

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



Evaluación del proceso de macerado sobre el valor nutrimental de la paja de trigo utilizada en dietas de finalización para bovinos de engorda: digestión de nutrimentos y función ruminal

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS**

PRESENTA:

MVZ. Berenice Sánchez Mendoza

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Asesores

**Dr. Richard A. Zinn
PhD. Germán David Mendoza Martínez
Dr. José Fernando Calderón Cortés
M. C. María Alejandra López Soto
Dr. Martín Francisco Montaña Gómez**

MEXICALI, B. C., MÉXICO

MAYO DEL 2010

Evaluación del proceso de macerado sobre el valor nutrimental de la paja de trigo utilizada en dietas de finalización para bovinos de engorda: digestión de nutrimentos y función ruminal

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera
Director de tesis

Dr. Richard A. Zinn
Asesor

PhD. Germán David Mendoza Martínez
Asesor

Dr. José Fernando Calderón Cortés
Asesor

M. C. María Alejandra López Soto
Asesor

Dr. Martín Francisco Montaña Gómez
Asesor

CONTENIDO

	Pág.
Lista de Cuadros	iii
Lista de Figuras	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Características de los forrajes.....	5
Calidad y valor alimenticio de los forraje.....	8
Efectos negativos de los forrajes.....	9
Funcionalidad de los forrajes.....	10
Efecto del forraje sobre el consumo.....	10
Fibra Detergente Neutro efectiva (FDNe).....	11
Tamaño de partícula.....	13
Tasa de pasaje (Kp) y Tasa de digestión (Kd).....	15
Características de la fibra.....	17
Pared celular.....	17
Características generales de las Pajas.....	20
Dietas con alto contenido de paja.....	20
Dietas con bajo contenido de paja.....	21
Características de la paja de arroz.....	22
Características paja de trigo.....	24
Procesamientos de las pajas.....	24
Molido.....	25
Efecto del molido sobre la digestión y valor nutrimental.....	26
Macerado.....	26
Efecto del macerado sobre la digestión y valor nutrimental.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34

Heno de sudan vs. paja molida.....	35
Paja macerada vs. paja molida.....	39
Heno de sudan vs. Macerado.....	41
Intensidad de macerado (MAC600 vs. MAC900).....	42
CONCLUSIONES.....	43
LITERATURA CITADA	44

Lista de Cuadros

Cuadro		Pág
1	Influencia del tamaño de partícula sobre el valor de fibra efectiva de la FDN-e	14
2	Efecto del tamaño de partícula de la alfalfa y la paja de trigo sobre algunos indicadores físico químicos y fisiológicos en bovinos	16
3	Influencia de la fuente de forraje, características físicas y químicas sobre la velocidad de paso y velocidad de degradación de la fibra	18
4	Tasa de digestión y potencial digestible de la FDN de alfalfa y paja de trigo	19
5	Efecto del nivel de forraje y concentrado en la proporción de ácidos grasos volátiles	23
6	Efecto del molido y macerado de la paja de arroz y heno de sudan en la cinética ruminal de la FDN	28
7	Efecto del macerado en la composición y digestibilidad del ensilado de alfalfa	29
8	Composición de las dietas experimentales consumidas por los novillos	31
9	Características de las fuentes de forraje utilizados en la prueba	36
10	Efecto de los tratamientos sobre sitio de digestión de nutrimentos	37

Lista de Figuras

Figura		Pág
1	Efecto del pH y tipo de dieta en la digestibilidad de la MO (A) y la FDN (B)	7

RESUMEN: Se utilizaron cuatro novillos Holstein (142 ± 3 kg) habilitados con cánulas en rumen y en duodeno en un diseño de cuadrado Latino 4×4 con el fin de evaluar el proceso de macerado de la paja de trigo sobre las características de digestión y función ruminal. La dieta basal formulada (BMS) con 64% de maíz amarillo hojueleado, 8% melaza, 3.6% grasa, 1.4% urea y 2% de minerales fue complementada con 21% con alguno de los siguientes forrajes: 1) heno de sudán molido (HS), 2) paja molida (MOL), 3) paja macerada a 600 psi (MAC600) y 4) paja macerada a 900 psi (MAC900). Todos los forrajes (sudan, y paja de trigo nativa y macerada) se molieron suficiente para paso de malla de 7.6 cm antes de añadirse a la dieta. No existió diferencia ($P \geq 0.11$) en la digestión ruminal de MO, FDN o del almidón entre HS y MOL. Aún y cuando la digestión ruminal del N alimenticio fue menor (19.1%, $P < 0.01$) para HS, no existió diferencia ($P \geq 0.11$) en el flujo a duodeno de NM y eficiencia de N. La digestión en tracto total de la MO (2.9%), FDN (23.9%) y ED (2.8%) fue mayor ($P < 0.01$) para HS comparado con MOL. No hubo diferencia ($P > 0.20$) en la digestión ruminal de MO, N, FDN, NM o eficiencia de N (g de N o amoniacal en duodeno/N consumido) entre MOL y MAC, promediando respectivamente 61.1%, 64.4%, 34.2%, 23.3 g/d y 1.01. Sin embargo, la maceración de la paja incrementó notablemente ($P \leq 0.04$) la digestión posruminal y de tracto total de la MO (8.6 y 3.8%), FDN (76 y 27.9%) y del N (5.1 y 5.2%), así como la ED ($P < 0.01$, 4.5%) de la dieta. De igual forma, comparado con HS, MAC, mejoró la ED (1.3%, $P = 0.03$) de la dieta. No hubo diferencias ($P \geq 0.11$) entre MAC600 y MAC900. Considerando la ED del heno de sudán en 2.46 Mcal/kg (NRC, 1996), la maceración incrementó en promedio un 28% la ED de la paja de trigo (1.91 y 2.65 Mcal/kg para MOL y MAC, respectivamente). La maceración mejora el valor energético de la paja

de trigo hasta un nivel similar al del heno de sudán. Lo anterior, por una mejor digestión de la MO como resultado del incremento de la digestión de la FDN y del N. El incrementar la intensidad de procesado, de 600 a 900 psi, no representó ventajas.

Palabras clave: Novillos, maceración, paja de trigo, digestión

ABSTRACT: Four Holstein steers (142 ± 3 kg) with cannulas in the rumen and duodenum were used in a 4x4 Latin square experiment to evaluate the process of maceration of wheat straw on the characteristics of digestion and rumen function. The basal diet was formulated (DMB) with 64% steam-flaked corn, 8% molasses, 3.6% yellow grease, 1.4% urea and 2% minerals, and was supplemented with 21% of any of the following forages sources: 1) sudangrass hay ground (SH), 2) ground wheat straw (MOL), 3) macerated wheat straw to 600 psi (MAC600), and 4) macerated wheat straw to 900 psi (MAC900). All forages (Sudangrass hay and wheat straw, native and macerated) were ground to pass through a 7.6 cm screen before incorporation into the complete mixed diet. There was no difference ($P \geq 0.11$) on ruminal digestion of OM, NDF or starch between SH and MOL. Even though, ruminal digestion of dietary N was lower (19.1%, $P < 0.01$) for HS, there was no difference ($P \geq 0.11$) in duodenal flow of MN and efficiency of N. Compared with MOL, total tract digestion of OM (2.9%), NDF (23.9%) and DE (2.8%) was higher for HS ($P < 0.01$). There was no difference ($P > 0.20$) between MOL and MAC on ruminal digestion of OM, N, NDF, MN or N efficiency (duodenal NAN/feed N), averaging 61.1, 64.4, 34.2, 23.3 g/d and 1.01, respectively. However, maceration of straw increased significantly ($P \leq 0.04$) postruminal and total tract digestion of OM (8.6 and 3.8%), NDF (76 and 27.9%), N (5.1 and 5.2%) and DE ($P < 0.01$, 4.5%) diet. Similarly, compared with SH, MAC increased diet DE (1.3%, $P = 0.03$). No differences ($P \geq 0.11$) between MAC600 and MAC900 was detected. Considering that DE in SH is 2.46 Mcal/kg (NRC, 1996), thus, maceration increased 28% DE value of wheat straw (1.91 and 2.65 Mcal/kg for MOL, and MAC, respectively). Maceration improves the energy value of wheat straw to a level similar to that of sudangrass hay. This, by better digestion of OM as a result

of increased on NDF and N digestion. Increasing the processing intensity from 600 to 900 psi, did not represent any advantage.

Key words: Steers, Maceration, Performance, Wheat straw

INTRODUCCIÓN

El proceso de maceración está diseñado para simular el proceso de masticación. El mecanismo comprende dos juegos de rodillos corrugados opuestos, presionados entre sí, utilizando para ello fuerza hidráulica. Los rodillos opuestos girando a diferentes velocidades aplastan y desgarran la fibra produciendo cambios en la integridad estructural y de la densidad de la fracción fibrosa del forraje para permitir un mayor acceso de las enzimas fibrolíticas (Plascencia et al., 2007) y una mayor tasa de pasaje ruminal (López-Soto et al., 2006). Estos cambios han resultado en la mejora del valor nutrimental de la paja de arroz que ha sido incluida en dietas para ganado en crecimiento y finalización (Torretera et al., 2000; Ware et al., 2005a), vacas secas (López-Soto et al., 2006) y vacas en producción (Ware et al., 2005b). Sin embargo, no existen informes del efecto de la maceración sobre otras fuentes de pajas. El uso de paja está limitado en las dietas de crecimiento-finalización en bovinos de engorda y prácticamente eliminada de las dietas para vacas en producción de leche como resultado de su pobre valor nutrimental y de sus efectos asociativos negativos cuando son utilizadas en la formulación. De tal forma que, más del 80% de la paja de trigo producida anualmente en el Valle de Mexicali (~120,000 ton) es quemada en campo (SEFOABC, 2008). La quema en campo representa una pérdida de material fibroso potencialmente utilizable y una fuente de contaminación ambiental importante. El beneficio observado en la maceración está directamente relacionado con los cambios ejercidos en la estructura de la fracción fibrosa, entonces, hipotéticamente, se puede esperar que a mayor cantidad de fibra

contenida en la planta que es sometida a la maceración mayor es el beneficio esperado. En ese sentido, la paja de trigo contiene 18% más de FDN (70 vs 85%; NRC, 1996) que la paja de arroz, lo que hace suponer que el beneficio del macerado puede ser mayor para esta fuente de fibra cuando es utilizada en dietas de crecimiento-finalización para novillos.

Hipótesis

El proceso de maceración afecta positivamente el valor nutrimental de la paja de trigo. El uso de intensidades diferentes durante el proceso puede incrementar esta respuesta. El nivel de respuesta puede ser mayor que aquellos observados en los experimentos que probaron el proceso de macerado en paja de arroz.

Objetivo

El objetivo del presente experimento fue el de evaluar el proceso de macerado y la intensidad aplicada al mismo sobre el valor nutrimental de la paja de trigo utilizada en dietas de finalización para bovinos de engorda, su efecto sobre la digestión de nutrimentos y la función ruminal.

REVISIÓN DE LITERATURA

Características de los forrajes

En general se puede afirmar que los forrajes tienen bajo contenido de energía y más de 18% de fibra. Entre este grupo de alimentos se incluyen los pastos, leguminosas, henos, ensilaje, y esquilmos agrícolas. El contenido de proteína es muy variable, pero en general los forrajes tienen proteína de alta degradación ruminal. Los forrajes son necesarios para mantener un rumen funcionalmente sano, dependiendo del tamaño de partícula.

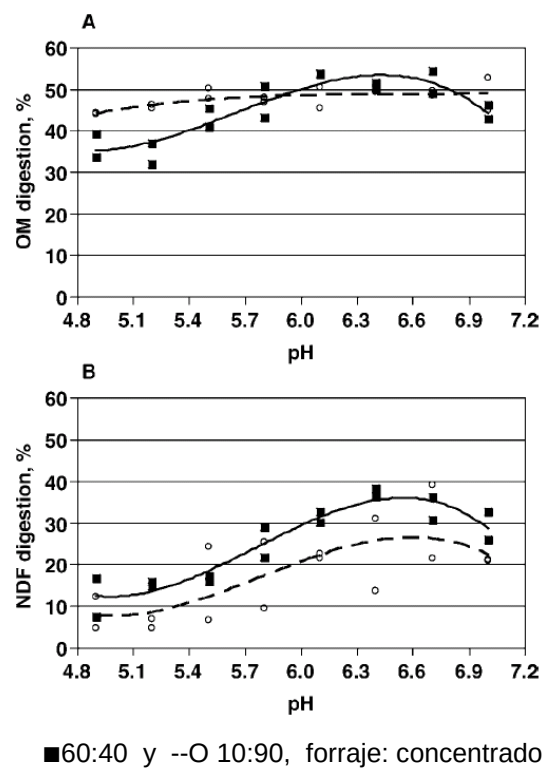
Los forrajes, difieren entre sí en la estructura y composición de su pared celular, dependiendo de su especie vegetal, parte anatómica y fase de desarrollo. En el mismo sentido, la estructura de la pared celular vegetal es muy compleja y variable, tanto química como histológicamente. Estas diferencias condicionan el modo de ataque microbiano de los polisacáridos estructurales y en último término, el ritmo y extensión de la degradación por los microorganismos ruminales. El ritmo de digestión de la celulosa de los forrajes por la población ruminal es muy inferior a la observada *in vitro* sobre celulosa purificada (Weimer, 1996).

Las paredes celulares de las plantas están compuestas por un complejo arreglo de fracciones de carbohidratos incluyendo hemicelulosa, celulosa, y lignina que permiten rigidez y estabilidad estructural necesaria para el crecimiento (Wills et

al., 1980). A estos fragmentos se refieren colectivamente como fibra de detergente neutra o FDN.

El nivel de fibra detergente neutro (FDN) en el forraje no solo representa su funcionalidad particular en el proceso digestivo, sino que también representa las características del forraje que puede limitar el consumo de energía y por lo tanto tener un efecto negativo en el comportamiento (Rojo et al., 2000). Wills et al. (1980), mencionan que la paja de arroz es un residuo de la cosecha con un alto contenido de lignina y celulosa la cual puede ser una fuente de alimentación para rumiantes por su potencial energético, sin embargo tiene como limitante una baja digestibilidad de la Materia Seca (MS).

La capacidad fibrolítico ruminal disminuye cuando la proteína cruda degradable en rumen es menor del 11% de la Materia Orgánica (MO) consumida y cuando el pH ruminal disminuye abajo de de 6.5 (Figura 1), debido a que el pH del rumen es dependiente del nivel de FDN, el nivel de suplementación con alimentos con alto contenido de energía a los forrajes, puede tener más efecto limitante en la digestión ruminal de la fibra que la degradabilidad natural de la fibra del forraje (Yang et al., 2002).



(Calsamiglia et al., 2008)

Figura 1. Efecto del pH y tipo de dieta en la digestibilidad de la MO (A) y la FDN (B)

Calidad y valor alimenticio de los forrajes

Al hablar de calidad de los forrajes nos referimos a su capacidad de estimular la máxima producción, lo que a su vez depende de la capacidad de ingestión y de su digestibilidad (Linn y Martin, 1989).

Las microfibrillas de celulosa están firmemente atados por enlaces covalentes en una matriz de otros componentes de fibra, particularmente hemicelulosa y lignina (Jeffries, 1990). La digestión de celulosa se encuentra limitada por la unión de hemicelulosa y lignina, y esta limitación afecta directamente el consumo de energía contenido en los forrajes (Mertens y Ely, 1982).

La magnitud de digestión ruminal de fibra es una función de tasa de digestión (K_d) y tasa de pasaje (K_p). Un factor primario que influye sobre la tasa de digestión ruminal de la fibra es la accesibilidad del sustrato al proceso fibrolítico, en particular, las interacciones químico-físicas de la celulosa, hemicelulosa y lignina. Ésta es una característica única de forrajes individuales o fuentes de fibra y está influenciada por fase de madurez, estado fenológico, método de preservación, y procesamiento. Sin embargo, el problema no es la digestibilidad del forraje, sino la cantidad de tiempo necesaria para el proceso degradativo (Church, 1988). La naturaleza de la fibra, la tasa de reducción de tamaño de partícula y la tasa de pasaje son los aspectos más limitantes (Prigge et al., 1990).

Un ejemplo de esto es la alfalfa la cual posee componentes fibrosos poco

digestibles, sus características físicas de la fibra lo hacen ser muy quebradizo y se rompe fácilmente, lo cual permite una tasa rápida de pasaje en rumen. Aunque existen forrajes con mayor valor energético que alfalfa el valor alimenticio puede no ser superior (Church, 1988).

Efectos negativos de los forrajes

El proceso productivo en rumiantes es dependiente del consumo voluntario y digestibilidad de la fibra y aun existiendo disponibilidad de ésta, el consumo puede estar limitado por su calidad, la época del año, e incluso la altura del forraje (Obispo et al., 2001). De igual forma un exceso de fibra en la dieta puede causar una reducción en el consumo de alimento, en la digestibilidad, la síntesis de proteína microbial y el aporte de energía (Calderon y Zinn, 1996).

El uso de forrajes con pobre contenido de FDN o bien el procesado fino de estos resulta con la aparición de problemas asociados a la falta de fibra en la ración. Aunque varios subproductos comúnmente utilizados en raciones de rumiantes son ricos en fibra y en ocasiones pueden utilizarse para reemplazar parcialmente los forrajes de la ración (Zebeli et al., 2006).

Entre los efectos negativos también se ha observado que la utilización también está limitada por la escasa capacidad de hidratación (Jung y Allen, 1995) que en consecuencia produce una lenta reducción del tamaño de la partícula y aumenta el tiempo de retención ruminal (Church, 1988) resultando en acumulamiento de material

y disminuyendo el consumo voluntario (Moore et al., 1990; Romney y Gill, 2000), limitando el contenido energético de las raciones (Mertens, 1987).

Funcionalidad de los forrajes

La fibra, como nutriente, contribuye al mantenimiento del funcionamiento ruminal y de las condiciones ruminales (Nocek, 1994). Estas dos funciones dependen de la composición, la degradabilidad y la forma de presentación de la fibra.

La masticación estimula la producción de saliva la cual es un excelente búfer, ya que contiene bicarbonatos y fosfatos, encargados de neutralizar los ácidos producidos por la fermentación de la materia orgánica. El balance entre la producción de ácidos y la cantidad de saliva secretada es indispensable para mantener un pH adecuado (Allen, 1997), ya que un pH ruminal bajo es el resultado de una acumulación de AGV durante la alimentación, en dietas que contienen altas proporciones de concentrados fermentables y forrajes con un bajo nivel de fibra físicamente efectiva (Yang y Beauchemin, 2006). Es un importante agente adherente para los microbios del rumen, estimula la contracción del rumen, la rumia (Church, 1993).

Efecto del forraje sobre el consumo

Las variaciones en el consumo causan que la velocidad de paso del alimento

sea más lenta en las dietas altas en concentrado que en las altas en forraje (Defoor et al., 2002). La magnitud de la respuesta a la distensión ruminal y la tasa de pasaje dependen de la composición física y química de la dieta como, densidad, tamaño de partícula, pared celular, almidón y concentración de proteína (Prigge et al., 1990).

En las especies rumiantes, cuya dieta está compuesta por una gran porción de forraje indigestible, los factores como la densidad física del alimento, tamaño de la partícula, proporción indigestible, rapidez de la fermentación así como el nivel y la frecuencia de alimentación influye en el ritmo de salida de los alimentos del conducto gastrointestinal (McDonald, 1993) y a su vez, influye en la cantidad de espacio disponible en el rumen y el intestino para el siguiente consumo (Church et al., 2004).

Fibra Detergente Neutro efectiva (FDNe)

Actualmente se ha generado el concepto de fibra efectiva, fibra funcional o FDN efectiva (FDNe), dicho concepto se describe para relacionar las características físicas del alimento con el pH del rumen a través de la medición del tamaño de partícula del forraje o la actividad de masticación Mertens (1997).

La fibra efectiva puede definirse como la capacidad real para estimular la rumia, masticación, regurgitación y salivación (Allen, 1997). El término FDNe representa las propiedades del forraje que resultan en el mantenimiento de las condiciones ruminales óptimas, por otro lado, refleja la calidad físico-química de la

fibra, incluyendo el tamaño inicial de partícula, densidad y fragilidad o facilidad de reducción de partícula a través de la masticación y digestión (Traxler et al., 1998).

La adición de FDNe a la ración, manteniendo la misma composición química, no disminuye la ingestión de MS y aumenta el tiempo de masticación (Kononoff y Heinrichs, 2003). De tal forma que, la FDNe mide la capacidad de un ingrediente para estimular la secreción salivar y aumentar el pH ruminal (Mertens, 1997). Por ejemplo, Pitt et al. (1996), observaron que en el ganado de engorda, el pH ruminal era una función predecible de la cantidad de FDN efectiva (FDNe, %) de la dieta.

Con base a dichas observaciones se han desarrollado índices que estiman el tiempo de masticación y rumia por kg de MS y que han servido de base para estimar el valor de la FDNe (Cuadro 1), en la actualidad existen valores establecidos por la Universidad de Michigan y Cornell para tal fin (Sniffen et al., 1992).

Existen métodos rápidos y relativamente precisos para determinar la fibra efectiva de un determinado alimento. Por ejemplo, la Universidad de Pennsylvania (EEUU) desarrolló el “Penn State Separator”, que consiste en tres cajones plásticos dotados de fondos con agujeros de distintos tamaños. Los tres cajones se colocan uno encima del otro, teniendo el cajón de arriba 19 mm de diámetro en sus agujeros, el del medio 8 mm, mientras que el cajón de abajo no posee agujeros (Yang y Beauchemin, 2006).

La muestra a analizar es pesada en una balanza y colocada en el cajón de arriba. Los cajones deben agitarse manualmente al menos veinte veces, rotándolos un cuarto de vuelta cada cinco agitaciones.

Al finalizar la agitación se pesan los residuos que se encuentran en cada cajón. El porcentaje de fibra efectiva se obtiene obteniendo los porcentajes de muestra que quedaron retenidos en los cajones. Se suman los porcentajes que quedaron en los cajones 1 y 2 y se calcula el porcentaje que éstos representan del total (Lammers et al., 1996).

Tamaño de partícula

El rumen tiene un límite superior en su capacidad física, a medida que la tasa de digestión de la fibra disminuye, la cantidad de MO lentamente digerible incrementa (Rojo et al., 2000). El tiempo de retención de fibra en el rumen, o la longitud del tiempo que la fibra es expuesta al proceso fibrolítico es influenciado por el tamaño inicial de la fibra (Prigge et al., 1990), la tasa de reducción del tamaño de partícula afecta principalmente el tiempo de masticación (Cuadro 2), rumia, densidad de partícula y tasa de digestión (Bailey et al., 1990).

La consecuencia más importante de una excesiva reducción en el tamaño de partícula es el efecto paralelo a la caída del pH ruminal el cual es consecuencia de un incremento en los niveles de glucosa e insulina en sangre inducidos por la mayor

Cuadro 1. Influencia del tamaño de partícula sobre el valor de fibra efectiva de la FDN-e

Forraje, Tamaño de partícula cm	Fibra efectiva % (FDN)
<i>Leguminosas</i>	
> 2.54	82
< 0.635	67
<i>Gramíneas</i>	
> 2.54	88
< 0.635	73
<i>Ensilado de Maíz</i>	
> 50 % grano	71
< 50 % grano	61

(Sniffen et al., 1992)

formación de ácido propiónico en dietas con forrajes excesivamente molidos (Grant et al., 1990 ab).

Por otra parte, animales que consumen forraje procesado, tienen un mayor consumo voluntario de forma que el consumo de energía digestible es igual o superior que el de animales alimentados con forrajes con un tamaño de partícula grande (Church, 1993).

Tasa de pasaje (K_p) y Tasa de digestión (K_d)

Esta se encuentra relacionada con el nivel de consumo (Okine y Mathi, 1991). La digestión de la fibra es una función de la tasa de digestión (K_d) y K_p .

El principal factor que afecta la digestión de la fibra es la accesibilidad del substrato al proceso fibrolítico, sobre todo en las interacciones químicas de la celulosa, (Cuadro 3), hemicelulosa y lignina (Mertens y Ely, 1982). La extensión de la digestión de la fibra es una función de la tasa de digestión (K_d) y la tasa de pasaje (K_p) [digestión, % = $K_d / (K_d + K_p)$].

Grimaud et al. (1999), mencionan que el grado de digestión de la fibra es el resultado de la competencia entre la tasa de digestión y pasaje (Cuadro 4). Por lo tanto la tasa de pasaje es un factor de gran influencia en el consumo y la utilización de la dieta el cual está relacionado con el tamaño de partícula (Prigge et al., 1990).

Cuadro 2. Efectos del tamaño de partícula de la alfalfa y la paja de trigo sobre algunos indicadores físico químicos y fisiológicos en bovinos

	Alfalfa heno 10%		Paja de trigo 5.2%	
Tamaño de partícula (cm)	2.540	12.70	2.54	12.70
Rumia min/d	1960	1840	229	240
FDN %	48.50	48.50	86.60	86.60
FDNe %	50.10	61.20	70.20	91.40
PC %	22.10	22.10	3.65	3.65
pH	5.53	5.55	5.57	5.62
CMS kg/d	9.92	10.33	10.57	9.83

(Shain et al., 1999)

Características de la fibra

La celulosa está formada por unidades de celobiosa. La celulosa es el compuesto orgánico más abundante en el mundo, y es el principal componente de la parte fibrosa de la planta (Riquelme et al., 1975).

A pesar de que la celulosa es el componente predominante en la fibra de la planta, es importante reconocer que las microfibrillas de celulosa están fuertemente ligadas por enlaces covalentes en una matriz de otros componentes fibrosos, particularmente de hemicelulosa y lignina (Jeffries, 1990). Debido a dicha organización celular, la fibra es poco susceptible a hidratarse y en consecuencia es resistente a las enzimas microbianas (Jung y Allen, 1995).

Pared celular

Está formada por dos partes; la pared primaria y secundaria que es más gruesa que la primaria, y tiene características de acuerdo a la especie, los principales componentes de la pared celular son; celulosa, hemicelulosa, polisacáridos pectínicos, proteínas estructurales y lignina (Plata et al., 2003).

La degradación de la pared celular es considerado un proceso mediante el cual la superficie está expuesta el ataque constante de microorganismos debido a que los bloques de lignina y compuestos fenólicos se desprenden más lentamente

Cuadro 3. Influencia de la fuente de forraje, características físicas y químicas sobre la velocidad de paso y velocidad de degradación de la fibra

Ingrediente	Velocidad de paso (%/ h)	Velocidad de degradación (%/h)
<i>Leguminosas</i>		
<i>Calidad Alta</i>		
Corte largo	4.0	3-6
Corte Medio	4.5	3-6
Corte Pequeño	6.0	3-6
<i>Calidad Media</i>		
Corte largo	3.0	3-6
Corte Medio	3.5	3-6
Corte Pequeño	4.0	3-6
<i>Gramíneas</i>		
Corte largo	3.0	2-4
Corte Medio	4.0	2-4
Corte Pequeño	4.5	2-4
<i>Ensilado de maíz</i>		
<i>Maduro</i>		
Corte normal	3.0	3-6
Corte Pequeño	6.0	4-8
<i>Intermedio</i>		
Corte normal	2.5	4-8
Corte Pequeño	5.0	8-10
<i>Inmaduro</i>		
Corte normal	2.0	4-8
Corte Pequeño	4.0	8-10

(Sniffen et al., 1992)

Cuadro 4. Tasa de digestión y potencial digestible de la FDN de alfalfa y paja de trigo

Nivel de inclusión (%)	Alfalfa		Paja Trigo	
	Kd	PDF	Kd	PDF
10	6.80	40.90	4.10	38.90
40	6.30	42.70	4.30	36.20
70	3.90	21.40	2.80	10.40
PDF: potencial digestible de la FDN; Kd: Tasa de digestión			(Poore et al., 1990)	

que los carbohidratos, el número de estos compuestos en la superficie aumenta y limita la penetración de los microorganismos o las enzimas a la pared celular, lo cual reduce la velocidad de digestión (Church, 1993).

Características generales de las Pajas

Las pajas consisten principalmente de tallos y cantidades variables de hojas secas sin semillas. En general, las pajas poseen un bajo nivel de proteína y de digestibilidad por lo que suele tener poco valor nutritivo ya que suministran una escasa energía neta (Crampton y Harris, 1979). Como alimento, las pajas solo deben utilizarse para reemplazar una parte del forraje en la ración ya que constituyen un alimento pobre (Drake et al., 2002). Su consumo se encuentra limitado a menos del 2 % del peso corporal debido a la lentitud con que fermenta en el rumen (Menéndez, 1983).

La capacidad de ingestión de los animales se estima como el 1, 2% del peso vivo como mínimo en forma de FND ya que por encima de éste nivel, la FND puede limitar la ingestión de alimentos (Mertens, 1987).

Dietas con alto contenido de paja

Se ha observado que las dietas con altos contenidos de paja la FDN tiende a limitar el consumo total de energía, y dichas dietas son normalmente utilizadas en ganado en crecimiento, o ganado lechero (Lopez-Soto et al., 2006). Las dietas a base de forraje suelen usarse después del destete para aumentar el desarrollo antes

de la alimentación con dietas altas en concentrado durante la finalización (Johnson *et al.*, 1977).

Yang *et al.*, (1999) En estudios con dietas que contenían heno de alfalfa con mayor contenido de FDN observaron incrementos en la concentración de AGV, acetato y propionato (con una menor relación acetato:propionato).

Por otra parte Galyean and Deffor (2003), mencionan que las dietas con más de 10% de forrajes tienden a disminuir el consumo de energía en bovinos en finalización.

Dietas con bajo contenido de paja

Regularmente las dietas de finalización para novillos contienen hasta 20% de fibra, (Plascencia *et al.*, 2002). Y la falta de fibra puede resultar en, acidosis, laminitis y desplazamiento de abomaso, debido a desequilibrios físicos (falta de llenado ruminal) o fermentativos (Allen, 1991). Las dietas altas en grano, o con un bajo contenido de paja tienden a disminuir el pH ruminal (Lopez-Soto *et al.*, 2006), lo cual causa una elevada producción de ácido láctico, ya que la producción de ácidos grasos volátiles (AGV's) varía de acuerdo a la proporción de forraje: concentrado (Cuadro 5), provocando un descenso en el pH del rumen, lo cual se modifica de acuerdo al grado de fermentación del alimento, ya que las bacterias encargadas de dicha fermentación, son sensibles a los descensos de pH, y como consecuencia en determinados momentos pueden dejar de trabajar (Häubi, 2004).

Plata *et al.* (1994) han observado que al reducir el forraje en la dieta se disminuye la digestibilidad hasta en 40%. Por otra parte Iwasa *et al.*, (1998), observaron cambios en el patrón de fermentación en estudios con solo 5% de forraje.

Características de la paja de arroz

La paja de arroz tiene valores sustancialmente menores, al 8% de proteína, lo cual afecta la tasa de actividad microbiana ruminal (Willis *et al.*, 1980). Por otro lado, la paja de arroz contiene altos valores de FDN (65.6, NRC 1984), con alto contenido de sílice, lo cual afecta negativamente la digestibilidad y por lo tanto el consumo animal. La velocidad de digestión de la paja en el rumen es muy lenta, lo que reduce aún más el consumo animal (White *et al.*, 1971).

El bajo valor energético de la paja puede atribuirse a su contenido comparativamente reducido de carbohidratos solubles (1 - 2%) (Wilson y Mertens, 1995). Willis *et al.* (1980), observaron que la paja de arroz tiene un TND de entre 38 y 44%. Los valores bajos de energía, carbohidratos solubles y contenido de proteínas son debido a su alta lignificación capa de esclerenquimatosa la hacen resistente a la penetración de las enzimas digestivas.

Cuadro 5. Efecto del nivel de forraje y concentrado en la proporción de ácidos grasos volátiles.

Forraje: Concentrado	Acetato	Propionato	Butirato
100 : 0	71	21	8
75 : 25	68	24	8
60 : 40	65	24	11
50 : 50	65	25	10
40 : 60	60	30	10
20 : 80	54	35	11

(Riquelme, 1982)

Características paja de trigo

Esta tiene un contenido de aproximadamente de 77 a 80% FDN y de 4 a 6% de PC, y un TND de entre 33 y 45% (Bryant and Robinson, 1962) lo cual al igual que la paja de arroz afecta negativamente la digestibilidad y por lo tanto el consumo animal. Zorrilla et al., 1991 observaron que la paja de trigo tenía un 87.6% de MS y 87.2% de FDN con un 34.8% de digestibilidad de la MS. Por otra parte en otro estudio realizado por Hunt et al. (1984), observaron una digestibilidad de la MS de 50% de la paja de trigo.

Procesamientos de las pajas

El procesamiento de los alimentos ayuda a mejorar la utilización de los carbohidratos estructurales durante la digestibilidad. Sin embargo, se debe buscar la forma adecuada de procesarlos ya que se pueden tener efectos negativos durante la digestión, ya que al reducir el tamaño de las partículas de los forrajes disminuye el tiempo de retención de la materia, disminuyendo el tiempo en que dicha materia está expuesta a los microorganismos del rumen, provocando un descenso de la digestión de los carbohidratos estructurales (Church, 1993).

Un ejemplo de esto es que en su estado nativo, la digestibilidad de los forrajes de baja calidad es muy pobre 38 a 44% (White et al., 1974). Lo anterior obedece a su bajo contenido de carbohidratos solubles (1-2%) así como a la distribución y lignificación del estrato escleroquimatoso (matriz celular primaria) y de los tejidos

vasculares de enlace que hacen a la paja resistente a la penetración de enzimas. De esta forma, para incrementar el valor nutricional de estos mismos se requiere del rompimiento de la estructuras de los polímeros de fibra a nivel molecular. Un efecto directo de su baja digestibilidad es que la tasa de reducción de su partícula (y por lo tanto su tasa de recambio ruminal) es muy lenta lo que resulta en una acumulación de la paja en el rumen que deprime el consumo de alimento. Con el propósito de mejorar el aprovechamiento de los forrajes se han desarrollado diversas formas de procesamiento (Plascencia et al., 2007) y o tratamientos de los forrajes (Krehbiel, 2002), los cuales suelen proporcionar una mayor área superficial para el ataque enzimático. Sin embargo esto no incrementa la utilización de carbohidratos estructurales, no obstante mejora el comportamiento del animal debido principalmente a un incremento en el consumo de energía digestible (Giraldo et al., 2006). Recientemente se ha intensificado la búsqueda de alternativas para el uso de dichos forrajes en la alimentación de ganado, en este sentido se han probado distintos procesos mecánicos tal como el molido y la maceración (Hong et al., 1988; Howes et al., 1998).

Molido

El molido es un proceso dirigido principalmente a disminuir el tamaño de la partícula. Esto trae como consecuencia una mejora en el consumo, lo cual obedece al cambio de características físicas ya que no afecta la composición o estructura química ya que los cambios en la estructura molecular de la fibra no se logran moliendo finamente la paja (Hart et al., 1981) debido a que el principal efecto con el

molido fino de la paja es la reducción de su digestibilidad como resultado de un menor tiempo de su retención en el rumen (Coombe et al., 1979).

Efecto del molido sobre la digestión y valor nutrimental

La fibra se fermenta en el rumen por acción de las bacterias celulolíticas cuando estas se adhieren a la pared vegetal, proceso que se realiza a una velocidad inversamente proporcional al grado de lignificación (Maynard et al., 1981). Una vez adheridas, la degradación de los componentes de la pared celular progresa por acción de las celulasas y hemicelulasas y varía en función de la composición y el grado de lignificación el cual está influenciado por la fase de madurez, edad al corte, método de preservación y procesado. El problema, entonces es el tiempo que se necesita para el proceso de degradación, ya que el tiempo que la fibra se expone al proceso fibrolítico depende del tamaño inicial de la partícula de la fibra, la tasa de reducción de tamaño de partícula, densidad de partícula y tasa de digestión (Zinn et al., 2004).

Macerado

Este proceso es similar a la masticación y se realiza mediante el uso de presión hidráulica a diferentes velocidades, las cuales comprimen y estiran la fibra, pero el forraje permanece intacto, ya que esta presión es aplicada a lo largo de la fibra homogeneizando tallos y hojas, sin alterar algunas estructuras de la fibra. Dicho proceso estimula el aprovechamiento de las bacterias durante la digestibilidad

(Savoie et al., 2001). (Plascencia et al., 2007), este proceso aumenta la tasa de pasaje (Cuadro 6) y mejora la EM de la dieta (Petit et al., 1997).

Por otro lado, compuestos que disminuyen la tensión superficial, dan como resultado que el agua humecte mejor las superficies (Umbland y Bellama, 2000), favoreciendo la penetración de enzimas en partículas de escasa capacidad de hidratación como lo es la fibra (Jung y Allen, 1995).

Efecto del macerado sobre la digestión y valor nutrimental

Broderick et al., 1999 observaron que con el proceso de macerado se logra incrementar el valor de la fibra, debido al incremento en la digestibilidad de la FDN y de MO disponible (Cuadro 7). Por otra parte Lopez-soto et al. (2006), al macerar paja de arroz observaron un incremento en el contenido de nitrógeno (47%), FDN (7.4%), FDA (9.5%) y un aumento en la densidad de 30%. Lo que concuerda con otras investigaciones (Petit et al. 1994; Plascencia et al. 2007), donde se observaron resultados similares al macerar pasto timothy y paja de arroz respectivamente, incrementando así el contenido de nitrógeno.

Lopez-soto et al. (2006), mencionan que la maceración cambia la estructura de la partícula fibrosa, modificando su gravedad específica, aumentando así la tasa de pasaje. Sin embargo dicho efecto es variable dependiendo de las características del forraje, por lo cual los forrajes de baja calidad pueden responder de manera distinta al proceso de macerado.

Cuadro 6. Efecto del molido y macerado de la paja de arroz y heno de sudan en la cinética ruminal de la FDN

	Heno de Sudan	Paja de arroz	
		Molida	Macerada
FDN kg	4.38	6.77	4.66
Kp FDN %h	2.17	1.47	2.54
Kd FDN %h	1.22	0.64	0.72

(López et al., 2006)

Cuadro 7. Efecto del macerado en la composición y digestibilidad del ensilado de alfalfa

	Composición %		Digestibilidad %	
	Control	Macerado	Control	Macerado
MS	43.40	42.20	60.00	61.10
FDN	43.20	44.80	44.20	45.00
FDA	34.80	36.00	37.90	38.80
PC	20.50	20.20	53.00	54.40

(Broderick et al., 1999)

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cuatro novillos Holstein (142 ± 3 kg) habilitados con cánulas en rumen y en duodeno en un diseño de cuadrado Latino 4×4 con el fin de evaluar el proceso de macerado de la paja de trigo sobre las características de digestión y función ruminal. La dieta basal (DB) formulada (BMS) en base a maíz amarillo hojueleado se muestra en el Cuadro 8. Esta fue complementada con 21% con alguno de los siguientes forrajes: 1) heno de sudán molido (HS), 2) paja molida (MOL), 3) paja macerada a 600 psi (MAC600) y 4) paja macerada a 900 psi (MAC900). La preparación del macerado se realizó pasando la paja, previamente humectada mediante la adición 10% de agua (v/p), por una sola ocasión a través de los rodillos corrugados (46 x 61 cm) dispuestos horizontalmente uno frente al otro con abertura 0 mm. Para llevar a cabo la acción de maceración se utilizaron 2 intensidades de presión de rodillos las cuales fueron de 600 (MAC600) y de 900 psi (MAC900) ambas intensidades con un diferencial de velocidad aplicado entre rodillos de 5 rpm (20 y 15 rpm). Una vez obtenido el macerado, se molió al igual que el resto de los forrajes en prueba (heno de sudán y paja sin macerar) en un molino de forraje de cuchillas (Meadows mill, North Wilkesboro, NC) lo suficiente para permitir el paso del material a través de una malla de 7.6 cm. Se añadió 0.40% de óxido crómico como marcador inerte para cálculo del flujo a duodeno y de excreción fecal de materia seca (MS).

Cuadro 8. Composición de las dietas experimentales

Concepto	Tratamientos ^a			
	HS	MOL	MAC600	MAC900
Ingrediente BMS, %				
Sudán heno	21.00			
Paja de trigo				
Molida		21.00		
Macerada			21.00	21.00
Maíz hojuela	64.00	64.00	64.00	64.00
Grasa amarilla	3.60	3.60	3.60	3.60
Melaza	7.62	7.62	7.62	7.62
Urea	1.40	1.40	1.40	1.40
Piedra caliza	1.40	1.40	1.40	1.40
Sal mineralizada ^b	0.40	0.40	0.40	0.40
Oxido de magnesio	0.18	0.18	0.18	0.18
Oxido crómico	0.40	0.40	0.40	0.40
Composición nutrimental (BMS)				
EN, Mcal/kg ^c				
Mantenimiento	2.13	2.02	2.02	2.02
Ganancia	1.45	1.36	1.36	1.36
Proteína cruda, %	12.14	11.40	11.40	11.40
FDN, %	19.60	23.67	23.67	23.67
Calcio, %	0.72	0.70	0.70	0.70
Fósforo, %	0.28	0.26	0.26	0.26

^a HS = heno de sudan, MOL= paja de trigo molida, MAC600 = paja de trigo macerada intensidad 600 psi, MAC900 = paja de trigo macerada intensidad 900 psi.

^b Sal micromineralizada conteniendo: CoSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, 0.052%; and NaCl, 92.96%

^c Estimada en los valores tabulares informados para cada ingrediente (NRC, 1996).

El consumo (BMS) se ajustó al 2.2% del peso vivo, ofreciéndose durante la prueba alimento fresco en forma diaria en dos porciones iguales a las 0800 y 2000 h. El experimento consistió en cuatro periodos experimentales de 14 días (10 para adaptación a la dieta y 4 para colección de muestras). Durante el periodo de colección de muestras, las muestras duodenales (700 mL/d) y fecales (200 g base fresca) se tomaron a cada novillo dos veces al día en los siguientes horarios: día 1, 1200 y 1800 h; día 2, 1050 y 1450 h; día 3, 0900 y 1500 h y día 4, 0750 y 1350 h. Las muestras de cada novillo, en cada periodo de colección, se mezclaron con el propósito de formar una muestra compuesta misma que se congeló a -20° C para análisis posteriores. El último día, del último periodo experimental se tomó una alícuota de líquido ruminal para aislamiento de bacterias ruminales por centrifugación diferencial. Las muestras de cada novillo, en cada periodo de colección, se mezclaron con el propósito de formar una muestra compuesta misma que se congeló a -20° C para análisis posteriores. A las 4 h posconsumo (1200 h), en el último día de cada periodo, se determinó el pH (Orion 261S, Fisher Scientific, Pittsburgh, PA) del contenido ruminal de una muestra obtenida ($\pm$ 500 mL) de cada novillo mediante el uso de una bomba de vacío (Cole Parmer Instrument, Vernon Hill, IL. El último día, del último periodo experimental, muestras del fluido ruminal se obtendrán de todos los novillos, éstas se mezclarán y del resultante se tomó una alícuota para aislamiento de bacterias ruminales por centrifugación diferencial (Bergen et al., 1968). Las muestras generadas se sujetaron a todos, o parte de los siguientes análisis: Materia seca (MS; estufa desecando a 105°C, hasta peso constante), cenizas, N kjeldhal y nitrógeno amoniacal de acuerdo con lo estipulado por la AOAC (1984), energía bruta (EB) (utilizando una bomba calorimétrica

adiabática modelo 1271; Parr Instrument Co., Moline, IL), purinas (Zinn y Owens, 1986), óxido crómico (Hill y Anderson, 1958), almidón (Zinn, 1990) y fibra detergente neutra (FDN) (Goering y Van Soest, 1970; corregida para cenizas insolubles). La cantidad de materia orgánica microbiana (MOM), así como el nitrógeno microbiano (NM) que fluye a duodeno se calculó con base en los análisis de las bacterias aisladas en el fluido ruminal así como en las muestras obtenidas de duodeno, usando purinas como marcadores microbianos (Zinn y Owens, 1986). La materia orgánica fermentada (MOF) en rumen será calculada de acuerdo a la cantidad de MO consumida y las proporciones de MO microbiano y MO total determinadas en duodeno (Plascencia et al., 1999). El N consumido que escapa de la digestión ruminal (proteína de escape) se consideró como el equivalente al total de N que ingresa al duodeno menos la suma de las cantidades de N amoniacal y N microbiano que fluyen al duodeno. Los datos fueron analizados como un diseño de cuadrado Latino 4x4 de acuerdo al siguiente modelo: $Y_{ijkl} = \mu + B_i + A_{j(i)} + P_k + \zeta_l + E_{ijkl}$ en el cual, B_i representa el bloque, $A_{j(i)}$ es el novillo dentro del bloque, P_k es el periodo, ζ_l el tratamiento y E_{ijkl} es el error residual. Los efectos de los tratamientos fueron contrastados de la siguiente manera: cuadrado Latino 4 x 4. Los efectos de los tratamientos se contrastaron de la siguiente manera: 1) HS vs. MOL, 2) HS vs. MAC, 3) MOL vs. MAC y 4) MAC600 vs. MAC900. Se consideró diferencia significativa cuando $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición nutrimental y características de densidad de los forrajes utilizados en este estudio se muestran en el Cuadro 9. El contenido de PC del heno de sudán fue de 7.8%, mientras que la paja de trigo fue de 2.4%. La maceración de la paja de arroz se reflejó en una ligera reducción del contenido de nitrógeno (14%) sin cambios en el contenido de la FDN, FDA o cenizas. Una disminución en la composición de la fracción nitrogenada y un aumento en la fracción fibrosa después de que el material fue sometido al proceso de maceración se han observado en leguminosas como resultado directo de la pérdida de hojas (Agbossamey et al., 2000), y por la pérdida de material soluble de las células durante el procesado y el manejo del material (Lu et al., 1980). Mientras que en heno de gramíneas, Petit et al. (1994) detectaron un incremento del 17% del contenido del N posterior a la maceración del heno de pasto Timothy; estos investigadores explican que la insolubilidad de la fracción nitrogenada se ve disminuida por el macerado, por lo que a mayor madurez de la planta se espera un cambio mayor en el contenido de esta fracción. Sin embargo, existe información muy limitada sobre los cambios físicos operados en las pajas que han sido sometidas a maceración, aunque López-Soto et al. (2006) indican un incremento en la fracción fibrosa y nitrogenada cuando la paja de arroz fue macerada. Consistente con López-Soto et al. (2006), el macerar la paja aumentó la densidad (p/v) de la misma en 28%. De hecho, la densidad de la paja macerada fue muy similar a la densidad registrada para el heno de sudán (0.063 vs. 0.0625). Las modificaciones en la estructura de la pared celular y tamaño de la

partícula resultan en cambios de algunas propiedades físicas, entre ellas, la densidad. El aumento en la densidad (g/L), como resultado de la maceración, es consistente con resultados obtenidos en estudios previos (Straub et al., 1999; Hintz et al., 1999).

Heno de sudan vs. paja molida. Las características del consumo, flujo de nutrimentos, así como la digestión ruminal, posruminal y de tracto total se muestran en el cuadro 10. Como resultado de la distinta composición química entre el heno de sudan (HS) y la paja molida (MOL, Cuadro 2), el consumo de FDN fue menor (7.6%, $P < 0.01$) y el consumo de N fue mayor (7.6%, $P < 0.01$) para HS. No existió diferencia ($P \geq 0.39$) en la digestión ruminal de MO, o del almidón entre HS y MOL. Aun y cuando se observó un mayor (14%, $P = 0.11$) digestión ruminal para la FDN en los tratamientos HS, este no fue significativo. La digestión ruminal del N alimenticio fue menor (19.1%, $P = 0.01$) para HS, sin embargo, no existió diferencia ($P \geq 0.08$) en el flujo a duodeno de NM, eficiencia microbiana o eficiencia de N. Una mayor digestión ruminal de la fracción fibrosa y una menor digestión ruminal del N de la dieta fue observado por Torrentera et al. (2000) cuando compararon dietas con 20% de forraje (heno de sudán o paja de arroz). Sin embargo, Plascencia et al. (2007) no detectaron a nivel ruminal diferencia ($P = 0.08$) en la digestión ruminal de FDN y de N cuando compararon paja de trigo molida y heno de sudán incluidos a un nivel de 14% en la dieta. Las diferencias entre los distintos experimentos pueden estar supeditadas principalmente a diferencias en las propiedades fisicoquímicas de ambas fracciones entre las fuentes de forraje y el nivel de inclusión utilizado en cada estudio.

Cuadro 9. Características de las fuentes de forraje utilizados en la prueba

Concepto	Sudán heno	Paja de trigo		
		MOL	MAC600	MAC900
N, %	1.25	0.38	0.35	0.30
FDN, %	60.32	67.90	68.65	68.26
FDA, %	41.03	50.27	50.20	50.21
Cenizas, %	9.63	11.05	10.80	10.68
Densidad, kg/L	0.063	0.045	0.68	0.57

Cuadro 10 .Efecto de los tratamientos sobre sitio de digestión de nutrimentos

Concepto	HS ²	Paja de trigo ¹				EEM	Valor de P			MAC600 vs. MAC900
		MOL	MAC600	MAC900			HS vs. MOL	HS vs.MAC	MOL vs.MAC	
Consumo, g/d										
MS	3134	3136	3136	3134	65					
MO	2935	2922	2922	2919	66					
Almidón	1183	1183	1183	1183	25					
FDN	620	671	677	673	13					
N	57.7	53.3	53	52.7	1.1					
EB, Mcal	12.83	12.75	12.83	12.78	0.3					
Flujo duodeno, g										
MO	1398	1489	1426	1520	59	0.30	0.32	0.83	0.28	
Almidón	252	238	266	312	15	0.53	0.07	0.02	0.06	
FDN	387	454	440	438	16	0.01	0.03	0.40	0.80	
N	58.1	54.2	53.0	56.2	1.9	0.18	0.15	0.89	0.26	
NAN	57	53	52	55	1.9	0.13	0.14	0.78	0.28	
NM	31.0	35.5	32.4	35.6	1.7	0.08	0.17	0.48	0.21	
N dietético	26.3	17.4	19.7	19.5	1.3	<0.01	<0.01	0.20	0.91	
Digestión ruminal,%										
MO	62.9	61.2	62.3	59.9	1.4	0.39	0.32	0.98	0.26	
Almidón	78.6	79.9	77.6	73.6	1.2	0.48	0.06	0.01	0.04	
FDN	37.7	32.3	35	35.4	2.2	0.11	0.37	0.30	0.90	
N dietético	54.4	67.1	63.1	63.0	2.5	<0.01	0.01	0.20	0.99	
Eficiencia NM ³	22.2	23.9	22.7	23.4	0.7	0.11	0.32	0.37	0.49	
Eficiencia de N ⁴	0.99	1	0.98	1.05	0.03	0.95	0.61	0.66	0.17	
Digestión posruminal, %										
MO	58.4	56.7	61.2	62.9	1.5	0.42	0.08	0.02	0.45	
Almidón	91.4	88.3	90.8	91.8	1.9	0.28	0.95	0.24	0.74	
FDN	14.8	5.2	22.7	22.0	3.4	0.07	0.09	<0.01	0.89	
N	73.7	71.0	74.5	75.2	1.3	0.18	0.49	0.04	0.75	
Excreción Fecal g/d										
MO	579	644	552	561	17	0.02	0.28	<0.01	0.71	
Almidón	21	28	25	26	6	0.42	0.59	0.69	0.85	
FDN	328	430	339	337	11	<0.01	0.42	<0.01	0.88	
N	15	16	13	14	0.5	0.52	0.02	<0.01	0.51	
EB, Mcal	2.60	2.86	2.46	2.48	0.06	0.02	0.09	<0.01	0.83	
Digestión tracto total, %										
MO	80.2	77.9	81.1	80.8	0.4	<0.01	0.21	<0.01	0.53	
Almidón	98.2	97.6	97.9	97.4	0.5	0.40	0.57	0.68	0.81	

FDN	47.2	35.9	49.9	49.8	1.1	<0.01	0.07	<0.01	0.99
N	73.5	70.4	74.8	73.7	1.0	0.06	0.58	0.01	0.48
ED, %	79.7	77.5	80.9	80.6	0.4	<0.01	0.04	<0.01	0.65
ED, Mcal/kg	3.26	3.15	3.31	3.29	0.02	<0.01	0.08	<0.01	0.38
ED observada de las pajas, Mcal/kg ⁵		1.91	2.68	2.61	0.01				

¹MAC 600= Paja de trigo macerada a 600 RPM, MAC 900= Paja de trigo macerada a 900 RPM. ²Heno de sudán, ³N microbial en duodeno g/kg de MO fermentada en rumen, ⁴N no amoniacal en duodeno g/g de N consumido, ⁵Calculado asumiendo un valor de 2.46 Mcal/kg de ED para el heno de sudán (NRC, 1996).

No existió diferencia ($P > 0.08$) en la tasa de digestión posruminal de las fracciones evaluadas, sin embargo, la tasa de digestión posruminal de FDN tendió a ser menor ($P=0.07$) para MOL comparado con SH. El efecto “compensatorio” en la digestión posruminal de la FDN es común observarse cuando se valoran forrajes de distinta composición fisicoquímica. López-Soto et al. (2006) observaron el mismo efecto compensatorio en la digestión de la FDN (17.3 vs. 9.5%, para heno de sudan y paja de arroz respectivamente) cuando compararon paja de arroz molida contra heno de sudan en dietas que contuvieron 40% de forraje.

Tal como se esperaba, la digestión en tracto total de la MO (2.7%), FDN (23.9%) y ED (3.4%) fue mayor ($P \leq 0.01$) para HS comparado con MOL. De igual manera la digestión de N tendió ($P=0.06$) a ser mayor (4.2%) para HS. Consistentemente se observan valores más altos en la digestibilidad de la MO, FDN y ED de la dieta a nivel de tracto total cuando se comparan henos de gramíneas con dietas que contienen pajas (Torretera et al., 2000; Ware et al., 2005; López-Soto et al., 2006).

Paja macerada vs. paja molida. Los consumos de MO, N, FDN, almidón y EB fueron muy similares ($P > 0.79$) entre los tratamientos MOL y MAC. No hubo diferencia ($P > 0.20$) en la digestión ruminal de MO, N, FDN, NM o eficiencia de N entre MOL y MAC. De igual manera, Torretera et al (2000) no detectaron diferencias en la digestión ruminal o utilización de MO, FDN o N cuando compararon

paja de arroz molida contra macerada aun nivel de 20% de inclusión. Sin embargo, Plascencia et al. (2007) informan un incremento en la digestión ruminal de la FDN (28%, $P < 0.05$) como resultado de la maceración de la paja de arroz incluida en 14% en la dieta. Por el contrario, López-Soto et al. (2006) informa una disminución en la digestión ruminal de la MO (7%, $P < 0.05$) y de la FDN (13.9%, $P < 0.10$) cuando la paja macerada se incluyó en 40% en la dieta. La variación en los resultados sobre digestión ruminal de la MO y FDN no es clara. Cuando la maceración aumentó la tasa de pasaje y digestión 62 y 68%, como consecuencia, las dietas que contuvieron paja de arroz macerada resultaron con una disminución de la digestión ruminal de esta fracción. La tasa de pasaje está supeditada, en gran medida, al potencial de hidratación de la fibra y al tamaño de la partícula. Posiblemente este efecto pueda estar supeditado al nivel de inclusión de la paja. En ese sentido, inclusión de 14% mejoró la digestión (Plascencia et al., 2007), la inclusión de 40%, la disminuyó (López-Soto et al., 2006), mientras que, al igual que el presente trabajo, inclusiones de 20% no detectaron diferencias (Torretera et al., 2005).

La maceración de la paja incrementó notablemente ($P \leq 0.04$) la digestión posruminal y de tracto total de la MO (8.6 y 3.8%), FDN (76 y 27.9%) y del N (5.1 y 5.2%), así como la ED ($P < 0.01$, 4.5%) de la dieta. Incrementos en la digestión de MO y FDN a nivel de tracto total han sido efectos consistentes en pajas de arroz macerada (Torretera et al., 2000, López-Soto et al., 2006), sin embargo, la ausencia de este efecto también ha sido observado previamente (Ware et al., 2005).

Considerando el contenido de ED del HS en 2.46 Mcal/kg (NRC, 1996) la maceración incrementó 28% la ED de la paja de trigo (1.91 y 2.65 Mcal/kg para MOL y MAC, respectivamente). Aumentos en 15% en el valor energético de la paja de arroz macerada comparada con paja de arroz molida ha sido informado previamente (Torretera et al., 2000). Lo anterior corrobora que la respuesta al macerado es mayor para la paja de trigo comparada con la paja de arroz y fortalece la hipótesis de que los forrajes de baja calidad respondan de manera distinta al proceso de macerado. Es recomendable realizar más estudios para seguir evaluando las respuestas al macerado de distintas fuentes y calidades de forraje.

Heno de sudan vs. macerado. No hubo diferencias ($P>0.10$) en digestión ruminal, posruminal y tracto total de MO, FDN, almidón y N. Sin embargo, comparado con HS, MAC, mejoró la ED (1.3%, $P=0.03$) de la dieta como resultado de una tendencia a mejorar la digestibilidad de la FDN (5.3%, $P=0.07$) en tracto total. Plascencia et al. (2007) no observaron diferencias entre la digestión de tracto total de MO (79.3 vs 80.6%) pero si, una mayor digestión de la FDN (48.4 vs. 44.4%) para la dieta que contuvo paja de trigo macerada comparado con aquella que contuvo heno de sudán. Contrariamente, Torretera et al. (2000) observaron una mejor digestión (41.5 vs. 32.7%) para FDN para las dietas que contenían heno de sudán. Las variaciones observadas puede deberse a la calidad del heno de sudán empleado como testigo. El heno de sudán utilizado en el presente estudio fue de moderada a baja calidad (Cuadro 9).

Intensidad de macerado (MAC600 vs. MAC900). Contrario a nuestra hipótesis, no hubo diferencias ($P \geq 0.11$) entre MAC600 y MAC900. No existe información disponible de los cambios de intensidad del proceso de macerado sobre el valor nutrimental de las pajas. La mayoría de los estudios indica que una intensidad de 600 psi es suficiente para observar cambios positivos en la paja de arroz (Ware et al., 2005; López-Soto et al., 2006; Plascencia et al., 2007). Una mayor intensidad de procesado supone un mayor cambio en la estructura de la fibra con la consecuente mayor posibilidad de exposición a las enzimas fibrolíticas microbianas. Sin embargo, aparentemente el cambio de la estructura de la fibra tiene un límite que no permite observar mayores respuestas a procesados más intensos.

CONCLUSIONES

La maceración mejora el valor energético de la paja de trigo hasta un nivel similar al del heno de sudan. Lo anterior, por una mejor digestión de la MO como resultado del incremento de la digestión de la FDN y del N. El incrementar la intensidad de procesado, de 600 a 900 psi, no representó ventajas sobre las variables evaluadas.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, E. G. and R.A. Zinn. 2001. Development a low-cost, easy-to assemble, and durable ruminal cattle. *Proc. West Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 52:539-540.
- Allen, M. S. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80:1447–1462.
- Bailey A. T., R. A. Erdman, L. W. Smith and B. K. Sharma. 1990. Particle size reduction during initial mastication of forages by dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 68:2084-2094.
- Bergen, W. G., D. B. Purser and J. H. Cline. 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J. Anim. Sci.* 27:1497.
- Bourquin D. L. and C.G. Fahey. 1994. Ruminal digestion and glycosyl linkage patterns of cell wall components from leaf and stem fractions of alfalfa, orchardgrass, and wheat straw. *J. Anim. Sci.* 72:1362-1374.
- Broderick G. A., R. G. Koegel, M.J.C. Mauries, E. Schneeberger, and T. J. Kraus. 1999. Effect of feeding macerated alfalfa silage on nutrient digestibility and milk yield in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:2472–2485.
- Calderon C. J. F. and R. A. Zinn. 1996. Influence of dietary forage level and forage coarseness of grind on growth performance and digestive function in feedlot steers *J. Anim. Sci.* 74:2310–2316.
- Calsamiglia S., P. W. Cardozo, A. Ferret and A. Bach. 2008. Changes in rumen microbial fermentation are due to a combined effect of type of diet and pH. *J. Anim. Sci.* 86:702-711.
- Coombe, J.B., D.A. Dinius, and W.E. Wheeler. 1979. Effect of alkali treatment on intake and digestion of barley straw by beef steers. *J. Anim. Sci.* 49:169.
- Defoor P. J., M. L. Galyean, G. B. Salter, G. A. Nunnery, and C. H. Parsons. 2002. Effects of roughage source and concentration on intake and performance by finishing heifers. *J. Anim. Sci.* 80:1395–1404.
- Giraldo A. L., M.S. Zoot, A. L. Gutiérrez y C. Rua. 2007. Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 20:269-279.
- Georing, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis. Apparatus, Reagents, Procedures and Some Application. *ARS Agric. Handbook* 379, USDA.

- Grant R. J. and V. F. Colenbrander. 1990a. Milk fat depression in dairy cows: role of particle size of alfalfa hay. *J. Dairy Sci.* 73:1823-1833.
- Grant R. J. and V. F. Colenbrander. 1990b. Milk fat depression in dairy cows: role of silage particle size. *J. Dairy Sci.* 73: 1834-1842.
- Grant R. J. and D. R. Mertens. 1992. Development of buffer of pH effects on fiber systems for pH control and evaluation digestion in vitro. *J. Dairy Sci.* 75:1581-1587.
- Grimaud P., D. Richard, M. P. Vergeron, J. R. Guilleret, and M. Doreau. 1999. Effect of drastic undernutrition on digestion in zebu cattle receiving a diet based on rice straw. *J. Dairy. Sci* 82:974–981.
- Guan H., K. M. Wittenberg, K. H. Ominski and D. O. Krause. 2006. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *J. Anim. Sci.* 84:1896-1906.
- Hart, M.R., H.G. Walker, R.P., Graham, P.J. Hanni, H.H. Brown and G.O. Kohler. 1981. Steam treatment of crop residues for increased ruminant digestibility: Effects of process parameters. *J. Anim. Sci.* 51:2:402.
- Hicks, C. R. 1973. *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*. Holt, Rinehart and Winston, New York
- Hill, F. N., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-603.
- Hintz R. W., G. R. Koegel, J. T. Kraus and R. D. Mertens. 1999. Mechanical maceration of alfalfa. *J. Anim. Sci.* 77:187–193.
- Huhtanen P., A. Seppälä, M. Ots, S. Ahvenjärvi and M. Rinne. 2008. In vitro gas production profiles to estimate extent and effective first-order rate of neutral detergent fiber digestion in the rumen. *J. Anim. Sci.* 86:651-659.
- Jasaitis D.K., J.E. Wolth. and J.L. Evans. 1987. Influence of feed ion content on buffering capacity of ruminant feedstuffs in vitro. *J. Dairy Sci.* 70: 1391-1430.
- Johnson, A., R. Hurwitz, and N. Kretemher. 1977. Adaptation of rat pancreatic amylase and chymotrypsinogen to change in diet. *J. Nutr.* 107:87-96.
- Jung H. G. and M. S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 73:2774-2790.
- Krehbiel C. R. 2002. Effectiveness of direct-fed microbials and enzymes on feed efficiency utilization in dairy and beef animals and ruminal activity. *Mem. XXX Reunión Annual Asoc. Mex. Prod. Anim. Guadalajara, Jal.* 341-363.

- Kononoff P. J. and A. J. Heinrichs. 2003. The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 86:1445–1457.
- Kudo H., K. D. Jakober, R. C. Phillippe and K. J. Cheng. 1990. Isolation and characterization of cellulolytic anaerobic fungi and associated mycoplasmas from the rumen of a steer fed a roughage diet. *Can. J. Microbiol.* 36: 513-517.
- Lammers, B. P., D. R. Buckmaster, and A. J. Heinrichs. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 79:922–928.
- Lewis G. E., C. W. Hunt, W. K. Sanchez, R. Treacher, G. T. Pritchard and P. Feng. 1996. Effect of direct-fed fibrolytic enzymes on the digestive characteristics of a forage-based diet fed to beef steers. *J. Anim. Sci.* 74:3020-3028.
- López S. M. A., G. E. Arellano, S. A. Barreras, V. V. M. González, G. D. May, J. A. Plascencia y R. A. Zinn. 2006. Influencia de una enzima fibrolítica exógena y el proceso de maceración en un forraje de baja calidad sobre digestión y función ruminal en vacas Holstein secas. *Vet. Mex.* 37 (3): 275-289.
- Márquez-Araque A. T., M. G. D. Mendoza., M. S. S. González, D. S. E. Buntinx y C. O. Loera. 2007. Actividad fibrolítica de enzimas producidas por *Trametes* sp. EUM1, *Pleurotus ostreatus* IE8 y *Aspergillus niger* AD96.4 en fermentación sólida. *Interciencia.* 32 (11): 780-785.
- Mazza R. P. E., M. W. R. Soares, L. R. Melotti y R. R. Rodrigues. 2001. Monensina e digestibilidade aparente em ovinos alimentados com proporções de volumoso/concentrado. *Scientia Agricola.* 58: 449-455.
- Mertens D. R. and O. L. Ely. 1982. Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization-a dynamic model evaluation. *J. Anim. Sci.* 54: (4) 895-905.
- Mertens D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:1463–1481.
- Miranda, R. L. A., R. J. M. Pinos, M. G. D. Mendoza, G. R. Barcena, M. S. S. González y C. M. E. Ortega. 2004. Cambios en la capacidad tampón de dietas con 27% o 37% de FDN durante su digestión ruminal in vitro. *Vet. Méx.* 35: 203-213.
- Montañez V. O. D., G. R. Barcena, M. S. González, C. M. E Ortega, P. M. Cobos y C. J. H. Avellaneda. 2006. Evaluación de la capacidad amortiguadora de ingredientes utilizados en la formulación de dietas para rumiantes. *Agronomía Mesoamericana.* 17: 7-10.

- N.R.C. 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7th Rev. Ed). National Academy of Press. Washington D.C.
- Obispo N. E., P. Pedro, C. Hidalgo, J. Palma and S. Godoy. 2001. Forage intake and average daily gain of young heifers supplemented with protein sources. *Zootecnia Tropical*.19:423-442.
- Okine E. K. and G. W. Mathion. 1991. Effects of feed intake on particle distribution, passage of digesta, and extent of digestion in the gastrointestinal tract of cattle. *J. Anim. Sci.* 69:3435-344.
- Olubobokun J. A. and W. M. Craig.1990. Quantity and characteristics of microorganisms associated with ruminal fluid or particles. *J. Anim. Sci.* 68:3360-3370.
- Owens F. N., R. A. Zinn and Y. K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.*63:1634-1648.
- Owens F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill and D. R. Gill. 1998. Acidosis in cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 76:275-286.
- Petit H. V., G. F. Tremblay and P. Savoie. 1999. Performance of growing lambs fed two levels of concentrate with conventional or macerated timothy hay. *J. Anim. Sci.* 75:598-603.
- Pinos R. J. M. y M. S. S. González. 2000. Efectos biológicos y productivos de los ionoforos en rumiantes. *Interciencia*. 25: 379-385.
- Plascencia, A., M. Estrada, and R.A. Zinn. 1999. Influence of fatty acids content on the feeding value of yellow grease in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*77:2603-2009.
- Plascencia A., M. A. Lopez-Soto, F. M. Montaña, G. J. Serrano, A. R. Ware, and R. A. Zinn. 2007. Influence of surfactant supplementation and maceration on the feeding value of rice straw in growing-finishing diets for Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 85:2575–2581.
- Poore M. H., J. A. Moore and R. S. Swingle. 1990. Differential passage rates and digestion of neutral detergent fiber from grain and forages in 30, 60 and 90% concentrate diets fed to steers. *J. Anim. Sci.* 68:2965-2973.
- Prigge E. C., A. B. Stuthers and A. N. Jacquemet. 1990. Influence of forage diets on ruminal particle size, passage of digesta, feed intake and digestibility by steers'. *J. Anim. Sci.* 68:4352-4360.

- Reed J. J., G. P. Lardy, M. L. Bauer, T. C. Gilbery and J. S. Caton. 2004. Effect of field pea level on intake, digestion, microbial efficiency, ruminal fermentation, and in situ disappearance in beef steers fed growing diets. *J. Anim. Sci.* 82:2123-2130.
- Riquelme, E.V., I.A. Dyer, L.E. Bariba and B.Y. Couch. 1975. Wood cellulose as an energy source in lamb fattening rations. *J. Anim. Sci.* 40:977.
- Riquelme, V.E. 1982. Metabolismo de energía. Centro de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Rojo R. R, M. G. D. Mendoza, C. M. García, J. R. G. Bárcena and E. M. Aranda. 2000. Intake and digestibility of tropical grasses in steers with nitrogen supplementation and *Saccharomyces cerevisiae*. *Rev. Fac. Agron.* 17: 358-370.
- Russell J. R., J. P. Hurst, N. A. Jorgensen and G. P. Barrington. 1978. Wet plant fractionation: utilization of pressed alfalfa silage. *J. Anim. Sci.* 46:278–287.
- Sánchez O. L, T. J. J. Martínez, C. C. G. García, F.F. Izaguirre, P. G. Martínez y H. G. Torres. 2007. El efecto de un ionóforo en la productividad de bovinos pastoreando zacate estrella de áfrica (*Cynodon plectostachyus*). *FCV-LUZ.* 17(3): 246 – 254.
- Savoie P., R. Y. Agbossamey and V. H. Petit 2001. Retention time of macerated alfalfa hay and silage in sheep. *J. Anim. Sci.* 79:507–514.
- Shain D. H., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein and D. W. Herold. 1999. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 77:1082-1092.
- Sniffen C. J., J. D. O'Connor, P. J. Van Soest, D. G. Fox and J. B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J Anim Sci.* 70:3562-3577.
- Tang, G. O. Tayo, Z. L. Tan, Z. H. Sun, L. X. Shen, C. S. Zhou, W. J. Xiao, G. P. Ren, X. F. Han and S. B. Shen S. X. 2008. Effects of yeast culture and fibrolytic enzyme supplementation on in vitro fermentation characteristics of low-quality cereal straws. *J Anim Sci.* 86:1164-1172.
- Theurer C. Brent. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649-1662.
- Torrentera, N., E. G. Alvarez, and R. A. Zinn. 2000. Influence of maceration on the feeding value of rice straw in growing - finishing diets of feedlot cattle. *Proc. West. Sec Am. Soc. Anim. Sci.* 51:496-499.

- Traxler M. J., D. G. Fox, P. J. Van Soest, A. N. Pell, C. E. Lascano, D. P. Lanna, J. E. Moore, R. P. Lana, M. Velez and A. Flores. 1998. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. *J Anim Sci.* 76:1469-1480.
- Yang W.Z., K. A. Beauchemin, and D. D. Vedres. 2002. Effects of pH and fibrolytic enzymes on digestibility, bacterial protein synthesis, and fermentation in continuous culture. *Anim. Feed Sci.Tech.* 102: 137-150.
- Yang W. Z. and K. A. Beauchemin. 2006. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal ph of dairy cows fed diets based on barley silage. *J. Dairy Sci.* 89:217–228.
- Weimer P. J. 1996. Why don't ruminal bacteria digest cellulose faster?. *J. Dairy Sci.* 79: 1496 – 1502.
- Ware, R.A., N. Torrentera and R.A. Zinn. 2005. Influence of maceration and fibrolytic enzymes on the feeding value of rice straw. *J. of Anim. and Vet. Adv.*4: 387-392.
- White .T.W., F.G. Hembry, W.L. Reynolds. 1974. Influence of level of dehydrated coastal bermudagrass or rice straw on digestibility. *J. Anim. Sci.* 38:844.
- Willis C. M., T. O. Stallcup and L. D. Kreider. 1980. Influence of sodium hydroxide and enzyme additions on nutritive values of rice straw. *J. Anim. Sci.* 50:303-309.
- Zebeli Q., M. Tafaj, H. Steingass, B. Metzler, and W. Drochner. 2006. Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 89:651–668.
- Zinn, R.A. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplement whit and mone nsin. *J. Anim. Sci.* 66:213-227.
- Zinn, R. A. 1990a. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:767-775.
- Zinn, R. A. 1990b. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in steers. *J. Anim. Sci.* 68:776-781.
- Zinn, R. A., E. D. Álvarez, M. F. Montaña, A. Plascencia and J. E. Ramírez. 1998. Influence of tempering on the feeding value of rolled corn in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2239-2246.
- Zinn, R. A. and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 66:157-166.

- Zinn R. A., F. N. Owens and R. A. Ware. 2002. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 80:1145-1156.
- Zinn, R. A. and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71:11-17.