

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DEL USO DEL GRANO ENTERO DE AVENA COMO FUENTE
DE FIBRA EN RACIONES DE CONFINAMIENTO SOBRE EL APORTE DE
FIBRA EFECTIVA, FERMENTACIÓN RUMINAL Y DIGESTIBILIDAD DEL
ALIMENTO

por

María Noel BANCHERO MELOGNO

Virginia MARTÍNEZ TARTAGLIA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO

URUGUAY

2019

Tesis aprobada por:

Director:

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

.....
Ing. Agr. (MSc.) (PhD.) Álvaro Simeone

.....
Ing. Agr. Victoria Burjel

Fecha: 25 de setiembre de 2019

Autoras:

.....
María Noel Banchemo Melogno

.....
María Virginia Martínez Tartaglia

AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares y amigos por estar siempre presentes en este camino acompañando y apoyando, su ayuda fue imprescindible para lograr nuestra meta.

A Virginia Beretta y Álvaro Simeone por la oportunidad, el aprendizaje y la dirección brindado en cada etapa del trabajo.

A nuestros compañeros, también a Stefania Pancini, Álvaro Delgado, Javier Caorsi, Diego Mosqueira y demás funcionarios de la EEMAC por su valiosa contribución y ayuda en la etapa de campo.

A todo el personal del tambo de la EEMAC por su compañía y colaboración en las tareas diarias.

A Oscar Luengo por estar siempre a la orden de lo que podíamos necesitar.

A Oscar Bentancur asesor estadístico por su valiosa ayuda en el proceso de datos.

A Sully Toledo por su apoyo durante el proceso de corrección.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	2
2.2. <u>DEFINICION DE FIBRA Y SU IMPORTANCIA EN DIETAS PARA RUMIANTES</u>	2
2.2.1. <u>Fibra físicamente efectiva</u>	3
2.2.2. <u>Recomendaciones de niveles de FDNfe en dietas a corral</u>	4
2.3. <u>FIBRA Y CONSUMO DE MATERIA SECA (MS)</u>	5
2.4. <u>DEGRADABILIDAD DE LA FIBRA Y pH RUMINAL</u>	7
2.5. <u>GRANO ENTERO DE AVENA (GEA) COMO FUENTE DE FIBRA</u>	9
2.5.1. <u>Caracterización del GEA</u>	9
2.5.2. <u>Resultados de experimentos con grano entero de avena como fuente de fibra efectiva</u>	12
2.6. <u>HIPÓTESIS</u>	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
3.1. <u>UBICACIÓN</u>	15
3.2. <u>ANIMALES</u>	15
3.3. <u>INFRAESTRUCTURA</u>	15
3.4. <u>ALIMENTOS</u>	15
3.5. <u>TRATAMIENTOS</u>	16
3.6. <u>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</u>	16
3.6.1. <u>Período pre-experimental</u>	16
3.6.2. <u>Período experimental</u>	17
3.7. <u>REGISTROS Y MEDICIONES</u>	17
3.7.1. <u>Actividad de consumo, rumia y descanso</u>	17
3.7.2. <u>Consumo de materia seca (MS)</u>	17
3.7.3. <u>Caracterización física de las RTMs y aporte de FDNfe</u>	17
3.7.4. <u>Digestibilidad aparente in vivo</u>	18
3.7.5. <u>Degradabilidad in situ de la materia seca</u>	18
3.7.6. <u>pH de rumen</u>	20
3.8. <u>CARACTERIZACIÓN DEL GRANO ENTERO DE AVENA (GEA)</u>	20

3.9. ANÁLISIS QUÍMICOS.....	20
3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	21
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	23
4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA DIETA.....	23
4.2. CONSUMO.....	24
4.3. DEGRADABILIDAD IN SITU DE LA MATERIA SECA.....	26
4.4. pH RUMINAL.....	28
4.5. COMPORTAMIENTO.....	30
4.6. DISCUSIÓN GENERAL.....	32
5. <u>CONCLUSIONES</u>	34
6. <u>RESUMEN</u>	35
7. <u>SUMMARY</u>	36
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	37
9. <u>ANEXOS</u>	46

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Composición química de diferentes granos.....	9
2. Contenido de minerales en grano de avena.....	11
3. Composición de ingredientes y química de las raciones experimentales difiriendo en la fuente de fibra efectiva: heno de moha (H) o grano entero de avena (GEA).....	16
4. Efecto de la sustitución del heno de moha (H) por grano entero de avena (GEA) como fuente de fibra sobre características físicas y aporte de FDNfe de las RTMs.....	23
5. Efecto de la sustitución del heno de moha (H) por grano entero de avena (GEA) como fuente de fibra sobre el consumo diario de MS, FDN y FDNfe, y sobre la digestibilidad de la materia seca.....	24
6. Proporción de GEA en heces.....	26
7. Cinética de la degradación de los dietas.....	27
8. Comportamiento animal durante las horas luz.....	30
 Gráfico No.	
1. Curvas de degradación en rumen de las RTMs experimentales molidas.....	27
2. Evolución del pH ruminal durante 24 hs. en novillos según dieta experimental suministrada.....	29
3. Patrón de consumo.....	31
4. Patrón de rumia.....	32

1. INTRODUCCIÓN

El uso de dietas altamente concentradas en el engorde de novillos a corral, debe asegurar el aporte de fibra efectiva de forma de evitar trastornos digestivos. En este tipo de dieta, la fibra tiene un rol más bien mecánico de estímulo de la masticación y rumia, contribuyendo para el correcto funcionamiento del rumen, a través de la salivación y el control del pH ruminal. Por esta razón, la incorporación de la fibra disminuye el riesgo de acidosis que se podría generar al utilizar dietas altamente concentradas.

La disponibilidad de fuentes de fibra más convencionales como son las reservas forrajeras (henos o ensilajes) no siempre puede darse, ya sea por restricciones agroecológicas asociadas al sistema de producción (como podría ser el caso de regiones de suelos superficiales) o por el costo que suponen al ser fuentes de fibra larga ya que es imprescindible contar con maquinaria específica para el picado y distribución, así como también con instalaciones donde almacenarlas.

Como alternativas se ha investigado sustituir la fibra larga por fuentes no tan convencionales de fibra corta, como son por ejemplo subproductos de la industria de la celulosa (retornable fino), o de la agricultura (cáscaras de arroz, semilla de algodón, granos enteros), que facilitan el manejo desde el punto de vista operativo y de esta forma se torna más viable la implementación del sistema de alimentación a corral a menor escala.

El grano entero de avena (GEA) debido a que contiene una tercera parte de su peso como cáscara, podría ser una fuente de fibra corta y generar los niveles mínimos necesarios de aporte de fibra efectiva para evitar problemas digestivos. Sin embargo, es importante considerar que la inclusión del GEA no solamente aporta fibra a la dieta sino también almidón, el cual es de alta degradabilidad, pudiendo modificarse significativamente el valor nutritivo de la dieta a través de cambios en el consumo de materia seca, fermentación ruminal y aprovechamiento digestivo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución de la fibra larga (heno de moha) por grano entero de avena en dietas concentradas, sobre las características de la fermentación ruminal, digestibilidad y comportamiento de vacunos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen los antecedentes bibliográficos relacionados a la importancia de la fibra en dietas altamente concentradas de engorde a corral y su rol en el correcto funcionamiento del ambiente ruminal. También información sobre la sustitución de fuentes de fibra larga por alternativas de fibra corta poniendo énfasis en el grano entero de avena como fuente de fibra efectiva y el impacto que este cambio supone en la fermentación ruminal y en la digestibilidad del alimento.

2.2 DEFINICIÓN DE FIBRA Y SU IMPORTANCIA EN DIETAS PARA RUMIANTES

La fibra está compuesta por carbohidratos estructurales tales como celulosa, hemicelulosa, pectinas, β -glucanos, lignina y ácido fenólico (Bach y Calsamiglia, 2006). Estos se cuantifican mediante el Método de los Detergentes desarrollado por Van Soest, citado por Acosta (1991). Este método consiste en someter la fibra a tres procesos, con detergente neutro, detergente ácido y una solución ácida para determinar la lignina. De este modo, se llega a determinar la Fibra Detergente Neutro (FDN) que cuantifica la celulosa, hemicelulosa y lignina; la Fibra Detergente Ácido (FDA) que representa la celulosa y lignina (Van Soest et al., citados por Bach y Calsamiglia, 2006); y, por último, la Lignina Detergente Ácido (LDA), que separa la lignina (Bach y Calsamiglia, 2006).

Según Palladino et al. (2006) los hidratos de carbono son el componente más importante de las raciones para rumiantes. Su aporte no es solo nutricional (proporción de celulosa, hemicelulosa y lignina), sino que también colabora para un correcto funcionamiento ruminal. Cuando la cantidad de fibra en la dieta es excesiva, la producción se ve afectada debido a que se produce un mayor llenado ruminal, una menor tasa de pasaje y un menor consumo. Por otro lado, cuando el aporte de fibra es bajo, existe riesgo de problemas como acidosis, laminitis o desplazamiento de abomaso.

Para mantener el ambiente ruminal saludable es esencial la presencia de fibra en dietas altamente concentradas, ya que esta estimula la rumia e insalivación, procesos que influyen en el efecto buffer del rumen, manteniendo valores de pH dentro de rangos normales entre 6,2 y 7,0 (Mertens, 2002). Habitualmente se usa heno como fuente de fibra, pero este a su vez genera dificultades operativas para su suministro, también entorpece el trabajo y trae aparejados problemas de consumo (rechazo de heno ofrecido, disminución de

consumo por menos tasa de pasaje, etc, Palladino et al., 2006). La posibilidad de sustituir el mismo por otras fuentes que no presenten dicha problemática, dependerá de la cantidad de fibra físicamente efectiva (FDNfe) que aporten. Esta última estará determinada por el contenido de FDN y el tamaño de las partículas (Mertens, 1997).

2.2.1 Fibra físicamente efectiva

La respuesta animal que se encuentra asociada con la FDNfe es la actividad de masticación, la FDNfe de un alimento se puede obtener mediante la multiplicación de la FDN por su factor de efectividad física (fef). Este factor, varía desde 0, cuando la FDN no es eficaz en promover la masticación, hasta 1 cuando es totalmente eficaz promoviendo la masticación (Mertens, 2002). Estudios empíricos desarrollados por Allen (1996) indican que el tamaño de partícula, la ingestión de materia seca y la FDN del forraje son los factores que más influyen en la determinación del tiempo total de masticación ($r^2 = 0,69$).

Mertens (1997) diferencia la FDNef de la fibra detergente neutro efectiva (FDNe). La primera está relacionada con las características físicas de la fibra antes mencionadas, mientras que la FDNe está referida a la capacidad de reemplazar forraje o fibra en una ración de manera que el porcentaje de grasa en la leche producida por vacas que comen la ración, se mantenga eficazmente, lo que estaría dado por la capacidad de la fibra de la dieta en estimular la masticación y la rumia.

FDNfe es la cantidad de fibra con capacidad de estimular la rumia y la salivación. Por ejemplo, un heno sin picar hace un mayor aporte de FDNfe que el mismo heno picado, a pesar de contener la misma cantidad de FDN y la misma composición de celulosa, hemicelulosa y lignina. Por lo tanto, la FDNfe es el criterio de formulación más adecuado para valorar el aporte mínimo de fibra que garantiza una alimentación adecuada (Palladino et al., 2006).

La rumia es el proceso por el cual los contenidos del rumen son completamente mezclados y dónde las partículas más grandes y menos digeridas son re-dirigidas hacia arriba, regurgitadas, masticadas y tragadas nuevamente. Este proceso se repite una y otra vez hasta que las partículas alcanzan un tamaño lo suficientemente pequeño y un área de superficie relativamente grande que permite a las bacterias y protozoarios del rumen digerirlas más eficientemente. Llegado el momento las partículas de alimento abandonan el retículo-rumen y entran al omaso en su ruta hacia el abomaso (García y Kalscheur, 2006). Por esto, se ha considerado de importancia determinar el tamaño de partícula y cuantificar la efectividad de la misma. Una buena forma de determinar el tamaño y distribución de las partículas en los

alimentos es mediante el separador de partículas de forrajes Penn State, desarrollado por Lammers et al., citados por Beauchemin et al. (2006). Esta determinación se basa en la utilización de bandejas con cribas de diferentes tamaños (criba superior 19 mm, criba media 8 mm, criba inferior 1,18 mm, bandeja) que agitadas de cierto modo separa las partículas y las estratifica. El fef se estima como la proporción de MS contenida en las bandejas superior, media e inferior en relación al peso total de la muestra; la FDNfe será resultado del producto entre fef y el contenido de FDN de la dieta. Las partículas mayores a 1,18 mm tardan más tiempo en salir del rumen, debido a esto son las que estimulan la masticación (Poppi et al., 1985).

La acidosis ruminal subaguda (SARA) es una enfermedad importante que causa pérdidas el sistema de producción, dado los problemas de salud que genera y la elevación de costo de la dieta, en función de una peor digestibilidad de la fibra y descenso de la eficiencia de conversión. La SARA y el pH ruminal, son dependientes del contenido de FDNfe, de la fuente de almidón y fermentabilidad de la dieta (Zebeli et al., 2008).

Es a través del tamaño de partícula de la dieta que es posible incrementar el tiempo de masticación y mejorar las condiciones del pH ruminal; de esta manera se podría disminuir el riesgo de acidosis ruminal (Yang et al., citados por Beauchemin et al., 2006). De acuerdo con Zebeli et al. (2009) el pH ruminal promedio diario, puede verse incrementado al aumentar la relación entre la cantidad de FDNfe > 1.18mm y el contenido de almidón degradable en rumen de granos en la ración totalmente mezclada (RTM) pese a esto, la relación no es lineal, debido a que presenta una curva asintótica cuando la relación es de 1.45 a pH ruminal constante de 6.2.

2.2.2 Recomendaciones de niveles de FDNfe en dietas a corral

Los niveles mínimos de fibra se basan en mantener la salud ruminal y del animal, mientras que los máximos estarán condicionados por los requerimientos de energía del animal, debido a que un mayor nivel de fibra puede estar limitando el consumo voluntario de materia seca mediante el efecto del llenado del rumen (Keim, 2013).

El requisito de FDNfe en la dieta va a depender del grado de procesamiento del grano, el nivel y la velocidad de fermentación del almidón, la relación forraje/concentrado entre otras características de la RTM (Zebeli et al., 2012). Además, la fibra, energía y proteína de la dieta deben manejarse de manera conjunta. La cantidad de fibra a utilizar está determinada por el nivel de seguridad con que se quiera trabajar para no afectar el ambiente ruminal,

teniendo en cuenta que altos niveles de FDN llevan a empeorar la eficiencia de conversión (Barra, 2005).

Pordomingo (2005), manifiesta que la mínima cantidad de fibra a agregar en una dieta, para que esta mantenga una actividad fermentativa apropiada es de 10% de FDA, en base seca. También menciona que al menos la mitad del aporte de fibra, tiene que ser FDN efectiva o fibra larga, y en este caso la función de la misma es para la generación de un efecto mecánico, lo que abre posibilidades a utilizar diversos sustitutos de bajo costo.

Fox y Tedeschi (2002) recomiendan por su parte niveles de FDNfe en un rango de 7 a 10% en raciones altamente concentradas de feedlot, con el objetivo de mantener el pH del rumen por encima de 5,7, que es el umbral por debajo del cual los bovinos reducen la ingesta de MS (Britton y Stock, 1986).

Por otro lado, si el objetivo fuese maximizar la digestibilidad de la pared celular para optimizar la utilización de forraje, se necesitaría un mínimo de 20% de FDNfe en la dieta base (Fox y Tedeschi, 2002).

Mertens (2002) reporta valores de FDNfe de 12 a 18% de MS de la ración, siendo un óptimo 15%, y señala que este rango se puede ver modificado para coincidir con diversos objetivos, por ejemplo, si se quiere minimizar los abscesos hepáticos el incremento de la FDNfe de 15 a 18% reduce esta incidencia y también mantiene altas tasas de ganancia. Si se quiere mejorar la eficiencia de conversión se puede reducir hasta 12% la FDNfe. Además de los diversos objetivos, también existen consideraciones nutricionales que son explicadas por el autor, que se deben de tener en cuenta cuando se ajusta la FDNfe y estas son: las proporciones de carbohidratos fácilmente fermentables, subproductos incluidos a las dietas, aumento de concentraciones de grasas en raciones (disminuye fermentación ruminal, por lo que el mínimo de FDNfe puede reducirse), la consistencia en la composición de la ración y los horarios de alimentación (evitar consumos y/o suministros despereados para evitar cuadros acidóticos), utilización de buffers, el manejo del comedero y frecuencia de alimentación.

2.3 FIBRA Y CONSUMO DE MATERIA SECA (MS)

Según Roseler, citado por Cruz y Sánchez (2000) existen factores físicos y fisiológicos que afectan el consumo del ganado lechero y rumiantes en general. Los factores físicos incluyen el tamaño corporal del animal, la capacidad del intestino, así como el volumen de fibra en la dieta, cantidad de concentrado ofrecido y número de parto de la vaca y período de lactación, dietas ricas en FDN y de baja densidad energética reducen el consumo de MS

por efecto de un llenado físico. Por el contrario, contenidos bajos de FDN y altos de energía regulan el consumo al satisfacerse el requerimiento de energía.

El rumiante necesita consumir una cantidad mínima de fibra para poder estimular la rumia y la salivación; por otra parte si la cantidad de fibra ingerida es excesiva se produce un llenado del rumen disminuyendo la tasa de pasaje y por consiguiente también el consumo, cuando las dietas son muy concentradas, la fibra pasa a tener un rol prácticamente funcional en la prevención de trastornos digestivos, y así permite obtener mayor consumo energético para ganancia de peso vivo (Defoor et al. 2002, Palladino et al. 2006).

Galyean y Defoor (2003) reafirman la importancia que tiene la inclusión de fibra larga para mantener el nivel mínimo de fibra en la dieta, ya que como se ha mencionado previene la acidosis ruminal. Por otro lado, el excesivo consumo de voluminosos tiene como efecto una disminución de la energía de la dieta, una reducción de la ingesta y, por ende, de la productividad animal (Mertens, 1997).

Por su parte Mertens (1987) afirma que el potencial del llenado del rumen, en un momento dado (estático) depende de la capacidad ruminal del animal y la capacidad del alimento para ocupar espacio: "efecto llenado de alimento". El potencial de llenado en un período de tiempo (dinámico) implica que a los elementos anteriores se agrega la velocidad de desaparición o vaciado, menor es el tiempo de permanencia de la ingesta en el retículo rumen y, por tanto, mayor velocidad de la reposición de la digesta. La desaparición del alimento desde el retículo rumen ha sido descrita por dos procesos principales: digestión y pasaje (Mertens y Ely, 1982).

Rearte y Santini (1989) también se refirieron a la limitación de consumo por «efecto del llenado físico del rumen» o por un «efecto metabólico». Cuando la dieta alcanza un nivel de 32% de FDN se lo considera como valor medio entre ambos efectos; por arriba de ese valor el consumo es limitado por llenado físico, afectándose el consumo más marcadamente que cuando se suministra dietas con altas proporciones de FDN, superiores al 60-65%, como es el caso de los forrajes groseros (rollos, algunos silajes, pasturas maduras, rastrojos, etc.). Por debajo de aquel valor medio el consumo es limitado por «efecto metabólico» cuando se emplea altos niveles de concentrado superando valores del 75% de digestibilidad de la MS de la dieta (Fernández, 1989).

2.4 DEGRADABILIDAD DE LA FIBRA Y pH RUMINAL

La composición de la ración influye sobre el proceso fermentativo del rumen. La interrelación sustrato-pH tiene una importancia fundamental, y de su sincronización dependerá la velocidad de fermentación, como la proporción molar de los ácidos grasos volátiles resultantes. La fermentación celulolítica y amilolítica responden al tipo de dieta, y a su vez a la producción de saliva y como resultado al pH que se origina en el medio ruminal (Blanco,1999).

Una dieta alta en forrajes produce un pH ruminal elevado, ya que induce a una gran actividad en la rumia y alta producción de saliva, promoviendo el crecimiento de bacterias celulolíticas y una fermentación acética. Un alto nivel de concentrado determinará un pH bajo, lo que promoverá una actividad amilolítica con alta producción de ácido propiónico y láctico (Kaufmann, 1976).

El nivel óptimo del pH ruminal oscila entre 6,7 y 7,1 (Stewart, citado por Church, 1993). Coincidiendo con lo anterior, Relling y Mattioli (2002) afirman que la biota celulolítica se desarrolla mejor en medios menos ácidos (pH 6,0 a 6,9). El pH bajo puede atrasar la adhesión de los microorganismos a la celulosa dada la presencia de inhibidores de la fijación como lo es el almidón soluble o por la ausencia de compuestos que estimulan dicha fijación (Church, 1993). Además, Calsamiglia et al. (2002) mencionan que el pH ruminal mantenido constante a 5,7 afectó negativamente la digestibilidad de la FDN y FDA.

Según Blanco (1999) la forma física en que se administra el alimento produce cambios a nivel del pH, que a su vez se traducen en cambios en la proporción de los productos finales de la digestión. El tamaño de la partícula afecta directamente la actividad de la rumia y a la producción de saliva, y por ende modifica la población de microorganismos ruminales. Por otra parte, Fischer et al. (1994) plantean que la fibra larga estimula la rumia y la secreción salival, mientras que la fibra corta no puede ser mantenida en el rumen largo tiempo, disminuyendo la digestibilidad y el pH.

Según Palladino et al. (2006) la tasa de pasaje está afectada por el tamaño de partícula del alimento. Por lo que, una reducción en el tamaño mejora la digestibilidad de la dieta debido al aumento de la superficie de contacto para los microorganismos ruminales, sin embargo, cuando el tamaño de picado es excesivamente chico, la fibra puede escapar más rápido del rumen y el efecto resulta inverso. García y Kalscheur (2006) observaron que una reducción en el tamaño de partícula también compromete la formación del puente de forraje ruminal, las partículas de forraje forman un "filtro ruminal" que disminuye la velocidad de tránsito de las partículas a través del rumen lo

suficiente como para que sean degradadas por los microorganismos. En ausencia de un “filtro adecuado” el tiempo de retención ruminal disminuye, así como también la digestibilidad total de la dieta. La razón por la cual el desempeño del animal a menudo no se ve afectado por la disminución en la digestibilidad es porque el consumo de alimento aumenta lo que compensa la disminución en la digestibilidad.

La calidad de la fibra está determinada por la proporción de sus componentes: celulosa, hemicelulosa y lignina (Palladino et al., 2006). A su vez la velocidad de la degradación de la fibra está inversamente relacionada con el grado de lignificación presente en la pared celular (Calsamiglia, 1997). La calidad de la fibra y particularmente sus características de degradabilidad pueden influir de forma positiva en el consumo de MS. La salida rápida de la FDN del rumen, obtenida a través de una mejora en la facilidad de hidrólisis de la FDN, estimula un mayor consumo de MS (Allen y Oba, Tafaj et al., citados por Zebeli et al., 2009).

La dieta suministrada juega un papel muy importante en las fluctuaciones del pH ruminal, aunque los rumiantes poseen un sistema altamente desarrollado para mantener el mismo dentro de los límites fisiológicos 5,5 a 7,0 (Krause y Oetzel, 2006). El pH del rumen varía considerablemente a lo largo del día (Krause y Oetzel, 2006) e influye profundamente sobre la población microbiana (Yokohama y Johnson, 1988). El pH del rumen baja progresivamente inmediatamente después del suministro del alimento y retorna a los niveles previos a la suplementación en 24 horas (Crater et al., 2007).

Cuando el pH cae a niveles por debajo de 5,5 se reduce el número de especies de bacterias y los protozoarios no sobreviven, hay un aumento de la osmolaridad del contenido ruminal, se inhibe el consumo, convirtiendo las condiciones del rumen en menos estables y con menor capacidad para mantener el pH en condiciones normales con cambios en la dieta (Krause y Oetzel, 2006).

Los requerimientos y recomendaciones de exigencias mínimas de fibra en la ración son consecuencia de la capacidad de la misma para prevenir la acidosis ruminal. Existen dos clasificaciones de la acidosis, la aguda o clínica, caracterizada por un pH ruminal alrededor de 5,2; y la subaguda o subclínica, con un pH entre 5,2 y 5,6. Las dos presentaciones a nivel nutricional causan una interacción negativa en la digestión, alterando la digestibilidad de la fibra y disminuyendo el valor energético de los alimentos (Bach y Calsamiglia, 2002).

2.5 GRANO ENTERO DE AVENA (GEA) COMO FUENTE DE FIBRA

2.5.1. Caracterización del GEA

La tercera parte del grano de avena está compuesta por cáscara (Parsi et al., 2001), lo que indica que contiene un alto nivel de FDN (alrededor de 32%), en comparación con otros cereales (cuadro No. 1). La cáscara de este grano vestido se encuentra compuesta casi en su totalidad por paredes celulares que contienen celulosa, hemicelulosa (las que son parcialmente digeridas por el rumiante) y lignina (Portal Veterinario, 2001). Cuanto mayor sea la proporción de envoltura en el grano entero de avena este va a ser más rico en fibra y presentará menor valor en energía metabolizable por kilogramo de materia seca (McDonald et al., 2006).

Cuadro No. 1. Composición química de diferentes granos

GRANO	FDN (%)	FDA (%)	PC (%)	ALMIDÓN (%)
Avena	32	15	13,3	44
Maíz	10	3	10	72
Sorgo	12	6	11,5	67,2
Cebada	19	6	13,5	59,7
Trigo	13	4	13	68

Fuente: Mertens (2002).

Según Rojas et al. (1989) el grano de avena presenta niveles similares de proteína, inferiores de energía (10%) y superiores de fibra (400 %), con respecto a la cebada y trigo. El contenido de FDN presente en este grano entero (GEA), puede contribuir a un ambiente ruminal más saludable y a un mejor bienestar del animal, lo que permite que sea utilizado en mayor cantidad que otras alternativas en la alimentación de los rumiantes, ya que estimula la rumia y la salivación (Bravo et al., 2012).

También se diferencia de otros cereales por el tipo de almidón que contiene en el endospermo, es casi en su totalidad digerido en rumen (98,5%), lo cual es importante en la nutrición animal. Debido a que el almidón es muy fermentable se torna peligroso, sin embargo, el contenido de almidón por kg de grano es notablemente inferior, por ejemplo, que el de trigo y tiene más fibra por lo que lo hace un grano más seguro con menores posibilidades de causar acidosis (Elizalde, 2015).

Teniendo en cuenta el tipo de cereal los granos de mayor degradabilidad ruminal del almidón (que pueden llegar hasta un 95%) son los granos de avena, trigo y cebada, siendo los más bajos los granos de maíz y sorgo que oscilan en un 60 % de degradación a nivel de rumen (Herrera-Saldana et al., 1990). Esta diferencia según Parra et al. (2006) se debe a la composición y estructura de los gránulos de almidón, de la composición y cantidad de la matriz proteica, y de la asociación de esa matriz con los gránulos de almidón, cuanto mayor es la cantidad de proteínas que rodean a los gránulos de almidón, y cuanto más compleja es la matriz proteica menor es su velocidad de digestión. El grano de avena posee gran cantidad de proteínas, pero son muy fáciles de embeber en agua y degradar, facilitando el acceso de los microorganismos ruminales.

Por otra parte, Gagliostro (2005) indica que los granos enteros que mantienen el pericarpio intacto son resistentes a procesos digestivos, pues este protege al grano de los ataques por parte de los microorganismos. A su vez refiere que se ha demostrado que los granos enteros de avena colocados en bolsas de nylon dentro del rumen no pueden ser degradados por los microorganismos.

La proteína bruta presente en el grano de avena oscila entre 70 y 150 g/kg MS y se caracteriza por ser de baja calidad, a causa de los menores niveles de aminoácidos esenciales como metionina, triptófano e histidina en relación a otros cereales. A pesar de que presenta valores bajos en lisina, es superior a los otros cereales y se ha visto en pollos, que el valor de proteína como promotor de crecimiento es mayor en avena que en los otros granos; cebada, trigo o maíz (McDonald et al., 2006).

Todos los cereales son deficientes en calcio, no obstante, el grano de avena es el que presenta mayores niveles de calcio (cuadro No. 2).

Cuadro No. 2. Contenido de minerales en grano de avena

Minerales (MS)	Avena	Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo
Calcio (g/kg)	0,8	0,3	0,5	0,5	0,5
Fósforo (g/kg)	3,2	0,7	3,5	4	3,5
Magnesio (g/kg)	1,5	1,1	1,9	1,3	1,2
Sodio (g/kg)	0,6	0,2	0,4	0,2	0,1
Cobre (mg/kg)	3	2,5	10,8	4,8	5
Manganeso (mg/kg)	20	6	16	18	42
Zinc (mg/ kg)	17	16	15	19	52
Cobalto (mg/kg)	0,05	0,02	0,14	0,04	0,05

Fuente: McDonald et al. (2006)

La variedad de avena utilizada generalmente para producción de grano es la *Avena sativa* (blanca) y se caracteriza por presentar mayor rendimiento y calidad de grano. La *Avena byzantina* (amarilla) utilizada para el doble propósito (pastoreo y grano) se destaca por contener mayor relación cáscara/ grano que la blanca. Por otro lado, la *Avena strigosa* (negra), es destinada únicamente para pastoreo directo y presenta bajos rendimientos de grano (Ayala et al., 2010).

Se puede encontrar variabilidad en la concentración de almidón en los distintos cultivares de avena, y estos valores son relativamente bajos. Nocek y Tamminga, Huntington, citados por NRC (2001) determinaron valores de almidón en torno al 58 %, con variación entre 45 y 69 % del contenido de MS.

Las diferencias entre las variedades de avena no son tan importantes en el valor nutricional. Sin embargo, efectos de la variedad, época de siembra, tipo de suelo, fertilización, y condiciones estacionales del cultivo, puede variar de forma muy importante el peso hectolitrito. El grano, para ser de buena calidad, debe presentar un peso hectolitrito elevado (50 kg/hl para avena entera y de 19-22 kg/hl para aplastada o triturada, Camps y González, 2001). La avena blanca en promedio se caracteriza por presentar mayor peso hectolitrito (35 kg/hl) que las avenas amarillas (30 kg/hl, INIA, 2009).

Adquiere importancia el concepto de volumen y peso hectolitrito debido a que está correlacionado con la energía digestible. Un grano de avena más voluminoso y liviano tiende a reducir la energía suministrada en la dieta (Camps y González, 2001).

2.5.2 Resultados de experimentos con grano entero de avena como fuente de fibra efectiva

Pordomingo et al. (2002) realizaron un experimento para evaluar la sustitución del heno de alfalfa por grano entero de maíz de forma individual o en proporción con grano de avena en terneros (155 kg) y novillos (270 kg) alimentados a corral. Los tratamientos fueron: t1= grano entero de maíz (72%), harina de girasol (14%) y heno de alfalfa (10,2%); t2= grano entero de maíz (73,75%) y harina de girasol (23%); t3= grano entero de maíz (60%), harina de girasol (22%) y grano entero de avena (15%). Los resultados demostraron excelentes desempeños, ganancias de 1,35 kg/día y eficiencia de conversión de 5,6:1 sin diferencias significativas entre tratamientos, aunque, observaron una tendencia de mayor ritmo de engorde en los tratamientos sin fibra larga. La mezcla de grano de maíz y de avena en una proporción 80:20 resultó beneficioso para maximizar la performance, ya que se obtuvo un mejor balance de calidades y eficiencia de utilización del almidón, además, el grano de avena, le confiere mayor nivel de proteína a la dieta. La inclusión avena incrementó la digestibilidad del almidón, explicada por la alta digestión del grano de avena y no por mejorar la utilización del grano de maíz. El t3 registró menor proporción de almidón en heces, por lo que, a medida que se eliminó la fibra larga y se adicionó grano de avena, la proporción de almidón detectado en heces y no contenido en fracciones visibles de grano disminuyó (Pordomingo et al., 2002). Las características de tamaño del grano entero de maíz y avena actúan de forma importante como fibra efectiva en la dieta, ya que promueve insalivación y mantenimiento del pH del rumen (Rojas et al., 1989).

Rojas et al. (2011) evaluaron de forma productiva y económica dietas con ensilaje de cebada, grano de avena y lupino (ambos molido o entero) suministradas en invierno a vaquillonas a corral. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas en incrementos de peso ni en las variables de canal, además demuestran que la dieta con menor costo fue la de suministro de grano entero.

Un ensayo con novillos Aberdeen Angus (203 kg) se evaluó la sustitución total del grano de maíz entero (GEM) por GEA en un nivel de 55% de la dieta. Las RTM fueron formuladas con 30,1% de cebada, 10,6% de soja integral, 4,3% de premezcla suplementaria más urea y monensina. La avena entera parece sustituir igualmente el maíz. El consumo de materia seca, la ganancia diaria y la eficiencia de conversión, no fueron afectados por el tipo de grano. Sin embargo, se observó un mayor contenido de energía y proteína metabolizable en la dieta con GEM. Por otro lado, ambas dietas resultaron en valores de pH normales (dentro del intervalo de 24 horas) sin índices de

acidosis (entre 6,13 y 7,11 para GEA y entre 6,37 y 7,11 para GEM). Esto presume, que los niveles de FDNfe en ambas RTM, contribuyeron a un pH lo suficientemente elevado para mantener la digestibilidad de la fibra y evitar la acidosis (Arelovich et al., 2012).

Existe poca información sobre la utilización del grano de avena como fuente de fibra efectiva en confinamiento a nivel nacional, García y Oneto (2017), evaluaron la viabilidad de utilización de GEA como fuente de fibra efectiva en dietas altamente concentradas en encierre de terneros. Para dicho experimento se utilizaron 24 terneros Hereford de 177 ± 18 kg, los cuales fueron divididos en 4 tratamientos con dos repeticiones cada uno y se les suministró dietas isoprotéicas con niveles crecientes de inclusión de GEA en sustitución de heno. Siendo los tratamientos: t1= heno 21%, GEA 0%; t2= heno 14%, GEA 7%; t3= heno 7%, GEA 14%; t4= 0% heno, GEA 21%. El experimento demostró la viabilidad de la sustitución de fibra larga por GEA, no afectándose significativamente el peso final de terneros, pero si variando la GMD (máxima en t2), disminuyendo el consumo al aumentar niveles de GEA, y una tendencia a disminuir la EC.

Cedrés y Zabalveytia (2017), evaluaron el efecto de la sustitución creciente de fibra larga por grano entero de avena como fuente de fibra efectiva en dietas concentradas sobre la performance y eficiencia de uso del alimento en terneras destetadas precozmente a corral. Se utilizaron 24 terneras nacidas en la primavera de 2015 que presentaban una edad de 64 ± 10 días y $77,5 \pm 13$ kg. Los tratamientos evaluados constan de RTM variables en su composición: t1= 70% ración comercial de destete precoz (RCDP) y 30% heno de alfalfa (HA); t2= 70% RCDP, 20% HA y 10% GEA; t3= 70% RCDP, 10% HA, 20% GEA; t4= 70% RCDP, 30% GEA. Las terneras fueron alimentadas *ad libitum* con suministro diario. La ganancia media diaria presentó una respuesta cuadrática con el nivel de sustitución de GEA por HA, y esta variable fue máxima cuando se sustituyó HA por GEA en un 18,5%. El consumo de materia seca no se vio afectado significativamente en los distintos tratamientos. Si existió una tendencia en la mejora de la eficiencia de conversión, debido a una mejora en la calidad de la dieta.

Calero y Taruselli (2018) evaluaron el nivel de fibra y el uso de grano entero de avena (GEA), como fuente de fibra efectiva en dietas para recría en confinamiento, con suministro diario y uso de autoconsumo sobre la performance de terneras. Se utilizaron 32 terneras raza Hereford, estas presentaron un peso promedio de 143 Kg, y fueron bloqueadas por su peso vivo, en livianas ($139 \pm 6,7$) y pesadas ($161 \pm 7,5$), dentro de los cuales se agruparon azarosamente en cuatro tratamientos con dos repeticiones cada uno. Los tratamientos utilizados fueron: t1=70% heno moha, 30% concentrado; t2=35

% heno moha, 65% concentrado; t3= 35% GEA, 65% concentrado suministro diario; t4= 35% GEA, 65% concentrado en autoconsumo. Las variables evaluadas para cada uno de los tratamientos fueron: consumo de materia seca, ganancia media diaria, eficiencia de conversión y comportamiento. Para todos los tratamientos se observó aumento del peso vivo. A medida que se concentró la dieta, las ganancias de peso fueron mayores, siendo máximas ganancias en los tratamientos que incluían GEA, sin diferencias significativas en la forma de suministro de la dieta. El consumo de materia seca se vio afectado, por tratamiento, semana y la interacción de semana por tratamiento, siendo menor el consumo del tratamiento con mayor proporción de voluminoso. La eficiencia de conversión fue mejor en tratamientos con GEA, ya que, si bien el consumo fue mayor, las ganancias también lo fueron. En tanto al comportamiento, se observó que dietas con mayor proporción de voluminoso presentaron mayor tiempo de consumo, no hubo diferencias significativas en tiempo de rumia y hubo mayor consumo de agua en tratamientos con GEA.

En conclusión, en cuanto a perfil de los resultados éstos se enfocan más en lo productivo, existiendo escasos trabajos caracterizando el perfil digestivo de la sustitución total de fibra larga por GEA.

2.6 HIPÓTESIS

La sustitución del heno de moha por el grano entero de avena como fuente de fibra efectiva, no afecta el pH ruminal ni la degradabilidad del concentrado en tanto se mantengan los niveles recomendados de FDNfe. Sin embargo, la digestibilidad de la materia seca de la dieta puede verse beneficiada por el mayor aporte de almidón.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El presente experimento se llevó a cabo durante el otoño del 2018 en las instalaciones de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, localizada en Paysandú Uruguay. El mismo tuvo una duración de 42 días.

3.2 ANIMALES

Fueron utilizados 4 novillos Hereford ($530 \pm 100,6$ kg) provistos de fistula ruminal (realizada en 2016), provenientes del rodeo de la EEMAC.

3.3 INFRAESTRUCTURA

El experimento fue realizado en un galpón con piso de cemento, utilizándose cuatro corrales de $7,5$ m² para la estabulación individual, cada corral provisto con comedero y bebedero.

3.4 ALIMENTOS

Fueron suministradas dos raciones totalmente mezcladas (RTM) las cuales diferían únicamente en la fuente de fibra: heno de moha (H) incluido a razón del 35% de la MS de la RTM, o avena grano entero (GEA) variedad Byzantina en sustitución total del heno (cuadro No. 3).

Cuadro No. 3. Composición de ingredientes y química de las raciones experimentales difiriendo en la fuente de fibra efectiva: heno de moha (H) o grano entero de avena (GEA)

	H	GEA
Ingredientes (% MS)		
Heno de moha	35	0
Grano entero de avena	0	35
Grano de sorgo seco molido	40	40
Burlanda seca de sorgo	20	20
Núcleo *	5	5
Composición química (% MS)		
MS (base fresca)	92,3	92,2
Proteína cruda	14,3	14,7
FDNmo	42,7	30,5
FDAmo	21,8	14,1
Extracto etéreo	4,2	5,1
Cenizas	5,8	3,6
CNE%**	33	46,1

**Carbohidratos no estructurales, se estimaron como: $CNE=100-(FDN+PC+EE+C)$.

* Insalmix feedlot novillos 87-04.

3.5 TRATAMIENTOS

Los animales fueron sorteados a dos grupos y a cada grupo se le asignó al azar la dieta experimental (H o GEA) en un diseño crossover, el cual constó de dos períodos, cada período con una duración de 21 días. Finalizado el período I, los dos animales en el tratamiento H pasaron al tratamiento GEA y viceversa, durante el período II.

3.6 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.6.1 Período pre-experimental

Los novillos fistulados, provenientes de un manejo conjunto en pastoreo fueron alojados en los corrales individuales con agua a voluntad y sometidos a un período de 23 días de acostumbramiento a las nuevas instalaciones e introducción al consumo de las RTM experimentales. En esta transición, se partió de una dieta con alto contenido de heno de moha (2% PV) y bajo contenido de concentrado, reduciéndose gradualmente el aporte de heno y aumentando la proporción del concentrado hasta llegar a las dietas objetivo. La

rutina de alimentación fue la misma que la utilizada posteriormente el período experimental.

3.6.2 Período experimental

En cada uno de los períodos los animales fueron introducidos a la nueva dieta durante 14 días y durante los últimos 7 días del período restantes se realizaron las mediciones correspondientes. La oferta de alimento fue ajustada al 2,5% del peso vivo y suministrada en tres comidas distribuidas a lo largo del día (8:00 horas, 12:00 horas y 17:00 horas).

Diariamente, los animales fueron observados a efectos de detectar cualquier problema digestivo o sanitario.

3.7 REGISTROS Y MEDICIONES

Los registros y mediciones que se detallan a continuación se realizaron distribuidos en una semana (últimos 7 días de cada período).

3.7.1 Actividad de consumo, rumia y descanso

Durante el primer día (día 1) los animales fueron observados durante el período de horas luz (desde 6:00 horas hasta 18:00 horas), registrando cada 5 minutos la actividad que estaba realizando cada animal: rumia, consumo, descanso o acceso a bebedero.

3.7.2 Consumo de materia seca (MS)

El consumo fue estimado en los días 1, 2 y 3 como la diferencia entre la materia seca (MS) ofrecida y el residual presente en el comedero previo al suministro de la primera comida de la mañana. El rechazo diario fue pesado en fresco, muestreado y descartado. Las muestras de alimento ofrecido (ingredientes) y rechazo fueron secadas hasta peso constantes en estufa de aire forzado (60°C) para la determinación del contenido de MS y conservadas para posterior análisis químico.

3.7.3 Caracterización física de las RTMs y aporte de FDNfe

También en los primeros tres días se tomaron muestras de las RTMs y de cada ingrediente para caracterizar la distribución del tamaño de partículas. Para lograrlo se utilizó el separador de partículas PennState, el cual consta de 3 tamices: superior con orificios de 19 mm, medio de 8 mm e inferior de 1.18 mm, más una bandeja inferior sin orificios. El aporte de fibra FDNfe fue estimado

como el producto entre el contenido de FDN (obtenido a través de análisis químicos) y el factor de efectividad de la fibra (fef) este último corresponde a la fracción retenida en los tamices de 19 y 8mm.

3.7.4 Digestibilidad aparente in vivo

La digestibilidad aparente in vivo (DIV) fue estimada mediante la recolección total de heces durante los días 2, 3 y 4, registrando el peso en fresco acumulado en 24hs. y el consumo como descrito en 3.7.2. cada día se tomaron dos muestras en duplicado por animal. Una de las muestras fue utilizada para la determinación del porcentaje de MS de las heces y conservada para posterior análisis químico. La segunda, fue combinada en muestra compuesta por animal y conservada para la posterior cuantificación de la presencia de GEA en heces.

La colección total de heces es el método más confiable para medir digestibilidad de la materia seca (DMS), ya que involucra directamente factores tanto del alimento como del animal (Basurto y Tejada, 1992). Este método incluye la medición de la ingestión de una determinada ración de composición conocida y la recolección total de la excreción fecal correspondiente al alimento consumido (Lachmann y Araujo-Febres, 1999).

- $DMS (\%) = 100 \times (MS \text{ alimento} - MS \text{ heces}) / MS \text{ alimento}$

Las muestras de heces compuestas por animal y período fueron reducidas mediante cuarteo hasta obtener una muestra de aproximadamente 100 gramos, sobre la cual se extrajeron los granos de avena enteros presentes en la misma, mediante lavado, tamizado y separación manual. Una vez realizada la separación, los granos se enjuagaron levemente y se secaron en estufa de aire forzado a 60°C hasta peso constante. La proporción de GEA en heces se calculó dividiendo el peso seco del grano obtenido en las heces sobre peso seco de la muestra.

3.7.5 Degradabilidad in situ de la materia seca

La degradabilidad in situ de la MS de la RTM en cada tratamiento y de su respectiva fuente de fibra (heno de moha o GEA), fue determinada durante los días 5, 6 y 7, mediante la incubación en el saco ventral del rumen.

Muestras secas y molidas de RTM y heno de moha, o GEA se incubaron en bolsas en duplicado por tiempo, todas juntas previo a la primera comida (T0) y fueron retiradas a las 2, 4, 8, 12, 16, 24, 48, 72 hs. Cada bolsa se

cerró herméticamente con un precinto plástico y se ató a una piola común conteniendo los diferentes tiempos por alimento.

Se utilizaron bolsas de filtro (tela de serigrafía de 120 hilos), con 40 μ m de porosidad, la muestra incubada debe ser capaz de moverse libremente dentro de la bolsa, con el objetivo de evitar microambientes que afecten la repetibilidad del análisis. La relación ideal entre la muestra y el tamaño de la bolsa es de 15 mg de ms/cm² (Orskov, 1992). Previo a la colocación de las muestras, se registró el peso seco de cada bolsa en balanza analítica (precisión 0,0001g) siendo luego las bolsas llenadas con 2970 mg de cada RTM, heno de moha y GEA (los componentes fueron todos secados y molidos).

Las bolsas correspondientes al tiempo cero, utilizadas en la estimación de la fracción soluble de cada alimento, fueron sumergidas en agua caliente a 39° C durante 15 minutos. En los restantes tiempos, una vez retiradas las bolsas del rumen se colocaron rápidamente en una conservadora con hielo a efectos de detener la fermentación hasta su traslado, y luego conservadas en freezer (-15°C de temperatura) hasta su posterior procesamiento al finalizar los muestreos. Las muestras congeladas fueron descongeladas a temperatura ambiente, procediéndose luego su lavado en lavarropa (cinco ciclos de lavado, 3 minutos por ciclo). Finalmente se enjuagaron a mano en agua destilada sumergiéndolas por 5 minutos para posteriormente ser escurridas por 24 horas y luego secadas en estufa de aire forzado, 60°C por 48 horas, hasta peso constante.

Las bolsas incluyendo sus respectivos residuos ya secas, fueron pesadas para luego determinar la MS desaparecida en rumen como la diferencia entre el peso seco de bolsa + residuo y el peso seco de la bolsa vacía. El residuo de cada bolsita se retiró y se guardó en bolsas plásticas para su análisis químico (información no reportada en este trabajo).

El peso de material desaparecido entre tiempos fue ajustado a la ecuación de degradabilidad de Orskov y Mc Donald (1979), para la estimación de los respectivos parámetros: fracción soluble, fracción lentamente degradable y tasa de degradación de la materia seca.

- $D = a + b (1 - e^{-kd \cdot t})$.

D= desaparición de la MS en tiempo t.

a= fracción soluble (% de MS lavada en tiempo cero).

b= fracción insoluble potencialmente degradable (% de MS).

kd= tasa fraccional de degradación de la fracción b (%/hr).

t= tiempo de incubación

Como los resultados de degradabilidad obtenidos a partir de la técnica in situ podrían no reflejar lo que ocurre en condiciones normales de alimentación si estos valores no son corregidos por la tasa de pasaje, se estimó la degradabilidad efectiva de la MS, o sea la cantidad de MS que es degradada cuando el alimento permanece en el rumen un tiempo determinado (Gaggioti et al., 2007) en este caso se asumió una tasa de pasaje del 4%.

- $Def = a + b \times K_d / (K_d + K_p)$.

Def= Degradación efectiva en rumen.

a= fracción soluble (% de MS lavada en tiempo cero).

b= fracción insoluble potencialmente degradable (% de MS).

kd= tasa fraccional de degradación de la fracción b (%/hr).

kp= tasa de pasaje del alimento

3.7.6 pH del rumen

El pH ruminal fue monitoreado cada 3 hs durante 24 hs, comenzando el T0 antes de la primera comida del día 6 del período de muestreo. La medición se realizó utilizando un peachímetro manual a prueba de agua, sobre muestras filtradas de líquido ruminal tomadas del saco ventral del rumen con la ayuda de un recipiente. Previo a cada extracción se realizó enjuague de todos los recipientes utilizados.

3.8 CARACTERIZACIÓN DEL GRANO ENTERO DE AVENA (GEA)

Se determinó el peso hectolitrito utilizando un humedímetro (56,5 kg/hl), y se determinó en laboratorio el peso de mil semillas, contando conjuntos de diez semillas hasta obtener 100, las cuales se pesaron (2,25 gr) y se estimó el peso de 1000 semillas mediante regla de tres (22,5gr).

3.9 ANÁLISIS QUÍMICOS

Se determinó sobre las muestras de alimento, el contenido de cenizas totales (C), proteína cruda (PC) TÉCNICA Y C, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA).

El contenido de cenizas se obtuvo a través de una incineración de la muestra a 600°C, durante varias horas.

La proteína cruda se cuantificó mediante la técnica de 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 (Trujillo y Marichal, 2014).

La FDN, cuya fracción agrupa todos los componentes de la pared celular, se obtuvo mediante un tratamiento de la muestra con un detergente aniónico (sulfato lauril sódico) en un medio neutro (pH 6.9-7.1). Luego, con una solución conteniendo un detergente catiónico (bromuro de cetil trimetil amonio) en un medio ácido fuerte, se cuantificó la FDA (Trujillo y Marichal, 2014).

3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para el análisis del experimento se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.4 difiriendo en el procedimiento dependiendo de la variable analizada.

Se analizó mediante el procedimiento GLM la comparación de los parámetros de degradación estimados mediante la ecuación de Orskov, también la digestibilidad de la materia seca, el consumo de materia seca y la distribución física de partículas y contenido de FDNfe de las RTM experimentales.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + A_j + \epsilon_{ij}$$

Y_{ijk} = variable de respuesta (parámetros de degradación, digestibilidad de MS, consumo de MS, distribución de partículas y contenido de FDNfe)

μ = media

A_j = efecto del i -ésimo animal

T_i = efecto del tratamiento (H, GEA)

ϵ_{ij} = error experimental

En el caso del pH al tener medidas repetidas en el tiempo se utilizó para su análisis el procedimiento MIXED.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + A_i + \epsilon_{ij} + H_k + (TH)_{ik} + \delta_{ijk}$$

Y_{ijk} = nivel de pH

μ = media poblacional

T_i = efecto relativo del i -ésimo tratamiento (H, GEA)

A_i = efecto relativo del i -ésimo animal

ϵ_{ij} = error experimental del i -ésimo tratamiento y j -ésima repetición

H_k = efecto relativo del k -ésima hora de medición del nivel de pH

$(TH)_{ik}$ = efecto relativo de la interacción entre los efectos del i -ésimo tratamiento y k -ésima hora de medición

δ_{ijk} = error experimental del i -ésimo tratamiento, j -ésima repetición y k -ésima hora de medición.

Para las variables de comportamiento ingestivo, se usó un modelo lineal generalizado usando el procedimiento GLIMMIX.

$$\text{Ln}(P/(1-P)) = b_0 + T_i + P_j$$

P= probabilidad de consumo, rumia, actividad de consumo de agua o descanso

b₀= intercepto

T_i = efecto de los tratamientos (H, GEA)

P_j = efecto del período de observación

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA DIETA

Al sustituir el heno de moha por el GEA en la ración totalmente mezclada disminuyó el porcentaje de FDN y de FDA en la RTM, en contraparte es importante destacar que los CNE aumentaron con la sustitución (cuadro No. 3), sin embargo, ello no afectó el aporte de FDNfe (cuadro No. 4).

Cuadro No. 4. Efecto de la sustitución del heno de moha (H) por grano entero de avena (GEA) como fuente de fibra sobre características físicas y aporte de FDNfe de las RTMs

	H	GEA	P valor
Distribución de partículas por tamaño (% retención según criba del tamiz)			
Criba 1 (19mm)	14,6	0,196	0.15
Criba 2 (8 mm)	1,58	0,33	<.0001
Criba 3 (1.18 mm)	34,95	66,61	<.0001
Bandeja	47,76	44,93	0.68
Aporte de FDNfe*			
fef**	51,14	67,14	0.12
FDNfe (%)	21,85	20,45	0.72

*FDNfe= %FDN*fef, siendo el fef la proporción de partículas mayores a 1,18mm.

La RTM con GEA presentó mayor proporción de partículas retenidas en los tamices de 8 y 1,18mm. Sin embargo, esto no repercutió en diferencias de fef, posiblemente explicado por la compensación de partículas de heno de moha retenidas en los tamices de mayor tamaño, es decir presenta fibra más larga. Las partículas mayores a 1,18mm tardan más tiempo en salir del rumen, debido a esto son las que estimulan la masticación (Poppi et al., 1985), ambas dietas poseen valores altos de fef por lo tanto es esperable una buena masticación. Igualmente, aunque los granos presentan poca FDN, al estar enteros y el tamaño de partícula ser lo suficientemente grande, puede ser eficaz para estimular correctamente la rumia (Mertens, 2002).

Pordomingo (2005) recomienda que entre 5 y 10% de la dieta debe de ser alimento voluminoso para alcanzar 10% FDN de la dieta en la cual al menos la mitad debe de ser efectiva, dependiendo cuánto aportan el resto de los componentes de FDN efectiva. En este caso en una de las RTM no se utilizó voluminosos, se usó un grano entero, que por sus características de tamaño de

partícula grande y al presentar cáscara resultaría eficaz para estimular la masticación (Mertens, 2002). Según Pordomingo (2005), para mantener una actividad fermentativa adecuada, la cantidad mínima de FDA de la dieta debe ser 10% en base seca, lo cual se puede observar que en ninguno de los tratamientos del experimento estuvo por debajo de ese umbral.

Además, los valores se ubican por encima del óptimo 15% de FDNfe que reporta Mertens (2002) para el cual se observa una relación lineal positiva entre la ganancia diaria de peso vivo y el contenido de FDNfe cuando éste es menor al 10% de la materia seca, y una relación lineal negativa cuando la misma supera el 15%. No obstante, esto reporta que existe muy poca variación en ganancia de peso vivo (GMD) cuando la FDNfe varía entre 12 y 18% de la materia seca, por lo que las recomendaciones podrían ser modificadas en función del objetivo de producción y de otros factores que pueden influenciar la cantidad mínima de FDNfe requerida por ganado en feedlot.

4.2 CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD

Dado que la oferta de alimento fue fijada en 2,5% de su peso vivo, el CMS expresado en kg por día varió entre animales dependiendo de su peso al inicio de cada período. Cabe destacar que no se evidenciaron rechazos, aunque en la dieta que contenía heno de moha como fuente de fibra esporádicamente se encontró un mínimo de rechazo el cual no fue relevante para el experimento.

Cuadro No. 5. Efecto de la sustitución del heno de moha (H) por grano entero de avena (GEA) como fuente de fibra sobre el consumo diario de MS, FDN y FDNfe, y sobre la digestibilidad de la materia seca

	H	GEA	P valor
Consumo Kg/día			
CMS	13,72	13,37	0,53
CMSD	9,24	9,78	0,54
CFDN	4,61	4,98	0,72
CFDNfe	3,01	2,72	0,23
Digestibilidad in vivo de MS (%)			
DMS	66,8	72,4	0,18
DMSc*	66,0	73,2	0,26

Consumo de materia seca (CMS), consumo de materia seca digestible (CMSD), consumo de fibra detergente neutro (CFDN), consumo de fibra detergente neutro efectiva (CFDNfe), digestibilidad de la materia seca (DMS), digestibilidad in vivo de MS con consumo como covariable (DMSc*).

El consumo diario de MS, FDN y FDNfe no fue afectado significativamente al variar la fuente de fibra en la RTM (cuadro No. 5). Este resultado coincide con el obtenido por Pordomingo et al. (2002), quienes no encontraron diferencias significativas en consumo de materia seca al compararse dietas con fibra larga (maíz entero, heno de alfalfa) y sin fibra larga (maíz entero).

El contenido de FDN en la dieta se usa como un índice de volumen y supone un límite a la capacidad de ingestión del alimento. Valores por encima de 1,2% del PV (Mertens, citado por Casamiglia, 1997) pueden limitar el consumo de la ración, lo que demuestra que posiblemente en este caso no fue afectado por restricciones físicas ya que ninguna RTM superó dicho porcentaje en contenido de FDN.

El consumo al estar fijo, podría esperarse que los animales consumieran menos RTM con GEA ya que esta es una dieta más fermentable y el consumo puede verse limitado por el contenido de almidón del grano entero que al aumentar las concentraciones de AGV en el rumen, podría activarse mecanismos quimiotácticos, indicando saciedad en el animal o por efecto de la concentración energética por el metabolismo (Rovira y Velazco, 2012) sin embargo esto no se vio reflejado en los resultados ya que el consumo de ambas RTM fue similar.

Por otro lado, la digestibilidad in vivo de la MS (DMS) de la RTM con GEA, si bien aumento en 5 puntos porcentuales, esta diferencia no fue estadísticamente significativa, ni tampoco se reflejó en un menor consumo de MS digestible, calculado como el CMS * DMS (cuadro No. 4). Estos resultados no coinciden con lo reportado por Mertens (2002), quien menciona que la variación de la digestibilidad de la materia seca se relaciona negativamente con la concentración y digestibilidad de la FDN de los alimentos. En tal sentido, se esperaría que al ser GEA la única fuente de fibra, y menor la concentración de FDN, se incremente la digestibilidad del alimento, como fuera observado por Pordomingo et al. (2002). Estos autores hacen referencia a que la inclusión del GEA incrementó la digestibilidad de la dieta a base de grano entero de maíz en terneros y novillos.

En síntesis, la falta de diferencias significativas en el consumo de ambas dietas puede explicarse con los resultados obtenidos por Mertens (1987) quien afirma que el potencial del llenado del rumen, en un momento dado (estático) depende de la capacidad ruminal del animal y la capacidad del alimento para ocupar espacio: "efecto llenado de alimento". El potencial de llenado en un período de tiempo (dinámico) implica que a los elementos anteriores se agrega la velocidad de desaparición o vaciado, menor es el

tiempo de permanencia de la ingesta en el retículo rumen y, por tanto, mayor velocidad de la reposición de la digesta. La desaparición del alimento desde el retículo rumen ha sido descrita por dos procesos principales: digestión y pasaje (Mertens y Ely, 1982). En este caso las digestibilidades de ambas RTM fueron similares y por ende también su consumo.

Los GEA en heces que se encontraban prácticamente intactos, representaron en promedio 7,60% de la MS de las heces, mientras que teniendo en cuenta el consumo de GEA, la proporción no digerida recogida en heces fue de apenas un 5,67% (cuadro No. 6). Estos valores son un poco menores a los obtenidos por Pordomingo et al. (2002) quienes estimaron, en función de la producción de heces y el consumo, que entre el 7 y el 9% del GEA consumido por los novillitos y entre el 9 a 9,5% consumido por los novillos, el grano escapó en heces entero o en fracciones visibles. Esta diferencia puede deberse a que Pordomingo et al. (2002) incluyeron para el cálculo fracciones de grano.

Cuadro No. 6. Proporción de GEA en heces

	GEA en heces (% MS)	Producción de heces (kg MS/día)	GEA en heces (kg/d)	Consumo GEA (kg/d)= CMS(kg/d)* %GEA	GEA Heces (% GEA consumido)
Promedio	7,60	3,68	0,27	4,62	5,67
Desvío estándar	3,52	0,87	0,11	0,58	2,16

4.3 DEGRADABILIDAD IN SITU DE LA MATERIA SECA

No se observó efecto del tratamiento, en este caso el tipo de dieta, sobre los siguientes parámetros de degradación: fracción soluble en agua (a), la fracción potencialmente degradable (b), ni el potencial de degradación(a+b). En el caso particular de la tasa fraccional de degradación (kd) sí se encontraron diferencias significativas ($p=0,0156$), siendo el tratamiento con grano de avena el que presentó mayor valor, evidenciando que se degrada a mayor velocidad que el tratamiento 35H. Cabe destacar que las dietas fueron incubadas con todos sus componentes molidos.

Cuadro No. 7. Cinética de la degradación de las dietas

	H	GEA	P valor
Parámetros de cinética de degradación			
a (%MS)	22,60	20,42	0,80
b (%MS)	51,35	50,76	0,95
a+b (%MS)	74,00	71,17	0,34
kd (%/hs)	0,09	0,35	0,0156
Degradabilidad efectiva (Kp=4%)			
DE	58,32	65,42	0,048

a: fracción soluble en agua (tiempo cero)

b: fracción potencialmente degradable.

a+b: % potencial de degradación de MS.

kd: tasa fraccional de degradación.

En el gráfico No. 1 se observa claramente que la curva perteneciente a la degradabilidad de la MS de la ración que contiene GEA como fuente de fibra llega al valor potencial en menos tiempo (16 horas aproximadamente) que la que contiene fardo molido (48 horas aproximadamente). Esto evidencia lo dicho anteriormente en cuanto a las diferencias significativas de la tasa fraccional de degradación.

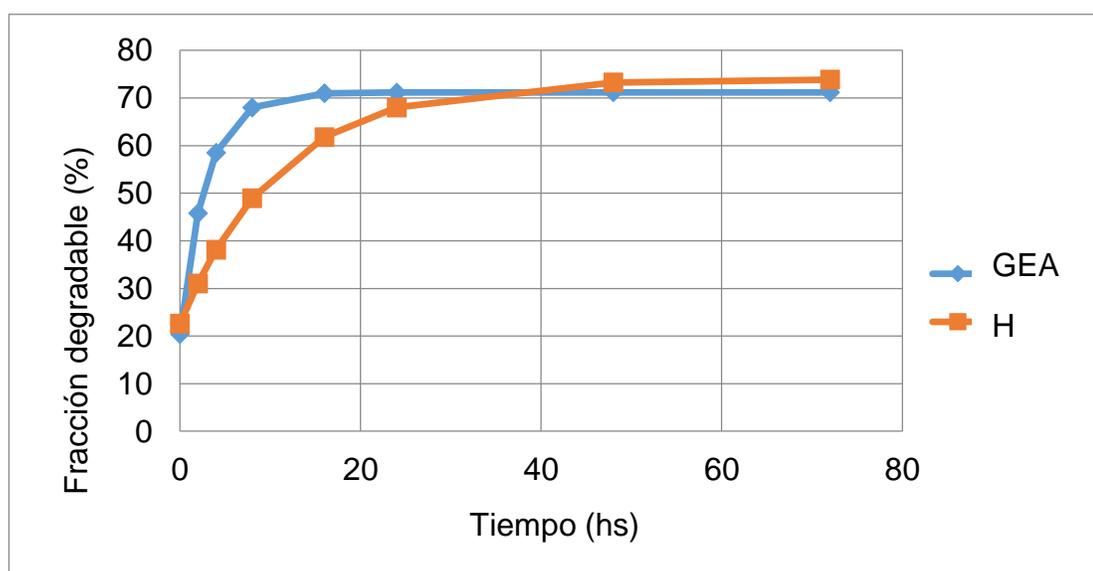


Gráfico No. 1. Curvas de degradación en rumen de las RTMs experimentales molidas

La mayor tasa de degradación (Kd) que presenta la RTM con GEA molido respecto a la RTM con fardo molido (0,34 %/hs vs. 0,093 %/hs) repercute en el valor de degradabilidad efectiva de ambos tratamientos ya que a una misma tasa de pasaje en este caso 4%, existió efecto del alimento ($P=0,048$) por lo tanto la degradabilidad de la RTM que contiene avena es significativamente mayor (cuadro No. 7).

Kraiser (1999) afirma que la digestión del grano entero por rumiantes estará determinada por el grado de daño que se produce durante la masticación, la digestibilidad del grano sin dañar y el tiempo de retención en rumen. Al comparar la degradabilidad del grano molido Elizalde (1999) sostiene que el procesamiento causa una mejora en la digestión ruminal del grano, pero el efecto sobre la digestión total es mucho menor, aunque este último efecto dependerá del grado de masticación y rumia que sufra el grano entero.

Según Parra et al. (2016) el grano de avena presenta alta velocidad de degradación ruminal, esto se debe a la composición y estructura de los gránulos de almidón, de la composición y cantidad de la matriz proteica, y de la asociación entre esta matriz y de los gránulos de almidón. El grano de avena posee gran cantidad de proteínas que son muy fáciles de embeber en agua y de degradar, facilitando el acceso a los microorganismos ruminales a los gránulos de almidón.

Calsamiglia (1997) menciona que la fibra se fermenta en el rumen lentamente por la acción de las bacterias fibrolíticas. El proceso de degradación de la fibra se inicia con la adhesión de las bacterias a la pared vegetal, proceso que se realiza a una velocidad inversamente proporcional al grado de lignificación de dicha pared, la RTM con heno tiene valores mayores de FDA que la RTM con GEA (cuadro No. 3) por lo tanto presentan mayor proporción de lignina que influye de manera negativa en la velocidad de degradación.

Se reporta que en las bolsas en las que se incubo solo GEA no se observó degradación significativa por lo tanto no se ajustó al modelo de Orskov y Mc Donald (1979). Esto coincide con Gagliostro (2005) que afirma que ha sido demostrado que los granos enteros de avena colocados dentro de bolsitas de nylon en el rumen no pueden ser degradados por los microorganismos.

4.4 pH RUMINAL

La sustitución del heno de moha por GEA en la dieta afectó ($P= <.0001$) el pH ruminal, así como la hora de muestreo ($P= <.0001$), sin efecto de la interacción tipo de dieta por hora, ni del animal. En el gráfico No. 2 se presenta

la evolución del pH ruminal diario según la RTM suministrada midiendo los valores cada tres horas.

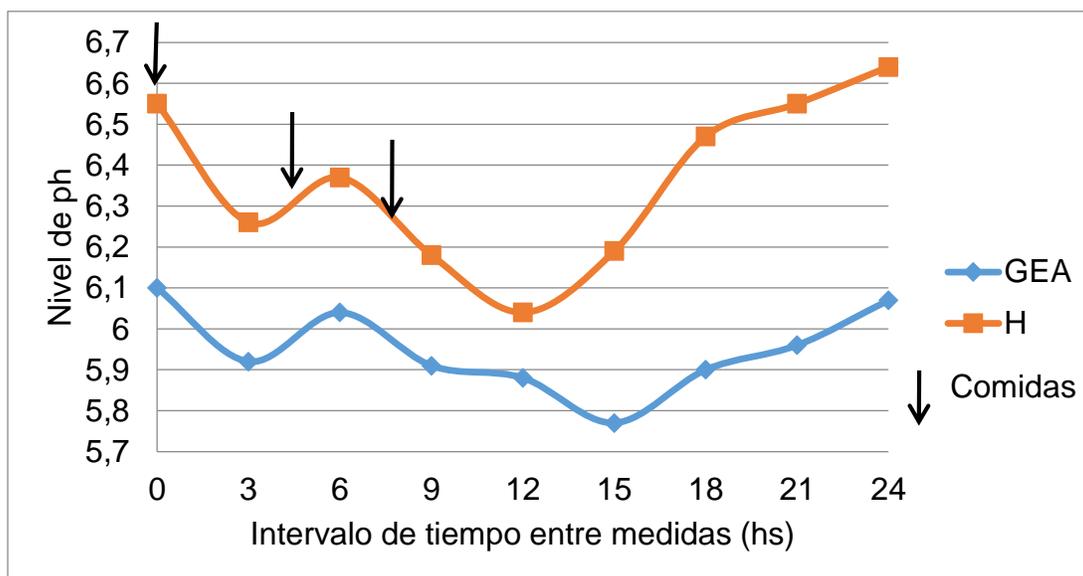


Gráfico No. 2. Evolución del pH ruminal durante 24hs de novillos según dieta experimental suministrada

La RTM con GEA presentó menores valores de pH a lo largo de todo el día, con un promedio diario de 5,9 vs. 6,3 de la RTM con heno, al no existir interacción del alimento y la hora, se observó que ambas curvas tienen la misma tendencia a subir y bajar en los mismos momentos. Se mencionó que si existió efecto hora y este se aprecia cuando se les alimenta, el animal consume y empieza a producir ácidos grasos volátiles como consecuencia de la fermentación disminuyendo el pH del rumen. Todo esto coincide con varios autores. Fischer et al. (1994) afirman que la forma física de la ración es un factor que explica cambios en el pH, el suministro de heno estimula la rumia, aumenta la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), especialmente la producción de acetato, la producción de NH_3 y también se estimula la secreción de saliva, además los carbohidratos que presentan son lentamente digeribles. Por otra parte, al consumir granos los carbohidratos rápidamente digeribles que presentan generan una importante concentración de ácidos orgánicos.

Krause y Oetzel (2006) también afirman que el consumo excesivo de carbohidratos rápidamente fermentables resulta en un aumento de la concentración de ácido láctico y en un repentino descenso del pH. La magnitud

de la disminución del pH debido a un aumento en la tasa de fermentación ruminal dependerá de la capacidad búfer del rumen (Counotte et al., 1979).

Refiriendo a los momentos de alimentación, según García et al. (2016) la ingestión de alimento suele producirse en torno a los valores máximos de pH (o momentos posteriores), mientras que los valores mínimos de pH son indicativos del momento en el que se produce la máxima actividad fermentativa en el rumen, tras una ingestión considerable de alimento, coincidiendo con Crater et al. (2007) quienes afirman que el pH del rumen baja progresivamente inmediatamente después del suministro del alimento y retorna a los niveles previos a la suplementación en 24 horas.

Si bien es evidente la disminución en el pH ruminal al alimentar con GEA, ésta no perjudicaría la salud del animal, ya que existen dos clasificaciones de la acidosis, la aguda o clínica, caracterizada por un pH ruminal promedio de 5,2; y la subaguda o subclínica, con un pH entre 5,2 y 5,6. Las dos presentaciones a nivel nutricional causan una interacción negativa en la digestión, alterando la digestibilidad de la fibra y disminuyendo el valor energético de los alimentos (Bach y Calsamiglia, 2002). Para reafirmar este hecho según (Krause y Oetzel, 2006) los rumiantes poseen un sistema altamente desarrollado para mantener el pH dentro de los límites fisiológicos 5,5 a 7,0.

4.5 COMPORTAMIENTO

No se encontraron diferencias significativas entre ambas dietas en el comportamiento de los animales ya sea en la probabilidad de encontrar un animal consumiendo, rumiando, descansando o tomando agua. Por lo tanto, la fuente de fibra no estaría afectando la actividad que realizan los animales.

Cuadro No. 8. Comportamiento animal durante las horas luz

	GEA	H	P valor
Probabilidad de encontrar un animal realizando cada actividad			
CONSUMO	0,16	0,3	Ns
RUMIA	0,08	0,15	Ns
DESCANSO	0,72	0,52	Ns
AGUA	0,02	0,02	Ns

Genovez et al. (2008), estudiaron el efecto de largo de la fibra sobre la ingestión de alimento, reportaron un aumento de 31% en la actividad de rumia al suministrarse fibra larga, dato no coincidente con los obtenidos en el presente trabajo, donde no se encontró diferencias entre los tratamientos. Esto puede deberse a que los registros de rumia fueron solo diurnos y pocos, estos pueden estar siendo subestimados ya que los animales realizan mayor actividad de rumia durante la noche (Zanine et al., 2007).

Fue más probable encontrar a los animales descansando por lo tanto esta fue la actividad predominante, seguida por el consumo y en tercer lugar la rumia, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Stricklin et al., citados por Piñeyrua et al. (2013), quienes estudiaron los patrones de comportamiento en animales en engorde a corral, siendo la actividad de descanso la predominante. Estos autores encontraron que la ganancia diaria tiene una correlación positiva con el descanso y negativa con el patrón de estar parado.

Beretta y Bruni, citados por Lapetina (2010) hacen referencia a que el consumo de agua está directamente relacionado con consumo de alimento y con el contenido de materia seca del mismo, por tanto, dada la similitud en consumo y % MS, no se observaron alteraciones relevantes en el consumo de agua entre tratamientos.

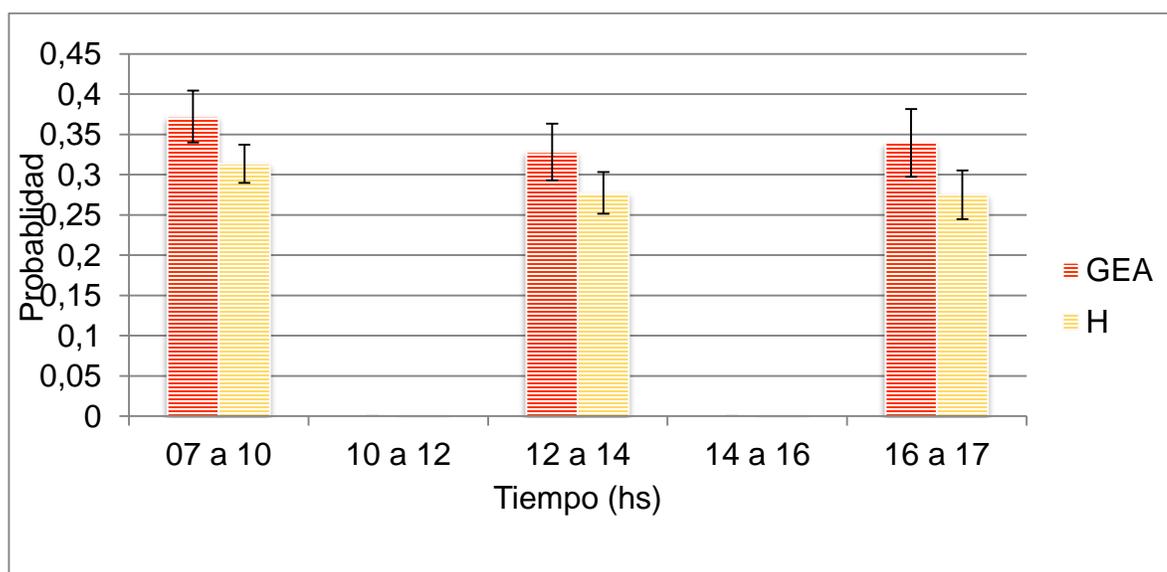


Gráfico No. 3. Patrón de consumo

Al analizar la gráfica del patrón de comportamiento de consumo, es evidente que hay tres periodos en los cuales el consumo fue notablemente mayor, estos coinciden con los tres horarios en los cuales se le suministra el alimento (8, 12 y 17hs), este patrón se da de esta manera porque la dieta está ajustada al 2,5% del peso vivo. Si se les hubiese proporcionado *ad libitum* el consumo probablemente estaría más distribuido a lo largo del día.

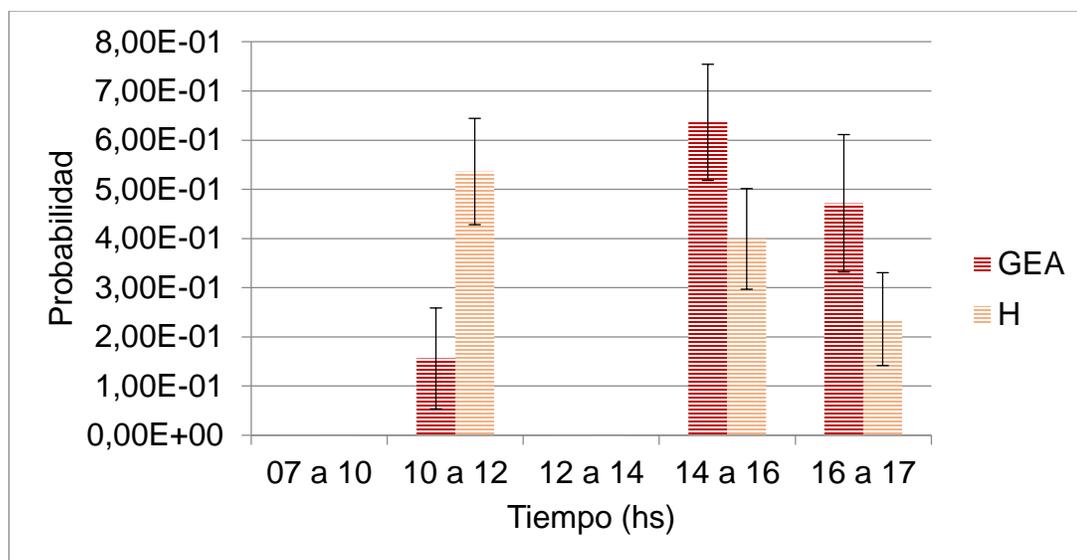


Gráfico No. 4. Patrón de rumia

En el caso del patrón de rumia los resultados indican que a lo largo del día los animales dedican muy poco tiempo a la rumia, aumentando la probabilidad de encontrar un animal rumeando luego de suministrada la primer y segunda comida. Es importante destacar que las observaciones fueron muy pocas en el día por lo tanto el error estándar es muy alto.

4.6. DISCUSIÓN GENERAL

La sustitución de heno de moha por GEA modifica las características nutricionales de las RTM ya que llevó a una disminución en FDN de la dieta y a un mayor nivel de CNE, pero este cambio nutricional no se vio reflejado en las características físicas ya que ambos tratamientos no presentaron diferencias significativas en el aporte de FDNfe y los niveles que presentan están dentro de los recomendados por los diferentes autores citados en el trabajo. Esto se corrobora con la actividad de rumia la cual no mostró diferencias, por lo que la actividad de rumia que se logró al consumir la RTM conteniendo GEA fue suficiente para promover salivación, y así mantener un ambiente ruminal lo más estable posible.

Al estudiar la degradabilidad en rumen de la MS de los alimentos, se observó que la RTM con GEA se degradó más rápidamente y su degradabilidad efectiva fue mayor. Como consecuencia de ello, el pH ruminal fue visiblemente menor en todo el período estudiado, pero no lo suficiente como para generar trastornos digestivos como la acidosis. También debería esperarse un aumento en el consumo al igual que en la digestibilidad que también se esperaría que fuera mayor debido al menor contenido de FDN y por la mayor degradabilidad, pero ambas variables no difirieron de manera significativa lo cual no se pudo confirmar ya que esto podría observarse si los animales hubieran estado con oferta de alimento *ad libitum*.

Por último y siendo consecuente de todo lo anterior, si bien no fue objetivo de estudio la ganancia de peso vivo, al pesarlos al inicio y final de cada período para ajustar la oferta de alimento, se pudo constatar que los animales ganaban más peso cuando consumían la dieta con GEA como fuente de fibra (véase gráfico en anexos). Investigaciones llevadas a cabo en Uruguay, son consistentes en cuanto a las altas GMD observadas cuando son alimentados con GEA como fuente de fibra en sustitución de heno de moha en terneros Hereford de 180 kg en corral durante el invierno, reportando valores de GMD en torno a 1,58 kg/día con niveles de GEA de 7,6% y 20% de FDNfe (Oneto y García, citados por Simeone y Beretta, 2016).

5. CONCLUSIONES

El cambio de heno de moha por grano entero de avena, mientras se mantengan los niveles de FDN efectiva necesarios en la dieta, no afecta de manera significativa la digestibilidad total del alimento. Por otra parte, la tasa de degradabilidad es mayor al alimentar con GEA como fuente fibra y aumenta la degradabilidad efectiva, si bien el pH disminuye como consecuencia este cambio no genera un impacto negativo en el funcionamiento ruminal.

6. RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en el otoño del 2018 en las instalaciones de la Unidad de Producción Intensiva de Carne, ubicada en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, localizada en el departamento de Paysandú, sobre el Km. 363 de la Ruta Nacional No. 3. El objetivo del mismo fue evaluar el efecto de la remoción de la fibra larga (heno vs. grano entero de avena) en dietas concentradas sobre las características de la fermentación ruminal, digestibilidad y comportamiento de vacunos alimentados a corral. Se utilizaron 4 novillos fistulados raza Hereford provenientes del rodeo de la propia estación experimental, se procedió a encerrarlos en corrales con agua a voluntad. Presentaron un peso promedio de 530 Kg al inicio del experimento, se sortearon dos grupos de dos animales para asignar cada tratamiento al azar en un diseño crossover realizándose en dos periodos. Los tratamientos utilizados fueron dos dietas que difieren en la fuente de fibra: t1 35% heno moha, 65% concentrado; t2 35 % GEA, 65% concentrado, las comidas fueron suministradas tres veces al día (mañana, mediodía y tarde). Las variables evaluadas para cada uno de los tratamientos fueron: consumo de materia seca, tamaño de partículas, degradabilidad in situ, digestibilidad in vivo, pH ruminal y comportamiento. Para los tratamientos no se observó diferencias significativas en consumo ni en el nivel de FDNfe, en degradabilidad in situ se encontraron diferencias en la tasa fraccional de degradación y por lo tanto en la degradabilidad efectiva de la ración que contenía GEA como fuente de fibra se degradó con más velocidad en rumen por su parte la digestibilidad in vivo no arrojó grandes diferencias. En el caso del pH los animales alimentados con GEA presentaron menores valores en todo el período estudiado y por último en el comportamiento animal no se evidenció diferencias significativas en ninguna de las actividades.

Palabra clave: Novillos; Corral; Confinamiento; Fibra; Fibra efectiva; Grano entero de avena; Degradabilidad; Digestibilidad; pH.

7. SUMMARY

This work occurred in the fall of 2018 in the facilities of the Meat Intensive Production Unit, located at the Mario A. Cassinoni Experimental Station, located in the department of Paysandú, on Km. 363 of the National Route No. 3. The objective of this experiment was to evaluate the effect of the removal of long fiber (hay vs. whole grain of oats) in concentrated diets on the characteristics of ruminal fermentation, digestibility and behavior of cattle fed in confinement. Four Hereford steers was used from the rodeo of the experimental station itself, and they were enclosed in confinement with water at will. They presented an average weight of 530 Kg at the beginning of the experiment; were raffled two groups of two animals to assign each treatment at random in a crossover design carried out in two periods. The treatments used were two diets that differ in the fiber source: t1 35% hay moha, 65% concentrate; t2 35% whole grain of oat (WGO), 65% concentrated, meals were delivered three times a day (morning, noon and afternoon). The variables evaluated for each of the treatments were: dry matter consumption, particle size, in situ degradability, in vivo digestibility, ruminal pH and behaviour. No significant differences were observed on the treatments in consumption or in the level of FDNfe, in degradability in situ differences were found only in the fractional degradation rate, the ration containing WGO as fiber source was degraded with more speed in rumen for its part to digestibility in vivo do not throw big differences. In the case of pH, animals fed with WGO had lower values and lastly in animal behaviour, no significant differences were found in any of the activities.

Key words: Steers; Feedlot; Confinement; Fiber; Effective fiber; Whole grain Oats; Degradability; Digestibility; pH.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, Y. 1991. Tabla de contenido nutricional de pasturas y forrajes del Uruguay. Estimadores del valor nutritivo para producción de leche. In: Pigurina, G.; Methol, M.; Acosta, Y.; Bassewitz, H.; Mieres, J. eds. Guía para la alimentación de rumiantes. Montevideo, INIA. pp. 33-44 (Serie Técnica no. 5).
2. Allen, M, S. 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*. 74:3063-3075.
3. Arelovich, H. M.; Bravo, R. D.; Martínez, M. F.; Amelia, M. 2012. Recría de bovinos de carne con dietas basadas en granos de maíz o avena pelletizados. (en línea). *Revista Argentina de Producción Animal*. 32 (2):125-134. Consultado 8 oct. 2018. Disponible en <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/rapa/article/view/2454/pdf>
4. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Cotro, B.; Docanto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J. 2010. Forrajes: catálogo de cultivares 2010. (en línea). Montevideo, Uruguay, INIA. 131 p. (Otros Documentos no. 38). Consultado 8 oct. 2018. Disponible en <http://www.inia.org.uy/productos/cvforrajes/catalogo2010.pdf>
5. Bach, A.; Calsamiglia, S. 2002. Manual de racionamiento para el vacuno lechero. Madrid, Servet. 108 p.
6. _____; _____. 2006. La fibra en los rumiantes: ¿química o física? (en línea). In: Curso de Especialización FEDNA (22°.2006, Barcelona). Avances en nutrición y alimentación animal. Barcelona, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. pp. 99-113. Consultado 2 abr. 2018. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar>
7. Barra, F. 2005. Manejo de la alimentación de animales a corral. (en línea). *Acaecer* (Buenos Aires). 30(346):26-32. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar>
8. Basurto, R.; Tejada, I. 1992. Digestibilidad aparente de la pulpa deshidratada de limón. Comparación de métodos para estimarla. *Técnica Pecuaria en México*. 30 (1):13-22.

9. Beauchemin, K. A.; Yang, W. Z.; Rode, M. L. 2006. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *Journal of Dairy Science*. 89:217-228.
10. Blanco, M. R. 1999. El alimento y los procesos digestivos en el rumen. (en línea). s.l., Sitio Argentino de Producción Animal. 10 p. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/70alimentos_rumen.pdf
11. Britton, R. A.; Stock, R. A. 1986. Acidosis, rate of starch digestion and intake. *In: Symposium Feed Intake by Beef Cattle (1986, Stillwater). Proceedings. Stillwater, Oklahoma, Oklahoma Agricultural Experiment Station. p. 25.*
12. Calero, S.; Taruselli, S. 2018. Efecto del nivel de fibra y uso de grano entero de avena como fuente de fibra en raciones de confinamiento, asociados al suministro en comederos de autoconsumo sobre la performance de terneras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 51 p.
13. Calsamiglia, S. 1997. Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. *In: Curso de Especialización FEDNA (8º., 1997, Madrid). Avances en nutrición y alimentación animal. Madrid, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. pp. 3-19.*
14. _____; Ferret, A.; Devant, M. 2002. Effects of pH and pH fluctuations on microbial fermentation and nutrient flow from a dual-flow continuous culture system. *Journal of Dairy Science*. 85:574-479.
15. Camps, D. N.; González, G. O. 2001. El grano de avena en la alimentación del ganado. (en línea). Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. 6 p. Consultado 20 jul. 2018. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/61-el_grano_de_avena_en_la_alimentacion.pdf
16. 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. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 68 p.

17. Church, D. C. 1993. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Zaragoza, España, Acribia. 627 p.
18. Counotte, G. H. M.; Van't Klooster, A. Th.; Van der Kuilen, J.; Prins, R. A. 1979. An analysis of the buffer system in the rumen of dairy cattle. *Journal of Animal Science*. 49:1536-1544.
19. Crater, A. R.; Barboza, P. S.; Forster, R. J. 2007. Regulation of rumen fermentation during seasonal fluctuations in food intake of muskoxen. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A*. 146:233-241.
20. Cruz, M.; Sánchez, J. 2000. La fibra en la alimentación en el ganado lechero. (en línea). *Nutricion Animal Tropical*. 6 (1):51-54. Consultado 4 may. 2017. Disponible en http://www.cina.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista/la_fibra_en_la_alimentacion_del_ganado_lechero.pdf
21. Defoor, P. J.; Galyean, M. L.; Saylor, G. B.; Nunnery, G. A.; Pearsons, C. H. 2002. Effects of roughage source and concentration on intake and performance by finishing heifers. *Journal of Animal Science*. 80:1395-1404.
22. Elizalde, J. C. 1999. Suplementación con granos en la producción de carne en pastoreo. *In* Curso de Suplementación y Engorde a Corral Integrados a Sistemas Pastoriles (1999, Balcarce). Textos. Balcarce, Buenos Aires, Unidad Integrada INTA. Balcarce/UNMP. Facultad de Ciencias Agrarias. 101 p.
23. _____. 2015. Impacto del uso de los sistemas de alimentación a corral como estrategia para el engorde de bovinos para carne. (en línea). *In*: Congreso Internacional de Producción Animal Especializada en Bovinos (1º., 2015, Maskana). Trabajos presentados. Cuenca, Universidad de Cuenca. pp. 83-93. Consultado 18 jul. 2018. Disponible en <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/articulo/viewFile/652/568>
24. Emery, R. S.; Smith, C. K.; Grimes, R. M.; Huffman, C. F.; Duncan, C. W. 1960. Physical and chemical changes in bovine saliva and rumen

liquid with different hay-grain rations. *Journal of Dairy Science*. 43:76-80.

25. Fernández, A. 1998. Fisiología de la producción de carne. (en línea). INTA. Bordenave. Material didáctico. 3:6-34. Consultado 18 abr. 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/32-fisiologia_de_la_produccion_de-carne.pdf
26. Fischer, J. M.; Buchanan-Smith, J. G.; Campbell, C.; Grieve, D. G.; Allen, O. B. 1994. Effects of forage particle size and long hay for cows fed total mixed rations based on alfalfa and corn. *Journal of Dairy Science*. 77:217-229.
27. Fox, D.; Tedeschi, L. 2002. Application of Physically Effective Fiber in Diets for Feedlot Cattle. (en línea). In: Plains Nutrition Council Spring Conference (2002, San Antonio, Texas). Proceedings. Amarillo, Texas A&M Research and Extension Center. pp. 67-81. Consultado 18 jul. 2018. Disponible en <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.727.5023&rep=rep1&type=pdf#page=47>
28. Gagliostro, G. 2005. Aspectos nutricionales asociados a la suplementación con granos forrajeros. (en línea). Balcarce, Buenos Aires, INTA Balcarce. 2 p. Consultado 20 jul. 2018. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/43-aspectos_nutricionales_granos.pdf
29. Galyean, M. L.; Defoor, P. J. 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 81:E8- E16.
30. García, A.; Kalscheur, K. 2006. Tamaño de partícula y fibra efectiva en la dieta de las vacas lecheras. (en línea). Brooking, South Dakota State University. Sout Dakota Cooperative Extension Service. 5 p. Consultado 20 jul. 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Kenneth_Kalscheur/publication/28304685_Tamao_de_partcula_y_fibra_efectiva_en_la_dieta_d_e_las_vacas_lecheras/links/53ff831e0cf2194bc29a8818.pdfarvia
31. García, E.; Oneto, L. 2017. Avena grano entero como fuente de fibra efectiva en dietas a corral para terneros. Tesis Ing. Agr.

Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 57 p.

32. García, J.; Posado, F.; Zuñiga, J.; Taberner, M.; Bordas, R. 2016. Monitoring rumen environment in finishing Lidia Bulls. (en línea). Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia Córdoba. 21(2):5355 - 5365. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v21n2/0122-0268-mvz-21-02-05355.pdf>
33. Genovez, F.; Ayala, A.; Sandov, C. 2008. Efecto del tamaño de partícula de la fibra en la dieta sobre la conducta ingestiva, digestión de nutrientes y suministro de proteína microbiana al duodeno de bovinos. (en línea). Revista Científica FCV-LUZ. 18 (2):180-187. Consultado 19 jul. 2018. Disponible en <http://www.produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/15356/15330>
34. Goi, J.; Bonnacarrere, M.; Fernández, B.; Olívio, J. 1998. Tratamientos físicos do grão de aveia branca (*Avena sativa*) na alimentação de bovinos. Ciência Rural (Santa Maria). 28 (2):303-307.
35. Heinrichs, J.; Kononoff, P. 2002. Penn State Particle Separator. (en línea). Pennsylvania, Penn State University. pp.1-14. Consultado 17 jul. 2018. Disponible en <http://extension.psu.edu/animals/dairy/nutrition/forages/forage-quality-physical/separator/evaluando-el-tamano-de-particula-de-forrajes-y-rtm-usando-el-nuevo-separador-de-particulas-de-forraje-de-penn-state>
36. 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. 73:2386-2393.
37. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2009. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. Montevideo, Uruguay. 80 p.
38. Kaiser, A. G. 1999. Increasing the utilisation of grain when fed whole to ruminants. Australian Journal Research. 50:737-756.

39. Kaufmann, W. 1976. Influence of the composition of the ration and the feeding frequency on pH –regulation in the rumen and on feed intake in ruminants. *Livestock Production Science*. 3:103-114.
40. Keim, J. 2013. Fibra en la dieta de vacas lecheras a pasto. (en línea). Valdivia, Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Instituto de Producción Animal. 3 p. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <http://www.agrarias.uach.cl/wp-content/uploads/2013/08/Fibra-en-la-dieta-de-vacas-lecheras-A-PASTOREO-2-2.pdf>
41. Krause, K. M.; Oetzel, G. R. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 126:215-236.
42. Lachmann, M.; Araujo-Febres, O. 1999. La estimación de la digestibilidad en ensayo con rumiantes. (en línea). Maracaibo, Venezuela, Universidad del Zulia. 22 p. Consultado 20 jul. 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Omar_Araujo-Febres/publication/230823665_La_estimacion_de_la_digestibilidad_en_ensayos_con_rumiantes/links/0912f505112a176237000000.pdf
43. Loerch, S. C.; Fluharty, F. L. 1998. Effects de programming intake on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 76:371-377.
44. Mc Donald, P.; Edwards, R.; Greenhalgh, J.; Morgan, C. 2006. *Nutrición animal*. 6ª. ed. Zaragoza, España, Acribia. 587 p.
45. Maresca, S.; Santini, F. J.; Pavan, E. 2003. Comportamiento productivo de terneras alimentadas a corral con grano de maíz entero y partido. (en línea). Balcarce, Buenos Aires, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias/EEA Balcarce. INTA. s.p. Consultado 17 jul. 2018. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/ganaderia/bovinos/nutricion/maresca.pdf>
46. Mertens, D.; Ely, L. 1982. Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization. A dynamic model evaluation. *Journal of Animal Science*. 54 (4):895-905.

47. _____. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of Animal Science*. 64(5):1548-1558.
48. _____. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 80 (7):1463-1479.
49. _____. 2002. Measuring fiber and its effectiveness in ruminants diets. (en línea). *In: Plains Nutrition Council Spring Conference (2002, San Antonio, Texas). Proceedings*. Amarillo, Texas A&M Research and Extension Center. pp. 40-66. Consultado 23 jul. 2018. Disponible en <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.727.5023&rep=rep1&type=pdf#page=47>
50. Morgan, C.; Campling, R. 1978. Digestibility of whole barley and oat grains by cattle of different ages. *Animal Production*. 27:323-329.
51. NRC (National Research Council, US). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th. ed. Washington, D. C., National Academy Press. 381 p.
52. Palladino, A. s.f. El rol de la fibra en los sistemas de engorde a corral. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Animal. 5 p.
53. _____.; Wawrzkievicz, M.; Bargo, F. 2006. La fibra. (en línea). *Revista Infortambo*. 202:82-84. Consultado 17 ago. 2017. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar>
54. Parra, V.; Rifle, S.; Elizalde, J. C. 2006. Estrategias de inclusión del corral en los sistemas ganaderos de Argentina. Balcarce, Argentina, Gráfica Máxima. 179 p.
55. Parsi, J.; Godio, L.; Miazzi, R.; Maffioli, R.; Echevarría, A.; Provencal P. 2001. Valoración nutritiva de los alimentos y formulación de dietas. (en línea). *In: Curso de Producción de Bovinos de Carne (18°. , 2001, Río Cuarto). Manejo del alimento*. Río Cuarto, Córdoba, Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria. s.p. Consultado 17 jul. 2018. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/16-valoracion_nutritiva_de_los_alimentos.pdf

56. Piñeyrúa, D.; Pisón, A.; Preve, R. 2013. Evaluación de alternativas de procesamiento del grano de sorgo para la terminación de novillos en confinamiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. pp. 64-65.
57. Poppi, D. P.; Hendricksen, R. E.; Minson, D. J. 1985. The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the tureen of cattle and sheep. *Journal of Agricultural Science*. 105:9-14.
58. 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. (en línea). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 31 (1):1-22. Consultado 17 jul. 2018. Disponible en http://anterior.inta.gov.ar/ediciones/ria/31_1/001.pdf
59. _____. 2005. Manual de feedlot. (en línea). Buenos Aires, INTA. 223 p. Consultado 3 mar. 2018. Disponible en <http://www.youblisher.com/p/22995-Manual-de-FeedLot>
60. Portal Veterinario, ES. 2001. El grano de avena en la alimentación del ganado. (en línea). Zaragoza. s.p. Consultado 17 jul. 2018. Disponible en <https://www.portalveterinaria.com/rumiantes/articulos/2685/el-grano-de-avena-en-la-alimentacion-del-ganado.html>
61. Relling, A. E.; Mattioli, G. A. 2002. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. (en línea). Buenos Aires, Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Veterinarias. 72 p. Consultado 8 set. 2018. Disponible en <https://ecaths1.s3.amazonaws.com/catbioquimicavet/fisio%20dig%20rumiantes.pdf>
62. Rojas, C.; Catrileo, A.; Aguilar, F. 1989. Niveles de avena en raciones para engorda de novillos Hereford. (en línea). *Agricultura Técnica*. 49 (4):304-308. Consultado 17 jul. 2018. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR08190.pdf>
63. _____.; _____.; Grez, T. 2011. Evaluación productiva y económica del uso de grano entero de avena (*Avena sativa* L.) y lupino australiano (*Lupinus angustifolius* L.) en raciones de engorda

invernal de vaquillas. *Agro-Ciencia: Revista Chilena de Ciencias Agropecuarias*. 27 (1):41-48.

64. Rovira, P.; Velazco, J. 2012. Suplementación de bovinos en pastoreo: autoconsumo. Montevideo, INIA. 80 p. (Serie Técnica no. 199).
65. Simeone, A.; Beretta, V. 2016. A pasto y a corral, dos caminos con un mismo destino; la rentabilidad. *In: Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne (18ª., 2016, Paysandú)*. Memorias. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. Unidad de Producción Intensiva de Carne. pp. 34-45.
66. Trujillo, A. I.; Marichal, M. J. 2014. Curso de Nutrición Animal: caracterización química de los alimentos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 19 p.
67. Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd. ed. Ithaca, NY, Cornell University Press. 459 p.
68. Yokohama, M. T.; Johnson, K. A. 1988. Microbiología de rumen e intestino. *In: Church, D. C. ed. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición*. Zaragoza, Acribia. pp. 137-158.
69. Zanine, A. M.; Vieira, B. R.; Ferreira, D. J.; Vieira, A. M.; Cecon, P. R. 2007. Ingestive behaviour of cattle of several categories on coast-cross grass pasture. *Bioscience Journal*. 23 (3):111-119.
70. Zebeli, Q.; Dijkstra, J.; Tafaj, M.; Steingass, H.; Ametaj, B. N.; Drochner, W. 2008. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *Journal of Dairy Science*. 91:2046-2066.
71. _____; Mansmann, D.; Steingass, H.; Ametaj, B. N. 2009. Balancing diets for physically effective fibre and ruminally degradable starch; a key to lower the risk of sub-acute rumen acidosis and improve productivity of dairy cattle. *Livestock Science*. 127:1-10.
72. _____; Aschenbach, J. R.; Tafaj, M.; Boguhn, J.; Ametaj, B. N.; Drochner, W. 2012. Invited review: role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 95 (3):1041-1056.

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Gráfica No. 5. Ganancia de peso vivo según dieta consumida

