

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL GRANO DE ARROZ CON CÁSCARA COMO
INGREDIENTE DE RACIONES DE RECRÍA PARA VACUNOS
MANEJADOS EN CONFINAMIENTO**

por

**Enrique FELIX ALFONSO
Santiago PEÑALVA REYES
Santiago ULERY ABILLEIRA**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (MSc) (PhD) Virginia Beretta

Ing. Agr. (MSc) (PhD) Álvaro Simeone

Tribunal:

Ing. Agr. (MSc) (PhD) Virginia Beretta

Ing. Agr. (MSc) (PhD) Álvaro Simeone

Ing. Agr. (MSc) (PhD) Stefania Pancini

Fecha:

22 de diciembre de 2023

Estudiante:

Enrique Felix Alfonso

Santiago Peñalva Reyes

Santiago Ulery Abilleira

AGRADECIMIENTOS

A los directores de tesis Ing. Agr. Virginia Beretta e Ing. Agr. Álvaro Simeone, por el apoyo técnico y orientación brindado para la elaboración de este trabajo.

A los funcionarios y docentes de la Unidad de Producción Intensiva de Carne, particularmente al funcionario Sr. Diego Mosqueira por su disposición a la colaboración en el día a día de este experimento.

A familiares y amigos por el soporte y respaldo incondicional, no solo durante el tiempo de elaboración de este trabajo, sino también durante toda la carrera la cual se culmina con la presentación de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

PAGINA DE APROBACION.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
SUMMARY	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DIFERENCIAL DEL TERNERO (ADT) ...	10
2.2 DIETAS A BASE DE GRANOS	10
2.2.1 Almidón como fuente de energía	10
2.2.2 Aportes de proteína	12
2.2.3 Aportes de fibra físicamente efectiva	12
2.3 FACTORES QUE AFECTAN LA PERFORMANCE ANIMAL.....	13
2.3.1 Consumo y Digestibilidad.....	13
2.3.2 Eficiencia de uso de los nutrientes.....	14
2.4 GRANO DE SORGO	15
2.4.1 Estructura, composición química y nutricional.....	15
2.4.2 Características que afectan el valor nutricional del GS	17
2.4.3 Uso de GS como ingrediente de raciones.....	19
2.5 GRANO DE ARROZ CON CÁSCARA.....	20
2.5.1 Estructura, composición química y nutricional.....	20
2.5.2.1 Características que afectan el valor nutricional del GACC.....	23
2.5.3 Uso de grano de GACC como ingrediente de raciones.....	23
2.6 HIPÓTESIS	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 PERIODO, ÁREA EXPERIMENTAL E INSTALACIONES	27
3.2 CLIMA	27
3.3 ALIMENTOS	27
3.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA	29
3.5 ANIMALES Y TRATAMIENTOS	29
3.6 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	30
3.7 REGISTROS Y MEDICIONES	30
3.7.1 Peso vivo y altura al anca.....	30
3.7.2 Consumo de Materia Seca.....	30
3.7.3 Digestibilidad	30

3.7.4 Comportamiento animal.....	31
3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
4. RESULTADOS	34
4.1 CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD	34
4.2 CRECIMIENTO	36
4.3 COMPORTAMIENTO ANIMAL.....	38
5. DISCUSIÓN.....	41
6. CONCLUSIÓN.....	43
7. BIBLIOGRAFÍA.....	44
8. ANEXOS.....	51

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla N°

Tabla 1. <i>Composición química y nutricional del GS</i>	17
Tabla 2. <i>Composición química del arroz paddy</i>	22
Tabla 3. <i>Resultados del experimento</i>	24
Tabla 4. <i>Composición química del arroz con cáscara y maíz</i>	24
Tabla 5. <i>Resumen de trabajos por diferentes autores con maíz y GACC como parte de la dieta</i>	26
Tabla 6. <i>Medidas de precipitaciones y temperaturas durante el periodo de estudio</i>	27
Tabla 7. <i>Composición de las raciones experimentales difiriendo la inclusión de GACC en sustitución de GS</i>	28
Tabla 8. <i>Composición del núcleo experimental</i>	28
Tabla 9. <i>Composición química de las raciones experimentales difiriendo la inclusión de GACC sustituyendo GS molido</i>	29
Tabla 10. <i>Efecto de tratamientos sobre consumo de materia, digestibilidad aparente y el rechazo según lo ofrecido</i>	34
Tabla 11. <i>Efecto de tratamientos sobre el crecimiento de las terneras, GMD en kg/día y eficiencia de conversión</i>	37
Tabla 12. <i>Efecto del nivel de GACC en dieta sobre distintas características del comportamiento (expresado como probabilidad)</i>	39
Tabla 13. <i>Probabilidad de encontrar un animal realizando una de las cuatro variables comportamentales analizadas</i>	39

Figura N°.

Figura 1. <i>Corte transversal grano de sorgo</i>	16
Figura 2. <i>Morfología del grano de arroz</i>	21
Figura 3. <i>Efecto del GACC en la ración: impacto en consumo semanal de materia seca durante el periodo de alimentación (18/7 al 26/9)</i>	35
Figura 4. <i>Digestibilidad de MS expresada como porcentaje según el nivel de inclusión de GACC en la dieta</i>	36
Figura 5. <i>Evolución del peso vivo en kg a lo largo del periodo experimental para cada tratamiento</i>	37
Figura 6. <i>Efecto del nivel de GACC en la dieta sobre distintas variables. Resumen de los resultados</i>	38

RESUMEN

El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC) de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) en Paysandú, Uruguay, desde el 16 de julio de 2023 hasta el 26 de septiembre de 2023. El objetivo principal fue caracterizar el valor nutritivo del Grano de Arroz con Cáscara (GACC) como ingrediente en las raciones de recría utilizadas en la alimentación a corral. Esto implicó describir las curvas de crecimiento, cuantificar la ganancia de peso vivo, caracterizar el consumo de materia seca y medir el efecto sobre la digestibilidad y la eficiencia de conversión del alimento. Se utilizaron 32 terneras Hereford, con un peso promedio de 272 kg \pm 26 kg, nacidas en la primavera de 2021 y destetadas precozmente a corral. Los animales se alojaron en 32 corrales individuales a cielo abierto, y fueron asignados al azar a cuatro raciones totalmente mezcladas (RTM) sin fibra larga, difiriendo en el nivel de inclusión de GACC en sustitución de GS, (0% GACC y 45% GS), (15% GACC y 30% GS), (30% GACC y 15% GS), y (45% GACC y 0% GS), expresados en base seca. La sustitución de grano de sorgo por GACC en las dietas de terneras no generó cambios significativos en el consumo, la ganancia de peso ni la eficiencia de conversión. A pesar de las diferencias observadas en la digestibilidad, estas no influyeron en el consumo, lo que sugiere la presencia de factores intrínsecos que explican la eficiencia de conversión en los diferentes tratamientos.

Palabras clave: alimentación diferencial del ternero, ternero, consumo, ganancia media diaria, eficiencia de conversión, grano de arroz con cascara, grano de sorgo

SUMMARY

The experiment was conducted at the Intensive Meat Production Unit (UPIC) of the Mario A. Cassinoni Experimental Station (EEMAC) in Paysandú, Uruguay, from July 16, 2023, to September 26, 2023. The main objective was to characterize the nutritional value of Rice Husk Grain (GACC) as an ingredient in the rearing rations used in feedlots. This involved describing growth curves, quantifying live weight gain, characterizing dry matter intake, and measuring the effect on digestibility and feed conversion efficiency. Thirty-two Hereford heifers, with an average weight of 272 kg \pm 26 kg, born in the spring of 2021 and weaned early in the feedlot, were used. The animals were housed in 32 individual open-air pens and were randomly assigned to four completely mixed rations (RTM) without long fiber, differing in the inclusion level of GACC in substitution for GS, (0% GACC and 45% GS), (15% GACC and 30% GS), (30% GACC and 15% GS), and (45% GACC and 0% GS), expressed on a dry matter basis. The substitution of sorghum grain with GACC in heifer diets did not generate significant changes in intake, weight gain, or feed conversion efficiency. Despite observed differences in digestibility, these did not influence intake, suggesting the presence of intrinsic factors explaining conversion efficiency in different treatments.

Keywords: differential calf feeding, calf, consumption, average daily gain, conversion efficiency, brown rice, sorghum grain

1. INTRODUCCIÓN

El arroz es un cultivo esencial en la dieta mundial, y Uruguay se ha destacado como un importante exportador de este cereal. La industria arrocería uruguaya ha demostrado eficiencia en la producción y procesamiento, siendo reconocida por la calidad de su producto a nivel internacional. Sin embargo, en la zafra 2021-2022, la industria se enfrentó a desafíos significativos. La disminución del precio de venta del arroz elaborado ha generado un aumento en las ventas de arroz en cáscara, lo que implica exportar el grano sin procesar ni agregar valor.

Esta situación representa un desafío significativo para la industria del arroz en Uruguay, ya que afecta sus ingresos y su capacidad para agregar valor al producto exportado. Es esencial encontrar estrategias adecuadas para adaptarse a esta nueva dinámica de mercado y mantener la competitividad en el sector arrocería.

En el proceso industrial del arroz, se generan subproductos como el afrechillo, granos partidos y cáscara de arroz, que son utilizados en la alimentación animal. A pesar de que se ha acumulado información sobre el uso de algunos subproductos como afrechillo de arroz y la cáscara de arroz como fuente de fibra efectiva (McCartor et al., 1972; Tillman et al., 1969) en el ganado de carne, el uso del grano de arroz con cáscara (GACC) en su estado natural, tal como se obtiene a la cosecha, es poco común. Sin embargo, existen situaciones de mercado donde su empleo en la alimentación animal podría ser justificado, ya sea como suplemento para animales en pastoreo o como ingrediente en raciones totalmente mezcladas (RTM) para sistemas de confinamiento. A pesar de esto, la información sobre su uso en la alimentación del ganado de carne y las respuestas esperadas siguen siendo escasas.

Este trabajo tiene como objetivo caracterizar el valor nutritivo del GACC como ingrediente en las raciones de cría evaluando para ello el efecto de la inclusión de niveles crecientes de GACC, variando desde un 0% de inclusión hasta un 45% de la composición de la dieta, en sustitución del grano de sorgo (GS). Más específicamente, se busca describir las curvas de crecimiento, cuantificar la ganancia de peso vivo, caracterizar el consumo de materia seca y su aprovechamiento digestivo, así como determinar la eficiencia de conversión del alimento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DIFERENCIAL DEL TERNERO (ADT)

La etapa de recría de terneros o terneras, desde el destete hasta su primer entore o inicio de periodo de engorde tiene como objetivo lograr el peso necesario para el inicio de estos procesos en el menor tiempo posible. Una estrategia utilizada es el sistema de alimentación diferencial de terneros (ADT), donde se les proporciona una dieta específica en comparación con el enfoque convencional a base de pasto, maximizando su crecimiento durante el invierno y más adelante (Simeone et al., 2008).

La alimentación a corral de los terneros permite capitalizar la muy buena eficiencia de conversión del alimento que presenta esta categoría, explicada en gran parte por sus bajos requerimientos para el mantenimiento (National Research Council, [NRC], 1996) y la composición de tejidos de la ganancia de peso con una mayor prevalencia de músculo, hueso y agua en comparación con la grasa, que caracteriza a los animales más jóvenes respecto a los de mayor edad. Esta característica se encuentra intrínsecamente vinculada a la eficiencia en la utilización de la energía ingerida (Di Marco, 2007).

Conforme a lo planteado por Di Marco (2007), los terneros tienen la capacidad de transformar entre 4,5 y 5,5 kg de alimento de alta concentración de grano (sobre base seca) en 1 kg de aumento de peso, lo que subraya su habilidad de lograr una eficiente conversión alimentaria. Sin embargo, cuando se habla de novillos alimentados a corral con una asignación de 2,7 % del peso vivo (PV). Elizalde et al. (2003) obtuvieron una eficiencia de conversión de 6,8 la cual puede variar según la raza y tipo de alimentación.

El gasto energético requerido para la síntesis de una determinada cantidad de tejido adiposo se estima en 13,68 Mcal/kg, lo cual es más de cuatro veces superior al costo de producir la misma cantidad de tejido muscular, valorado en 3,05 Mcal/kg. Esta disparidad se origina debido al mayor contenido de agua del tejido muscular (76%), respecto al tejido adiposo (5%) y a las diferencias en las proporciones de grasa, que se registran en un 4% para el tejido muscular y un 85% para el tejido adiposo (NRC, 1996).

2.2 DIETAS A BASE DE GRANOS

La dieta ofrecida a animales manejados a corral se compone de alimentos concentrados que aportan energía y proteína, junto con alimentos voluminosos que son la principal fuente de fibra efectiva. La proporción entre los alimentos concentrados y voluminosos en la dieta, así como las fuentes de fibra, energía y proteína usadas, tienen un impacto en la ingesta total de nutrientes, la estabilidad de las condiciones en el rumen, los lugares de digestión, los productos resultantes de la fermentación y la eficiencia metabólica. Estos factores, a su vez, influyen en la respuesta de los animales.

2.2.1 Almidón como fuente de energía

Los granos de cereales, componentes fundamentales de los concentrados energéticos se caracterizan por ser ricos en carbohidratos, principalmente

almidón, localizado en el endospermo (McDonald et al., 1995). La cantidad de almidón varía según el cereal, siendo más alto en trigo (77%), seguido por maíz y sorgo (72%), grano de arroz (64%), cebada y avena (57%).

En su uso en la alimentación animal, los granos son sometidos a distintos tipos de procesamiento. Los tratamientos mecánicos como molido, quebrado o aplastado tienen como objetivo romper la membrana del endospermo para mejorar la accesibilidad microbiana al almidón (Gagliostro, 2005). El procesamiento de granos mejora la digestibilidad de la materia seca y del almidón, además de acelerar el tránsito a lo largo del tracto digestivo (Galyean et al., 1976; Goetsch & Galyean, 1983; Huck et al., 1998; McNeill et al., 1976; Theurer, 1986). Los granos que se benefician más del procesamiento son aquellos con almidón de degradación lenta. Sin embargo, es crucial mantener un límite de 25-30% de almidón altamente degradable en el rumen (presente en avena, trigo, cebada, maíz y sorgo húmedo conservado como silaje) en la dieta total para promover la síntesis óptima de proteína microbiana. Exceder estos valores puede inhibir la producción de proteína microbiana (Sauvant, 1997).

El nivel de procesamiento debe ajustarse a la cantidad de fibra en la dieta, ya sea mediante aumento de forraje o fibra en el forraje proporcionado (Parra et al., 2006, como se cita en Elizalde & Riffel, s.f.).

Es importante destacar que el almidón también puede ser digerido a nivel del intestino delgado, alcanzando valores de 92-99% según Waldo (1973), Philippeau et al. (1999) y Pordomingo et al. (2002). Estos valores van a depender de qué tipo de almidón se trate y el procesamiento que se le haya realizado. Entonces, el almidón que se digiere en el intestino delgado puede mejorar la eficiencia de utilización de la dieta por su digestión directa (Waldo, 1973), afectar el sitio de digestión del nitrógeno, y mejorar la eficiencia de conversión de la materia seca (Russell et al., 1981; Streeter et al., 1989).

La mezcla de granos de maíz y avena en proporción 80:20 permitiría lograr una mayor performance respecto al uso del grano de maíz solo. Esto podría deberse por: I) un mejor balance de calidad de almidones, II) mayor estabilidad en la tasa de fermentación y digestión del alimento, III) el mayor contenido de proteína en el grano de avena y IV) la alta fermentabilidad ruminal del grano de avena (Pordomingo, 2013). El principal motivo es, como reportaron diversos autores (Bock et al., 1991; Huck et al., 1998; Kreikemeier et al., 1990; Streeter et al., 1989), el efecto de la mezcla de almidones de diferente tasa de degradabilidad en el rumen y fracciones pasantes hacia el tracto inferior, la complementariedad de la composición de la fracción proteica de los granos, y los efectos sobre la palatabilidad y textura de la dieta (Pordomingo, 2013).

Cabe destacar que, aunque los animales sean alimentados únicamente con granos sin la presencia de forraje, pueden presentar ciertos desafíos debido a su condición de rumiantes. Sin embargo, es necesario considerar que este tipo de dieta, rica en energía, contiene carbohidratos solubles que están asociados con la producción de ácido propiónico en el rumen. Esta producción excesiva de ácido propiónico puede provocar la aparición de acidosis con mayor facilidad en comparación con dietas que favorecen la fermentación acética. La acidosis es un

trastorno metabólico que se caracteriza por una disminución del pH ruminal y puede manifestarse de manera aguda o subclínica (Argenta, 2015).

2.2.2 Aportes de proteína

Esta categoría de animales de jóvenes (terneros) tiene requerimientos proteicos más elevados dado que se encuentran en plena síntesis de tejido muscular para su crecimiento corporal, por ello, es necesario que se ofrezcan los niveles óptimos para maximizar la producción, donde en términos generales, los requisitos de proteínas en la ración varían entre el 11% y el 16% (Parra et al., 2006, como se cita en Elizalde & Riffel, s.f.).

Una fuente de nitrógeno para el rumen es el nitrógeno no proteico (NNP), donde los microorganismos del rumen lo utilizan para la síntesis de sus propios tejidos celulares, de modo que pueden cubrir la parte correspondiente a las necesidades microbianas de nitrógeno y mediante la proteína microbiana, una parte de las necesidades proteicas del huésped (Tillman & Sidhu, 1969). Dentro de ellos hay diferentes tipos, como son la urea, biuret y sales amoniacaes de diversos tipos. Para que el amoniaco se forme en proteína microbiana debe disponer de cadenas carbonadas y una fuente de energía, la cual la mejor es el almidón y dependiendo de la velocidad de degradación determinará la eficiencia del proceso (Haresign & Cole, 1988).

2.2.3 Aportes de fibra físicamente efectiva

En las dietas suministradas a animales alimentadas a corral con gran cantidad de almidón, el voluminoso cobra gran preponderancia ya que es la principal fuente de fibra del alimento. Al estar compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, generan que su valor nutritivo sea bajo y que su inclusión tenga como objetivo reducir la tasa de consumo y promover la rumia, la salivación y la consecuente producción de buffer ruminal para disminuir el riesgo de acidosis (Kreikemeier et al., 1990) ya que el ambiente ruminal con altos niveles de almidón tiende a disminuir el pH. Cuando se da un descenso muy marcado del pH, se genera que las bacterias celulolíticas pierdan actividad disminuyendo la digestibilidad de la fibra.

Para abordar el aporte de fibra en las dietas existen dos alternativas: la utilización de fibra larga o fibra corta, ambas permiten satisfacer la necesidad de FDN en la alimentación de los animales (Pordomingo, 2013). Investigaciones realizadas por Cedrés y Zabalveytia (2017) en terneros de destete precoz demostraron que la incorporación de granos enteros de avena (GEA) como fuente de fibra efectiva puede reemplazar la fibra larga sin afectar el rendimiento animal. Esto también puede mejorar la calidad de la dieta al aumentar el aporte de almidón y reducir los niveles de FDN.

En el mismo sentido, García Berretta y Oneto Martínez (2017) indican que, en dietas concentradas para la alimentación de terneros a corral, es factible sustituir total o parcialmente la fibra larga por GEA, obteniendo alta performance animal. Según sus hallazgos, la inclusión óptima de GEA se encuentra alrededor del 21% de la dieta total.

Algunos investigadores como Mertens (1997) el cual ha incorporado el concepto de fibra físicamente efectiva (FDNfe), la cual se define como la fracción de la FDN que influye sobre la masticación, la rumia (salivación y pH ruminal) y los movimientos del rumen, acorde con la producción de los animales (Gallardo, 1999, Mertens, 1997, como se cita en Collares et al., 2008).

Adicionalmente, la reducción o eliminación de la fibra del forraje puede ser viable desde una perspectiva económica, ya que la fibra larga representa uno de los componentes más costosos de la ración (Parra et al., 2006, como se cita en Elizalde & Riffel, s.f.).

2.3 FACTORES QUE AFECTAN LA PERFORMANCE ANIMAL

2.3.1 Consumo y Digestibilidad

Tanto el consumo como la digestibilidad son de gran relevancia en la alimentación animal ya que influyen directamente sobre el producto final, por lo tanto, hay que tener en cuenta que el consumo y la digestibilidad es bidireccional, es decir, el consumo afecta la digestibilidad y viceversa. Según McDonald et al. (1995), éstos se relacionan por la tasa de pasaje y la tasa de digestión, la primera de ellas se define como la proporción de materiales no digeridos que pasa un cierto punto del tracto gastrointestinal (TGI) por unidad de tiempo y la segunda, como la proporción de la fracción digestible que es digerida por unidad de tiempo.

Según Conrad et al. (1964) hay factores físicos y fisiológicos que regulan el consumo y cambian su importancia a medida que aumenta la digestibilidad de la dieta. Si bien no existe un punto de corte definido, ya que hay un rango en que se superponen, los factores que regulan el consumo de alimentos de baja digestibilidad son diferentes de los que regulan el consumo de alimentos con alta digestibilidad. A bajas digestibilidades los factores de regulación 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. A digestibilidades más altas, el consumo está regulado por el peso metabólico, digestibilidad y nivel de producción.

El alimento que se encuentra en el rumen tiene dos destinos principalmente, uno es que sufra el proceso de digestión y el otro es que las partículas desaparezcan dado que son demasiadas pequeñas y continúen hacia otra parte del TGI. Entonces, ésto tendrá influencias sobre el nivel de consumo del animal ya que se vaciará el rumen en determinado momento. Dicho esto, a medida que aumenta el nivel de consumo, el tiempo de retención disminuye porque aumenta la tasa de pasaje explicado por el aumento de los movimientos peristálticos (McDonald et al., 1995).

En el trabajo presentado por Conrad (1966) se observó que a medida que aumenta la digestibilidad aparente de la energía se da un aumento en la ingestión de la materia seca hasta determinado momento ya que luego desciende. Con forrajes de hasta 65 — 70 % de energía digestible, el consumo está determinado

por el contenido de FDN y el llenado del rumen, siendo este último factor su principal limitante. Sin embargo, con dietas superiores al 65-70 % de digestibilidad, otros factores como la presencia de metabolitos finales de la digestión y la carga calórica son los más importantes reguladores del consumo (Forbes, 2007; Van Soest, 1994). Todo esto conlleva a que la ingestión está más relacionada con el ritmo de digestión de las raciones que la digestibilidad propiamente dicha, sin olvidar que ambas están estrechamente relacionadas. Cuanto más rápido es el ritmo de digestión, el tracto digestivo se vaciará más rápido generando que quede más espacio para la siguiente comida.

La tasa de digestión se determina con la fibra detergente neutro (FDN), donde hay una relación negativa, es decir, a mayores niveles de FDN, menor ritmo de digestión. La FDN integra hemicelulosas, celulosa, lignina, compuestos nitrogenados asociadas a los compuestos anteriores, cutina, taninos, minerales y compuestos de la reacción de Maillard (McDonald et al., 1995).

La digestibilidad de los alimentos puede verse disminuida por las deficiencias o excesos de nutrientes u otros componentes, por ejemplo, las deficiencias de azufre o nitrógeno amoniacal en el líquido del ruminal limitan el crecimiento microbiano, reduciendo así la digestibilidad como también es el caso del exceso de lípidos en la ración y el alto contenido de sílice en algunos alimentos, como la paja de arroz (McDonald et al., 1995).

2.3.2 Eficiencia de uso de los nutrientes

En la alimentación, la energía es esencial para el crecimiento y desarrollo adecuado dado que se utiliza como combustible para la producción, pero no es completamente eficiente, ya que se producen pérdidas durante la digestión y metabolización. Ésta puede afectarse por el nivel de consumo y por la relación de competencia que existe entre la tasa de digestión y la tasa de pasaje (Allen & Mertens, 1988), así que factores tanto dietarios como ambientales que alteren el consumo pueden repercutir en la energía digestible ingerida (Mendoza et al., 2003).

La energía metabolizable (EM) se define como la ED menos las pérdidas en forma de orina y gases. Mientras que la energía neta (EN) es la EM excepto las pérdidas de calor y se destina para el mantenimiento, engorde y producción de leche (Pigurina et al., 1991). La metabolibilidad de la dieta, entendida como el cociente entre la EM y la energía bruta, afectan la eficiencia con la cual se utiliza la EM para mantenimiento y producción (AFRC).

La eficiencia de conversión del alimento, es definido por Di Marco (2006) como la cantidad de alimento consumido por unidad de ganancia de peso. Este autor señala que la eficiencia no solo está relacionada con el tipo de alimento, sino también con la forma de alimentar a los animales y con factores inherentes al metabolismo animal.

En cuanto a los factores que influyen en la eficiencia, los carbohidratos constituyen la fracción principal de la dieta de los rumiantes. Estos carbohidratos son utilizados por la población microbiana en la fermentación ruminal, generando

diversos ácidos grasos volátiles (AGV) como producto final (Kaufmann & Saelzer, 1980, como se cita en Blanco, 1999).

Es crucial destacar que la proporción de AGV generados depende del tipo de carbohidrato presente en la dieta, ya que pueden clasificarse como monosacáridos, oligosacáridos, polisacáridos estructurales (celulosa, hemicelulosa, pectina) y no estructurales (almidón y azúcares). La proporción de ácido acético, propiónico y butírico varía según la composición de estos carbohidratos (Church, 1993).

Church (1993) añade que los AGV producidos por la fermentación ruminal se absorben en el retículo, rumen y omaso, siendo absorbida una cantidad mínima en el abomaso. La velocidad de absorción está directamente relacionada con la producción de AGV e inversamente proporcional al pH, evitando su acumulación en el rumen. Estos AGV tienen diferentes destinos, pero el mayor beneficio para los rumiantes radica en la energía que aportan, cubriendo el 70-80% de las necesidades calóricas totales del animal.

Demeyer y Van Nevel (1986) indican que los carbohidratos no estructurales favorecen la síntesis y eficiencia de síntesis de proteína microbiana. Cuando la disponibilidad de energía es alta, la velocidad de crecimiento de las bacterias amilolíticas aumenta, disminuyendo la proporción de energía destinada al mantenimiento. Esto explica mejoras en la eficiencia de crecimiento (Russell et al., 1992).

Garriz y López (2002) mencionan que las dietas tienen un óptimo en cuanto al contenido de carbohidratos no estructurales. Menos del 35% puede ocasionar problemas en la síntesis de proteína microbiana, mientras que más del 40% puede generar un exceso de AGV y problemas de acidosis.

2.4 GRANO DE SORGO

El grano de sorgo tradicionalmente ha sido considerado de menor valor que otros granos para la alimentación de rumiantes (Herrera-Saldana et al., 1990; Hibberd, Wagner, Schemm, Mitchell, Hintz, Weibel, 1982; Huntington, 1997; Offner et al., 2003). Sin embargo, el sorgo puede crecer bajo condiciones ambientales más estresantes (menos agua, altas temperaturas o suelos menos fértiles) que otros granos (Stock, 1999).

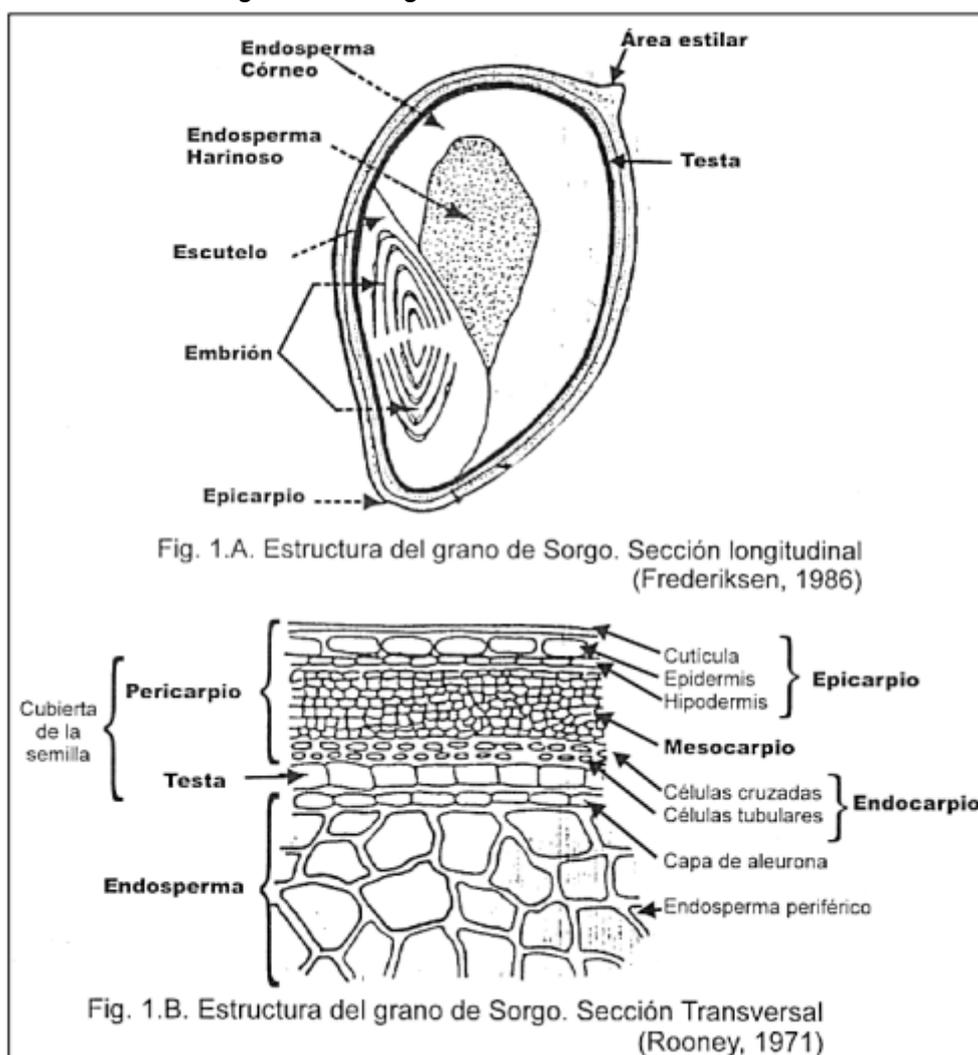
2.4.1 Estructura, composición química y nutricional

El grano de sorgo está compuesto por tres partes: el pericarpio o cobertura del grano, el endosperma o tejido de reserva y el embrión.

En la Figura 1 se presentan las subdivisiones de dichas partes en cortes transversal y vertical respectivamente. El pericarpio, se subdivide en epicarpio, mesocarpio y endocarpio. El epicarpio es la parte externa y está compuesta por dos o tres capas de células. El mesocarpio, se encuentra por debajo del epicarpio pudiendo variar en su espesor generando que cuando es grueso y contiene granos de almidón, el grano tiene apariencia opaca. Por último, la capa más interna denominada endocarpio consiste en células cruzadas y tubulares (Domanski et al., 1997).

Figura 1

Corte transversal grano de sorgo



Nota. Tomado de Domanski et al. (1997)

El endosperma que representa la mayor porción del grano (82%), está constituido por la capa de aleurona y por las porciones periférica, córnea y harinosa. Por último, el embrión constituye cerca del 10 % del peso seco del grano y consiste en el eje embrionario y el escutelo. De las diferentes partes del grano es la que tiene el mayor porcentaje de proteínas, lípidos y minerales (Domanski et al., 1997).

Los datos sobre la composición química del grano de sorgo presentados en la tabla 1 fueron extraídos del Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) y Association Française de Zootechnie (AFZ) (2002b).

Tabla 1
Composición química y nutricional del GS

Sorgo		
Parámetro	En base seca	Unidad
Materia Seca	87,8	%
Proteína cruda	10,6	%
Fibra cruda	2,8	%
NDF (Fibra detergente neutra)	11,1	%
ADF (Fibra detergente ácida)	4,3	%
Paredes celulares insolubles en agua	5,5	%
Almidón	73,6	%
Almidón método enzimático	64	%
Azúcares totales	1,3	%
Energía bruta (kcal)	4480	kcal/kg
PDIA INRAE 2018 (PNDR)	47	g/kg
PDI INRAE 2018 (PM)	98	g/kg
PDR INRAE	51	g/kg
Unidad de llenado para rumiantes	0,256	por kg
Energía metabolizable para rumiantes (kcal)	3180	kcal/kg
Energía neta para producción de carne en rumiantes (kcal)	2160	kcal/kg
Digestibilidad de la MO en rumiantes	85,7	%
Digestibilidad energética en rumiantes	83,1	%
Degradabilidad de N en rumiantes	43	%
Degradabilidad del almidón en rumiantes	62	%
Degradabilidad de la MS en rumiantes INRAE 2018	66	%
Ácidos grasos totales	3	%
Digestibilidad NDF	79	%
Digestibilidad Ácidos grasos totales	72,2	%
Cenizas	2.1	%

Nota. Adaptado de INRAE et al. (2002a).

2.4.2 Características que afectan el valor nutricional del GS

El GS es un alimento energético, los cuales se definen como aquellos alimentos que contienen menos de 18% de fibra cruda y menos de 20% de PC en

base seca (NRC, 1996). Se trata de un alimento que posee alto contenido de almidón y bajo en calcio y fibra cruda. En comparación con el maíz, el contenido de energía metabolizable de la mayoría de las variedades tiende a ser menor y el contenido de proteínas tiende a ser mayor (Cecava, 1995).

La digestibilidad del grano es resultado de la proporción y tipo de las proteínas del endospermo, de la asociación de su matriz proteica a los gránulos de almidón, de la proporción de endospermo córneo y del nivel de taninos que presente la variedad del grano (Herrera-Saldana et al., 1990; Hibberd, Wagner, Schemm, Mitchell, Hintz, Weibel, 1982; Huntington, 1997; Offner et al., 2003).

Este grano posee un endospermo periférico muy desarrollado, situado por debajo del pericarpio, caracterizándose por ser extremadamente duro, denso y resistente a la entrada de agua. Posee gránulos muy pequeños de almidón y una matriz proteica continua formada por prolaminas (kafirinas) que lo hace muy resistente a la degradación enzimática (Duodu et al., 2003; Montiel & Elizalde, 2004; Rooney & Pflugfelder, 1986).

La presencia de taninos se asocia negativamente con la calidad nutricional del grano, fundamentalmente por disminuir su palatabilidad, inhibir el crecimiento y las enzimas bacterianas y por formar complejos con las proteínas que dificultan la digestión del almidón del grano (Hibberd, Wagner, Schemm, Mitchell, Hintz, Weibel, 1982; Reed, 1995; Rooney & Pflugfelder, 1986). Su presencia puede variar de 0,2 a 6,9% de acuerdo al híbrido (Evers et al., 1999), acondicionando el aprovechamiento digestivo del grano.

Hibberd, Wagner, Schemm, Mitchell, Weibel, Hintz (1982) concluyen que la digestibilidad del almidón del GS podría estar limitada por factores tales como la estructura proteica y los taninos presentes en el grano.

El sorgo es el tipo de grano que muestra mayores respuestas a los tratamientos que se aplican en orden de incrementar su valor nutritivo (Huntington, 1997; Offner et al., 2003). En general, el efecto del procesamiento sobre el aprovechamiento digestivo del grano está en relación con la alteración que provoca en la estructura del mismo (Offner et al., 2003; Owens & Zinn, 2005, como se cita en Owens, s.f.). En este sentido, Rooney y Pflugfelder (1986) señalan que para incrementar el valor nutritivo del GS para rumiantes, la matriz proteica del endospermo debería ser alterada.

Tratamientos simples como el quebrado y/o molido del grano actúan mediante la ruptura del pericarpio y la exposición del endospermo a la digestión por parte de los microorganismos del rumen y las enzimas digestivas del animal. Es así, que cuanto mayor es la intensidad de este procesamiento mayor es la disminución del tamaño de partícula lo que incrementa la respuesta a este tratamiento (Huntington, 1997; McAllister et al., 1993; Offner et al., 2003).

Beretta y Simeone (2014) reportan que el grano de sorgo es el que más responde al procesamiento, observándose mejoras significativas, de entre un 5 a 7% de aumento en la eficiencia de conversión cuando el grano se molió respecto del molido grueso.

El almidón de los granos de sorgo es generalmente considerado como menos accesible a la degradación enzimática con respecto a otros granos como el trigo o el maíz. La ruptura de la barrera física que recibe el grano a través del procesamiento, no solo reduce el tamaño de la partícula, sino que también incrementa la superficie de contacto disponible para la acción de los microorganismos y el ataque enzimático. Para el GS, donde la ruptura por masticación es muy escasa (5 a 25% del grano entero, dependiendo del peso del animal), es indispensable su procesamiento para alimentar bovinos de cualquier categoría y así obtener una elevada digestibilidad (Montiel & Elizalde, 2004).

La degradación del almidón del grano de sorgo a su vez dependerá básicamente del genotipo (Repetto & Cajarville, 2013). Las principales diferencias entre genotipos están dadas por las características del endosperma y la presencia de taninos, compuestos que disminuyen el aprovechamiento digestivo del grano de sorgo fundamentalmente al formar complejos indigestibles con proteínas y almidón. El efecto de los taninos puede verse reducido mediante la fermentación anaeróbica (ensilado) del grano o la adición de sustancias como álcalis o ácidos, tratamientos que además alterarían el endosperma aumentando la digestibilidad del almidón (Curbelo, 2010, como se cita en Araújo & Urrestarazú, 2014).

En cuanto a la degradabilidad del almidón, se ha observado que el grano de sorgo presenta la menor tasa de degradación en el rumen y, a su vez, muestra la mayor capacidad de escape a la fermentación ruminal. Le siguen en orden el maíz, avena, cebada y trigo (Hibberd, Wagner, Schemm, Mitchell, Weibel, Hintz, 1982).

2.4.3 Uso de GS como ingrediente de raciones

Ensayos realizados por Monje (2002) donde se evaluó la performance de terneros Hereford cruza con Cebú, alimentados con dietas en base a sorgo molido seco y sorgo molido húmedo se reportan ganancias medias diarias para el sorgo seco molido de 1,007 kg/día con una eficiencia de conversión de 5,7, mientras que para la ración a base de grano húmedo molido se obtuvieron ganancias de 0,98 kg/día con una eficiencia de conversión de 4,8, mejorando la performance animal al utilizar granos húmedos.

Piñeyrúa et al. (2013) presentan que utilizando dietas altamente concentradas en base a GS molido, en un sistema de confinamiento con novillos en terminación obtuvieron ganancias medias diarias de 1,4 kg/día con una eficiencia de conversión de 8,1, resultados que se asemejan a los reportados anteriormente en distintos ensayos, donde varía la categoría animal y composición de la dieta evaluada.

Según Beretta y Simeone (2014) cuando se analiza la alimentación a corral en base a GS en cada categoría por separado, puede mencionarse que la excelente conversión lograda con los terneros en el sistema ADT hace viable económicamente su uso en un amplio escenario de precios de grano de sorgo y de ganado.

En experimentos de alimentación a corral con animales de recría y de engorde de raza Hereford, utilizando dietas donde el sorgo constituía por lo menos un 65% de la materia seca, Beretta y Simeone (2014), obtuvieron ganancias medias diarias de 1,27 kg/día y una eficiencia de conversión de 4,6 para la categoría de terneros, mientras que para los novillos se obtuvo una ganancia media diaria de 1,52 kg/día con una eficiencia de conversión de 7,1 (Beretta & Simeone, 2014).

2.5 GRANO DE ARROZ CON CÁSCARA

El arroz cultivado es una planta anual semiacuática en climas templados y subtropicales, pero en climas tropicales puede sobrevivir como perenne. Después de la cosecha, puede rebrotar para una segunda cosecha o utilizarse como forraje para el ganado. Las plantas de arroz maduran con un tallo principal y varios brotes laterales llamados macollos (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2006).

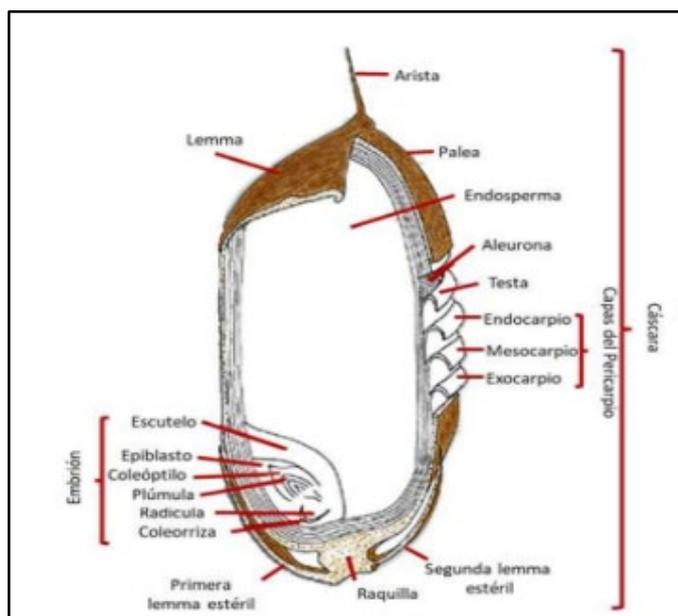
2.5.1 Estructura, composición química y nutricional

El grano de arroz con cáscara es una estructura compleja (Figura 2) formada por una capa protectora exterior que lo cubre, llamada cáscara (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 endospermo. El endospermo, a su vez, está constituido por una capa ubicada bajo la aleurona (subaleurona) y el almidón o endosperma interno. El embrión está formado por el esculeto, la plúmula, la radícula y el epiblasto.

Además de estas estructuras, existen otras que están asociadas al grano como son las lemmas estériles, ubicadas en la base del grano y la raquilla situada en el extremo opuesto de la arista que constituye una prolongación de la lemma (Juliano, 1992).

Figura 2

Morfología del grano de arroz



Nota. Tomado de Juliano (1992).

La cáscara del grano de arroz representa aproximadamente el 20 % de su peso total, aunque esta proporción puede variar en un rango comprendido entre el 16 % y el 28 %. Los componentes restantes del grano de arroz, excluyendo la cáscara, incluyen el pericarpio (1-2 % del peso), la aleurona, nucelo y cubierta de la semilla (4-6 %), el embrión (1 %), el escutelo (2 %), y el endospermo, que puede constituir hasta el 90 % del peso total del grano (Juliano, 1992).

La aleurona puede estar formada por una a cinco capas, siendo más gruesa en la parte dorsal del grano que en su parte ventral, y también en los granos cortos más que en los largos. La aleurona y las células del embrión son ricas en proteínas y contienen fitatos y lípidos. Las células del endosperma están cubiertas por una membrana delgada que contiene los amiloplastos, estructuras donde se alojan los gránulos de almidón. La subaleurona es rica en proteínas y lípidos, y contiene amiloplastos y gránulos de almidón más pequeños que las células del interior del endosperma. Finalmente, los gránulos de almidón tienen una forma de poliedro de un tamaño de entre 3 y 9 μm , mientras que las proteínas, principalmente redondas, alcanzan dimensiones que varían entre 0,5 y 4,0 μm , siendo las proteínas de la subaleurona las de menor tamaño (Juliano, 1992).

Es correcto que el grano de arroz con cáscara, también conocido como arroz paddy en el ámbito industrial, ha sido poco evaluado a nivel internacional como fuente de alimentación en rumiantes. Sin embargo, las tablas de composición y valores nutricionales de los materiales de alimentación, proporcionan información detallada sobre la composición química y los valores nutricionales del mismo (INRAE et al., 2002a).

En la tabla 2 se presentan la composición química y evaluación nutricional del GACC de las tablas desarrolladas por INRAE et al. (2002a), utilizándose la misma fuente reportada para el GS como referencia comparativa del sorgo. Estos

datos incluyen varios parámetros importantes, como el contenido de proteína cruda, proteína metabolizable, energía bruta, energía neta de crecimiento, digestibilidad, entre otros.

Tabla 2*Composición química del arroz paddy*

Arroz Paddy		
Parámetro	En base seca	Unidad
Materia Seca	88	%
Proteína cruda	8,5	%
Fibra cruda	11	%
NDF (Fibra detergente neutra)	26,4	%
ADF (Fibra detergente ácida)	13,5	%
Paredes celulares insolubles en agua	25,5	%
Almidón	64,3	%
Almidón método enzimático	62,7	%
Azúcares totales	1,2	%
Energía bruta (kcal)	4240	kcal/kg
PDIA INRAE 2018 (PNDR)	20	g/kg
PDI INRAE 2018 (PM)	66	g/kg
PDR INRAE	46	g/kg
Unidad de llenado para rumiantes	0,313	por kg
Energía metabolizable para rumiantes (kcal)	2400	kcal/kg
Energía neta para producción de carne en rumiantes (kcal)	1430	kcal/kg
Digestibilidad de la MO en rumiantes	70,4	%
Digestibilidad energética en rumiantes	66,8	%
Degradabilidad de N en rumiantes	69	%
Degradabilidad del almidón en rumiantes	68	%
Degradabilidad de la MS en rumiantes INRAE 2018	57	%
Ácidos grasos totales	2,2	%
Digestibilidad NDF	57	%
Digestibilidad Ácidos grasos totales	69,8	%
Cenizas	5.8	%

Nota. Adaptado de INRAE et al. (2002a).

2.5.2.1 Características que afectan el valor nutricional del GACC

El grano de arroz como alimento en rumiantes puede ser utilizado como fuente de energía en base a su aporte de almidón tal cual como mencionan McDonald et al. (1995). El almidón del GACC se caracteriza por ser duro y vítreo a la vez, por lo que la temperatura de gelatinización del almidón es elevada (70°C) y su degradabilidad ruminal según INRAE et al. (2002a) es de 68%.

Otro aspecto relevante es el contenido de fibra detergente neutra, donde el grano de arroz paddy, debido a la presencia de su cáscara aporta más del doble de fibra detergente neutra en comparación con el grano de sorgo cuya FDN posee una digestibilidad de 79% vs 57% del GACC, aspecto que debe ser considerado al formular raciones para el ganado bovino (INRAE et al., 2002a).

En cuantos al aporte de proteína y su composición se destaca la degradabilidad del nitrógeno a nivel ruminal el cual repercute directamente sobre la proporción de proteína microbiana en relación a la metabolizable a nivel del intestino influyendo así en la eficiencia de uso de la misma según menciona NRC (1985).

2.5.3 Uso de grano de GACC como ingrediente de raciones

Existen pocos trabajos evaluando el GACC como fuente energética de la dieta en animales en confinamiento tanto a nivel nacional como internacional.

En Misuri, EEUU, Weaver y Moffett (1937) llevaron a cabo experimentos con novillos Hereford utilizando el GACC como alimento. La dieta estuvo compuesta por GACC (70%), semilla de algodón (10%) y heno de soja (20%). Durante el estudio, obtuvieron una ganancia media diaria de peso de 0,811 kg/día y una eficiencia de conversión del alimento de 7,38 a 1.

Además de evaluar el grano de arroz, también analizaron la performance del grano de maíz en el mismo experimento. Encontraron que los novillos alimentados con grano de maíz presentaron una ganancia media diaria de 0,960 kg/día y una eficiencia de conversión del alimento de 6,3 a 1.

De acuerdo con los resultados, el ganado alimentado con GACC molido ganó un 18% menos de peso por cabeza por día en comparación con aquellos alimentados con grano de maíz (Weaver & Moffett, 1937).

Snell et al. (1945) evaluaron el engorde de novillos utilizando diferentes productos derivados del maíz y el arroz, así como paja de arroz. Se evaluó la ganancia de peso, el consumo de alimento y los valores de venta. En el estudio se alimentaron diferentes grupos de novillos Hereford/Angus de 230 kilos promedio, con distintas raciones que diferían en el concentrado que incluían maíz, arroz pulido, GACC molido, arroz para alimentación de pollos y salvado de arroz, junto con harina de semilla de algodón. Los novillos fueron alimentados gradualmente con cantidades crecientes de la mezcla de alimentos. Los resultados se muestran en la tabla 3. Se observó que el maíz produjo la mayor ganancia de peso con la menor cantidad de alimento requerido. El arroz pulido y el GACC molido también generaron buenas ganancias, mientras que el arroz para alimentación de pollos y el salvado de arroz resultaron en ganancias más bajas. En términos de valor de alimentación, el arroz pulido fue el más cercano al maíz,

seguido por el GACC molido y el arroz para alimentación de pollos. El salvado de arroz tuvo el menor valor en comparación con el maíz.

En cuanto a la evaluación de valores de venta llegaron al resultado de que el GACC produjo ganancias satisfactorias, pero debería venderse a un 84% a 86% del precio del maíz para ser un alimento rentable para el ganado. Cuando el arroz paddy cuesta más que el maíz, resulta demasiado caro utilizarlo para obtener beneficios.

Tabla 3

Resultados del experimento

Lote	Tipo de Alimentación	Ganancia media diaria	EC (kg Concentrado/kgPV)
1	Alimentación con Maíz	1,15	4,37
2	GACC molido	1,08	4,68
3	Arroz para pollos	0,95	5,28
4	Pulimento de arroz	1,10	4,62
5	Salvado de arroz	1,90	5,84

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

Dyer y Weaver (1955) observaron el comportamiento del GACC y el grano de maíz en novillos Hereford evaluando la composición química de ambos granos y la ganancia de peso vivo. Como resultado de la composición química/nutricional se obtuvo que el maíz y GACC difieren ampliamente tanto en composición como en características físicas. La composición promedio de cada uno se muestra en la tabla 4 donde se observa que el arroz es mucho más rico en fibra y minerales que el maíz, pero contiene menos grasa, proteína y nutrientes digestibles totales. A su vez en cuanto a características físicas definen a el arroz como un grano relativamente pequeño comparado con el maíz, duro y encerrado en cáscaras duras que tienen crestas afiladas con proyecciones similares a dientes (Dyer & Weaver, 1955).

Tabla 4

Composición química del arroz con cáscara y maíz

Parámetro	GACC	Maíz
Proteína libre de N %	7,9	8,6
Grasa %	1,8	3,9
Fibra %	9	2
Extracto libre de N %	64,9	69,3
Materia Mineral %	5,2	1,2
Total Nutrientes Digestibles %	70,2	80,1

Nota. Adaptado de Dyer y Weaver (1955).

Para el experimento se utilizaron dos lotes con las siguientes dietas, Lote 1: Maíz descascarillado, 10 partes, harina de semilla de algodón, 1 parte, en peso,

y heno de soja. Lote II: GACC molido, 7 partes, harina de semilla de algodón, 1 parte, en peso, y heno de soja.

Los resultados mostraron que el ganado alimentado con maíz descascarillado (Lote I) ganó peso más rápidamente que el ganado alimentado con GACC molido, 0,977 kg/d vs 0,821 kg/d. El GACC era altamente apetecible y el ganado consumió más arroz diariamente que maíz.

En este experimento, Dyer y Weaver (1955) obtuvieron una superioridad de 25% en eficiencia de conversión de alimento del maíz sobre el arroz, siendo los animales alimentados con arroz los que requieren más kg de ración para ganar un kg de peso vivo.

En un experimento llevado a cabo por Argenta (2015), se evaluaron tres dietas formuladas a base de maíz, avena y GACC (85%), todas compuestas por grano entero y un núcleo concentrado comercial (15%). Estas dietas fueron ofrecidas a novillos de 320 kg en promedio, pertenecientes a las razas Nelore y Charolais. Los resultados revelaron que el peso final de los animales en los tratamientos de maíz y avena fue superior al registrado en el tratamiento con GACC, atribuido a una menor Ganancia Media Diaria (GMD).

La disminución en la GMD del tratamiento con arroz podría explicarse por el contenido de sílice presente en el grano ya que provoca una menor palatabilidad del alimento, ya que se presenta como un material más abrasivo y áspero al tacto del animal al ingerir el grano (Van Soest, 1994). Además este componente reduce la actividad de los microorganismos digestivos encargados de descomponer los carbohidratos (Jones & Handreck, 1967).

Para el tratamiento donde se utilizó GACC como alimento principal Argenta (2015), obtuvo una ganancia media diaria de 0,71 kg/día y una eficiencia de conversión de 11,1, mientras que para maíz y avena las ganancias fueron 1,30 kg/día y 1,07 kg/día respectivamente, con eficiencias de conversión de 6,07 para maíz y 7,99 avena (Argenta, 2015). Esta misma autora reporta que no se encontraron diferencias entre dietas para el consumo de materia seca, ni el consumo de proteína bruta (las dietas fueron formuladas en base a un similar aporte de proteína), pero si en el consumo de extracto etéreo (grasa bruta) siendo los animales alimentados con avena los que consumieron más expresado como porcentaje de peso vivo (0,09%) en relación a la dieta a base de maíz (0,07%) y arroz (0,03%).

En el estudio realizado por Silva de Melo et al. (2005) observaron que los alimentos ricos en extracto etéreo (EE) pueden resultar interesantes, ya que aumentan la densidad energética de la dieta. Sin embargo, el uso de cantidades superiores al 7% del total de materia seca (MS) puede disminuir la digestibilidad de los nutrientes en el rumen. Esto se debe a la formación de una barrera física de grasa en las partículas, comprometiendo el desempeño animal.

La tabla 5 tiene como objetivo exponer los resultados de estudios realizados en años anteriores, evaluando la GMD y EC tanto como para el maíz como para el GACC.

Tabla 5

Resumen de trabajos por diferentes autores con maíz y GACC como parte de la dieta

Autor (año)	Variable	Maiz	GACC	Tipo GACC	Dif EC % Maíz/Arroz
Weaver y Moffet (1937)	GMD	0,96	0,81	Molido	18
	EC	6,31	7,38		
Snell et al. (1945)	GMD	1,15	1,08	Molido	7
	EC	4,37	4,68		
Dyer y Weaver (1955)	GMD	0,98	0,82	Molido	25
	EC	-	-		
Argenta (2015)	GMD	1,3	0,71	Entero	45
	EC	6,07	11,1		

Como se evidencia en la tabla 5 y en consonancia con la observación inicial sobre la carencia de información en estudios de raciones basadas en GACC, se han identificado solo cuatro experimentos a lo largo de más de 80 años. En resumen, se destaca la consistente inferioridad del rendimiento del GACC en comparación con el maíz en todos los casos analizados. No obstante, podrían complementarse al aportar el GACC almidón y proteína de mayor degradabilidad ruminal.

2.6 HIPÓTESIS

Existe un nivel óptimo de sustitución de grano de sorgo por GACC en la dieta de terneras alimentadas a corral que optimiza la ganancia de PV y EC del alimento. Ésta respuesta estará asociada a cambios en el consumo de MS y aprovechamiento de los nutrientes consumidos afectando el valor nutritivo de la dieta.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 PERIODO, ÁREA EXPERIMENTAL E INSTALACIONES

El experimento fue realizado en la Unidad de Producción Intensiva de carne (UPIC) la cual se encuentra en la Estación Experimental, «Dr. Mario A. Cassinoni» (EEMAC), Facultad de Agronomía, Universidad de la República, ubicada en el kilómetro 363 de la Ruta 3 departamento de Paysandú, la duración del experimento fue de 11 semanas a partir del 01/07/2022.

Para el manejo de alimentación de los animales se contó con 32 corrales individuales, a cielo abierto, cada corral de 3 metros de ancho por 14,5 metros de largo, (43,5 m²/ animal) provisto de un comedero y bebedero con agua ofrecida a voluntad. Para la preparación de las raciones se utilizó una balanza digital de pie de capacidad máxima de 60 kg. Los corrales se encontraban cercanos a la manga la cual contaba con balanza para ganado.

3.2 CLIMA

En la tabla 6 se presenta el régimen de temperaturas y precipitaciones para el periodo y área experimental.

Tabla 6

Medidas de precipitaciones y temperaturas durante el periodo de estudio

Temperatura (C°)				
Meses	Mínima	Máxima	Promedio	Precipitaciones (mm)
Junio	4,7	14,7	9,4	17,7
Julio	9,1	18,1	13,4	75,4
Agosto	6,2	17,9	12,1	39,2
Septiembre	8,7	20,2	14,3	60,6

Nota. Adaptado de EEMAC (s.f.).

3.3 ALIMENTOS

Se utilizaron cuatro raciones totalmente mezcladas (RTM), sin fibra larga (30% de inclusión de GEA como fuente de fibra físicamente efectiva) elaboradas en base a sorgo grano molido, difiriendo en el nivel de sustitución de GS por GACC. Los niveles de sustitución fueron (0% GACC y 45% GS), (15% GACC y 30% GS), (30% GACC y 15% GS) y (45% GACC y 0% GS), siendo los porcentajes en base seca de la RTM. Las raciones fueron elaboradas en forma de pellet en la Cooperativa Agraria Nacional (COPAGRAN) de Paysandú. En las tablas 7 y 8 se presenta la composición de ingredientes de las raciones experimentales y núcleo utilizado respectivamente.

Tabla 7

Composición de las raciones experimentales difiriendo la inclusión de GACC en sustitución de GS

Alimento	GACC-0	GACC-15	GACC- 30	GACC- 45
Grano entero de avena	30%	30%	30%	30%
Grano de arroz con cáscara molido	0%	15%	30%	45%
Grano de sorgo	45%	30%	15%	0%
Afrechillo de trigo	17%	17%	17%	17%
Núcleo experimental	8%	8%	8%	8%
Total	100%	100%	100%	100%

Tabla 8

Composición del núcleo experimental

Ingrediente	Porcentaje %
Urea	13,89
Insalmix feedlot	0,69
carbonato de calcio	64,44
Sal común Na Cl	4,17
Fuente de monensina (20% monensina)	0,14
Cloruro de potasio	16,67
Total	100

3.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA

En la tabla 9 se presenta la composición química de las raciones utilizadas en cada tratamiento.

Tabla 9

Composición química de las raciones experimentales difiriendo la inclusión de GACC sustituyendo GS molido

Análisis	Tratamientos			
	0%	15%	30%	45%
MS%	95,1	95,4	95,4	95,2
Cenizas %	7,4	7,8	10,7	9,6
PC %	11,8	12,5	12,2	10,6
aFDNmo%	23,8	20,5	22,7	23,4
FDAmo %	10,9	11,5	11,8	12,2
EE%	3,3	5,1	4,8	4,5
EB Mcal/kgMS	4,2	3,9	4,3	4,1
CHO's no fibrosos % ¹	20,3	15,4	11,1	16,1

Nota. MS (materia seca), aFDNmo (fibra detergente neutra de la materia orgánica), FDAmo (fibra detergente ácida de la materia orgánica), EE (extracto etéreo), EB (energía bruta), PC (proteína cruda). ¹. Ver Anexo A.

Los análisis se determinaron de forma secuencial en equipos Fiber Analyzer 200, mediante la tecnología Ankom Technology Corporation (Fairport, N.Y) y según Van Soest et al. (1991).

La cuantificación del extracto etéreo se realizó por extracción con éter mediante la técnica Soxhlet (Latimer, 2012), la MS se determinó por secado a 105 °C (Latimer, 2012), la proteína cruda se cuantificó mediante la técnica de Kjeldahl Kjeldahl, la cual determina el contenido total de nitrógeno del alimento. El nitrógeno cuantificado se multiplica por el factor 6.25, debido a que se toma en consideración que todo el nitrógeno del alimento está en forma de proteína, y que estas contienen 16% de nitrógeno (Latimer, 2012), mientras que el contenido de cenizas se obtuvo a través de una incineración de la muestra a 600°C (Latimer, 2012).

3.5 ANIMALES Y TRATAMIENTOS

Se utilizaron 32 terneras Hereford de 272 kg \pm 26 kg promedio provenientes del rodeo experimental de la EEMAC, nacidas en la primavera del año 2021 y destetadas precozmente a corral. Las mismas fueron asignadas al azar a una de las cuatro dietas experimentales previa estratificación por peso vivo. Cada tratamiento estuvo integrado por 8 repeticiones, cada repetición asignada a un corral de estabulación individual.

3.6 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El periodo experimental fue precedido por un periodo preexperimental de 16 días (1 al 16 de julio) durante el cual los animales fueron acostumbrados a las nuevas instalaciones e introducidos de forma gradual al consumo de la dieta experimental. Durante este periodo, el alimento se ofreció durante 2 veces al día, 8:00 y 13:00 hs, respectivamente. Al comienzo los animales fueron separados por tratamiento y luego con el transcurso de los días se fueron separando gradualmente hasta quedar una ternera por corral. Previo al inicio del periodo experimental, los animales fueron tratados para control de parásitos internos y externos. Al finalizar este periodo los animales fueron pesados siendo este registro considerado como peso vivo al inicio del experimento. El agua fue suministrada a voluntad en bebederos compartidos.

Durante el periodo experimental que tuvo una duración de 10 semanas a partir del 16 de julio, todos los animales fueron ubicados en corrales individuales donde contaban con un comedero y bebedero por animal. La ración fue suministrada 3 veces por día en iguales cantidades, a las 8:00, 13:00 y 17:00 horas. Tanto el alimento como el agua siempre estuvieron a voluntad de los animales.

Los análisis químicos de cada muestra compuesta se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía. Sobre los alimentos ofrecidos y rechazados se determinó el contenido de MO, N total, ADIN, NDF, ADF, lignina y EE. Sobre las muestras compuestas de heces por animal y periodo se determinó el contenido de MO y cenizas insolubles en ácido

3.7 REGISTROS Y MEDICIONES

3.7.1 Peso vivo y altura al anca.

El peso vivo fue registrado al inicio del experimento y luego se repitió la medición cada 14 días, sin ayuno previo, a primera hora de la mañana y previo a la primera comida. A inicio y final del periodo experimental, se midió la altura al anca de cada animal.

3.7.2 Consumo de Materia Seca

El consumo de Materia Seca (MS) se midió diariamente como la diferencia entre la materia seca ofrecida y el rechazo, el cual era pesado previo a suministrar la primera comida del día y luego desechado. La eficiencia de conversión fue estimada a partir del consumo medio diario y la ganancia media diaria ajustada.

Para la determinación del contenido de MS, se tomaron muestras semanalmente del alimento ofrecido y residual, y luego fueron secadas en estufa por 48 horas. Las muestras fueron conservadas para posteriores análisis químicos.

3.7.3 Digestibilidad

En las semanas 4 y 10 se realizó durante 5 días consecutivos muestreos de heces y alimento para la estimación en vivo de la digestibilidad aparente de la

materia seca, utilizando como marcador interno la concentración de las cenizas insolubles en ácido en heces y alimentos (Rodríguez et al., 2007).

Para obtener las muestras de heces se llevaron todos los animales a la manga y se recolectaron individualmente, directamente desde el recto. Cada muestra se identificó con el número de caravana del animal y luego se llevaron al laboratorio para mantener en frío. Finalizado el periodo de 5 días de muestreos se realizó una muestra compuesta por animal la que fue secada en la estufa hasta peso constante. Posteriormente cada muestra fue molida y conservada para posterior análisis químico. Cabe destacar que durante dicho periodo se tomaron muestras de la ración ofrecida y rechazada las cuales también fueron analizadas.

3.7.4 Comportamiento animal

Durante dos días consecutivos 18/08 -19/08, y 9/09 -10/09 en las semanas 5 y 8 respectivamente durante las horas de luz del día se observaron y registraron las actividades de los animales.

Para cada animal en particular, se registró en intervalos de 10 minutos la actividad que se encontraban realizando: acceso al comedero, rumia, descanso, acceso a bebedero.

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El experimento fue analizado según un diseño de parcelas al azar considerado al animal como unidad experimental, y utilizando un modelo general incluyendo el efecto fijo de tratamiento, así como el efecto de la semana y su interacción con el tratamiento para variables con medidas repetidas en el tiempo.

Para las siguientes variables: altura inicial y final, digestibilidad de la materia seca y de la materia orgánica, consumo de la materia seca digestible (kg), eficiencia de conversión y peso vivo (por semana para poder evaluar la evolución de peso vivo). Se utilizó el siguiente modelo lineal general:

$$Y_{ij} = \mu + \zeta_j + \epsilon_{ij}$$

Y_{ijk} = representa a las variables de respuesta (altura inicial, altura final, digestibilidad de la materia seca, digestibilidad de la materia orgánica, consumo de la materia seca digestible (kg), eficiencia de conversión, eficiencia de conversión de la materia seca digestible y peso vivo (por semana para poder evaluar la evolución de peso vivo)).

μ = media.

T_i = efecto del i -ésimo nivel de sustitución de sorgo grano por GACC (i = 0%; 15%; 30% y 45%).

ϵ_{ij} = error experimental.

Para analizar el rechazo y el consumo (% de peso vivo) se utilizó el procedimiento Mixed de SAS y el siguiente modelo general del procedimiento MIXED:

$$Y_{ijklm} = \mu + \zeta_j + \varepsilon_{jk} + S_1 + (\zeta S)_{jl} + \sigma_{ijklm}$$

donde, Y_{ijklm} : consumo de materia seca, rechazo y alimento ofrecido.

μ : media general.

ζ_j : efecto del j-ésimo tratamiento (1, 2, 3, 4).

S: efecto de la S-ésima semana (1,2...,10).

ε_{jk} : error experimental.

σ_{ijklm} : es el error de la medida repetida en el tiempo (dentro de animales).

La ganancia media diaria también fue analizada con el procedimiento MIXED, con el siguiente modelo general:

$$Y_{ijklm} = \beta_0 + \zeta_j + \varepsilon_{jk} + \beta_1 d_1 + \beta_1 j \zeta_j d_1 + \beta_2 PV_{jk} + \sigma_{ijklm}$$

Dónde, Y_{ijklm} : peso vivo.

β_0 : intercepto.

ζ_j : efecto del j-ésimo tratamiento (1, 2, 3, 4).

ε_{jk} : error experimental.

β_1 : pendiente promedio (ganancia diaria) del peso vivo (PV) en función de los días (d_1).

$\beta_1 j$: es la pendiente del peso vivo en función de los días para cada tratamiento.

β_2 : es la pendiente que afecta a la covariable PV al inicio del experimento (PV_{jk}). σ_{ijklm} : es el error de la medida repetida en el tiempo (dentro de animales).

Por último, la variable de comportamiento animal en el corral fue analizado mediante el procedimiento Glimmix de SAS de acuerdo al siguiente modelo estadístico:

$$\ln(P/(1-P)) = \mu + \alpha_i + S_j + D_k + (\alpha S)_{ij} + (\alpha D)_{ik}$$

Donde, P: probabilidad de ocurrencia de la actividad.

μ : media poblacional.

α_i : efecto relativo del i-ésimo tratamiento (t=4).

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

D_k : efecto relativo del día en que se realizó la medición.

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

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

Cuando existió un efecto significativo del tratamiento en alguna de las variables estudiadas, se analizó si el efecto de este era lineal o cuadrático (asociado al nivel de GACC en la dieta).

Se consideró que un efecto era significativo, cuando la probabilidad de error Tipo I fue menor al 5%. Cuando la misma fue entre 5% y 10% se consideró una tendencia.

4. RESULTADOS

4.1 CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD

En la tabla 10 se presenta el efecto del tratamiento, la semana y la interacción entre ambos, sobre el consumo promedio de materia seca expresado en kg/día, y de materia seca digestible, con su correspondiente digestibilidad, y el rechazo como porcentaje de lo ofrecido.

Tabla 10

Efecto de tratamientos sobre consumo de materia, digestibilidad aparente y el rechazo según lo ofrecido

Variable	Tratamientos ¹				P Valor				
	0%	15%	30%	45%	EE	T	S	D(S)	TxS
CMS									
kgMS/día	7,38	7,54	7,39	7,70	0,35	0,8762	<0,0001	<0,0001	0,0001
CMSD									
kgMS/día	5,60	5,20	4,48	4,84	0,20	0,002	<0,0001		6.547
DMS %	74	68	61	63	1,87	0,0001	0,2729		1.934
Rechazo ²	11	10	14	10	0,9	0,0068	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Nota. ¹ Niveles crecientes de inclusión de granos de arroz con cáscara en la ración en sustitución de grano de sorgo, ² Como porcentaje de lo ofrecido, DMS: Digestibilidad de materia seca, CMSD: Consumo de materia seca digestible.

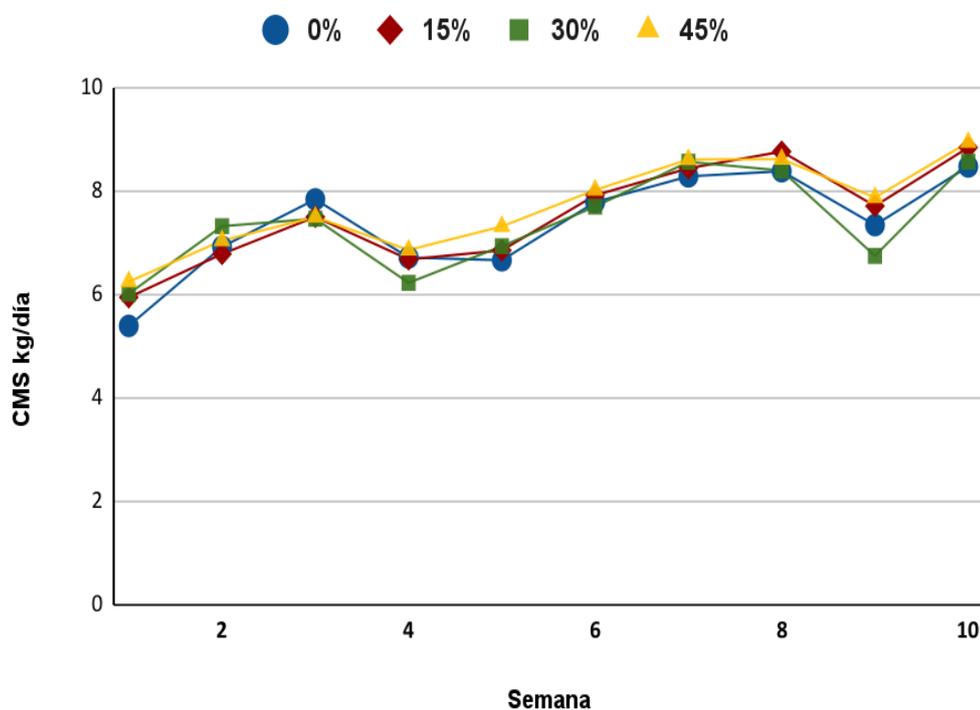
El uso de niveles crecientes de inclusión de GACC en la ración, no afectó el CMS de las terneras (T. $P > 0,05$). Este efecto fue dependiente de la semana de medición del consumo (T×S. $P \leq 0,05$). El CMS presentó variaciones entre días (D(S). $P > 0,0001$) sin embargo, esta variación fue independiente del efecto de tratamiento (T x DS; $P = 0,2738$).

La DMS (%) fue afectada significativamente por el nivel de inclusión de GACC en la dieta ($T < 0,0001$; Tabla 1) cayendo en forma cuadrática ($p = 0,0192$, figura 5) y resultando en diferencias también muy significativas en el CMSD ($P = 0,02$). Este último mostró una respuesta lineal negativa ($p = 0,0023$) (figura 7), es decir, a medida que aumentó la inclusión de GACC tendió a disminuir el CMSD.

En la figura 3 se muestra la evolución del consumo en kg MS a lo largo de las diez semanas para cada uno de los tratamientos.

Figura 3

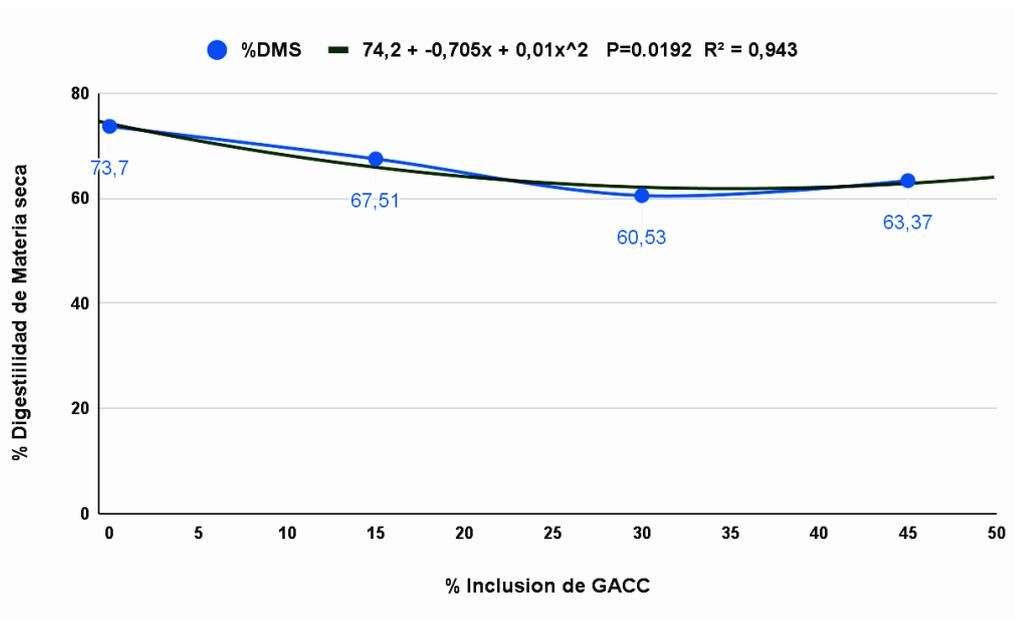
Efecto de la inclusión de GACC sobre el consumo semanal de materia seca (16/07 al 26/09)



El CMS aumentó conforme los animales fueron aumentando de peso vivo, y esta respuesta no mostró diferencias dependiendo del nivel de inclusión de GACC. En la semana 4 y 9, los descensos en consumo podrían explicarse en primer lugar, por el cambio de corral de las terneras por falta de acostumbramiento, mientras que en el segundo caso se podría haber dado por un factor externo en el cambio de la dieta, ya que se le suministró con diferente procesamiento.

Figura 4

Digestibilidad de MS expresada como porcentaje según el nivel de inclusión de GACC en la dieta



La DMS, presentó una respuesta cuadrática ($P= 0,0192$), alcanzando su mínimo valor se obtiene cuando se incluyó 35% de GACC.

La digestibilidad In Vitro según los diferentes niveles de FDA para cada una de las dietas tampoco variaron entre sí (Anexo B), por lo que se puede decir que, la DMS in vivo estaría influenciada por otros factores.

Con respecto al rechazo, se registraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P<0,05$), donde el tratamiento GACC 30% fue significativamente mayor que GACC 15% y GACC 45% sin registrarse significancia con GACC 0%. Según Lascano et al. (1990), los animales se encontraron bajo un régimen alimenticio ad libitum ya que el ofrecido fue 10% superior al consumido.

4.2 CRECIMIENTO

En la tabla 11 se presenta el efecto de tratamiento sobre las variables de crecimiento de los animales durante el periodo experimental y la GMD entre tratamientos.

Tabla 11

Efecto de tratamientos sobre el crecimiento de las terneras, GMD en kg/día y eficiencia de conversión

Variable	Tratamientos				EE	P-valor
	0	15	30	45		
Peso vivo inicial (kg)	271	272	270	277	9,8	0,9555
Peso vivo final (kg)	351	349	339	357	4,4	0,2730
Altura final (cm)	122	120	121	122	0,9	0,6061
GMD (kg/día)	1,16	1,13	1,00	1,17	0,1	0,2226
EC	6,66	6,83	7,65	6,61	0,35	0,16

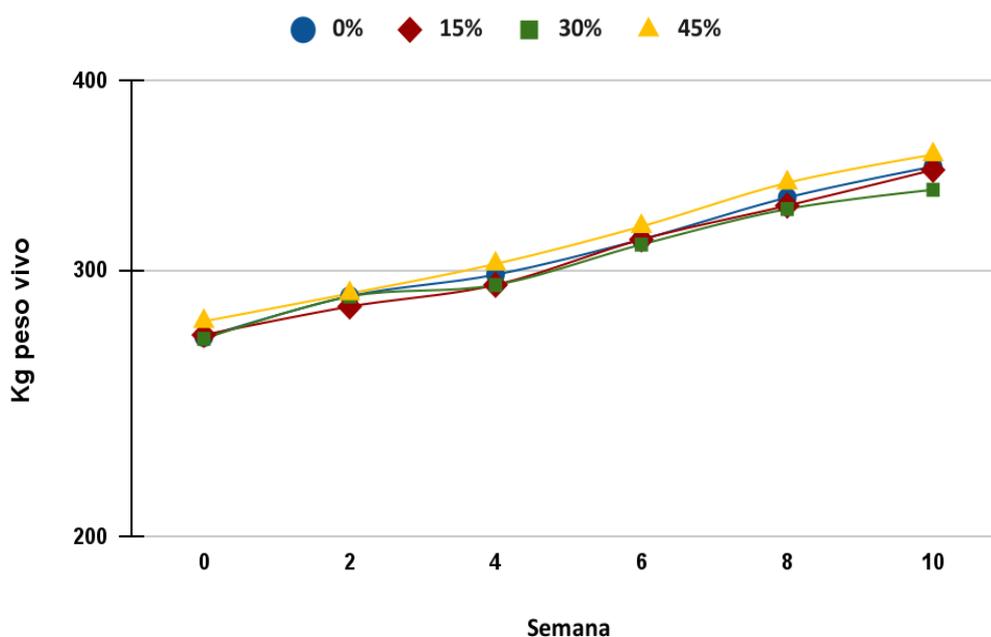
Nota. GMD; Ganancia media diaria, EC; Eficiencia de conversión.

Ninguna de las variables evaluadas, GMD, peso y altura al anca final o la eficiencia de conversión fueron afectadas por el nivel de inclusión de GACC en la dieta.

En la figura 5 se muestra la evolución de PV en kg durante todo el período experimental donde se puede observar que la curva de crecimiento fue similar para los tratamientos y que no hubo efecto de las diferentes dietas.

Figura 5

Evolución del peso vivo en kg a lo largo del periodo experimental para cada tratamiento



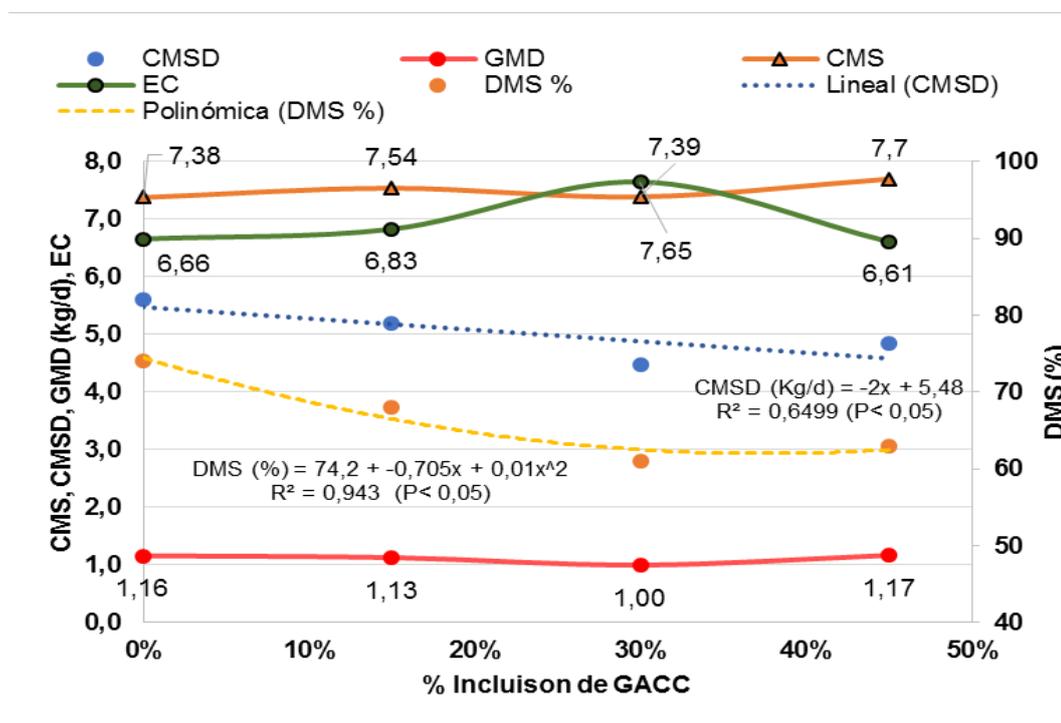
Los animales comenzaron con 272 kg promedio y alcanzaron 349 kg al final del experimento, por ende, ganaron 77 kg durante la fase experimental que comprendió 70 días.

En cuanto a los resultados de altura de anca inicial y final en los cuatro tratamientos, prestados en la tabla 11, no hubo diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la altura final de los animales, indicando que los tratamientos no tuvieron efecto. Cabe destacar la correlación que hay entre altura final e inicial, donde a mayor altura inicial se espera mayor altura final.

En la figura 6 se presenta un resumen de los resultados obtenidos teniendo en cuenta las variables analizadas (GMD;EC;DMS,CMSD).

Figura 6

Efecto del nivel de GACC en la dieta sobre distintas variables. Resumen de los resultados



4.3 COMPORTAMIENTO ANIMAL

En la tabla 12 se presentan resultados sobre variables comportamentales de los animales y los análisis de varianza de las mismas, expresadas como la probabilidad de encontrar un animal realizando alguna de las actividades observadas como fueron; consumo, rumia, descanso y acceso al agua.

Tabla 12

Efecto del nivel de GACC en dieta sobre distintas características del comportamiento (expresado como probabilidad)

Actividad	Tratamientos ¹				EE	T	P-Valor	
	0%	15%	30%	45%			S	TxS
Consumo	0,146	0,139	0,141	0,163	0,061	0,12	<.0001	0,79
Rumia	0,061	0,053	0,051	0,069	0,247	0,57	0,042	0,3
Descanso	0,765 a	0,779 a	0,769 a	0,695 b	0,083	0,002	0,0004	0,11
Agua	0,029 ab	0,026 b	0,037 ab	0,042 a	0,132	0,017	0,21	0,0483

Nota. ¹Inclusión de GACC, T= Tratamiento, S= Semana, TxS= Interacción tratamiento por semana.

Como se observa en la tabla 12, el nivel de GACC afectó significativamente sólo la actividad de descanso y acceso al bebedero, no observándose efecto sobre el consumo o la rumia. Para estas últimas, sí se observó un efecto significativo de la semana, independientemente del tratamiento. En la tabla 13 se presenta la probabilidad de ocurrencia de consumo, rumia y descanso según la semana de observación.

Tabla 13

Probabilidad de encontrar un animal realizando una de las cuatro variables comportamentales analizadas

Consumo	Tratamiento			
	0%	15%	30%	45%
Semana 1 b	0,10	0,10	0,10	0,10
Semana 2 a	0,20	0,20	0,20	0,20
Rumia				
Semana 1 b	0,05	0,05	0,02	0,06
Semana 2 a	0,07	0,05	0,08	0,07
Agua				
̄ Semanas	0,03 ab	0,03 b	0,04 a	0,04a
Descanso				
Semana 1 a	0,81	0,81	0,81	0,70
Semana 2 b	0,72	0,74	0,72	0,69

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

Se reportaron diferencias significativas entre semanas para las actividades consumo, rumia y descanso. Para el caso de consumo y rumia, se observó que hubo mayor probabilidad de ocurrencia en la semana 2 que en la semana 1, a diferencia del descanso. A su vez, se puede asentar las diferencias significativas entre tratamientos para la ingesta de agua y descanso. El tratamiento GACC 45% difirió significativamente ($P < 0,05$) del GACC 15% en la ingesta de agua, donde además se registró un menor descanso en relación a los restantes tratamientos.

5. DISCUSIÓN

La inclusión del GACC en sustitución del grano de sorgo en dietas de terneras Hereford alimentadas *ad libitum* no modificó el CMS, la GMD, ni la EC de los animales. La sustitución no generó una diferencia de FDN en la composición de la dieta en cada tratamiento, por lo que el consumo fue el mismo para cada uno. Esto no era lo esperado considerando la composición química según tablas (INRAE et al., 2002a) y el elevado aporte de la cáscara en el grano de arroz, sin embargo, esta evidencia es consistente con la ausencia de diferencias estadísticas en el consumo de materia seca. Existe una estrecha relación negativa entre el aporte de FDN y el consumo de materia seca, asociado a una menor tasa de digestión que resulta en un mayor tiempo de retención (McDonald et al., 1995).

La presencia de la cáscara de arroz, resultó en un incremento de casi 30% en el contenido de cenizas, 12% en la FDA y como contraparte en una reducción de 20% en el contenido de CHO no fibrosos. Si bien el extracto etéreo aumentó 36%, esto no se vio reflejado en los valores de EB de las RTMs (Tabla 9). Estos cambios en la composición química, probablemente expliquen parcialmente la caída observada en la digestibilidad aparente estimada *in vivo* a medida que se incrementó la participación de GACC en la dieta, fundamentalmente asociado a la baja calidad de la cáscara del grano de arroz, y considerando que los valores de EE se mantuvieron por debajo del límite establecido por (Silva de Melo et al., 2005).

El CMSD, sin embargo, disminuyó en forma lineal a medida que aumentó el GACC en la dieta como resultado de esa reducción en la DMS, y de la variación, aunque no significativa, del CMS. Estos resultados confirman parcialmente la hipótesis planteada en cuanto a los cambios esperados en términos del aprovechamiento del alimento.

Argenta (2015) presenta similares resultados sobre el consumo de materia seca, no hallando diferencias significativas entre tratamientos de sustitución de grano de maíz por GACC. Sin embargo, reporta menor GMD, y per EC para el GACC. En el caso de este trabajo puntualmente, vale aclarar que los granos fueron ofrecidos enteros.

A pesar de la caída observada en el CMSD no se detectaron cambios significativos en la GMD de peso vivo, ni en la EC del alimento. En la figura 6 se presenta en forma agregada la respuesta conjunta de estas variables al aumento de GACC en la dieta. Esto lleva a pensar que otros factores, como variaciones en la fermentación ruminal y sitio de digestión asociados al tipo de almidón y al procesamiento, eventualmente contribuyeron a una mejor eficiencia del proceso (compensando la menor digestibilidad *in vivo*) y/o con un mayor aporte de proteína metabolizable

Pordomingo et al. (2002) mencionan que la digestibilidad del almidón está explicada casi en su totalidad por el tipo de almidón de que se trate y el procesamiento que se le haya realizado, afectando la tasa de fermentación en rumen y el sitio de digestión. Cuando el almidón se digiere en el intestino delgado puede mejorar la eficiencia de utilización de la dieta por su digestión directa (Waldo, 1973), afectar el sitio de digestión del nitrógeno, y mejorar la eficiencia de conversión de la materia seca (Russell et al., 1981; Streeter et al., 1989).

En el presente trabajo, el aporte de CHO no estructurales, básicamente explicados por el aporte de almidón, fue 20% menor en la RTM 45% respecto a la de 0%, sin embargo, las características fermentativas del almidón de arroz podrían haber compensado parcialmente el menor aporte en rumen. La información reportada por (INRAE et al., 2002a, 2002b) y resumida en las tablas 1 y 2, con respecto al grano de sorgo y grano de arroz con cáscara, respectivamente, señala para el GACC una mayor degradabilidad total del almidón (67 vs 61%, para una tasa de pasaje de $k_p=0,06$), y esta misma fuente reporta una mayor tasa de degradación (0,08/h vs 0,05/h) la cual puede haber contribuido a una mayor fermentación ruminal. Sin embargo, el mayor CMS -aunque no sea significativo- en GACC 45% respecto al testigo (7,70 vs 7,38 kg/d) puede haber generado una mayor tasa de pasaje, favoreciendo la digestión de parte del almidón en el intestino delgado.

La ausencia de respuesta en términos de GMD podría ser consecuencia de que el aporte de proteína metabolizable haya sido el primer nutriente limitante con respecto a la energía metabolizable, en la expresión de mayores tasas de crecimiento. Dado un similar contenido de PC entre las dietas, la mayor degradabilidad de nitrógeno del GACC (69 vs 43%, estimados para un consumo de 2%; (INRAE et al., 2002a, 2002b) asociado a una elevada fracción soluble (45% vs 5% respectivamente) y elevada tasa de degradación (0,11/h vs 0,06/h) podrían haber contribuido a una mayor síntesis de biomasa microbiana, con menor aporte de proteína no degradable en rumen, la cual probablemente haya sido mayor a medida que se redujo la inclusión de GACC.

Según NRC (1985), la eficiencia de utilización de la proteína microbiana, es superior a la proteína de sobrepaso (PNDR), que no ha sido atacada por los microorganismos ruminales, generando que no sea de igual calidad. Este aspecto es de gran importancia, ya que se está analizando la respuesta en animales jóvenes, los cuales presentan requerimientos elevados de proteína debido a que se encuentran en pleno proceso de síntesis de tejido muscular (Parra et al., 2006, como se cita en Elizalde & Riffel, s.f.).

Por último, los patrones de comportamiento observados fueron consistentes con las similitudes en CMS, GMD y EC ya que dados los diferentes tratamientos de niveles de inclusión de GACC en la dieta, no se registraron diferencias significativas en consumo ni rumia.

En cuanto patrón del comportamiento a lo largo de las semanas como se presenta en la tabla 13 donde la probabilidad de encontrar un animal consumiendo fue aumentando a través de las mismas y podría estar explicado por un posible aumento de los costos de mantenimiento y desarrollo ruminal, explicando así los aumentos de actividad de la rumia a lo largo de las semanas y disminuciones de los descansos, independientemente del tratamiento.

Es notable que la inclusión de GACC no influyó en los patrones de comportamiento ingestivo, pero sí en aspectos más vinculados al metabolismo, como se discutió anteriormente en relación con la composición química y nutricional de cada dieta.

6. CONCLUSIÓN

El estudio de la inclusión de GACC en la alimentación de terneras Hereford en confinamiento durante la estación de invierno proporcionó hallazgos significativos. Contrariamente a las expectativas, la sustitución del GS por GACC no produjo cambios notables en el consumo, la ganancia de peso ni la eficiencia de conversión de los animales. Esto desafió la hipótesis inicial de que existía un nivel óptimo de sustitución que maximizaba la ganancia de peso y la eficiencia de conversión del alimento. Esto conlleva a que se pueda sustituir el GS por GACC sin afectar negativamente la performance animal.

Si bien se observaron diferencias en la digestibilidad de materia seca entre los tratamientos, estas diferencias no influyeron en el consumo. Esto sugiere la presencia de factores intrínsecos tanto en la dieta como en los animales que explican la eficiencia de conversión, además de los ritmos de digestión.

En resumen, los resultados de este estudio brindan una comprensión más profunda de la complejidad de la relación entre la inclusión de GACC y el rendimiento de las terneras en confinamiento. Estos hallazgos resaltan la necesidad de continuar investigando para comprender mejor cómo aprovechar el potencial nutricional del GACC en la alimentación animal y cómo optimizar la dieta en función del sitio de digestión del almidón y la calidad de la proteína metabolizable.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, M. S., & Mertens, D. R. (1988). Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. *The Journal of Nutrition*, 118(2), 261-270.
<https://doi.org/10.1093/jn/118.2.261>
- Araújo, R., & Urrestarazú, M. (2014). *Evaluación del efecto del ensilado en granos de sorgo cosechados húmedo sobre el sitio de digestión en bovinos* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/10253/1/FV-30869.pdf>
- 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]. Univesidade Federal de Santa María.
- 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>
- Blanco, M. R. (1999). *Alimento y los procesos digestivos en el rumen*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/70-alimentos_rumen.pdf
- Bock, B. J., Brandt, R. T., Harmon, D. L., Anderson, S. J., Elliott, J. K., & Avery, T. B. (1991). Mixtures of wheat and high-moisture corn in finishing diets: Feedlot performance and in situ rate of starch digestion in steers. *Journal of Animal Science*, 69(7), 2703-2710.
<https://doi.org/10.2527/1991.6972703x>
- Cecava, M. (1995). Concentrates for beef cattle. En T. W. Petty & M. Cecava (Eds.), *Beef cattle feeding and nutrition* (2ª ed., pp. 138-166). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-012552052-2/50013-5>
- Cedrés, M., & Zabalveytia, N. (2017). *Evaluación del grano de avena entero como fuente de fibra efectiva en dietas de corral ofrecidas a terneros de destete precoz* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/18626/1/TS_Cedr%c3%a9sG%c3%b3mezMaximiliano.pdf
- Church, C. D. (Ed.). (1993). *El rumiante: Fisiología digestiva y nutrición*. Acribia.
- Collares, M., Macció, M., & Varalla, D. (2008). *Manejo de la fibra en sistemas de alimentación a corral para vacunos en crecimiento y terminación* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.

- Conrad, H. R. (1966). Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Physiological and physical factors limiting feed intake. *Journal of Animal Science*, 25(1), 227-235.
<https://doi.org/10.2527/jas1966.251227x>
- 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)
- Demeyer, D., & Van Nevel, C. (1986). Influence of substrate and microbial interaction on efficiency of rumen microbial growth. *Reproduction, Nutrition, Development*, 26(1B), 161-179.
<https://doi.org/10.1051/rnd:19860203>
- 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
- Di Marco, O. N. (2007). *Conceptos de crecimiento aplicados a la producción de carne*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/19-conceptos_de_crecimiento.pdf
- Domanski, C., Giorda, L. M., & Feresin, O. (1997). *Composición y calidad del grano de sorgo*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/42-calidad_y_composicion_del_grano_de_sorgo.pdf
- Duodu, K., Taylor, J., Belton, P., & Hamaker, B. (2003). Factores que afectan la calidad nutricional del sorgo y el maíz. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(9), 836-843.
- Dyer, A. J., & Weaver, L. A. (1955). *Corn substitutes for fattening cattle*. University of Missouri.
- Elizalde, J. C., Parra, V. F., & Duarte, G. A. (2003). *Resultados de engordes a corral de vacunos realizados en diferentes sistemas de producción de carne*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/overnada_o_engorde_a_corral_o_fee_dlot/06-resultados_engorde_a_corral.pdf
- Elizalde, J. C., & Riffel, S. L. (s.f.). *El futuro de los sistemas ganaderos en Argentina*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/origenes_evolucion_y_estadisticas_de_la_ganaderia/73-futuro.pdf
- Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni. (s.f.). *Annual climatological summary*. <http://meteorologia.eemac.edu.uy/NOAAPRYR.TXT>

- Evers, A., O'Brien, L., & Blakeney, A. (1999). Cereal structure and composition. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(5), 629-650. <https://doi.org/10.1071/AR98158>
- Forbes, J. M. (2007). *Voluntary food intake and diet selection in farm animals* (2nd ed.). CABI.
- Gagliostro, G. (2005). *Principios de nutrición y suplementación de bovinos en pastoreo y feedlot*. INTA.
- Galyean, M. L., Wagner, D. G., & Johnson, R. R. (1976). Site and extent of starch digestion in steers fed processed corn rations. *Journal of Animal Science*, 43(5), 1088-1094. <https://doi.org/10.2527/jas1976.4351088x>
- García Berretta, E., & Oneto Martínez, L. (2017). *Avena grano entero como fuente de fibra efectiva en dietas de corral para terneros* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/18648/1/TS_Garc%c3%adaBerretaEmiliano.pdf
- Garriz, M., & López, A. (2002). *Suplementación con nitrógeno no proteico en rumiantes*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/07-suplementacion_con_nitrogeno.pdf
- Goetsch, A., & Galyean, M. (1983). Influence of feeding frequency on passage of fluid and particulate markers in steers fed a concentrate diet. *Canadian Journal of Animal Science*, 63(3), 727-730. <https://doi.org/10.4141/cjas83-084>
- Haresign, W., & Cole, D. J. A. (1988). *Avances en nutrición de los rumiantes*. Acribia.
- Herrera-Saldana, R. E., Huber, J. T., & Poore, M. H. (1990). Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *Journal of Dairy Science*, 73(9), 2386-2393. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78922-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78922-9)
- Hibberd, C. A., Wagner, D. G., Schemm, R. L., Mitchell, E. D., Hintz, R. L., & Weibel, D. E. (1982). Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grains. *Journal of Animal Science*, 55(3), 665-672. <https://doi.org/10.2527/jas1982.553665x>
- Hibberd, C. A., Wagner, D. G., Schemm, R. L., Mitchell, E. D., Weibel, D. E., & Hintz, R. L. (1982). Digestibility characteristics of isolated starch from sorghum and corn grain. *Journal of Animal Science*, 55(6), 1490-1497. <https://doi.org/10.2527/jas1982.5561490x>
- Huck, G. L., Kreikemeier, K. K., Kuhl, G. L., Eck, T. P., & Bolsen, K. K. (1998). Effects of feeding combinations of steam-flaked grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry-rolled corn on growth performance and carcass characteristics in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 76(12), 2984-2990. <https://doi.org/10.2527/1998.76122984x>

- Huntington, G. B. (1997). Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *Journal of 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. (2002a). *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. (2002b). *Sorghum*.
<https://www.feedtables.com/content/sorghum>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2006). *El cultivo en Uruguay: Uruguay exportador de arroz*. INIA.
http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ara/ara_188.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.
- Kreikemeier, K. K., Harmon, D. L., Brandt, R. T., Nagaraja, T. G., & Cochran, R. C. (1990). Steam-rolled wheat diets for finishing cattle: Effects of dietary roughage and feed intake on finishing steer performance and ruminal metabolism. *Journal Animal Science*, 68(7), 2130-2141.
<https://doi.org/10.2527/1990.6872130x>
- Lascano, C. E., Borel, R., Quiroz, R., Zorrilla, J., Chaves, C., & Wernli, C. (1990). Recomendaciones sobre metodología para la medición de consumo y digestibilidad in vivo. En M. E. Ruiz & A. Ruiz (Eds.), *Nutrición de rumiantes: Guía metodológica de investigación* (pp. 159-168). IICA.
- Latimer, G. W. (2012). *Official methods of analysis of the AOAC international* (19th ed.). AOAC International.
- McAllister, T. A., Phillippe, R. C., Rode, L. M., & Cheng, K. J. (1993). Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal Microorganisms. *Journal of Animal Science*, 71(1), 205-212.
<https://doi.org/10.2527/1993.711205x>
- McCartor, M. M., England, M. W., & Hefley, H. M. (1972). Effect of various roughages in high concentrate beef cattle diets on animal performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 34(1), 142-145.
<https://doi.org/10.2527/jas1972.341142x>
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J., & Morgan, C. (1995). *Nutrición animal* (5^{ta} ed.). Acribia.

- McNeill, J. W., Potter, G. D., & Riggs, J. K. (1976). Ruminal and postruminal carbohydrate utilization in steers fed processed sorghum grain. *Journal of Animal Science*, 33(6), 1371-1388.
<https://doi.org/10.2527/jas1971.3361371x>
- Mendoza, G. D., Pinos, J. M., Ricalde, R., Aranda, E. M., & Rojo, R. (2003). Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos en pastoreo. *Interciencia*, 28(4), 202-207.
http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442003000400004&script=sci_arttext
- Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1463-1481.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2)
- Monje, A. (2002). *Utilización de grano de sorgo en sistemas de feedlot de terneros*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/11-grano_sorgo_feedlot.pdf
- 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. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_granos/13-montielyElizalde.pdf
- National Research Council. (1985). *Nutrient requirements of beef cattle*. National Academy Press.
- National Research Council. (1996). *Nutrient requirements of beef cattle* (7^a ed.). National Academy Press.
- Offner, A., Bach, A., & Sauvant, D. (2003). Revisión cuantitativa de la degradación in situ del almidón en el rumen. *Ciencia y Tecnología de Alimentación Animal*, 106(1-4), 81-93.
- Owens, F. (s.f.). *Corn grain processing and digestion*.
<https://sweetbran.com/storage/ND3HtiXllc7XokM7ARtqV6kQgkysJg07wUmGSPLK.pdf>
- Philippeau, C., Martin, C., & Michalet-Doreau, B. (1999). Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extent of digestion in beef steers. *Journal of Animal Science*, 77(6), 1587-1596.
<https://doi.org/10.2527/1999.7761587x>
- Pigurina, G., Methol, M., Acosta, Y., Bassewitz, H., & Mieres, J. (1991). *Guía para la alimentación de rumiantes*. INIA.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2955/1/111219220807113951.pdf>

- Piñeyrúa, D., Pisón, A., & Preve, R. (2013). *Evaluación de alternativas de procesamiento del grano de sorgo para la terminación de novillos en confinamiento* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1767/1/3845pin.pdf>
- 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. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 31(1), 1-23. <https://www.redalyc.org/pdf/864/86431101.pdf>
- Reed, J. (1995). Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science*, 73(5), 1516-1528. <https://doi.org/10.2527/1995.7351516x>
- Repetto, J., & Cajarville, C. (2013, 8 de febrero). *¿Es posible lograr la sincronización de nutrientes en sistemas pastoriles intensivos?* Engormix. https://www.engormix.com/lecheria/suplementacion-vaca-lechera/posible-lograr-sincronizacion-nutrientes_a29967/
- Rodríguez, N. M., Oliveira Simões, E., & Guimarães-Júnior, R. (2007). Uso de indicadores para estimar consumo y digestibilidad de pasto: LIPE, lignina purificada y enriquecida. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(4), 518-525. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2544486.pdf>
- 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>
- Russell, J. B., O'Connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J., & Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, 70(11), 3551-3561. <https://doi.org/10.2527/1992.70113551x>
- Russell, J. R., Young, A. W., & Jorgensen, N. A. (1981). Effect of dietary corn starch intake on pancreatic amylase and intestinal maltase and pH in cattle. *Journal of Animal Science*, 52(5), 1177-1182. <https://doi.org/10.2527/jas1981.5251177x>
- Sauvant, D. (1997). Conséquences digestives et zootechniques des variations de la vitesse de digestion de l'amidon chez les ruminants. *INRAE Productions Animales*, 10(4), 287-300. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1997.10.4.4003>

- Silva de Melo, A. A., De Andrade Ferreira, M., Chaves Verás, A. S., De Andrade Lira, M., De Lima, L. E., Silva Pessoa, R. A., Valença Bispo, S., Duarte Cabral, A. M., & Azevedo, M. (2005). Carvão 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.
- Simeone, A., Beretta, V., & Elizalde, J. C. (2008). Encierre de terneros o Sistema ADT. 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. 38-41). 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.
- Stock, R. A. (1999). Nutritional benefits of specialty grain hybrids in beef feedlot diets. *Journal of Animal Science*, 77(2), 208-212.
https://doi.org/10.2527/1999.77suppl_2208x
- Streeter, M. N., Wagner, D. G., Owens, F. N., & Hibberd, C. A. (1989). Combinations of high-moisture harvested sorghum grain and dry-rolled corn: Effects on site and extent of digestion in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 67(6), 1623-1633.
<https://doi.org/10.2527/jas1989.6761623x>
- Theurer, C. B. (1986). Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, 63(5), 1649-1662.
<https://doi.org/10.2527/jas1986.6351649x>
- Tillman, A. D., Furr, R. D., Hansen, K. R., Sherrod, L. B., & Word, J. D. (1969). Utilization of rice hulls in cattle finishing rations. *Journal of Animal Science*, 29(5), 792-796. <https://doi.org/10.2527/jas1969.295792x>
- Tillman, A. D., & Sidhu, K. S. (1969). Nitrogen metabolism in ruminants: Rate of ruminal ammonia production and nitrogen utilization by ruminants: A review. *Journal of Animal Science*, 28(5), 689-697.
<https://doi.org/10.2527/jas1969.285689x>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd 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.
[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Waldo, D. R. (1973). Extent and partition of cereal grains starch digestion in ruminants. *Journal of Animal Science*, 37(4), 1062-1074.
<https://doi.org/10.2527/jas1973.3741062x>
- Weaver, L. A., & Moffett, H. C. (1937). *Rough rice for fattening cattle, sheep, and hogs*. University of Missouri.

8. ANEXOS

ANEXO A

Estimación CHOS no fibrosos (Almidón)

Dentro de este concepto, el cual está constituido principalmente por carbohidratos digeribles, así como también vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados; debido a que se obtiene como la resultante de restar a 100 los porcentajes calculados para cada nutriente, los errores cometidos en su respectiva evaluación repercutirán en el cómputo final (Osborne & Voogt, 1978).

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 (%).

Tabla A1

Estimación de CHos no fibrosos a partir de datos de composición química

Tratamiento	CHoS no fibrosos
0%	20.3
15%	15.4
30%	11.1
45%	16.1

Nota. Se utilizaron los datos de composición química de las raciones.

Referencia bibliográfica

Osborne, D. R., & Voogt, P. (1978). *The analysis of nutrients in foods*. Academic Press.

ANEXO B

Estimación de digestibilidad in vitro

Se presentan los valores de digestibilidad de la materia seca en base a FDA como lo presenta Di Marco (2011) en base a datos de composición química de la ración ofrecida.

$$\% \text{ DIVMS} = 88.9 - (\% \text{FDA} \times 0.779)$$

Referencia bibliográfica

Di Marco, O. (2011). Estimación de calidad de los forrajes. *Producir XXI*, 20(240), 24-30.

https://www.produccionanimal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/45-calidad.pdf