ganado, uno con maíz, como fuente de energía, harina de algodón y harina de soja, como fuente de proteína, mientras que el otro lote, fue alimentado con arroz con cáscara, harina de algodón y harina de soja. Esta alimentación se suministró dos veces por día a ganado de raza Hereford. En cuanto a los resultados, se obtuvo que el ganado alimentado con maíz ganó 1 kg por día, mientras que los animales alimentados con arroz con cáscara obtuvieron ganancias diarias de 0.8 kg, por lo que se requiere un 25% más de arroz por cada 50 kg de ganancia. Los autores concluyen que la alimentación con maíz garantiza ganancia y grado de carcasa superiores a la alimentación con arroz, pero como este no presentó características desfavorables, si su precio es lo suficientemente competitivo, puede reemplazar al maíz de manera efectiva.

En la Estación Experimental Agrícola de Louisiana, White y Hembry (1995) llevaron a cabo una serie de experimentos para comparar el valor alimenticio del grano de arroz con cáscara y pulido con respecto al del maíz y sorgo.

El primero de estos, un experimento *in situ* de 24 horas, reveló que el arroz en las primeras etapas de ingreso al rumen se degrada más lentamente que el maíz, pero al cabo de 24 horas, esto se revierte (White & Hembry, 1995).

Según los autores, en el segundo experimento se comparó la digestibilidad de dietas con 72% de maíz o de arroz blanco. La energía digestible fue similar en las dos dietas, pero la proteína cruda digestible fue menor ($p < 0.05$) en la dieta con arroz.

En otro de los ensayos se utilizaron seis novillos Angus por tratamiento, para comparar dietas de 100:0, 50:50 y 0:100 de grano de sorgo y arroz con cáscara, respectivamente. Los novillos alimentados con esta última dieta engordaron más rápido y acumularon más grasa en la duodécima costilla (White & Hembry, 1995).

En cuanto al último experimento de los autores nombrados, involucró 60 novillos asignados de forma aleatoria a cinco dietas, la porción de grano en las diferentes dietas fue de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100% de maíz y de arroz blanco, respectivamente. Las ganancias fueron similares para todas las dietas, excepto la dieta 50:50, para lo cual no hay explicación excepto por la menor ingesta de materia seca ($p < 0.05$). Estos resultados sugieren que el arroz blanco es similar al maíz para la terminación del ganado vacuno.

Por último, según White y Hembry (1995), en cuanto a los resultados generales se obtuvo que el maíz y el arroz blanco pulido son similares en cuanto a contenido de proteína, pero el arroz presenta menor contenido de extracto etéreo y fibra. En el caso del arroz con cáscara, tiene mayor contenido de extracto etéreo y fibra debido a la cáscara y al salvado. La degradación ruminal de la materia seca fue mayor para maíz (70.2 vs 66.9) y de la proteína cruda fue menor en maíz que en arroz (42.3 vs 58.8).

Más recientemente, Argenta (2015) realizó un estudio con novillos y vaquillonas cruza de las razas Charolés y Nelore, con un peso inicial promedio de 310 y 350 kg respectivamente, terminados en un sistema de confinamiento. En este estudio evaluó el efecto de tres dietas que consistían en grano entero de maíz, GACC o avena enteros (85%), más 15% de un núcleo proteico, sobre el peso final, la ganancia media diaria, y la eficiencia de conversión.

Según Argenta (2015), los resultados reflejaron para la variable de peso final, una superioridad de maíz y avena sobre el GACC, en lo que respecta a la ganancia media diaria, la dieta en base a GACC obtuvo ganancias de 0.71 kg, mientras que para el maíz y avena se reportan ganancias de 1.3 y 1.07 kg, respectivamente. En cuanto a la eficiencia de conversión (EC), los animales suplementados con GACC presentaron una EC de 11.15:1, en contraste con maíz y avena, que tuvieron EC mejores y similares, con valores de 6.07 y 7.99 kg de peso vivo por kg de materia seca consumida, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) en el consumo de materia seca entre los tratamientos, así como tampoco en los consumos de proteína bruta. Para el autor, este resultado fue el esperado ya que la dieta presentaba similar porcentaje de proteína bruta. El consumo de extracto etéreo (EE) tuvo diferencias significativas entre los tratamientos, siendo mayor en avena, seguido por maíz y arroz. Estos resultados se atribuyen a los contenidos de EE de la dieta, por lo que se observa que los animales no presentaron restricciones en su consumo a causa del contenido de EE presentes en la dieta (Argenta, 2015).

A nivel nacional, Felix et al. (2023) realizaron un experimento en la UPIC donde se evaluó el GACC como ingrediente en raciones de recría para vacunos manejados en confinamiento. Se llevó a cabo con 32 terneras de raza Hereford de peso promedio de 272 kg, los tratamientos fueron cuatro raciones totalmente mezcladas (RTM) sin fibra larga, elaborados en base a grano de sorgo molido difiriendo en el nivel de inclusión del GACC en sustitución del grano de sorgo. Las proporciones fueron 0:45, 15:30, 30:15 y 45:0 GACC y grano de sorgo respectivamente. Los resultados obtenidos del consumo de materia seca no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, el CMS aumentó a medida que los animales ganaron peso, sin encontrarse variaciones dependientes del nivel de inclusión de GACC. El consumo de materia seca digestible tuvo una respuesta lineal negativa a la inclusión de GACC, atribuido a la disminución de la digestibilidad de la materia seca, ambas con diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto a las demás variables evaluadas, ganancia media diaria, peso vivo, y eficiencia de conversión no se observaron diferencias significativas debido al nivel de inclusión del GACC.

A continuación, en la tabla 3 se presenta el efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta en dicho trabajo.

Tabla 3*Efecto de tratamientos sobre la performance animal*

Variable	Tratamientos			
	0% GACC	15% GACC	30% GACC	45% GACC
CMS (kgMS/d)	7,38	7,54	7,39	7,70
CMSD (kgMS/d)	5,60	5,20	4,48	4,84
GMD (kg/d)	1,16	1,13	1,00	1,17
PVf (kg)	351	349	339	357
EC	6,66	6,83	7,65	6,61

Nota. Materia seca (CMS), ganancia media diaria (GMD), peso vivo final (PVf) y eficiencia de conversión (EC). Adaptado de Felix et al. (2023).

2.2 APOORTE DE ENERGÍA EN GRANOS

2.2.1 Almidón

El almidón es el principal componente energético de los cereales, este es un homopolisacárido formado por amilosa y amilopectina. La capacidad de aporte de energía de los granos está determinada principalmente por el porcentaje de almidón que estos contienen, en el caso de trigo 77% de la MS es de almidón, sorgo y maíz 72%, y en cebada y avena aproximadamente un 57% es almidón (Huntington, 1997).

El almidón está presente en el endospermo del grano en forma de gránulos, de acuerdo a la estructura y disposición de estos gránulos, el endospermo puede ser harinoso o córneo (McDonald et al., 2006). Estas diferencias en el endospermo explican en parte las diferencias en cuanto a la digestión, ya que el endospermo harinoso es más susceptible a este proceso, en este caso, los gránulos están rodeados de una matriz proteica discontinuada con proteínas de fácil digestión, a diferencia del endospermo vítreo o córneo, donde la matriz proteica es continua y está formada por proteínas de difícil digestión, por lo tanto es menos accesible para el ataque de los microorganismos que actúan en este proceso (Huntington, 1997).

La proporción de amilosa y amilopectina influye sobre la digestibilidad de los granos. La amilopectina es la fracción soluble en agua, mientras que la amilosa presenta cierta dificultad para diluirse. Por lo tanto, cuanto mayor amilosa presente en los gránulos, menor será la digestibilidad. Además de la proporción de estas moléculas en los granos, el procesamiento de estos afecta la disponibilidad del almidón, por lo tanto se modifica la capacidad de digestión (Montiel & Elizalde, 2004a). En la Tabla 4 se presentan las proporciones de amilosa y amilopectina para diferentes granos.

Tabla 4*Proporción de amilosa y amilopectina para diferentes granos*

Grano	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Arroz	18	82
Maíz	24	76
Sorgo	25	75

Nota. Adaptado de Haaland (1980).

2.2.2 Granos de verano más utilizados en dietas para feedlot

2.2.2.1 Maíz

El maíz es uno de los principales granos utilizados en la alimentación animal por su alto aporte energético, siendo este de 4.45 mcal/kg (Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement [INRAE] et al., s.f.a). Posee alta palatabilidad atribuido al contenido de extracto etéreo y por este motivo es una de las fuentes de energía más utilizadas en la formulación de raciones tanto para rumiantes como para no rumiantes. Con respecto al contenido proteico generalmente no excede el 10% (Aldrich & Leng, 1974).

El grano de maíz está compuesto por cuatro partes: endospermo, germen, pericarpio y pedicelo (Hoseney, 1991). El endospermo representa la mayor parte del peso seco del grano, aproximadamente 83% y está conformado principalmente por almidón (88%). En lo que respecta al germen, representa el 11% del grano aproximadamente y es donde se encuentra la mayor parte de los lípidos y minerales del grano, además contiene proteínas y azúcares. El pericarpio constituye aproximadamente el 5% del grano, está compuesto por celulosa y hemicelulosa principalmente. El pedicelo es la única parte del grano que no está cubierta por el pericarpio, corresponde al 2% del grano (Paes, 2006).

En el endosperma se distinguen dos fracciones, una de tipo córneo, que se encuentra en la periferia del grano, éste es duro y resistente. Los gránulos de almidón están rodeados por una matriz proteica densa y continua. La otra fracción se encuentra en el centro del grano, el almidón es de tipo harinoso, los gránulos son mayores y están rodeados por una matriz proteica discontinua y más laxa (Minetti et al., 2019).

En la tabla 5 se presenta la composición química del maíz.

Tabla 5
Composición química del maíz

Parámetro	% en base seca
Materia seca	86.3
Proteína cruda	8.8
Ácidos grasos totales	4.1
Cenizas	1.4
FDN	12.4
FDA	3.1
Almidón	73.9
Degradabilidad del almidón	61
PNDR (%PC)	65.3

Nota. Adaptado de INRAE et al. (s.f.a).

2.2.2.2. Sorgo

El sorgo es un cultivo rústico que se adapta a diferentes tipos de suelo, debido a su menor requerimiento de humedad. Es más eficiente en el uso de agua que el maíz, debido a su particular sistema radicular (Irigoyen & Perrachon, 2007).

El grano de sorgo, presenta endosperma periférico y matriz proteica, esto genera que este sea de menor calidad en comparación con el grano de maíz. Sin embargo, dada la rusticidad del cultivo y su gran adaptabilidad a los diferentes suelos del país, hacen que sea un grano más accesible (Montiel & Elizalde, 2004b). Este grano, está compuesto por pericarpio, embrión y endospermo, al igual que los otros granos. Como se mencionó anteriormente, el sorgo, además de endosperma vítreo y harinoso, posee un endosperma periférico, el cual es muy resistente a la degradación enzimática debido a que tiene gránulos de almidón muy pequeños y mayor proteína (Rooney & Pflugfelder, 1986). Entre 70 a 80% de la MS del grano de sorgo es almidón (Montiel & Elizalde, 2004b).

Algo característico del grano de sorgo, es la presencia de taninos, estos son sustancias polifenólicas que se encuentran en la testa de los granos de sorgo y son responsables de caracteres agronómicos deseables tales como resistencia del grano al deterioro ambiental, al almacenamiento y al daño por hongos. Pero al mismo tiempo, los taninos condensados tienen un impacto negativo en el grano de sorgo como alimento, ya que presentan efectos antinutricionales. Dichos efectos incluyen la disminución de la digestibilidad de los componentes químicos del grano (Montiel & Elizalde, 2004b).

En la tabla 6 se presenta la composición química del sorgo.

Tabla 6
Composición química del sorgo

Parámetro	% en base seca
Materia seca	87.8
Proteína cruda	10.6
Ácidos grasos totales	3.3
Cenizas	2.1
FDN	11.1
FDA	4.3
Almidón	73.6
Degradabilidad del almidón	62

Nota. Adaptado de INRAE et al. (s.f.c).

2.2.3. Efectos del procesamiento del grano

El procesamiento de los granos se realiza con el fin de incrementar el valor nutricional de estos, el cual está determinado por su contenido nutricional, características físicas y químicas que afectan su digestibilidad. Los procesamientos mejoran la digestibilidad sin causar problemas digestivos (Zinn et al., 2011, como se cita en Corona & Mendoza, 2016). En general, el efecto del procesamiento sobre el aprovechamiento digestivo del grano se relaciona con la alteración que provoca en la estructura del mismo (Owens, s.f.).

El almidón es la principal fuente de energía utilizada en dietas de rumiantes, por lo tanto, la utilización de este es fundamental para que la producción sea eficiente. La estructura, composición del almidón y sus interacciones con proteínas son los principales factores que determinan la digestibilidad del grano. Con el procesamiento se puede aumentar la utilización del almidón y con esto el valor nutritivo de los granos (Corona & Mendoza, 2016).

La digestibilidad del almidón se explica mayormente por el tipo de almidón y el procesamiento que se realice sobre los granos, mediante los cuales se afecta la tasa de fermentación y el sitio de digestión (Pordomingo et al., 2002).

Existen diversos métodos de procesamiento, estos pueden ser molido, quebrado, ensilado, extrusado, entre otros (Camps & González, 2003). El método más común es el molido, debido a que es el más económico y simple. En cuanto al quebrado, consiste en pasar el grano a través de rodillos acanalados y el tamaño de partícula varía de grueso a fino (Corona & Mendoza, 2016).

Gracias al procesamiento se puede maximizar el aprovechamiento de los granos, debido a la resistencia que oponen las cubiertas que rodean al almidón al ataque de la flora ruminal, lo que resulta en una reducción de su digestibilidad (Ustarroz & De León, 2004). El partido o molido del grano, disminuye el tamaño de partículas, lo que incrementa la digestibilidad parcial y total (Ustarroz & De León, 2004). Este aumento se da por un incremento en la energía disponible en rumen y por un aumento en la eficiencia de la flora microbiana ruminal que aumenta la proteína microbiana en el duodeno (Poore et al., 1993).

En la tabla 7 se presenta la digestibilidad del almidón en los distintos sitios de digestión para maíz y sorgo bajo diferentes tipos de procesamiento.

Tabla 7

Procesamiento y digestibilidad del almidón del grano de maíz y sorgo

Grano	Procesamiento	Digestibilidad del almidón en los distintos sitios de digestión (% flujo)			
		Rumen	Intestino delgado	Intestino grueso	Tracto total
Maíz	Entero	58,9	-	33,3	-
	Partido	68,9	46,7	55,5	87,0
	Aplastado	71,8	53,7	37,2	93,2
	Molido	78,0	56,3	40,0	93,2
	Ensilado	86,0	76,4	55,0	94,6
	Vapor	82,8	88,1	61,9	97,8
Sorgo	Aplastado	67,8	40,0	33,3	86,4
	Ensilado	86,2	69,2	29,5	93,6

Nota. Adaptado de Santini y Elizalde (1993, como se cita en Ustarroz & De León, 2004).

Los diferentes granos responden de manera distinta al procesamiento. El trigo y la cebada no tienen un gran beneficio del procesamiento, en comparación a maíz y sorgo. Esto es debido a la tasa de degradación del almidón de los granos de invierno, la cual es más rápida, por lo que no es necesario realizar un procesamiento, mientras que para sorgo y maíz se aumenta la tasa de digestión y con esta su valor energético (Corona & Mendoza, 2016). Debido a la estructura del grano de sorgo, este es el que presenta mayor respuesta al procesamiento (Huntington, 1997); Beretta y Simeone (2014) reportan que se da un aumento de entre 5% y 7% en la eficiencia de conversión al moler el grano fino con respecto al molido grueso.

2.2.4. Humedad del grano

El grano húmedo es cosechado luego de alcanzar la madurez fisiológica con una humedad entre 23 y 40% y es conservado sin secar en condiciones de anaerobiosis (Bartaburu, 2003).

La utilización de grano húmedo en lugar de grano seco mejora la digestibilidad total del almidón, aumentando así su utilización por parte de los animales (Rovira & Velazco, 2012).

Nunes et al. (2019), en un experimento realizado en Alegrete, Río Grande do Sul Brasil, estudiaron la reducción de la calidad de los granos de arroz con cáscara durante el almacenamiento en diferentes condiciones de humedad y temperatura, con el objetivo de mejorar las condiciones durante este período y así poder conservar la calidad física y fisiológica de los granos durante el almacenamiento. Se evaluó durante 180 días, a 15, 25 y 30 °C y a 12, 16 y 20 % de humedad. Las mediciones se realizaron al inicio y cada 45 días a lo largo del período de evaluación.

Se observó que a mayores temperaturas de almacenamiento (35 °C), se genera una mayor disminución del contenido de humedad del grano, que en almacenamientos a menor temperatura (Nunes et al., 2019). Según Ríos et al. (2003), un alto contenido de agua durante el almacenamiento es una de las principales causas de la pérdida de calidad de los granos.

Se evaluó la conductividad eléctrica de los granos, la cual en todas las temperaturas almacenadas aumentó, pero en mayor medida en la conservada a 35 °C. Esta característica es determinante de la calidad del grano, ya que cuanto mayor es la conductividad quiere decir que más se ha dañado la membrana y la pared celular, la cual puede ser provocada por daño mecánico o térmico (Coradi et al., 2014).

El peso volumétrico, disminuyó en mayor medida en los almacenamientos con mayor humedad y temperatura, lo cual indica que ocurrió el proceso de respiración y como consecuencia de este, un mayor consumo de las reservas de nutrientes (Coradi et al., 2014).

Como conclusión de este experimento, el secado de los granos previo al almacenamiento, proporciona una mejor calidad, en las temperaturas más bajas. La interacción de altas temperaturas y mayor contenido de humedad deriva en mayor reducción de la calidad de los granos durante el almacenamiento (Coradi et al., 2014).

Existe un método de conservación que permite cosechar el grano con alto contenido de humedad y conservarlo de forma que no pierda su valor nutritivo. El grano se cosecha con humedad entre 23 y 40% y se conserva sin secado previo en condiciones de anaerobiosis (Scarpitta, 2008). A los granos cosechados con humedad alrededor de 14% se los denomina grano seco (Ustarroz & De León, 2004).

Al igual que el procesamiento, el grano húmedo cambia el sitio de digestión e incrementa la digestibilidad total y por consiguiente aumenta la concentración energética. También, el aumento en el contenido de humedad en el grano hace que se genere una disminución del consumo manteniendo similar respuesta animal, lo que genera aumentos en la eficiencia de conversión entre 5 y 10% (Ustarroz & De León, 2004).

Se ha comprobado que el ensilado de grano húmedo de maíz suele presentar una mayor digestibilidad que el grano de maíz seco (Tyrrell & Varga, 1984, como se cita en Baxter et al., 1984). Se indica que la degradabilidad ruminal del almidón proveniente del grano húmedo de maíz es mayor que la del maíz seco y similar a la de la cebada. Esta mayor degradabilidad ruminal se produce como consecuencia de la mayor cantidad de agua en el grano, lo que altera las uniones hidrogenadas del almidón, originando una masa más amorfa. El aumento de este amorfismo de los gránulos de almidón incrementa el grado de solubilidad del mismo en el rumen o la tasa de penetración y digestión bacteriana (Nocek et al., 1987). Esto proveería una mayor cantidad de energía rápidamente disponible para las bacterias del rumen, lo cual aumenta la eficiencia de utilización del N liberado por la urea, mejorando la performance animal.

2.3. VARIABLES QUE AFECTAN LA PERFORMANCE ANIMAL

2.3.1. Consumo y digestibilidad

El consumo es una de las variables más importantes que influyen sobre la performance animal, ya que afecta directamente el producto final. Este factor está muy relacionado con la digestibilidad de la dieta, ya que según los valores de esta varía el consumo, debido a que se ven modificados los factores que regulan el mismo, tales como el peso vivo, peso metabólico y digestibilidad (Conrad et al., 1964).

En la alimentación a corral lo más frecuente es que la dieta sea suministrada *ad libitum*, es decir que no se limita el consumo, de esta forma no se generan períodos de ayuno que puedan derivar en que los animales presenten un sobreconsumo y posteriores problemas digestivos. Además de esta forma se disminuye la competencia entre animales (Simeone et al., 2019). Mediante este sistema de alimentación y con un ajuste de la cantidad de alimento suministrado para que el rechazo de alimento no sea excesivo, se puede alcanzar niveles óptimos en la performance animal (Galyean, 1999; Schwartzkopf-Genswein & Gibb, 2000, como se citan en Schwartzkopf-Genswein et al., 2003).

2.3.2. Ganancia media diaria y eficiencia de conversión

La ganancia de peso es la capacidad de acumular tejido y agua en un determinado período de tiempo, este período, en general es diario e influye en gran medida sobre el rendimiento de los animales, ya que a mayores ganancias diarias mayores rendimientos, este parámetro varía conforme se modifiquen las fibras musculares y la acumulación de grasa extra e intramuscular (Pérez García, 2024).

La eficiencia de conversión es la relación entre la cantidad de materia seca ingerida por unidad de ganancia de peso adicional, esta variable hace referencia a la capacidad de producción de un animal con el alimento que consume (Di Marco, 2004, 2006).

La EC se ve afectada por varios factores, como ser la edad, sexo, biotipo y ganancia de peso (Simeone et al., 2019). En cuanto a dichos factores, la edad del animal influye de manera significativa, ya que a medida que avanza, la eficiencia de conversión empeora, por lo que la categoría más eficiente son los terneros. En cuanto al sexo, los machos son más eficientes que las hembras, debido a que estas últimas depositan mayor cantidad de tejido graso que muscular, lo cual conlleva mayor gasto energético (Simeone et al., 2019).

El consumo y la ganancia de peso determinan la eficiencia de conversión y en conjunto con los precios de compra y venta de ganado determinan la rentabilidad de los corrales de engorde. Otra variable que influye sobre el resultado económico del feedlot son los precios de los granos ya que se relacionan con los kg de alimento consumidos y afectan el valor económico de la eficiencia de conversión (Elizalde, 2015).

2.4. HIPÓTESIS

Cuando se sustituye grano de maíz molido por GACC en una RTM de terminación de novillos en confinamiento, el tipo de grano, su procesamiento y nivel de humedad afectan la ganancia media diaria y la eficiencia de conversión del alimento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El experimento fue llevado a cabo en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) en la Estación Experimental “Dr. Mario Cassinoni” (EEMAC) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, ubicada en el departamento de Paysandú en el litoral noroeste del Uruguay. Tuvo una duración de 101 días, desde el 24 de junio hasta el 2 de octubre, donde los primeros 23 días correspondieron a la fase de acostumbramiento y los restantes 78 días a la fase experimental.

3.2 CLIMA

El clima para los meses que comprenden el período experimental se caracterizó por presentar una temperatura media de 13.7°C, la temperatura máxima en promedio fue de 18.2°C y la mínima de 9.1°C. Las precipitaciones acumuladas en el período fueron de 242 mm, las cuales variaron entre un máximo de 91.2 mm en julio y un mínimo de 2.6 mm en agosto según lo registrado en la estación meteorológica de la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC, s.f.).

3.3 INFRAESTRUCTURA

Se utilizaron 16 corrales (123m², cada uno) con piso de tierra a cielo abierto, cada corral provisto con un comedero y un bebedero compartido para dos corrales con agua a voluntad (ver Anexo A). Los corrales estaban próximos a la manga donde se realizaron las tareas con el ganado. También se utilizaron balanzas manuales para el pesaje diario de los alimentos.

3.4 ANIMALES

Se trabajó con 48 novillos de raza Hereford, provenientes del rodeo experimental de la EEMAC, nacidos en la primavera de 2022. El peso promedio al inicio del período de acostumbramiento fue de 332.8 ± 17.8 kg.

3.5 ALIMENTOS

Se formularon cuatro raciones totalmente mezcladas, que presentaban una relación de 20% voluminoso y 80% concentrado. El voluminoso utilizado fue heno de moha, difiriendo las RTMs en las características del concentrado según: el tipo de grano (maíz o GACC), grado de procesamiento del GACC (molido vs quebrado) o el nivel de humedad (14% vs 23%) del mismo. En la tabla 8 se presenta la composición de ingredientes de las RTMs experimentales, calculados a partir de los resultados de la composición química de los alimentos (Anexo B). En la tabla 9 la composición del núcleo.

Tabla 8
Composición de las RTM experimentales

	RTM 1	RTM 2	RTM 3	RTM 4
Maíz molido	45	-	-	-
GACC molido	-	45	-	-
GACC quebrado	-	-	45	-
GACC húmedo	-	-	-	45
Núcleo	35	35	35	35
Heno de moha picado	20	20	20	20

Tabla 9
Composición del núcleo

Ingrediente	%
Afrechillo de trigo	48.6
Maíz molido	43.1
Urea	3.01
Insalmix feedlot	0.25
Carbonato de calcio	3.76
Sal común	1.25
Monensina 20%	0.03

3.6 TRATAMIENTOS

Al inicio del acostumbramiento los animales fueron asignados a cuatro bloques según peso vivo (PV) y posteriormente sorteados dentro del bloque a una de las cuatro RTMs experimentales ofrecidas, dando como resultado 16 grupos de 3 animales cada uno. Cada grupo fue asignado a un corral, quedando 4 corrales por tratamiento y siendo cada corral una unidad experimental.

- Peso promedio bloque 1: 377.6 ± 22.0 kg.
- Peso promedio bloque 2: 333.9 ± 16.0 kg.
- Peso promedio bloque 3: 314.2 ± 14.5 kg.
- Peso promedio bloque 4: 301.5 ± 14.8 kg.

3.7 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.7.1 Período de acostumbramiento

Durante el período de acostumbramiento los animales fueron introducidos gradualmente a las dietas experimentales. En este período se les ofreció ensilaje de sorgo a razón de 1.5% PV e incrementando 0.6 kg/animal/día la oferta de GACC húmedo durante los primeros 9 días. A partir del décimo día, se fue bajando el contenido de

ensilaje a razón de 1.5 kg/animal/día y se incluyó 0.5 kg/animal/día de ración de recría durante 5 días. Posteriormente se fue sustituyendo dicha ración por el núcleo y se cambió la fuente de fibra por heno de moha; tanto el núcleo como el heno se utilizaron en la RTM del período experimental. La última semana de acostumbramiento, se fue sustituyendo gradualmente el GACC húmedo por el correspondiente a cada uno de los tratamientos, es decir maíz molido, GACC seco molido, GACC seco quebrado y GACC húmedo quebrado. Al finalizar el acostumbramiento el suministro de alimento fue *ad libitum*.

3.7.2 Período experimental

Durante el periodo experimental el alimento fue suministrado *ad libitum* en dos comidas diarias, a las 10:00 y 15:00 h. Todos los alimentos fueron pesados por separado y mezclados manualmente dentro del comedero al momento del suministro. Se realizó diariamente lectura de comedero, previo al suministro de la primera comida, a efectos de asegurar la oferta *ad libitum*, si el comedero estaba cubierto en un 50% y con una altura de aproximadamente 1 cm se mantenía la misma cantidad ofrecida, de lo contrario el alimento era aumentado en un 5%. Durante el periodo experimental hubo agua limpia y fresca a disposición.

3.8 MANEJO SANITARIO

Al inicio del acostumbramiento se dosificaron los animales con Ricobendazole, un antiparasitario interno. Además, al inicio del período experimental, se aplicó Neumosán, indicada para la prevención de enfermedades respiratorias. Durante la fase experimental se aplicó cipermetrina, un antiparasitario externo por presencia de piojos en los animales.

3.9 REGISTROS, MEDICIONES Y MUESTREOS

3.9.1 Peso vivo y altura de anca

La altura del anca de los animales fue medida al inicio y fin del experimento con una regla centimetrada. El peso vivo individual se midió al inicio y cada 14 días durante el experimento. Los animales eran mezclados previamente y se pesaba con balanza electrónica (capacidad 2000 kg y precisión de 0.5 kg), sin ayuno previo y antes de la primera comida del día.

3.9.2 Consumo de materia seca

El consumo fue medido diariamente para cada corral como la diferencia de peso entre la materia seca ofrecida y la residual, la cual era pesada diariamente por corral antes del suministro de la primera comida.

Los alimentos ofrecidos y los rechazos fueron muestreados semanalmente y llevados a estufa de aire forzado a 60°C durante 48 horas para la determinación del contenido de materia seca. Luego, las muestras secas de los alimentos fueron molidas mediante un molino de martillo a 1mm de tamaño de partícula y conservadas para realizar análisis químico.

3.9.3 Caracterización del aporte de fibra efectiva en la dieta

En las semanas 4 y 8 se determinó el aporte de fibra efectiva del alimento ofrecido, utilizando el separador de partículas Penn State (Heinrichs & Jones, 2022). Las partículas quedan retenidas en las bandejas cribadas según su tamaño de partícula, la criba 1 es mayor a 19 mm, seguido por criba 2, desde 19 a 8 mm, criba 3 entre 8 y 1.18 mm y por último menor a 1.18 mm.

El factor de efectividad corresponde a la suma de los pesos de las partículas mayores a 1.18 mm. El porcentaje de FDN físicamente efectiva se obtiene multiplicando el factor de efectividad de la fibra por el contenido de FDN del alimento.

3.10 VARIABLES CALCULADAS

3.10.1 Ganancia media diaria

La ganancia media diaria (GMD) a lo largo del experimento se estimó como la regresión del peso vivo durante el período experimental.

3.10.2 Eficiencia de conversión

La eficiencia de conversión (EC) fue estimada para cada corral como el cociente entre el consumo promedio diario de materia seca de alimento y la ganancia media diaria durante el período experimental del grupo de animales.

3.11 ANÁLISIS QUÍMICO

A las muestras compuestas de alimentos ofrecidos realizadas a partir de las muestras tomadas semanalmente se les determinó el contenido de materia seca, cenizas, proteína cruda, fibra detergente neutra y fibra detergente ácida en el Laboratorio de Nutrición Animal y Evaluación de Alimentos de la Facultad de Agronomía.

Los análisis se determinaron de forma secuencial con equipos Fiber Analyzer 200, mediante la tecnología Ankom Technology Corporation (Fairport, N.Y) y según Van Soest et al. (1994).

La cuantificación del extracto etéreo se realizó por extracción con éter mediante la técnica Soxhlet (Latimer, 2012), la MS fue determinada por secado a 105 °C (Latimer, 2012), la proteína cruda se cuantificó mediante la técnica de Kjeldahl, la cual determina el contenido total de nitrógeno del alimento. El contenido de cenizas se obtuvo a través de una incineración de la muestra a 600°C (Latimer, 2012).

3.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La información experimental fue analizada según un diseño en bloque completos al azar, considerando como unidad experimental el corral integrado con 3 animales.

Para el análisis del peso vivo y estimación de la ganancia media diaria se utilizó un modelo de heterogeneidad de pendientes de medidas repetidas en el tiempo utilizando procedimiento Mixed de SAS, según el modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \gamma_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij} + \beta_1 d_k + \beta_1 \alpha_j d_k + \delta_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : es el peso vivo

β_0 es el intercepto

γ_i es el efecto del i-ésimo bloque de peso vivo (muy livianos, livianos, medios, pesados)

α_j es el efecto de la j-ésimo tratamiento (GMm, GACCm, GACCq, GACCqh)

ε_{ij} es el error experimental (entre animales)

β_1 es la pendiente promedio (ganancia diaria) del peso vivo en función de los días (d k)

$\beta_1 j$: pendiente del peso vivo en función de los días (d k) para cada tratamiento (α_j).

δ_{ijk} es el error de la medida repetida (dentro de animales)

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

$$Y_{ijklm} = \mu + \gamma_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij} + M_k + (\alpha M)_{jk} + \delta_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijklm} : variable de respuesta (consumo de materia seca, rechazo y alimento ofrecido)

μ : media poblacional

γ_i : es el efecto del i-ésimo bloque de peso vivo (1, 2, 3 y 4)

α_j es el efecto de la j-ésimo tratamiento (4, 3, 2 y 1)

ε_{ij} es el error experimental (entre animales)

M_k : Efecto relativo al m-ésimo momento de medición.

δ_{ijk} : Error experimental del i-ésimo tratamiento, j-ésima repetición y k-ésimo momento de medición.

Para las variables como peso y altura final, eficiencia de conversión de la dieta, 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 (altura final, consumo de materia seca, eficiencia de conversión y peso vivo)

μ : media poblacional

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

α_j es el efecto de la j-ésimo tratamiento (1, 2, 3)

ε_{ijk} es el error experimental

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 contraste ortogonales evaluando el efecto del tipo de grano (GMm vs. GACCm), el efecto del procesamiento (GACCm vs. GACCq) y el efecto del nivel de humedad (GACCq vs. GACCqh).

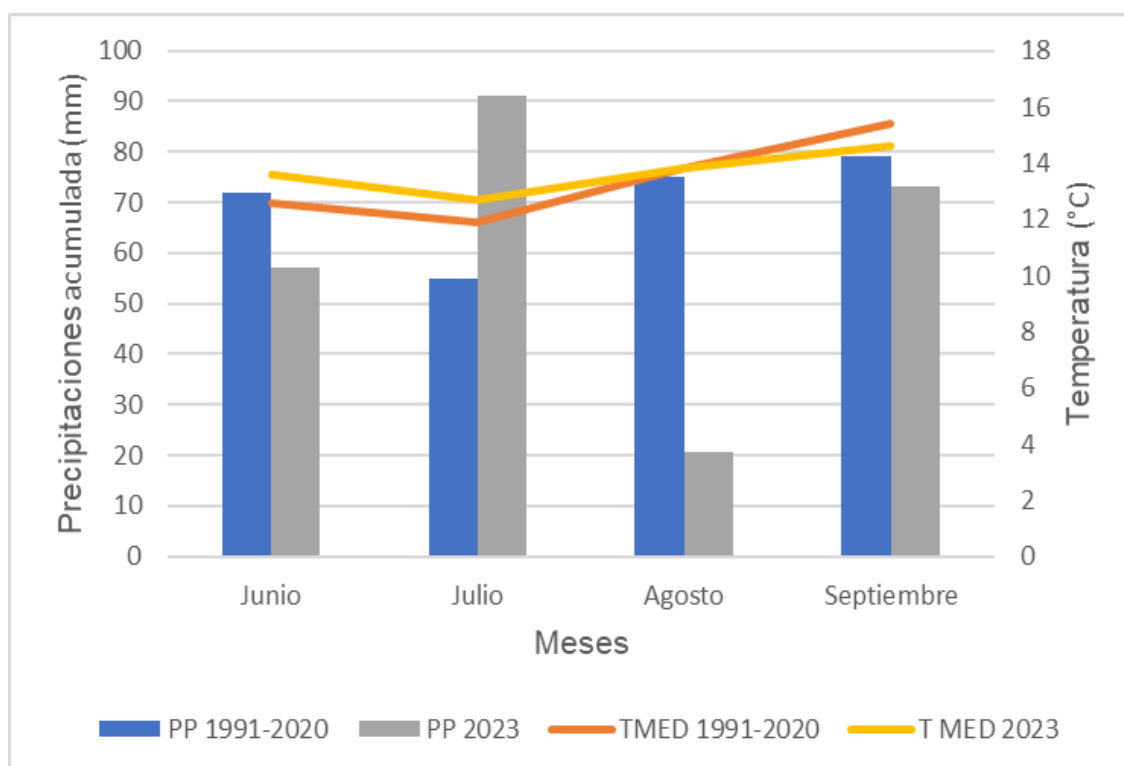
4. RESULTADOS

4.1 REGISTROS CLIMÁTICOS

En la figura 1 se presentan los datos climáticos del período experimental y la serie histórica 1991-2020.

Figura 1

Temperatura media y precipitación promedio mensual para los meses experimentales y la serie histórica 1991-2020



Nota. Adaptado del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, s.f.) y EEMAC (s.f.).

La temperatura media mensual registrada en los meses de junio y julio fue mayor a la temperatura promedio de la serie histórica (1991-2020) con diferencias de 1°C de 0.8°C, respectivamente. En agosto, ambos registros coincidieron y en septiembre la media del período fue mayor a la del año 2023 con una diferencia de 0.8°C.

En cuanto a las precipitaciones en junio, agosto y septiembre del 2023 fueron menores a las del rango histórico, en cambio en julio ocurrió lo inverso.

4.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

En la tabla 10 se presenta la composición química de la RTM utilizada en cada tratamiento.

Tabla 10*Composición química de las raciones experimentales*

Análisis	Tratamiento			
	GMm	GACCM	GACCq	GACCqH
MS %	91.3	91.0	91.3	91.3
Cenizas %	7.4	10.3	11.9	10.8
PC %	12.9	11.4	11.1	11.3
aFDNmo%	31.9	34.3	41.2	36.9
FDAmo%	10.53	14.6	19.2	18.5
EE %	3.9	2.3	2.4	2.8
CNE% ¹	43.9	41.6	33.4	38.3
FDNfe%	30.32	29.95	40.01	35.89

Nota. GMm: grano de maíz molido; GACCM: grano de arroz con cáscara molido; GACCq: grano de arroz con cáscara quebrado; GACCqH: grano de arroz con cáscara quebrado húmedo; MS: materia seca; PC: proteína cruda; aFDNmo: fibra detergente neutro con amilasa y corregida por cenizas; FDAmo: fibra detergente ácido corregida por cenizas; EE: extracto etéreo; CNE: carbohidratos no estructurales; FDNfe: fibra detergente neutro físicamente efectiva (ver Anexo C).

4.3 CRECIMIENTO ANIMAL

En la tabla 11 se presenta el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de los novillos, la ganancia media diaria (kg/día) y la altura final (cm) durante el período experimental, reportándose las medias por tratamiento. Se puede observar que las variables no fueron afectadas significativamente por los tratamientos.

Tabla 11*Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento, peso final, ganancia media diaria y altura final*

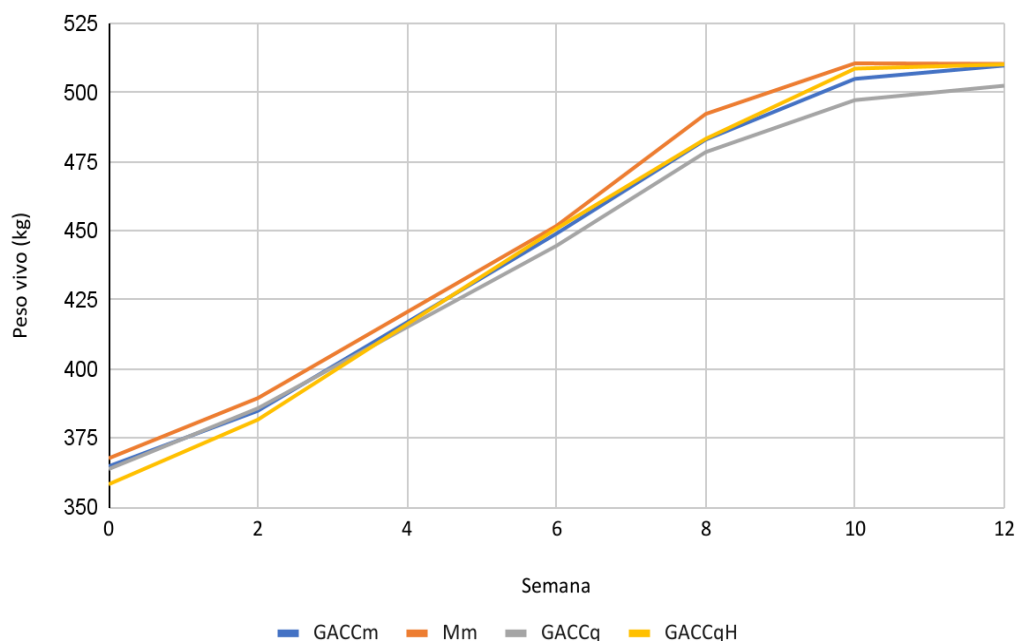
Variables	Tratamientos					P-valor
	GMm	GACCM	GACCq	GACCqH	EE	
Peso inicial (kg)	367.7	364.8	363.8	358.3	17.8	0.98
Peso final (kg)	510.4	509.8	502.5	510.2	5.2	0.67
GMD (kg/d)	1.98	1.98	1.88	2.09	0.08	0.50
Altura final (cm)	136.0	135.9	135.9	136.7	0.6	0.75

Nota. GMm: grano de maíz molido; GACCM: grano de arroz con cáscara molido; GACCq: grano de arroz con cáscara quebrado; GACCqH: grano de arroz con cáscara quebrado húmedo; GMD: ganancia media diaria; EE: error estándar; GM: grano de maíz GACC: grano de arroz con cáscara.

La Figura 2 describe para cada tratamiento la evolución de peso vivo durante el período experimental. La misma mostró una tendencia a una curva sigmoide, desde el inicio hasta la pesada número 5 se observa un incremento creciente y a partir de ese punto el incremento se da a tasas decrecientes y no se presentan diferencias entre las dietas. Como tendencia general, el maíz fue superior a los demás tratamientos, aunque desde el punto de vista estadístico las mediciones de peso vivo no presentaron diferencias significativas.

Figura 2

Evolución del peso vivo (kg) a lo largo del período experimental para cada tratamiento



Nota. GACCm: grano de arroz con cáscara molido; Mm: maíz molido; GACCq: grano de arroz con cáscara quebrado; GACCqH: grano de arroz con cáscara quebrado húmedo.

Los animales comenzaron con 363.7 ± 17.8 kg y alcanzaron 505.4 ± 7.4 kg al final del experimento, por lo tanto, ganaron 141.7 kg durante la fase experimental.

4.4 CONSUMO

En la tabla 12 se presenta el efecto de los tratamientos, la semana experimental y la interacción entre ambos factores, sobre el consumo de materia seca, expresados en kg de materia seca por animal por día y en porcentaje de peso vivo.

Tabla 12

Efecto de los tratamientos sobre consumo de materia seca, semana y la interacción entre ambos

Variable	GMm	GACCm	GACCq	GACCqH	P-valor			
					EE	T	S	TxS
CMS	13.36	13.49	13.67	13.95	0.37	0.71	<0.0001	0.0016
(kgMS/a/d)								
CMS (%PV)	3.06	3.10	3.19	3.21	0.07	0.43	<0.0001	0.0006

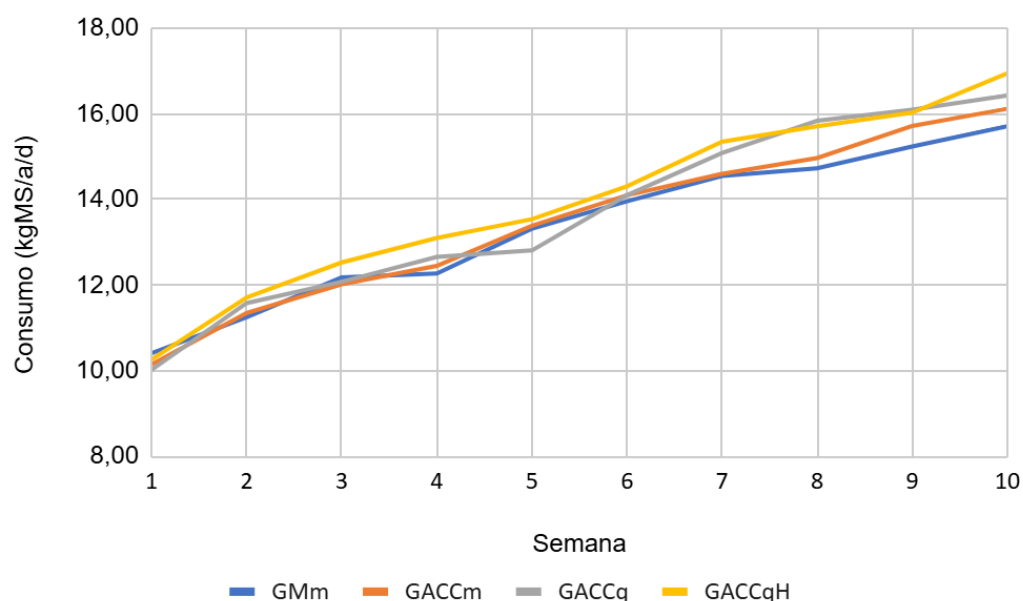
Nota. CMS: consumo de materia seca; T: tratamiento; S: semana, TxS: interacción tratamiento por semana.

Los rechazos, expresados como porcentaje del alimento ofrecido, no difirieron entre los tratamientos (p -valor = 0.26). Estos eran medidos diariamente mediante una lectura de comederos larga y ante niveles bajos se realizaba un aumento del 5% de los alimentos de la dieta, para asegurar que el suministro de la dieta fuera ad libitum. Para maíz se presentaron los valores de rechazo mayores (6.7% ofrecido), seguido por grano de arroz con cáscara quebrado (6.3 % ofrecido), luego el arroz molido (5.7% ofrecido) y el arroz húmedo presentó los menores rechazos (4.7 % ofrecido).

Como se puede ver en la tabla 12 no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para el consumo de materia seca promedio, tanto para el expresado en kg MS/animal/día como para el porcentaje de peso vivo, sin embargo, el efecto de tratamiento fue dependiente de la semana (TxS, $P < 0.05$, Figura 3), ya que el consumo aumentó conforme los animales aumentaron de peso vivo.

Figura 3

Evaluación del consumo de materia seca (kg/a/d) a lo largo del período experimental para cada tratamiento



Nota. GMm: maíz molido; GACCm: grano de arroz con cáscara molido; GACCq: grano de arroz con cáscara quebrado; GACCqH: grano de arroz con cáscara quebrado húmedo.

4.5 EFICIENCIA DE CONVERSIÓN

En la tabla 13 se presenta el efecto de los tratamientos sobre la eficiencia de conversión del alimento expresado en kg MS/ kg PV.

Tabla 13

Efecto de los tratamientos sobre consumo de materia seca, semana y la interacción entre ambos

Variable	GMm	GACCm	GACCq	GACCqH	P-valor			
					EE	T	S	TxS
EC (kgMS/kgPV)	6.27	6.48	6.94	6.36	0.10	0.01	-	-

Nota. EC: eficiencia de conversión; T: tratamiento; S: semana, TxS: interacción tratamiento por semana.

La eficiencia de conversión fue afectada muy significativamente por los tratamientos (p -valor = 0.006). Los contrastes de medias, estuvieron orientados a evaluar el efecto del tipo de grano comparando maíz y GACC a igual nivel de molienda e igual nivel de humedad, el efecto del nivel de procesamiento del GACC seco, y el efecto del nivel de humedad, en el GACC quebrado y con humedades de 9 y 20%. Los resultados mostraron que cuando se compara el tipo de grano no hay diferencias significativas (GMm vs GACCm: p -valor = 0.64). Para el nivel de molienda si se encontraron diferencias significativas (GACCm vs GACCq: p -valor = 0.02) al igual que para el nivel de humedad (GACCq vs GACCqH: p -valor = 0.01). El mayor nivel de molienda del GACC mejoró en un 7% la eficiencia de conversión del alimento respecto al uso del GACC quebrado, y utilizando GACC quebrado húmedo se mejoró un 8% la eficiencia de conversión respecto al quebrado y seco.

5. DISCUSIÓN

5.1 CONDICIONES AMBIENTALES

El clima afecta al ganado directa e indirectamente, ya que modifica la calidad y cantidad de alimentos disponibles, los requerimientos de agua y energía, la cantidad de energía consumida y el uso de ésta.

Los animales hacen frente a las condiciones adversas del clima mediante la modificación de mecanismos fisiológicos y de comportamiento para mantener su temperatura corporal dentro de un rango normal. Como consecuencia, es posible observar alteraciones en el consumo de alimento, comportamiento y productividad (Arias et al, 2008).

Barra (2005) define diferentes niveles de barro en el corral, siendo el nivel 1 piso seco, el nivel 2 cuando el animal entierra la pezuña y el nivel 3 cuando el barro cubre parte de las patas y dificulta su desplazamiento. Según este autor en un corral con un nivel 2 de barro, los animales experimentan una disminución en la eficiencia de conversión de 18%, mientras que en un nivel 3 la disminución es de un 39% con respecto al piso seco (nivel 1). Durante el período experimental, las precipitaciones no fueron excesivas por lo que se determinó un nivel 1 en el corral lo cual no habría afectado la performance animal.

Según La Manna y Martínez (2020) el mayor desempeño de los bovinos se da en condiciones de termoneutralidad, siendo esta dentro de 5 a 25°C. Teniendo en cuenta las temperaturas registradas durante el experimento, se puede afirmar que los animales se encontraron en una zona termoneutral y por lo tanto no estuvieron expuestos a estrés térmico.

5.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS RACIONES EXPERIMENTALES

De acuerdo con la información presentada en la tabla 10 la ración GMm presentó un mayor contenido de PC y de CHO no estructurales (CNE) con respecto a GACC independientemente del procesamiento y nivel de humedad. El GMm presentó 12.9% de PC y 43.9% de CNE, superiores a los observados en el GACCm (11.4% de PC y 41.6% CNE), el GACCq (11.1% de PC y 33.4% CNE) y el GACCqH 11.3% de PC y 38.3% de CNE.

En cuanto al contenido de cenizas, las RTM que incluyeron GACC presentaron mayor porcentaje de estas que la RTM con GMm, (11.0% vs 7.4%) esto puede explicarse por el alto contenido de sílice en la cáscara del arroz (Prada & Cortes, 2010)

El contenido de extracto etéreo fue mayor en el tratamiento con maíz (3.9%) con respecto a los tratamientos donde se utilizó GACC (2.5% en promedio), independientemente del procesamiento utilizado y contenido de humedad

El GACCq es el que presentó mayor contenido de FDN y FDA (41.2% y 19.2% respectivamente), con respecto a GACCm y GACCqH, lo cual podría estar explicado por el procesamiento y el nivel de humedad. Para el GMm el contenido de FDN es 31.9% y de FDA 10.53%.

En síntesis, la sustitución de GMm por GACCm kg a kg resultó en una disminución de 5.2% en el aporte de CNE (básicamente almidón), 41% en el de EE y

11.6% proteína, y un incremento 39.2% en el aporte de cenizas, probablemente asociado al elevado contenido de sílice de la cáscara del arroz, diluyendo el aporte de energía de la dieta con GACC.

Dado la composición química de las RTMs se esperaría que el tratamiento con GMm tenga mayor digestibilidad de la MS y eventualmente diferencias en cuanto al sitio de digestión del almidón dado que, la degradabilidad del almidón de maíz es menor que la degradabilidad del almidón de arroz, siendo 61% (INRAE et al., s.f.a) y 68% (INRAE et al., s.f.b), respectivamente. Según Haaland (1980), la mayor la relación amilopectina/amilosa en arroz respecto al maíz repercute en una mayor degradabilidad del almidón del arroz.

El GACC presenta un menor porcentaje de proteína cruda no degradable en rumen que el maíz (65,3 vs 29), lo que podría conferir a un desbalance de energía/proteína a nivel ruminal, generando un excedente de energía que no será aprovechada por los microorganismos del rumen. Este desbalance, caracterizado por un excedente de energía sin suficiente nitrógeno degradable, limita la síntesis de proteína microbiana, disminuyendo la eficiencia de utilización del alimento (McDonald et al., 2013).

5.3 PERFORMANCE ANIMAL

Los resultados observados ratifican parcialmente la hipótesis planteada en cuanto a los efectos esperados cuando se sustituye grano de maíz molido por GACCm y sometido a diferente procesamiento y nivel de humedad. Si bien no se observó efecto significativo estadísticamente sobre la ganancia media diaria, si hubo un efecto significativo del tratamiento sobre la EC del alimento.

Promediamente la GMD observada fue $1,98 \pm 0.08$ kg/d, superior a las reportadas por Simeone et al. (2008), para novillos en sistemas de engorde a corral entre 1.2 kg/d y 1.4 kg/d. Sin embargo, estos elevados valores fueron consistentes con los elevados consumos de materia seca observados (3.1% del PV) en comparación con lo que se registra regularmente en corrales de engorde (2,5% PV, según Simeone et al., 2011), y posiblemente atribuibles a que se realizó una lectura de comedero “larga” para asegurar que los animales se encontraban bajo régimen *ad libitum*.

La respuesta promedio del CMS no fue afectada por el tratamiento, sin embargo, se observó un efecto significativo de la interacción T×S, que eventualmente podría contribuir a explicar las diferencias observadas en la EC. Asimismo, en el presente trabajo se obtuvieron eficiencias de conversión en torno a 7:1, mejores a las reportadas por Simeone et al. (2008) siendo estas entre 8:1 y 9:1.

5.3.1 EFECTO DEL TIPO DE GRANO

La sustitución parcial del grano de maíz por granos de arroz con cáscara ambos molidos no generó diferencias significativas en cuanto al consumo de materia seca. Esta respuesta no era la esperada, ya que en el análisis de la composición química (Tabla 10) se puede observar que para el caso de GACC molido presenta un alto nivel de FDN, por lo que se esperaría una disminución en el consumo de materia seca ya que existe una correlación negativa entre estos, asociado a una menor tasa de digestión (McDonald et al., 1995).

En el presente trabajo tampoco se encontraron diferencias significativas en las variables ganancia media diaria ni eficiencia de conversión, lo cual no era lo esperado, ya que el grano de arroz presenta mayor digestibilidad del almidón respecto al maíz (68% vs 61%, INRAE et al., s.f.a, s.f.b), es probable que la presencia de sílice y alto contenido de FDN en la cáscara del arroz perjudique el aprovechamiento de este grano, afectando la eficiencia de conversión.

Snell et al. (1945) presenta similares resultados en cuanto a que no hay diferencias en la performance animal ante la sustitución de maíz por GACC, pero reporta menores ganancias diarias de peso y mejor eficiencia de conversión. Es posible que esto se deba a que en este trabajo se utilizaron animales con un menor peso vivo inicial. El aumento en el peso vivo y en el nivel de engrasamiento del animal se asocia con una reducción en la eficiencia de utilización de una misma oferta de energía metabolizable (Pordomingo, 2013). Las categorías más jóvenes son las que presentan mejor eficiencia de conversión (Pordomingo, 2013), debido a las diferentes proporciones de tejido producido conforme avanza la edad de animal (Di Marco, 1998).

En el trabajo de Dyer y Weaver (1955) se encontraron diferencias en cuanto a eficiencia de conversión, se obtuvo una superioridad de un 25% en la alimentación con maíz sobre arroz. Esto podría estar explicado por las diferencias a nivel de consumo y ganancias, presentando mayores consumos y menores ganancias en el caso de la dieta de arroz, lo que afecta la eficiencia de conversión. A diferencia del presente estudio, en el cual no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables analizadas, no se puede afirmar que el maíz tenga una superioridad sobre el GACC molido.

Argenta (2015) reporta menores ganancias medias diarias y peores valores de eficiencia de conversión para el GACC respecto de maíz, cabe destacar que, en este trabajo, los granos fueron ofrecidos enteros, lo que afecta a la performance animal, principalmente en el caso de arroz, ya que la cáscara de este tiene altos contenidos de sílice y lignina que afectan la digestibilidad del grano.

A partir del análisis de los contrastes de las medias ortogonales, en cuanto al efecto de tipo de grano, se observa que realizando un esfuerzo por lograr el mismo nivel de molienda entre ambos granos no se encuentran diferencias en la eficiencia de conversión.

5.3.2 EFECTO DEL PROCESAMIENTO

En el presente trabajo no se encontraron diferencias en cuanto a la ganancia media diaria, pero en cuanto a la eficiencia de conversión, si se detectaron diferencias a favor del arroz con un mayor nivel de molienda. Esta respuesta es consistente con antecedentes revisados como Ustarroz y De León (2004) y Poore et al. (1993) los cuales describen que a niveles de procesamiento más intensivos se presenta una mayor exposición del almidón, lo que permite un mayor ataque de los microorganismos presentes en el rumen aumentando la degradabilidad y utilización del grano y con esto el valor nutritivo (Corona & Mendoza, 2016). Moran (1973) encontró una superioridad en la ganancia diaria de peso (0,46 vs 0,94 kg/d) y en la eficiencia de conversión (12,02 vs 7,21 kg MS/kgPV) de toros alimentados con una dieta con 84% de grano de arroz con cáscara partido respecto a grano de arroz con cáscara entero.

Entre los tratamientos GACCq y GACCm no se observaron diferencias significativas en cuanto al consumo de MS, lo cual no era lo esperado, ya que, a mayor nivel de molienda, se daría una mayor fermentación ruminal y una mayor tasa de fermentación determinan una mayor producción de AGV (Pordomingo, 2013). Esto genera un menor consumo debido a que en el rumen existen reguladores del consumo que captan un incremento en la producción de AGV y esto determina saciedad del animal y por lo tanto el consumo se detiene (Marichal et al., 1999).

5.3.3 RESPUESTA CON GRANO HÚMEDO

El nivel de humedad del arroz mejoró la eficiencia de conversión para GACC quebrado húmedo respecto al GACC quebrado seco ($P < 0.0035$) representando un incremento de 8,4%. Esta respuesta se corresponde con lo esperado según Nocek et al. (1987), los granos con mayor cantidad de agua tienen un mayor grado de solubilidad, lo que se traduce en mayor degradabilidad ruminal, ya que se ve favorecido el desarrollo de la flora microbiana que aporta mayor proteína microbiana al animal. Según Poore et al. (1993) los tratamientos que aumentan la degradación ruminal producen un aumento directo sobre la disponibilidad de energía para el animal. Según Baldi et al. (2008) se evidencian aumentos en la eficiencia de conversión entre 5 a 10% cuando se utilizan granos húmedos, lo que concuerda con los resultados que fueron obtenidos en este trabajo.

Un factor a tener en cuenta ante la inclusión de grano de arroz con cáscara húmedo a una RTM es el nivel de humedad, ya que niveles fuera de los óptimos podrían causar pérdidas en cuanto a la calidad del grano durante su almacenamiento, lo que podría favorecer la proliferación de micotoxinas las cuales pueden llegar a niveles tóxicos que no permitan ser utilizados en dietas de consumo animal (Neme & Mohammed, 2017). Algo importante a tener en cuenta ante el uso de grano húmedo, es el momento de cosecha, ya que se deben utilizar niveles de humedad que se encuentren en el rango de 23% a 40% (Scarpitta, 2008).

5.4 DISCUSIÓN GENERAL

En resumen, se observó que la eficiencia de conversión fue sensible a varios factores relacionados con el procesamiento y el nivel de humedad del grano de arroz con cáscara. A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en la ganancia media diaria ni en el consumo de materia seca en la mayoría de los tratamientos, sí hubo un impacto considerable sobre la EC. La eficiencia de conversión fue mejor en el tratamiento que incluyó grano húmedo, lo que confirma estudios previos que señalan que un mayor contenido de agua en los granos favorece su degradabilidad ruminal y, por ende, mejora la utilización de nutrientes (Baldi et al., 2008; Nocek et al., 1987). Esto podría explicarse por una mayor solubilidad del almidón y el desarrollo de flora microbiana ruminal que contribuye a una mayor disponibilidad de proteína microbiana, mejorando así la conversión de alimento en ganancia de peso. Además, la sustitución parcial del maíz por GACC molido no generó diferencias significativas en la EC, lo que sugiere que, bajo el mismo nivel de procesamiento, el arroz con cáscara puede ser igualmente eficiente que el maíz. El procesamiento del GACC es un factor determinante en la eficiencia de conversión, destacando que una mayor molienda favorece la disponibilidad de nutrientes y mejora la eficiencia en la conversión del alimento.

6. CONCLUSIÓN

En novillos Hereford terminados a corral alimentados *ad libitum*, la sustitución en la dieta de 45% de maíz por GACC, con una relación concentrado/voluminoso de 80/20, no afecta el desempeño animal, siempre que ambos ingredientes sean ofrecidos molidos y secos.

La inclusión de GACC (45%) con un mayor nivel de molienda mejora la eficiencia de conversión con respecto al GACC quebrado. Por otro lado, al utilizar GACC quebrado, pero a 23% de humedad se mejora la eficiencia de conversión con respecto al GACC quebrado seco. Esto conlleva a que se pueda sustituir el grano de maíz por GACC siempre y cuando esté molido o quebrado y con alto contenido de humedad, sin afectar negativamente la performance animal, lo cual podría ser relevante para optimizar los costos de alimentación en sistemas de engorde a corral.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aldrich, S., & Leng, E. (1974). *Producción moderna del maíz*. Hemisferio Sur.
- 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]. Universidad Federal de Santa María.
- Arias, R. A., Mader, T. L., & Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1), 7-22. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>
- Baldi, F., Banchemo, G., Mieres, J., La Manna, A., Fhernandez, E., Formoso, F., & Montossi, F. (2008). Suplementación en invernada intensiva: ¿Hasta dónde hemos llegado? *Revista INIA*, (15), 2-7. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2134/1/14432200710133756.pdf>
- Barra, F. (2005). *Manejo de la alimentación de animales a corral*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/01-manejo_alimentacion_a_corral.pdf
- Bartaburu, D. (2003). Fundamentos básicos y aspectos prácticos a tener en cuenta: Ensilaje de grano húmedo. *Revista del Plan Agropecuario*, (105), 36-39. https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R105/R105_36.pdf
- Baxter, H. D., Montgomery, M. J., & Owen, J. R. (1984). Comparison of soybean-grain sorghum silage with corn silage for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 67(1), 88-96. <https://www.journalofdairyscience.org/action/showPdf?pii=S0022-0302%2884%2981270-9>
- Beretta, V., & Simeone, A. (2014). Grano de sorgo: «Puente blanco» entre la agricultura y la ganadería. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *16a Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Propuestas tecnológicas en ganadería para un país ganadero, agrícola y forestal* (pp. 16-23). UPIC. <http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2014.pdf>
- Camps, D. N., & González, G. O. (2003). *Grano de maíz en la alimentación del ganado: ¿Entero o partido?* Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/04-grano_maiz.pdf
- 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)
- Coradi, P. C., Borèm, F. M., & Reinato, C. H. (2014). Coffee cherries drying process and the influence of environment relative humidity in the mathematical modeling, moisture content, and enthalpy of vaporization. *Revista Energia Na Agricultura*, 29(2), 148-157. <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/1256/979>
- Corona, L., & Mendoza, G. D. (2016). Procesamiento de los granos. En G. D. Mendoza Martínez & R. Ricalde Velasco (Eds.), *Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano* (2ª ed., pp. 69-85). Universidad Autónoma Metropolitana.

- Decreto n° 544/987: *Reglamentación para la comercialización del arroz cáscara* (1987). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/544-1987/5#:~:text=Se%20denomina%20tambi%C3%A9n%20%22palay%22%20o,denomina%20tambi%C3%A9n%20%22arroz%20cargos%22>
- Di Marco, O. N. (1998). *Crecimiento de vacunos para carne*. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Di Marco, O. N. (2004). *Fisiología de crecimiento de vacunos*. Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/16-fisiologia_del_crecimiento.pdf
- Di Marco, O. N. (2006). *Eficiencia de utilización del alimento en vacunos*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/89-eficiencia_utilizacion_alimento.pdf
- Dyer, A. J., & Weaver, L. A. (1955). *Corn substitutes for fattening cattle*. University of Missouri.
- Elizalde, J. C. (2015). Impacto del uso de los sistemas de alimentación a corral como estrategia para el engorde de bovinos para carne. *Maskana*, 6, 83-93. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/652/568>
- Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni. (s.f.). *Annual climatological summary*. <http://meteorologia.eemac.edu.uy/NOAAPRYR.TXT>
- Felix, E., Peñalva, S., & Ulery, S. (2023). *Evaluación del grano de arroz con cáscara como ingrediente de raciones de recría para vacunos manejados en confinamiento* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. (s.f.). *Arroz partido*. <https://www.fundacionfedna.org/node/365>
- Haaland, R. L. (1980). Food and feed grain crops. En C. S. Hoveland (Ed.), *Crop quality, storage, and utilization* (pp. 3-33). American Society of Agronomy.
- Heinrichs, J., & Jones, C. M. (2022, 19 de diciembre). *Penn State particle separator*. PennState Extension. <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator>
- Hoseney, R. C. (1991). *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Acribia.
- Huntington, G. B. (1997). Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *Journal Animal Science*, 75(3), 852-867. <https://doi.org/10.2527/1997.753852x>
- 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. (s.f.a). *Maize*. <https://www.feedtables.com/content/maize>
- 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. (s.f.b). *Rice, paddy*. <https://www.feedtables.com/content/rice-paddy>
- 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. (s.f.c). *Sorghum*. <https://www.feedtables.com/content/sorghum>

- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Tablas estadísticas*.
<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>
- Irigoyen, A., & Perrachon, J. (2007). Sorgo granífero. *Revista del Plan Agropecuario*, (123), 52-55.
https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R123/R123_52.pdf
- 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.
- La Manna, A., & Martínez, R. (2020). Estrés térmico en la lechería. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de Campo Virtual: Porteras Abiertas de Lechería* (pp. 21-28).
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/14744/1/SAD795-Jornada-de-Campo-Virtual-Porteras-Abiertas-de-Lecheria.pdf>
- Latimer, G. W. (2012). *Official methods of analysis of AOAC international* (19th ed.). AOAC International.
- Marichal, M. J., Carriquiry, M., & Trujillo, A. I. (1999). *Partición de los nutrientes en el organismo animal y su regulación*. Universidad de la República.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J., & Morgan, C. (1995). *Nutrición animal* (5^a ed.). Acribia.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J., & Morgan, C. (2006). *Nutrición animal* (6^a ed.). Acribia.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2013). *Nutrición animal* (7^a ed.). Acribia.
- Minetti, J. D., Roggia, E. E., & Villafañe, M. J. (2019). *Combinación de diferentes granos de cereales en dietas de engorde a corral de bovinos: Revisión bibliográfica* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional de Córdoba]. RDU.
<https://rdu.unc.edu.ar/server/api/core/bitstreams/d8232899-7c65-43f6-9110-48bf5a46c73b/content>
- Montiel, M. D., & Elizalde, J. C. (2004a). *Factores que afectan la utilización ruminal del grano de sorgo en vacunos*. Sitio Argentino de Producción Animal.
https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_granos/13-montielyElizalde.pdf
- Montiel, M. D., & Elizalde, J. C. (2004b). *Valor nutritivo y económico del grano de sorgo comparado con el maíz*. Sitio Argentino de Producción Animal.
https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/36-comparacion_granos_maiz_sorgo.pdf
- 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.
- Neme, K., & Mohammed, A. (2017). Mycotoxin occurrence in grains and the role of postharvest management as a mitigation strategies: A review. *Food Control*, 78, 412-425. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713517301329>

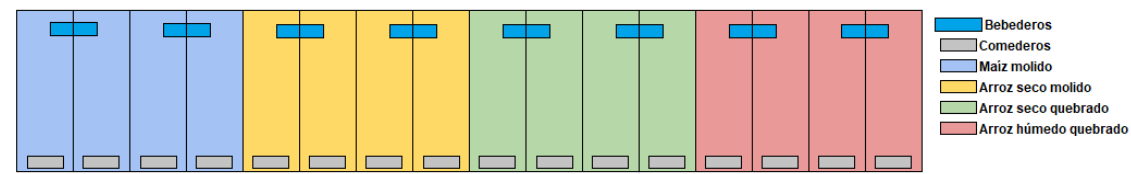
- Nocek, J. E., Johnson, R. H., & Perry, T. W. (1987). The influence of feeding frequency on ruminal parameters and production response in dairy cattle. *The Professional Animal Scientist*, 3(2), 68-76. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)32396-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)32396-2)
- Nunes, C., Jaques, L. B., Haeberlin, L., Madeiros, E., & Paraginski, R. (2019). Redução da qualidade de grãos de arroz em casca durante o armazenamento em diferentes condições de umidade e temperatura. *Agrarian Academic Journal*, 2(6), 147-159. <https://agrariacad.com/wp-content/uploads/2019/12/rev-agr-acad-v2-n6-2019-p147-159-1.pdf>
- Owens, F. (s.f.). *Corn grain processing and digestion*. <https://sweetbran.com/storage/ND3HtiXllc7XokM7ARtqV6kQgkysJg07wUmGSPLK.pdf>
- Paes, M. C. D. (2006). *Aspectos físicos, químicos e tecnológicos de grão do milho. Embrapa Milho e Sorgo*. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/489376/aspectos-fisicos-quimicos-e-tecnologicos-do-grao-de-milho>
- Paredes, M., Becerra, V., Donoso, G., Olmos, S., & Rodríguez, R. (2021). Morfología y estados de crecimiento y desarrollo de la planta de arroz. En M. Paredes, V. Becerra, & G. Donoso (Eds.), *100 años del cultivo de arroz en Chile en un contexto internacional 1920-2020* (Tomo II, pp. 408-445). INIA. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/15751?show=full#>
- Pérez García, L. R. (2024, 14 de octubre). *Consideraciones sobre el rendimiento en canal del ganado de engorda*. Ganaderia.com. <https://www.ganaderia.com/destacado/consideraciones-sobre-el-rendimiento-en-canal-del-ganado-de-engorda>
- Poore, M. H., Moore, J. A., Eck, T. P., & Theurer, C. B. (1993). Effect of fiber source and ruminal starch degradability on site and extent of digestion in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 76(8), 2244-2253. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77561-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77561-X)
- 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
- 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. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 31(1), 1-23. <https://www.redalyc.org/pdf/864/86431101.pdf>
- Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, 14(supl. 1), 156-170. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14s1/v14s1a13.pdf>
- Ríos, A. O., Abreu, C. M. P., & Corrêa, A. D. (2003). Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*phaseolus vulgaris*, L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23, 39-45. <https://www.scielo.br/j/cta/a/WTk54nnfnqm858KCKGDD7xc/?format=pdf&lang=pt>
- Rooney, L. W., & Pflugfelder, R. L. (1986). Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science*, 63(5), 1607-1623. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351607x>

- Rovira, P., & Velazco, J. (Eds.). (2012). *Ensilaje de grano húmedo de sorgo: Guía práctica para su uso en la alimentación de ganado en regiones ganaderas*. INIA. <https://inia.uy/sites/default/files/publicaciones/2024-06/bd-101.pdf>
- Scarpitta, N. (2008). ¿Qué necesitamos conocer sobre el silo de grano húmedo de sorgo? *Revista del Plan Agropecuario*, (126), 48-54. https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R126/R_126_48.pdf
- Schwartzkopf-Genswein, K. S., Beauchemin, K. A., Gibb, D. J., Crews, D. H., Hickman, D. D., Streeter, M., & McAllister, T. A. (2003). Effect of bunk management on feeding behavior, ruminal acidosis and performance of feedlot cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 81(2), 149-158. https://www.researchgate.net/publication/254065082_Effect_of_bunk_management_on_feeding_behavior_ruminal_acidosis_and_performance_of_feedlot_cattle_A_review
- Simeone, A., Beretta, V., Burjel, M. V., Aldaya, S., Ayala, M., Mesa, M. I., Pampin, P., Stirling, J., & Zabalveytia, N. (2019). En busca de la eficiencia en el corral de recría: ¿Debemos restringir el consumo en un corral de terneros? En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *21ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Un medio campo para ganar el partido de la rentabilidad* (pp. 70-77). UPIC.
- Simeone, A., Beretta, V., Elizalde, J. C., Viera, G., Cortazzo, D., & Ferrés, A. (2011). Autoconsumo en el suministro de dietas sin fibra larga a terneros alimentados a corral. En A. Simeone, & V. Beretta (Eds.), *Décima tercera Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Alimentación a corral en sistemas ganaderos ¿cuándo y cómo?* (pp. 34-41). UPIC. <http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2011.pdf>
- Simeone, A., Beretta, V., Franco, J., & Elizalde, J. C. (2008). El engorde a corral (feedlot) en los sistemas pastoriles. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *Décima Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Una década de investigación para una ganadería más eficiente* (pp. 42-47). UPIC. <http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2008.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.
- Uruguay XXI. (2023). *Informe anual comercio exterior: Celulosa se destaca como product de exportación*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/3fda643c80b4c3ca697cba33a4b1a26cdcc12af5.pdf>
- Ustarroz, E., & De León, M. (2004). *Utilización de pasturas y suplementación con granos en invernada*. INTA. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/57-pasturas_y_suplementacion.pdf
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press.
- White, T., & Hembry, F. (1995). Rice in finishing beef diets. *The Professional Animal Scientist*, 11(1), 41-45. [https://doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)32549-3](https://doi.org/10.15232/s1080-7446(15)32549-3)

8. ANEXOS

Anexo A

Croquis de la distribución de tratamientos en el corral



Anexo B*Composición química de los ingredientes de la dieta*

ID muestra	Análisis					
	MS%	C%	PC%	aFDNmo%	FDAmo%	EE%
Maíz	90.88	2.12	10.75	23.74	4.82	5.56
GACCM	90.19	8.60	7.51	28.92	13.94	2.17
GACCq	90.89	11.95	6.80	44.34	24.25	2.38
GACCqH	90.86	9.57	7.16	34.78	22.56	3.11
Heno de moha	91.41	15.88	7.58	57.84	27.43	2.08
Núcleo	91.72	9.43	18.63	27.70	8.10	2.72

Anexo C

Chos no fibrosos (%) = $100 - (A + B + C + D + E)$.

Donde:

A = Contenido de humedad (%)

B = Contenido de proteína cruda (%)

C = Contenido de lípidos crudos (%)

D = Contenido de fibra cruda (%)

E = Contenido de ceniza (%).