

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS



**INFLUENCIA DE LA MACERACIÓN MECÁNICA DE LA PAJA DE TRIGO
(*TRITICUM AESTIVUM*) Y EL HENO DE SUDÁN (*SORGHUM SUDANENSE*)
UTILIZADOS EN DIETAS DE CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN PARA
BOVINOS: DIGESTIÓN DE NUTRIMENTOS Y VALOR ENERGÉTICO DE LOS
FORRAJES PROCESADOS.**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS.

PRESENTA

JOSÉ GERARDO SERRANO PONCE

DIRECTOR DE TESIS

ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

CO-DIRECTOR

RICHARD AVERY ZINN

COMITÉ

ENRIQUE GILBERTO ALVAREZ ALMORA

JOSÉ FERNANDO CALDERÓN CORTÉS

MARTÍN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ

Mexicali, Baja California

Mayo, 2011

Esta tesis se realizó bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para la obtención del grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias

Consejo Particular

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Director Principal

Dr. Richard Avery Zinn

Co-Director

Dr. Enrique Gilberto Alvarez Almora

Asesor

Dr. Martín Francisco Montaña Gómez

Asesor

Dr. José Fernando Calderón Cortés

Asesor

CONTENIDO

LISTA DE CUADROSROS.....	i
LISTA DE GRAFICOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS.....	3
OBJETIVO.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	
Que es la fibra?	5
Estructura química de la fibra	6
Estructura física de la fibra	6
La fibra detergente neutro y su valor alimenticio.....	7
La fibra detergente neutro efectiva.....	8
Características de las pajas.....	8
Las pajas en la alimentación de rumiantes.....	9
Características del heno de sudán.....	10
El heno de sudan en la alimentación de rumiantes.....	10
La digestión de la fibra.....	10
Mecanismos de regulación sobre la salida de partículas del rumen.....	12
Dinámica de la digestión de la fracción fibrosa.....	14

Uso de la fibra como criterio de formulación de raciones.....	14
Importancia en el consumo de materia seca.....	15
Procesamientos de los forrajes.....	15
Tratamientos químicos.....	16
Tratamientos biológicos.....	16
Tratamientos físicos.....	16

LITERATURA CITADA

EXPERIMENTO I: Influence of mechanical maceration on wheat straw on characteristics of digestion in growing-finishing diets for feedlot cattle.

Abstract.....	30
Introduction.....	31
Materials and Methods.....	31
Results and Discussion.....	35
Implications.....	39
Literature cited.....	39

EXPERIMENTO II: Digestion and energy value of macerated sudangrass hay used in growing-finishing diets for feedlot cattle.

Abstract.....	47
Introduction.....	49
Materials and Methods.....	50
Results and Discussion.....	53
Implications.....	56
Literature cited.....	57

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.- Velocidad de paso ¹ y de degradación ¹ , y degradabilidad teórica ² de la fibra.....	11
--	----

EXPERIMENTO I

Table 1

Physicochemical characteristics of the forage sources tested ^a	42
---	----

Table 2

Treatment ^a effects on characteristics of feed intake and digestion in cannulated Holstein steers (142 kg BW).....	43
---	----

Table 3

Treatment ^a effects on ruminal characteristics and ruminal kinetics of NDF in cannulated Holstein steers (142 kg BW).....	45
--	----

EXPERIMENTO II

Table 1

Physiochemical characteristic of forages tested ^A	60
--	----

Table 2

Influence of maceration of sudangras hay on site and extent of digestion in cannulated Holstein steers (173± 7.8 kg) fed a growing-finishing diet contained 21% of forage (Dry matter basis).....	61
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Figuras

Figura 1.

Representación esquemática del rumen y del retículo en un plano vertical.....12

Figura 2.

Principio del proceso de maceración.....18

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el efecto de la maceración mecánica de dos fuentes de los forrajes más comúnmente utilizados (paja de trigo y heno de sudán) en las dietas de crecimiento-finalización para bovinos en el noroeste de México, se utilizaron, bajo el diseño de cuadrado Latino 4x4, un total de ocho novillos Holstein canulados en dos experimentos. La dieta basal formulada en base de maíz amarillo en hojuela fue complementada con 21% de forraje. En ambos experimentos se utilizó heno de sudán molido y paja molida como testigos (positivo y negativo). La preparación del macerado se realizó pasando los forrajes en prueba previamente humectados mediante la adición 10% de agua (v/p), por una sola ocasión a través de los rodillos corrugados (20 x 68 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 8 rpm (20 y 28 rpm). Una vez obtenido el macerado, se molió al igual que el resto de los forrajes utilizando como testigos (henos 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 3.81 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). La maceración de la paja de trigo incrementó ($P < 0.04$) la digestión postruminal y de tracto total de la MO, la FDN, el N y la ED de la dieta. La tasa de pasaje ruminal de la FDN fue mayor ($P < 0.01$) y la MS ruminal y el llenado ruminal de FDN fue menor ($P < 0.01$) para el macerado. La intensidad de la maceración (MAC600 vs. MAC900) no afectó ($P \geq 0.17$) las características de digestión. La maceración incrementó (28%) el valor de ED de la paja de trigo. En contraste, la maceración no afectó ($P \geq 0.17$) el sitio de tasa y tasa de digestión de la MO, FDN, N o la energía de la dieta del heno de sudán. De igual forma que la paja de trigo, el incrementar la intensidad de macerado no afectó ($P \geq 0.38$) el valor energético del heno de sudán. Al nivel de inclusión de forraje (21%) utilizado en este estudio, el valor energético de los forrajes de baja calidad

(como la paja de trigo) se incrementa ($P < 0.01$) favorablemente con al maceración, mientras que la maceración de los forrajes de mediana calidad (como heno de sudán) no se modifica ($P = 0.85$). En ambos casos el incrementar la intensidad de maceración de 600 a 900 psi no alteró ($P \geq 0.17$) la digestión ruminal o de tracto total de la MO, FDN ni el valor energético del forraje procesado. Estas circunstancias pueden estar dadas por las características físicas y químicas del tejido vascular de las forajes en prueba.

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of mechanical maceration of two sources (wheat straw and sudangrass hay) of most commonly forages used in growth-finishing diets for feedlot cattle in northwestern of Mexico, eight cannulated Holstein steers were used in two 4×4 Latin square design experiments. Treatments consisted of a steam-flaked corn-based growing-finishing diet supplemented with 21% forage. In both experiments, grounded sudangrass hay and wheat straw were used as controls (positive and negative). Maceration process consisted of a single passage of water moistened wheat straw throughout two corrugated rolls (20 x 68 cm) set at 0.0 mm clearance with differential speed of opposing roles of 8 rpm (28 vs. 20 rpm). The roll pressures used were 600 psi (MAC600) and 900 (MAC900). All forage treatments were ground in a hammer mill (Meadows mill, North Wilkesboro, NC) with a 3.81-cm screen before incorporation into complete mixed diets. Chromic oxide was used as an indigestible marker to estimate nutrient flows and digestibility. Maceration of wheat straw increased ($P < 0.04$) apparent postruminal and total tract digestion of OM, NDF, N, and dietary DE. Ruminal NDF passage rate was greater ($P \leq 0.05$), and ruminal DM ($P < 0.01$) and NDF fill ($P \leq 0.02$) were lesser for SG and MAC than for STRW. Intensity of maceration (MAC600 vs. MAC900) did not affect ($P \geq 0.11$) characteristics of site and extent of digestion. Maceration increased (28%) the DE value of wheat straw. In contrast, maceration did not affect ($P \geq 0.17$) on site and extent of OM, N and ADF, and DE of sudangrass hay. Likewise wheat straw, increase the intensity of maceration from 600 to 900 psi did not altered ruminal energy value of sudangrass hay. At the level of forage inclusion (21%) in this study, the energy value of low-quality forages (such wheat straw) are increased by maceration, while the medium-quality hay (such sudangrass hay) did not enhanced by mechanical maceration. In both cases, increase the intensity of maceration from 600 to 900 psi did not alter ruminal or total tract digestion of OM, NDF or energy

value of processed hay. This circumstance may be by the physical and chemical characteristics of plant vascular tissue of tested forages.

INTRODUCCIÓN

Dadas sus características nutrimentales más del 80% de la paja de trigo producida anualmente en el Valle de Mexicali (~120,000 ton) es quemada en campo (SEFOABC, 2010). Esto representa una pérdida de material fibroso potencialmente utilizable y una fuente de contaminación ambiental importante. Lo anterior favorece que se incremente el precio de forrajes de mediana calidad los cuales son utilizados como ingredientes funcionales en las dietas de finalización. En el noroeste de México, las dietas de crecimiento-finalización contienen del 15 al 25% de forraje y el heno de sudán es utilizado como una fuente primaria de forraje en esas dietas. El uso de pajas en dietas de crecimiento-finalización puede incrementarse sólo si se disminuyen sus efectos asociativos negativos cuando esta es incluida a las dietas.

En México, el uso de paja de trigo se limita a dietas de crecimiento-finalización en bovinos de engorda y como resultado de su pobre valor nutrimental y efectos asociativos negativos cuando son utilizadas en la formulación prácticamente eliminada de las dietas para vacas en producción de leche. El problema nutrimental que presentan las pajas, es su pobre contenido (1-2%) de carbohidratos solubles (Wilson y Mertens, 1995) combinado con su alto contenido en paredes celulares (fibra) altamente lignificadas. Adicionalmente, la utilización de la fibra también está limitado por restricciones dadas a nivel de su organización celular el cual varía de acuerdo a la fuente de forraje (Buxton y Readfern, 1997) y que hacen al material poco susceptible a hidratarse y por consecuencia resistente a las enzimas microbianas (Jung y Allen, 1995). El tratamiento con hidróxido de sodio o amoníaco ha incrementado la digestibilidad de las pajas en dietas altas en forraje (>65%; Garret et al., 1980), más no muestra efectos en dietas con baja proporción de forraje (<35%; Garret et al., 1979). Por otro lado, cuando es comparada con otras fuentes de fibra, el moler la paja (molido para paso de partícula a 1.27 cm) resulta en beneficios limitados cuando es utilizada en dietas de crecimiento-finalización ya que la adición de paja molida disminuye el valor de energía neta de la dieta (Oh et al., 1971). Lo anterior se puede explicar por los efectos asociativos negativos de la paja sobre el valor energético de las dietas completas. (Oh et al., 1971; White et al., 1975).

El proceso del macerado está diseñado para simular parcialmente la masticación por el animal. Al mecanismo lo integran dos juegos de rodillos corrugados presionados entre sí por un sistema hidráulico. Al girar a diferentes velocidades los rodillos aplastan y desgarran la fibra lo que modifica su integridad estructural y densidad; esto facilita un mayor acceso de las enzimas fibrolíticas (Plascencia et al., 2007) y eleva la 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., 2005), vacas secas (López-Soto et al., 2006) y vacas en producción (Ware et al., 2005). Aunque los efectos de la maceración sobre la digestión y valor energético han sido estudiados extensivamente en paja de arroz, no existen informes comparables del efecto del proceso de maceración sobre digestión de la paja de trigo. Por otra parte, existe información escasa y contradictoria en relación a los efectos del proceso de maceración en zacates (Petit et al., 1994, 1997); incluso un estudio determinó un efecto negativo sobre la ED del zacate cuando se aplicó una mayor intensidad en el proceso de maceración (Agbossamey et al., 2000).

HIPÓTESIS

Dependiendo de la fuente de forraje utilizado, éste responde de manera distinta al proceso de maceración. La intensidad del macerado puede afectar la respuesta sobre la digestión, función ruminal y el valor energético de los forrajes utilizados en dietas de crecimiento-finalización para bovinos de engorda.

OBJETIVO

Evaluar la influencia de la maceración mecánica sobre la digestión de nutrimentos y valor energético de la paja de trigo (*triticum aestivum*) y el heno de sudán (*s. sudanense*) utilizados en dietas de crecimiento-finalización para bovinos.

REVISIÓN DE LITERATURA

En un esfuerzo por mejorar la eficiencia de los sistemas de alimentación de los bovinos de engorda, en el noroeste de México, en los últimos 20 años se ha incrementado la proporción de grano y el nivel de energía alimenticia en un 30 % en las dietas de finalización de ganado de engorda. Aunque estos incrementos han mejorado la eficiencia alimenticia, también ha aumentado la incidencia en la pérdida de ganado al presentar enfermedades digestivas, timpanismos y abscesos en hígado (Busby et al., 1999) ocasionados por una disminución en la proporción de fibra en las raciones con el fin de maximizar el aporte energético al animal; sin embargo, los modelos actuales de alimentación recomiendan un mínimo de 6% de FDN proveniente del forraje (Alvarez et al., 2004) para asegurar un correcto funcionamiento ruminal, de forma que en las raciones se introduzcan una diferenciación química (porcentaje de fibra en la ración) y otra física (porcentaje de fibra procedente del forraje en la ración) en un intento de englobar las acciones de la fibra en el rumiante (Bach y Calsamiglia, 2006).

¿Que es la fibra?

En nutrición el término fibra se refiere a los componentes de la planta derivados de los alimentos que no son digestibles para el sistema enzimático de los mamíferos. Estos animales dependen de los microorganismos del tracto gastrointestinal para que algunos de los componentes sean fermentados y sus nutrientes sean absorbidos (Moore y Hatfield, 1994). Sin embargo, desde el punto de vista químico, la fibra es un agregado de componentes que está constituida por una serie de hidratos de carbono cuyos componentes más abundantes se encuentran entrelazados tridimensionalmente entre celulosa, hemicelulosa y lignina (Calsamiglia, 1997).

Estructura química de la fibra.

La mayor parte de las sustancias que constituyen la fibra se clasifican como hidratos de carbono complejos, los cuales forman parte de la pared celular de los vegetales. Su función principal es proporcionarle un mecanismo de soporte, protección y resistencia contra enfermedades, ataques de insectos, temperatura ambiental (Buxton y Redfearn, 1997);

Celulosa. Es la sustancia más abundante de la naturaleza y es el mayor componente de la estructura de las paredes celulares de las plantas. La celulosa es un polímero de glucosa unidas por enlaces β -1,4. La celulosa puede estar asociada con la lignina, lo cual dificulta su degradación microbiana (Mathews et al., 2002).

Hemicelulosa. Es una mezcla compleja y heterogénea de gran número de diferentes polímeros y monómeros. La hemicelulosa es menos resistente a los agentes químicos y a la hidrólisis enzimática que la celulosa (Beever and Mould, 2000).

Lignina. Es un derivado amorfo del fenil-propano (alcoholes) de estructura compleja y sus enlaces son resistentes al ácido y al álcali (Van Soest, 1994). Aunque no es un carbohidrato, debido a su relación con la celulosa y la hemicelulosa en las paredes celulares de las plantas, se le estudia junto con los carbohidratos. El contenido de lignina aumenta conforme la planta madura y también la frecuencia de sus ligaduras con la celulosa y hemicelulosa que físicamente impide el acceso de las bacterias a las zonas degradables de la fibra (Bach y Calsamiglia, 2006). Este proceso supone, al mismo tiempo, un aumento en la cantidad de lignina y / o sílice, ocasiona que otros nutrientes no puedan ser digeridos.

Estructura física de la fibra.

Los forrajes tienen una gran proporción de materia orgánica en forma de fibra, lo que les provee integridad estructural. Sin embargo, la facilidad con la que los microorganismos del rumen degradan esa fibra, depende de la distribución de las diferentes moléculas dentro de la planta, de los enlaces entre ellas y de su sustitución con compuestos fenólicos (Chesson *et al.*, 1983) ya que actúan como una barrera física a la degradación

microbiana del rumen. Además de la lignina, existen otras barreras físicas y estructurales tales como las ceras y la cutícula, los cuales consisten en polímeros complejos de ácidos grasos de cadena larga (alcoholes, cetonas y parafinas) las cuales se caracterizan por ser impermeables y restringir el acceso de los microorganismos a los fragmentos vegetales (Wilson y Kennedy, 1996). El sílice, aunque es un oligoelemento esencial parece actuar en los forrajes de un modo similar a la lignina. La importancia de la sílice varía notablemente en los diferentes tipos de forrajes. Al tener en cuenta las grandes diferencias en el aspecto físico y en la resistencia de las estructuras de las plantas, es fácil comprender por qué varía tan marcadamente el contenido y el tipo de fibra entre los vegetales. Estas diferencias, no solamente se presentan entre especies, sino también entre las partes de la misma planta, e incluso en relación con el grado de madurez.

La fibra detergente neutro y su valor alimenticio.

A los fragmentos de celulosa, hemicelulosa y lignina se les refiere colectivamente como fibra detergente neutra (FDN). Este componente, extraído con solución detergente neutro (Goering y Van Soest, 1970), representa entre el 30 y el 80% de la materia orgánica (MO) en los recursos forrajeros, mientras que en alimentación de rumiantes, los carbohidratos solubles celulares (MO menos FDN) son casi completamente digeribles, la degradabilidad del FDN es muy variable, principalmente debido a diferencias en composición y estructura lo que resulta en una limitada disponibilidad de la energía en forrajes para los rumiantes (Buxton y Redfearn, 1997) ya que solamente entre el 10 al 35% de la energía consumida se captura como energía neta porque entre el 20 al 70% de la celulosa no puede ser digerida por el animal (Varga y Kolver, 1997) por lo que esta fracción de fibra dietaria pasa a través del tracto digestivo sin ser degradada (Cherney *et al.*, 1991). En otro sentido la fracción FDN posee una tasa lenta de degradación por lo que es considerada el primer constituyente dietético asociado con el llenado ruminal (NRC, 2001), tal como lo muestran los resultados de un metanálisis realizado con más de 120 estudios publicados en el Journal of Dairy Science los cuales confirman la relación negativa entre el contenido de FDN y la ingestión de materia seca (figura 1) (Bach y Calsamiglia, 2006).

Fibra detergente neutro efectiva.

Los atributos específicos de los componentes fibrosos en el forraje, se comprende en el término fibra efectiva, fibra funcional o Fibra Detergente Neutra efectiva (FDNe). La fibra efectiva puede definirse como la capacidad real para estimular la masticación, regurgitación, rumia y la producción de buffer proveniente de la saliva la cual proporciona condiciones ruminales óptimas para su funcionamiento, lo que depende del tipo, forma y tamaño de la fibra (Mertens, 1997), además de reflejar las calidades físico-químicas de la fibra, incluyendo el tamaño inicial de la partícula, densidad y fragilidad o facilidad de reducción de la partícula a través de masticación y la digestión. La FDNe del forraje no sólo representa su funcionalidad particular de promover la digestión, sino también representa el carácter del forraje que puede limitar el consumo de energía, mostrando una influencia negativa en el comportamiento (Zinn et al., 2004) ya que el exceso de fibra reduce la capacidad de ingestión de MS, la digestibilidad de la ración, la síntesis de proteína microbiana ruminal al reducir la energía utilizable de los alimentos a medida que el nivel de la fibra aumenta. Por el contrario, la falta de fibra provoca acidosis (reducción del pH ruminal), laminitis, paraqueratosis del rumen y en ganado lechero una disminución en el contenido de grasa en leche y desplazamiento de abomaso, debido a desequilibrios físicos como lo es el llenado ruminal (Jung y Allen, 1995).

Características 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, baja digestibilidad y bajo contenido de energía metabolizable (inferior a 1,4 Mcal/Kg) y un contenido celular bajo, por el contrario contiene un alto contenido de fibra y lignina, lo cual todos esos conjuntos ocasionan que la paja tenga un bajo valor nutritivo al suministrar una escasa energía neta (Crampton y Harris, 1979). Como alimento, las pajas solo deben utilizarse para reemplazar una parte del forraje en la ración para rumiantes ya que constituyen un alimento pobre (Drake et al., 2002) por lo que el consumo se encuentra limitado a menos del 2 % del peso corporal debido a la lentitud con que se fermenta en el rumen (Menéndez, 1983). Por lo tanto, la naturaleza química y física de la paja determina que la cantidad de nutrientes

ofrecidos no son adecuados para que se produzca una fermentación ruminal eficiente e impiden poder alcanzar un alto nivel de productividad (Wolfgang, 2006).

La paja es pobre en proteínas (3 a 4 %), almidón y grasa, en tanto que su contenido en fibra es elevada. La paja es también pobre en calcio, fósforo y vitaminas, especialmente en caroteno. Posee un alto contenido de sílice (8 a 14 %) el cual es indigestible y reduce la digestibilidad del alimento (Drake et al., 2002).

El pobre contenido (1-2%) de carbohidratos solubles (Wilson y Mertens, 1995) y alto contenido de paredes celulares lignificadas limita su digestibilidad ya que este compuesto interfiere con la utilización de los carbohidratos de la pared celular sin importar el tiempo en el que permanezca en el rumen (Jung y Allen, 1995). La cantidad de lignina presente en el forraje en general está en relación inversa con la digestibilidad de la energía que contiene el forraje (Church et al., 2004). Esta lignificación interfiere físicamente en la degradación microbial de los carbohidratos, ocasionando una baja digestibilidad (38-44 %, White et al., 1974; Willis et al., 1980) causando efectos negativos asociados con el valor de energía neta en la dieta, cuando son incluidas de forma incorrecta en las raciones (Oh et al., 1971; White et al., 1975). Su utilización también está limitada por su escasa capacidad de hidratación (Jung y Allen, 1995) lo que ocasiona una lenta reducción del tamaño de la partícula y un mayor tiempo de retención ruminal (Church, 1988) teniendo como consecuencia que el material se acumule y disminuya el consumo voluntario (Moore et al., 1990; Romney y Gill, 2000).

Las pajas en la alimentación de rumiantes

Como alimento, las pajas solo deben utilizarse para reemplazar una parte del forraje en la ración para rumiantes ya que constituyen un alimento pobre (Drake et al., 2002) por lo que el consumo se encuentra limitado a menos del 2 % del peso corporal debido a la lentitud con que se fermenta en el rumen (Menéndez, 1983). Por lo tanto, la naturaleza química y física de la paja determina que la cantidad de nutrientes ofrecidos no son adecuados para que se produzca una fermentación ruminal eficiente e impiden poder alcanzar un alto nivel de productividad (Wolfgang, 2006).

Características del heno Sudán.

El pasto Sudán o Sudan grass (sinónimo *Sorghum vulgare var. Sudanense*) es un forraje de verano del género *Sorghum* perteneciente a la familia de las gramíneas el cuál posee tallos finos erectos de hasta 3,5 m de altura y de 3 a 9 mm de espesor (FAO, 1996). El pasto Sudán se establece en clima cálido y baja humedad, es tolerante razonablemente a la salinidad. En lo que a productividad de Materia Seca (MS) se refiere, es alta y de buena capacidad de rebrote y gran eficiencia en el uso del agua. En las regiones áridas de México, la producción puede superar 20 t ha⁻¹ durante su ciclo de producción, que comprende de cuatro a cinco cortes durante la primavera y el verano (Farias y Winch, 1987).

El pasto Sudán henificado consta de un tejido blanco algo dulce y veloso en los nudos, contiene generalmente 91 % MS, 8 % PC, 68 % FDN y 42 % FDA (Undersander, 2001). Algunos autores señalan que el rendimiento de MS aumenta cuando los cortes se efectúan en un estado avanzado de madurez; sin embargo, el contenido de proteína cruda y la digestibilidad disminuye de 18.0 a 4.4 %, y de 75.6 a 63.7 % respectivamente así como sus diferentes componentes (Hedges et al., 1989).

El heno sudán en la alimentación de rumiantes.

El forraje Sudán puede ofrecerse en pastoreo, entero, molido o en forma de silo y es altamente aceptado para los rumiantes, por lo que su nivel de utilización es alto, reportándose consumos de hasta 80 % del forraje en épocas emergentes (Hacker y Evans, 1992). En raciones para borregos y ganado bovino en engorda, se han llegado a utilizar exitosamente una sustitución del forraje de 50 a 65 %. Raciones con alto contenido de Sudán deben de ser suplementadas con proteínas, fósforo y otros minerales (Fribourg, 2000).

Digestión de fibra.

La mayor parte de la digestión de la fibra sucede a nivel ruminal. La digestión ruminal es un proceso dinámico relacionado a la ingestión, deglución y a la salida de líquido, bacterias y alimentos residuales no digeridos. En este sentido, la renovación del contenido ruminal tiene una gran influencia en la eficiencia de utilización del alimento

(Kamande, 2006) existiendo una relación inversa entre la velocidad de tránsito ruminal y su velocidad de degradación (Calsamiglia, 19971). (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Velocidad de paso¹ y de degradación¹, y degradabilidad teórica² de la fibra.

Ingrediente	Velocidad de paso (%/ h)	Velocidad de degradación (%/h)	Degradación teórica (% Fibra degradable)
<i>Leguminosas</i>			
<i>Calidad Alta (>18 % PB)</i>			
Corte largo	4.0	3-6	43-60
Corte Medio	4.5	3-6	40-57
Corte Pequeño	6.0	3-6	33-50
<i>Calidad Media (<18 % PB)</i>			
Corte largo	3.0	3-6	50-67
Corte Medio	3.5	3-6	46-63
Corte Pequeño	4.0	3-6	43-60
<i>Gramíneas</i>			
Corte largo	3.0	2-4	40-57
Corte Medio	4.0	2-4	33-50
Corte Pequeño	4.5	2-4	31-47

1 Adaptado de Sniffen et al. (1992) a nivel de ingestión 3 veces el mantenimiento.

2 Calculado utilizando la ecuación de Orskov y McDonald (1979).

Durante dicho proceso las bacterias fibrolíticas se adhieren a la pared vegetal formando parte del contenido ruminal (Maynard et al., 1981) el cual es completamente mezclado y las partículas más grandes y menos digeridas son re-dirigidas hacia arriba, regurgitadas, masticadas y tragadas nuevamente repitiéndose 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 hasta el punto en que las partículas de alimento abandonan el retículo-rumen y entren al omaso en su ruta hacia el abomas (Palladito et al., 2006). Sin embargo, el problema no es “la digestibilidad” del forraje sino la cantidad de tiempo que se necesita para el proceso de degradación, ya que el tiempo en 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 (masticando, rumia), densidad de la partícula y a la tasa de digestión (Zinn et al., 2004). (Figura 1).

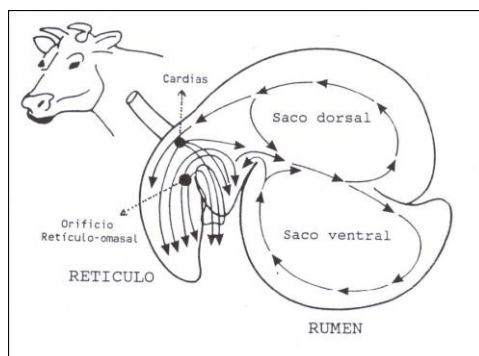


Figura 1. Representación esquemática del rumen y del retículo en un plano vertical. Las flechas indican los movimientos del contenido (Jarrige, 1988).

En otro sentido, si el tamaño de partícula de la dieta es demasiado pequeño, la capacidad de rumiar se altera, ya que este tipo de fibra no posee la efectividad de formar un filtro llamado “filtro ruminal” (García y Kalscheur, 2006), el cual tiene la función de impedir que las partículas pequeñas se hundiesen rápidamente en el saco ventral, retrasando, por tanto, su salida hacia el omaso (Welch, 1982; Sutherland, 1987).

Mecanismos de regulación sobre la salida de partículas del rumen

Los mecanismos que controlan la salida, y por lo tanto el tiempo de permanencia de las partículas alimenticias en el rumen, condicionan junto con la eficacia de los procesos fermentativos, la importancia cuantitativa de la degradación microbiana. La salida de partículas del rumen está inicialmente condicionada por su tamaño. En este sentido, Poppi et al (1981) establecieron la teoría del tamaño crítico, basada en la observación del bajo porcentaje (1-3%) de partículas de tamaño superior a 1,2 mm que atravesaba el orificio retículo - omasal en ganado ovino. Estudios posteriores sitúan el tamaño de partícula umbral entre 1-2 mm en ovino y 2-4 mm en vacuno (Ulyatt et al, 1986). De acuerdo con ello, el factor principal que determinaría el tiempo de permanencia de las partículas en el rumen, estaría ligado a su tamaño inicial y a la eficacia de los procesos de reducción del tamaño a través de la masticación, sobre todo durante la rumiación; la actividad degradativa de los microorganismos también podría contribuir a este proceso, al debilitar los tejidos vegetales estructurales e incrementar su fragilidad (Murphy y Nicoletti, 1984), aumentando

la eficacia de la rumiación en la disminución de las partículas y por otra parte aumentando lentamente la cantidad de materia orgánica digerible en el rumen. Al referirse a las características digestivas, los términos “digestibilidad” y “digestión” son dos términos mal empleados, ya que “digestibilidad” es un término cualitativo que se refiere a la susceptibilidad para degradarse. En contraste, “digestión” se refiere a la magnitud de degradación. La magnitud de digestión ruminal de la fibra está en función de la tasa de digestión (K_d) y la tasa de pasaje (K_p), de manera que $[\text{digestión, \%} = K_d / (K_d + K_p)]$ (Zinn et al., 2004). Un factor primario que influye sobre la tasa de digestión ruminal de la fibra es la accesibilidad del sustrato al proceso fibrolítico, en particular a la interacción física química de la celulosa, hemicelulosa y lignina. Esta es una característica única e individual de los forrajes o de la fuente de fibra y es influenciado por el estado de madurez, estado fenológico, método de preservación y procesamiento (Zinn et al., 2004).

Diversos autores (Welch, 1986; Kaske y Engelhardt, 1990) han demostrado que además del tamaño, la densidad de las partículas afecta igualmente a la velocidad con la que abandonan el rumen. Esta densidad ocasiona que la estructura del contenido ruminal se encuentre estratificado en capas, de manera que las partículas con una densidad menor (igual o inferior a la del fluido ruminal) tenderían a flotar o a quedar atrapadas en la masa flotante de digesta, y sus posibilidades de salida del rumen serían muy bajas, al estar situado el orificio retículo-omasal en la zona del retículo proximal al saco craneal del rumen ventral. Las partículas con una densidad mayor que la óptima, tenderían en cambio a hundirse en el saco ventral del rumen, disminuyendo su contacto con la zona de escape (Allen y Mertens, 1988). Según estos trabajos, las partículas con una densidad comprendida entre 1,1 y 1,4 g/ml, tendrían la máxima probabilidad de escapar del retículo-rumen hacia el omaso.

Por lo tanto una buena comprensión de la tasa de pasaje de los distintos alimentos es importante en la formulación de raciones que permitan sincronizar la liberación de nutrientes, la degradación de la materia orgánica y optimizar la síntesis microbiana.

Dinámica de la digestión de la fracción fibrosa.

La fibra, además de ser un proveedor de nutrientes, es también un importante estabilizador de la fermentación ruminal al actuar como agente adherente para los microbios del rumen. Estos microorganismos degradan la partícula, aumentan el peso específico de los forrajes al descomponer las estructuras vegetales que retienen gases (Church, 1993). En otro sentido, la fibra ocupa mucho espacio en el rumen y de esta forma limita el consumo de alimento, por lo que los niveles de fibra recomendada en bovinos en engorda son bajos (Tamminga, 2000); tal como lo informa Montaña y Zinn, (1995) al evaluar la influencia del nivel de forraje sobre el comportamiento productivo de bovinos de engorda, observaron un efecto negativo sobre el comportamiento productivo en respuesta a inclusiones de más de 15 % de forraje en la dieta total, ya que estos productos al llegar al rumen en forma de grandes partículas, permanecen más tiempo en el mismo (como es el caso de las pajas) resultando en tiempos de retención prolongados (normalmente entre 50 – 80 horas) reduciendo así la capacidad del tracto digestivo y el consumo del alimento (McDonald et al., 1993) lo cual es explicado por el límite del rumen, ya que a medida que la densidad de la energía en la dieta disminuye, aumenta la cantidad de MO lentamente digestible en el rumen (Zinn y Salinas, 1999), provocando un estancamiento ruminal y una disminución en el consumo voluntario de MS (McDonald, 1993).

Uso de la fibra como criterio de formulación de raciones.

La fibra detergente neutra se utiliza como índice de volumen de la ración y supone un límite a la capacidad de ingestión de 1.2 % del peso vivo (PV) como máximo en forma de FDN para el caso de bovinos lecheros (Mertens, 1987). Para el caso de bovinos de engorda en corral, las raciones de iniciación el valor de FDNe debe estar por arriba del 25 % en base seca en tanto que para raciones de finalización el contenido de FDNe debe de estar en un rango de un 8 % a un 10 % en base seca (Salcedo, 2007) pues valores por encima de este nivel pueden limitar la ingestión de alimentos ya que forrajes ricos en FDN precisan más movimientos masticatorios y tiempo destinado a la rumia, que los forrajes de calidad superior (Church, 1993). Sin embargo, existe relación entre FDNe de la dieta, FDNe del forraje, tamaño de partícula de la dieta, manejo alimenticio, procesado de alimentos,

presentación del alimento y el mezclado alimenticio, los cuales todos ellos en conjunto juegan un papel fundamental para una máxima ingesta de energía disponible en ausencia de problemas digestivos (Busby et al., 1999).

Importancia del consumo de materia seca

El consumo de materia seca es el factor más importante en la nutrición debido a que por medio de ésta, se establece la cantidad total de nutrientes disponibles para el animal los cuales son utilizados en la salud y en la producción, sin embargo el punto esencial dentro de este concepto es buscar optimizar la calidad de los alimento ofrecidos en combinación de forraje y concentrado (Colombatto, 2000) de tal manera que se optimice la Ganancia Diaria de Peso (GDP) (Fox y Tedeschi, 1999), manteniendo un equilibrio entre el consumo, la digestibilidad y la eficiencia de utilización (Cherney, 2000).

Las variaciones en el consumo de materia seca explican entre un 60 y un 90% de la variación en la energía digestible (Mertens, 1994), lo cual está dado por diversos factores tales como; llenado físico del rumen – retículo (Allen, 1996; Mertens, 1994), baja digestibilidad, factores de regulación metabólica (Illius y Jessop, 1996) , tasa oxígeno consumido (Ketelaars y Tolkamp, 1996), velocidad de tránsito (Conrad et al., 1964), tamaño de la partícula (McDonald, 1993) y condiciones climáticas. Siendo cada uno de estos aplicables dependiendo de las condiciones existentes.

Procesamiento de los forrajes.

El procesamiento de los forrajes sirve para mejorar la utilización de los carbohidratos estructurales, obteniendo como resultado un mayor efecto sobre su digestibilidad de la materia seca (Church, 1993). Sin embargo, algunos de estos procesamientos para forrajes tienen efectos intensos sobre la zona de digestión al reducir el tamaño de partícula y por consiguiente disminuye el tiempo de exposición a los microbios del rumen, causando descensos en la digestión de los carbohidratos estructurales. Los procesos que permiten mejorar la calidad de los carbohidratos estructurales consisten en tratamientos químicos, biológicos y físicos.

Tratamientos químicos: en general actúan como agentes hidrolizantes de la pared celular, aumentando así la biodisponibilidad de los carbohidratos estructurales para su utilización a nivel ruminal. Se han utilizado distintos productos químicos para aumentar el valor nutritivo de la paja, entre los alcalinizantes se encuentran el hidróxido de sodio (NaOH), óxido de calcio (CaO) o hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) y el anhídrido amonio (NH₃) o acuoso (NH₄OH). Sin embargo estos cuentan con algunas desventajas tales como un difícil manejo, equipo especial y alto riesgo por su poder cáustico por lo que su uso está limitado (Wolfgang, 2006).

Tratamientos biológicos: se basan principalmente en la utilización de microorganismos con capacidad de degradar la lignina, pero con una mínima acción sobre celulosas y hemicelulosas, con el fin de evitar una pérdida de materia orgánica potencialmente degradable por los microorganismos del rumen. Algunas especies de hongos, levaduras e incluso algunas bacterias tienen esta aptitud. En este sentido, se han encontrado aumentos en la digestibilidad “*in vitro*” de hasta 30 up (unidades porcentuales), aunque con pérdidas entre un 1 y 20% de MS. Aunque hasta ahora sólo se han evaluado bajo condiciones controladas, estos sistemas no han encontrado todavía una aplicación práctica a gran escala, pero son considerados como muy prometedores de cara al futuro, a la espera de nuevos avances en las técnicas químicas y de ingeniería genética (Barrios y Ventura, 2005).

Tratamientos físicos: el picado o molido de forrajes, quizás son los tratamiento más simples y utilizados en lo que a la disminución del tamaño de partícula se refiere (Church, 1993) además los animales que consumen forraje bajo estos procesos, aumentan su nivel de consumo voluntario de forma que el consumo de energía digestible es igual o superior que el de animales alimentados con forrajes partidos en trozos mayores o henos largos (Church, 1993). Este aumento de consumo (25 – 30 %) es inversamente proporcional a la calidad del forraje, aunque han sido reportados incrementos superiores al 72% en materiales de muy baja calidad (Barrios y Ventura, 2005). Dicho aumento en la ingestión es debido en parte al incremento de la densidad del alimento y en parte a la reducción del tiempo de masticación y de rumia requerido para disminuir el tamaño del material ingerido, lo suficiente como

para permitir el paso del orificio retículo-omasal. Sin embargo, si el tamaño de las partículas es muy reducido, el efecto puede ser negativo sobre el valor nutritivo en lo que a su digestibilidad se refiere, debido al menor tiempo de permanencia de las partículas de alimento a los microbios del rumen, y a la depresión del pH provocado por el descenso en la salivación originado por un menor tiempo de masticación, causando cambios a las condiciones fibrolíticas del rumen (Piatkowski, 1982) ocasionando un descenso de la digestión de los carbohidratos estructurales, aunque también aumenta la proporción digerida de fibra total y de materia orgánica posruminalmente como resultado del procesamiento.

En general, estos procesos tienden a dar un producto más uniforme para el consumo, por lo que suelen reducir el rechazo y el desperdicio, dificultan la selección en el consumo de los ingredientes mejorando la digestibilidad de la fibra (Church, 1993). En este sentido, recientemente se ha intensificado la búsqueda de alternativas mecánicas que permitan incrementar el uso de diferentes fuentes de forraje de alta disponibilidad en la alimentación del ganado, tal como el proceso de maceración. Este proceso ha demostrado una mejora en el valor nutrimental de la paja de arroz incluida en dietas para el ganado de engorda y para ganado lechero (Torretera et al., 2000, Ware et al, 2005; Plascencia et al., 2007).

Maceración

Aunque este proceso comparte un ancestro común con la técnica de procesamiento denominada "procesamiento estera ", el cual consiste en el machacamiento de la fibra del bambú a través de su paso por un molino de piedra, los procesos en sí son diferentes. La maceración es un proceso diseñado para simular la masticación bovina. La paja pasa por dos juegos opuestos de rodillos corrugados mantenidos dentro de tolerancias fijas por presión hidráulica. Este tipo de construcción tiene dos funciones principales diseñadas para modelar la acción de masticación como es la trituración del forraje y el machacamiento del forraje (Figura 2).

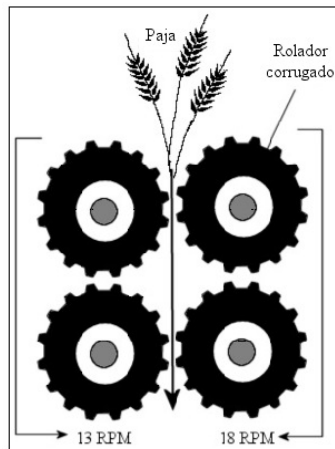


Figura 2. Principio del proceso de maceración

Los rodillos opuestos giran a velocidades distintas, las cuales comprimen y estiran la fibra, pero el forraje permanece intacto. Los efectos de la trituración producidos durante la maceración alteran la integridad estructural y densidad de la fibra, lo que promueve el ataque microbiano y la digestión. Esto permite aumentar el área de superficie de la fibra de paja sin reducir excesivamente la longitud de fibra. Por alterar la integridad estructural y densidad de la fibra, la maceración ha aumentado la digestión de fibra, y por lo tanto, el aporte energético de los forrajes (Hong 1988a, Hintz, 1999). Este proceso mecánico ha demostrado que produce cambios en la integridad estructural ya que aumenta el área de superficie de la fibra sin disminuir el tamaño de partícula y aumenta la densidad de la fracción fibrosa, lo suficiente para permitir mayor acceso de las enzimas fibrolíticas al interior de la fibra y por consiguiente un aumento en la digestión y en el consumo de materia seca (Hong et al., 1988; Howes et al., 1998; Broderick et al., 1999). Chiquette et al., 1994 evaluó la digestibilidad in situ del heno timothy macerado y observó que a nivel ruminal se incrementó la fracción soluble, la tasa de desaparición y la digestibilidad efectiva en (14.67 %, $P < 0.01$), (70 % $P < 0.01$), (10.83 %, $P < 0.001$), respectivamente. En este sentido, (Broderick et al., 1999) al evaluar el efecto de macerado de alfalfa sobre digestibilidad de MO en tracto total, resultó mayor para macerado (3 %, $P < 0.01$) y el rendimiento en leche aumento 2.4 Kg/d en comparación con el grupo testigo. Agbossamey et al., 1999 evaluó la influencia de la maceración del heno de alfalfa comparado con silo de alfalfa en borregos y

obtuvo que macerado fue mayor su digestibilidad a nivel de tracto total para FDN y FDA (11.75 % $P < 0.05$), y (4.72 % $P < 0.01$) respectivamente. Al combina esta acción de macerado con la adición de enzimas fibrolíticas exógenas, se ha observado un efecto sinérgico en la mejora del valor nutricional de la paja en dietas para ganado en crecimiento (Torretera et al., 2000) y en vacas secas (López et al., 2000). Plascencia et al., 2007 evaluó la influencia de la maceración sobre el valor alimenticio de la paja de arroz en dietas de finalización y obtuvo que el macerado de paja de arroz incremento la digestión ruminal de materia orgánica (7.7 %, $P < 0.10$) y de FDN (30.8 %, $P < 0.10$) y la digestión de tracto total de MO incremento (2.3 %, $P < 0.10$), FDN (21.1 %, $P < 0.01$) y N (3.7 %, $P < 0.05$) comparado con la paja molida. Esta información presentada demuestra que es posible modificar la calidad de un forraje inferior a uno de calidad superior por medio del proceso de macerado, ya que modifica las propiedades físico – químicas del forraje, sin embargo es necesario que se lleven a cabo evaluaciones sobre diferentes fuentes de forraje con el fin de obtener estandarizaciones de diferentes fuentes de forraje, ya que su composición físico – química es muy variable dentro del mismo grupo, por lo que el forraje reaccionaría diferente al procesado y finalmente jugaría un papel diferente en la incorporación a las dietas.

LITERATURA CITADA

- Agrícola Gildemeister. 2006. Forraje. [en línea]. Penta. Agrícola Wildemeister. <http://www.agricolagildemeister.cl/maq_forraje_fserie_400.htm> [Consulta: 15 abril 2010].
- Agbossamey, Y. R., Savoie, P., Seoane, J.R., and Petit, H. V. 1999. Effects of intensity of maceration on digestibility and intake of alfalfa hay and silage fed to sheep. *Can. J. of Anim. Sci.* 80: 113–121.
- Álvarez, E. G., J. F. Calderon, M. F. Montano, R. A. Ware, and R. A. Zinn. 2004. Influence of dietary forage level on digestive function and growth performance in cattle fed steam flaked corn-based growing-finishing diets. *J. Anim. Vet. Adv.* 3:503-509.
- 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. 1996. Physical constraint on voluntary intake of forage by ruminants. *J. Anim. Sci.* 74:3063.
- Allen, M. S., and Mertens, D. R. 1987. Evaluating Constraints on Fiber Digestion by Rumen Microbes. Symposium: Rumen Productivity. *J. Nutr.* 118, 261.
- Ángeles Campos, Sergio C. (2002). Fermentación ruminal, tamaño de partícula y efecto de la fibra en la alimentación de vacas lecheras. <http://www.fmvz.unam.mx/bovinotecnia/BtRgZooG014.pdf#search=%22sergio%20c.%20angeles%20campos%22>).
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis (12th Ed.) Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.
- Bach y Calsamiglia. 2006. La fibra en el ruminante química o física. Química o Física?. XXII Curso de especialización FEDNA. Barcelona. pp. 16.
- Barrios, Alirio y Ventura, Max. 2005. Manual de Ganadería Doble Propósito. .pp 251- 255. http://avpa.ula.ve/docuPDFs/libros_online/manual-ganaderia/seccion4/articulo7-s4.pdf

- Beever, D.E., and F.L. Mould. 2000. Forage evaluation for efficient ruminant livestock production, in: Forage evaluation in ruminants Nutrition, Givens D.I., E. Owen, R.F.E. Axford, and H.M. Omed (ed). CABI publishing, UK. pp. 25.
- Broderick, G. A., Koegel, R. G., Mauries, M.J.C., Schneeberger, E., and Kraus, T. J. 1999. Effect of Feeding Macerated Alfalfa Silage on Nutrient Digestibility and Milk Yield in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* Vol. 82, No. 11.
- Busby et al., 1999. An Evaluation of Effective Fiber in Beef Feedlot Finishing Diets. Darrell Busby, ISU Extension Field Beef Specialist, Dan Loy, Professor of Animal Science, Dennis Dewitt, ISU Extension Field Beef Specialist, Beth Doran, ISU Extension Field Beef Specialist, and Ron Irvin, ISU Extension Field Beef Specialist. 1999 Beef Research Report — Iowa State University
- Buxton, Dwayne R. and Redfearn, Daren D. 1997. Plant Limitations to Fiber Digestion and Utilization. *J. Nutr.* 127: 814S–818S, 1997.
- Calsamiglia, Sergio. 1997. Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. XIII CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA. Madrid.
- Cherney, J.H., Cherney, D.J.R., Akin, D.E. and Axtell, J.D., 1991. Potential of mid-rib, low-lignin mutants for improving forage quality. *Advances in Agronomy*, 46: 157–198.
- Cherney, D.J.R. 2000. Forage Evaluation in ruminant nutrition. CABI. Pp 281-300.
- Chesson, A., Gordon A. H. and Lomax, J. A. 1983. Substituent groups linked by alkali-labile bonds to arabinose and xylose residues of legume, grass and cereal straw cell walls and their fate during digestion by rumen organisms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34: 1330-1340.
- J. Chiquettel, J., Savoie, P., and Lirette, A. 1994. Effects of maceration at mowing on digestibility and ruminal fermentation of timothy hay in steers. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 235-242.
- Church, D. C. 1988. The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition. pp. 77 – 85.
- Church, D. C. 1993. El Rumiante Fisiología Digestiva y Nutrición. Ed. Acribia, S.A. pp. 117- 127, 191-225.

- Church, D.C., Pond, W.G., y Pond, K.R. 2004. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales 2 da. Edición. Editorial Limusa Wiley. pp. 289-306, 323-334.
- Colombatto, D. 2000. PhD Thesis. The University of Reading, UK. Análisis de alimentos: Aplicaciones prácticas.
http://www.agro.uba.ar/catedras/p_lechera/resumencolombatto.pdf
- Conrad, H. R., A. D. Pratt, and J. W. Hibbs. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows. 1. Changes in the importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. J. Dairy Sci. 47:54.
- Crampton, E. W. y Harris, L.E. Nutrición Animal Aplicada. 1979. Ed. Acribia. pp. 312.
- Drake, D. J., G. Nader, and L. Forero. 2002. Feeding Rice Straw to Cattle. University of California Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 8079. pp. 1-18. <http://www.anrcatalog.ucdavis.edu>
- Farias J.M and Winch J.E. Effect of planning data and harvest stage upon yield, yield distribution and quality of sorghum sudangrass in Northern México. Trop Agric 1987; (64): 87-90.
- Fernández Álvaro, Salager Jean Louis y Scorzza César. 2004. Cuaderno FIRP S 303-PP. Modulo de Enseñanza en Fenómenos Interfaciales. Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería y Escuela de Ingeniería Química. pp. 12-21.
- Fox D. G., and L. O. Tedeschi. 1999. Application of Physically Effective Fiber in Diets for Feedlot Cattle. Animal Science Department Cornell University Ithaca, NY.
- Food and Drug Administration. <http://www.fda.gov/Fribourg>, H. 2000. Summer Annual Grasses. http://www.forages.css.orst.edu/Topics/Species/Grasses/Summer_annual
- García, A. and Kalscheur, K. 2006. Particle size and effective fiber in lactating cow diets. College of Agriculture & biological sciences /south dakota state university / USDA. ExEx 4033S. Dairy Science <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4033S.pdf>
- Geoering, H.K., and P.J.Van Soest. 1970. Forage Fiber Análisis. Apparatus, Reagent, Procedures and Some Application. ARS Agric. Handbook 379, USDA.
- Gunter Vollmer, Gunter Josst, Dieter Schenker, Wolfgang Sturm and Nobert Vreden. 1995. Elementos de Bromatología Descriptiva. Ed. Acribia. pp. 62,63, 422.

- Hedges D.A. , J.L., Wheeler, and D.K. Muldon. 1989. Effect of age millet and sorghum hays on their composition, digestibility and intake bu sheep. *Tropical Grassland* 7:203-210.
- Heredia S y P. Cesas. 2000. Surfactantes. <http://www.monografias.com/trabajos14/tensoactivos/tensoactivos.shtml>
- Hicks, C.R. 1973. *Fundamental concepts in the design of experiments*, 2nd ed. New York Holt, Rinehart and Wiston, Inc.
- Hill, w. Jhon y Kolb, and K. Doris. 1999. *Química para el Nuevo milenio*. Editorial Prentice Hall 8 va. Edición. pp. 490 – 492.
- Hill, F.N. and D.L. Anderson. 1958. Comparisson of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chiks. *J. Nutr.* 64:587-603.
- Holum, J. R. 2001. *Fundamentos de Química General, Orgánica y Bioquímica para Ciencias de la Salud*. Ed. Limusa Wiley. pp. 207-209.
- Howes, D.J., G.M. Tricarico, K. Dawson and N. Karnezos. 1998. Fibrozyme, the first protected enzyme for ruminants: Improving fiber digestion and animal performance. In: *Proccedings of Alltech's 14th Annual Symposium*. pp. 393-403.
- Jarrige, R. 1990. *Alimentación de bovinos, ovinos y caprinos*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Jeffries, T.W. 1990. Biodegradation of lignin – carbohydrate complexes. *Biodegradation* 1.163–176. *Journal of Biodegradatio*. Volume 1, Numbers 2-3 / June, 1990: 163-176.
- Jung, H. G. and M.S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forage by ruminants. *J. Anim. Sci.* Vol 73: 2774-2790.
- Kamande, G. M., J. Baah, K. J. Cheng, T.A. McAllister, and J. A. Shelford. 2000. Effects of tween 60 and tween 80 on protease activity, thiol group reactivity, protein adsorption, and cellulose degradation by rumen microbial enzymes.*J.Dairy Sci.* 83: 536-542.
- Kamande G. M. 2006. Digestión Ruminal y Nutrición. Congreso de Forrajes. Producir XXI, Bs. As., 15(180):52-57. *Diamond V. Mills, Cedar Rapids, Iowa, USA.

- Kaske, M., and W. V. 1990. The effect of size and density on mean retention time of particles in the gastrointestinal tract of sheep .Engelhardt British Journal of Nutrition, Volume 63, pp 457-465.
- Kirschenbauer H.G. 1964. Grasas y Aceites Química y Tecnología. Ed. Continental. pp. 171-187.
- Laguna J. y E. Peña. 2002. Bioquímica de Laguna. Ed. Manual Moderno 5ª edición. pp. 29.
- López-Soto, M.A., Plascencia, G. E. Arellano, and R.A. Zinn. 2000. Interaction of maceration and fibrolitic enzyme supplementation on the site and extent of digestion in rice straw in Holstein cows. Proc. West Sect. Am. Soc. Anim. Sci. 51:454-457.
- Mathews, C. K., Van Holde, K. E., Ahern, K. G. 2002. Bioquímica. Pearson Educación, S. A., Madrid. Pp 332 – 338.
- Maynard Leonard A., Loosli John K., Hintz Harold F., Warner Richard G. 1981. Nutrición Animal séptima Edición. Editorial McGraw – Hill. pp. 22 – 48.
- McDonald P., R. Edwards y J.F.D. Greenhalgh. 1993. Nutrición Animal 4a. Edición. Ed. Acribia, S. A. pp. 169, 227-230, 451.
- Flóres-Menéndez, J. A. 1983. Bromatología Animal. Ed. Limusa. pp. 524-527.
- Mertens, D.R. 1987. Predicting intake and digestibility. J. Anim. Sci. 64, 1548-1558.
- Mertens, D.R. 1994. In: Forage Quality, Evaluation, and Utilization. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, USA. pp 450-493
- Mertens, D.R. 1997. Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. J. of Dairy Sci. 80:1463-1481.
- Moore, K. J. and Hatfield, R. D. 1994. Carbohydrates and forage quality. In: Forage Quality, Evaluation, and Utilization (Fahey, G. C., Jr., Collins, M. C., Mertens, D. R. & Moser, L. E., eds.), ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. pp. 229–280.
- Moore, J.A., M.H. Poore, and R.S. Swing. 1990. Influence of roughage source on kinetics of digestion and passage, and on calculation extents of ruminal digestion in beef steers fed 65 % concentrate diets. J. Anim. Sci. 68:3412-3420.
- Montaño, M., and R.A. Zinn. 1995. Influence of forage level on growth – performance and digestive function in feedlot cattle fed a steam – flaked corn – based finishing diet. J. Anim. Sci. 73: 286.

- Morrison F.B. 1987. Compendio de alimentación del Ganado. Ed. Hispano América. pp. 299, 333.
- Muller F. 2000. Agrochemicals. Ed. Wiley-VCH. pp. 710-713.
- Murphy, M. R. and Nicoletti, J.M. 1984. Potential reduction of forage and rumen digesta particle size by microbial action. *J. Dairy Sci.* 67: 1221-1226.
- NRC, 2001. Nutrient requirement of dairy cattle (7th ed. rev) National Academy of Sciences-National Research Council. Washington, D.C.
- Oh, J, H., W.C. Weir, and W.M. Longhurst. 1971. Feed value for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 32:343-347.
- Ørskov, E.R. and L. Mc Donald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to the rate of passage. *J. Agric. Sci. Camb.* 92: 499-503.
- Palladino, A., Wawrzkievicz, M., y Bargo, F. 2006. La Fibra. *Infortambo*, Bs. As., 202:82-84. Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, UBA. http://www.produccion-nimal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/66-fibra.pdf
- Perspectivas del Medio Ambiente Geo – 3. 2002. Editorial Mundi – Prensa.
- 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., E. Arellano, M.A. López Soto y R.A. Zinn. 2002. Estudio comparativo sobre el sitio y la tasa de digestión de la fracción nitrogenada y del almidón de cuatro cereales procesados con vapor utilizados en dietas para bovinos de engorda. *Vet. Méx.*, 33 (4):371-386.
- Plascencia, A., M.A. López-Soto, M. F., Montaña, J.G. Serrano, R.A. 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.
- Poppi, D. P., D.J. Minson, and J.H. Ternouth. 1981. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. 1. The voluntary intake, digestibility and retention time

- in the reticulo-rumen. Australian Journal of Agricultural Research, Vol. 32 No. 1 Pages 99 – 108.
- Quintero N. M. y A. Moncada-Aguilar. 2008. Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California. *Región y Sociedad*. 20:3-24.
- Romney, D.L., and R. Gill. 2000. Intake of forage, in: *Forage evaluation in ruminants Nutrition*, Givens D.I., E. Owen, R.F.E. Axford, and H.M. Omed (ed). CABI publishing, UK. pp. 43.
- Salcedo R. 2007. La importancia de la fibra efectiva en el corral de engorda. *Nutrientes Básicos de Monterrey, S.A. de C.V. México*. <http://www.nutrientesbasicos.com/print/3031.html>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2008. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ventana.php?idLiga=1043&tipo=1>
- Sherman A., and S. Sherman. 1989. *Chemistry and Our Changing World Second Edition*. Ed. Prentice – Hall. pp. 468-469.
- Sniffen, C.J., J.D. O'Connors, 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.
- Sutherland, T. M. 1987. Aspects of digestive physiology in ruminants. A. Dobson (ed). Cornell Univ. Press. pp: 43.
- Tamminga S. 2000. Sistemas de alimentación de Ganado Lechero en Europa. En: *Memoria de la X. Reunión Internacional Sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos*. 5 y 6 de Octubre. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, B.C., México. pp. 32-39.
- Torrentera N., E.G. Álvarez, and R.A. Zinn. 2000. Influence of maceration on the feeding value of rice straw in growing-finishing diets for feedlot cattle. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 51:496-499.
- Ulyatt, M. J., D.W. Dellow, A. John, C.S.W. Reid, and G.C. Waghorn. 1986. Control of digestion and metabolism in ruminants. L.P. Milligan, W. L. Grovum y A. Dobson (eds.) Reston Publishing Co. Pp: 498.

- Umbland J.B. and J.M. Bellama. 2000. Química General 3ra. Ed. Thomson Learning. pp. 512,513.
- Undersander D. 2001. Sorghums, sudangrasses, and sorghum-sudangrass hybrids For Forage. Dept. of Agronomy. Woody Lane - Dept. Meat and Animal Science.
- Van Soest J.P. 1994. Nutrition Ecology of the Ruminant (2nd Ed). Cornell University Press. Ithaca NY.
- Wang, Y., T.A. McAllister, J. Baah, R. Wilde, K.A. Beauchemin, L.M. Rode, J. A. Shelford, G. M. Kamande, and K. J. Cheng. 2003. Effects of Tween 80 on in vitro fermentation of silages and interactive effects of tween 80, monensin and exogenous fibrolityc enzymes. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 16: 968-978.
- 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.
- Welch, J. G. 1982. Rumination, Particle Size and Passage from the Rumen. J Anim Sc: 54: 885-894.
- Welch, J. G. 1986. Physical parameters of fiber affecting passage from the rumen. J. Dairy Sci. 69: 2750 – 2754.
- Well, M. Naturally Products LTD. <http://www.wellnaturally.com/ingredients/tween80.html>
- Wilson, J. R. y Kennedy, P. M. 1996. Plant and animal constraints to voluntary feed intake associated with fibre characteristics and particle breakdown and passage in ruminants. Australian Journal of Agricultural Research 47: 199–225.
- White T.W., F.G. Hembry, and W.L. Reynolds. 1974. Influence of level of dehydrated coastal bermudagrass or rice staw on digestibility. J. Anim. Sci. 38: 844-849.
- White T.W., F.G. Hembry, and W.L. Reynolds. 1975. Influence of feeding rice straw and urea supplement whit whole and ground corn on feedlot performance, rate of passage and digestibility by steers. J. Anim. Sci. 41: 1180-1188.
- Wilbraham A. C., D. D. Staley, C.J. Simpson, and M.S. Matta. 1987. Chemistry. Ed. Addison – Wesley Publishing. pp. 350,351.
- WWW.epic4health.com/tween80isits.html
- Wilson J. R., and Mertens D. R. 1995. Cell wall Accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. Crop Sci. 1995; 35:251-259.

- Willis C. M., O.T. Stallcup, and D.L. Kreider. 1980. Influence of sodium hydroxide and enzyme additions on nutritive values of rice straws. *J.Anim.Sci.* 40:303-308.
- Wolfgang S. W. 2006. Alimentos complementarios para producción de carne. <http://www.intranet.uach.cl/dw/canales/repositorio/archivos/993.pdf>
- Zinn, R. A., and F. 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. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *J. Anim. Sci.* 66:213-227.
- Zinn, R. A. 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steamflaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68: 767-775.
- 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.
- Zinn, R.A. and J. Salinas. 1999. Influence of fibrozyme on digestive function and growth performance of feedlot steers fed a 78 % concentrate growing diet In: *Biotechnology in feed Industry* (T.P. Lyons and K.A. Jacques, Ed) Alltech Inc, Nicholasville, K.Y.
- Zinn, R.A., L. Corona, and R.A. Ware. 2004. Forage Quality: Impacts on Cattle Performance and Economics. In: *Proceeding, National Alfalfa Symposium*, 13-15 December 2004, San Diego, CA.

EXPERIMENTO I

Running Head: Maceration process in wheat straw

Influence of mechanical maceration on wheat straw on characteristics of digestion in growing-finishing diets for feedlot cattle

J. G. Serrano-Ponce^a, B. Sánchez-Mendoza^a, E.G. Alvarez^a, J. Aguirre-Ortega^b, V. M. González-Vizcarra^a, C. Lemus-Flores^b, M. A. López-Soto^a, G.D. Mendoza-Martínez^c, A. Plascencia^a, J. R. Stuart^d and R. A. Zinn^e

^a *Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Km 4.5 Carretera Mexicali-San Felipe, CP 21386 Mexicali, Baja California, México.*

^b *Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura Amado Nervo 63155, Tepic, Nayarit, México.*

^c *Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del Hueso 1100 Colonia Villa Quietud Delegación Coyoacán 04960, México, DF.*

^d *Departamento de Rumiantes, Instituto de Ciencia Animal, km 47.5 Carretera Central, Ciudad de la Habana, Cuba.*

^e *Department of Animal Science, University of California, Davis 95616, USA.*

*Corresponding author. Email address, alejandro.plascencia@uabc.edu.mx

Enviado al Journal of Livestock Science. Ref # LIVSCI-D-11-150

Abstract: Four cannulated Holstein steers (142 ± 3 kg) were used to evaluate the influence of mechanical maceration of wheat straw on the characteristics of digestion. Treatments consisted of a steam-flaked corn-based growing-finishing diet supplemented with 21% forage (DM basis) as: 1) sudangrass hay (SG), 2) wheat straw (STRW), 3) macerated wheat straw (MAC) at intensity of 600 psi (MAC600) and 4) macerated wheat straw at intensity of 900 psi (MAC900). All forage treatments were ground to pass through a 3.81 cm screen before incorporation into complete mixed diets. There were no treatment effects ($p \geq 0.11$) on ruminal digestion of OM, NDF, starch, microbial efficiency (MN, g/kg of OM fermented), or protein efficiency (NAN, g/g of N intake). Apparent total tract digestion of OM, NDF and DE diet were greater ($P < 0.01$) for SG than for STRAW. Maceration of wheat straw increased ($P < 0.04$) apparent postruminal and total tract digestion of OM, NDF, N, and dietary DE. Ruminal NDF passage rate was greater ($P \leq 0.05$), and ruminal DM ($P < 0.01$) and NDF fill ($P \leq 0.02$) were lesser for SG and MAC than for STRW. Intensity of maceration (MAC600 vs. MAC900) did not affect ($P \geq 0.11$) characteristics of site and extent of digestion. Maceration increased (28%) the DE value of wheat straw. The DE value of MAC tended to be greater (7.5%; $P = 0.08$) for MAC than for SG.

Key words: Digestion, feed value, maceration, ruminal kinetics, steers, wheat straw

1. Introduction

Maceration applications have been developed to enhance site and extent of digestion of low-moisture, low-quality forages such rice straw (Torretera *et al.*, 2000, Plascencia *et al.*, 2007). The process consists of passing forage through sets of opposing corrugated rolls maintained within set tolerances of each other using hydraulic pressure. Opposing corrugated rolls turn at differential speeds so that as the forage is drawn through it is stretched and crushed, but remain otherwise, intact. Indentations produced during maceration by roll corrugations greatly alters the structural integrity and density of the fiber, promoting microbial attachment, digestion, and rate of passage (Plascencia *et al.*, 2007). Although the influence of mechanical maceration on characteristics of digestion of rice straw has been studied extensively (Torretera *et al.*, 2000; Ware *et al.*, 2005; López-Soto *et al.*, 2006; Plascencia *et al.*, 2007), there is no comparable information on the effect of maceration process on digestion of wheat straw.

The objective of this experiment was evaluate the effects of maceration of wheat straw on characteristics of digestion in steers fed a growing-finishing diet containing 21% of forage.

2. Material and methods

2.1 Diets and forage processing

The experimental diets contained (DM basis) 64.0% steam-flaked corn, 7.0% cane molasses, 3.6% fat, 1.4% urea, 1.4% limestone, 0.4% trace mineralized salt, 0.4% chromic oxide, and 21% forage as: 1) sudangrass hay (**SG**), 2) wheat straw (**STRW**), 3) macerated straw, tension of the rollers was adjusted to provide pressure of 600 psi (**MAC600**) and 4) macerated straw, tension of the rollers was adjusted to provide pressure of 900 psi (**MAC900**). Chromic oxide was used as an indigestible marker to estimate nutrient flows

and digestibility. Chromic oxide was premixed with minor ingredients (urea, limestone and trace mineral salt) before incorporation into complete mixed diets. Based on ingredient composition, the sudangrass diet contained (DM basis; NRC, 1996): DE, 3.65 Mcal/kg; NE_m, 2.11 Mcal/kg; NE_g, 1.44 Mcal/kg, CP, 121 g/kg; NDF, 196 g/kg; ether extract, 67 g/kg; calcium, 7.2 g/kg; and phosphorus, 2.7 g/kg. Straw diets contained: DE, 3.51 Mcal/kg; NE_m, 1.99 Mcal/kg, NE_g, 1.34 Mcal/kg, CP, 112 g/kg; NDF, 223 g/kg, ether extract, 67 g/kg, calcium, 6.5 g/kg, and phosphorus, 2.2 g/kg. Sudangrass (*Sorghum sudanense*) was from the second cutting, harvested during the early flag stage. The hay was allowed to field-cure for 6 days before baling using rectangular-bale baler equipment (New Holland, model 575). Bales were stored for 8 months before use in this study. Wheat straw (*var.* Rio Colorado C2003) was baled following grain harvest and stored for one month prior to the study. Wheat straw was moistened by spraying with the addition of 10% water (w/v) before introduction into the macerator. The macerator was designed and built jointly by staff of Universidad Autónoma de Baja California and University of California, Davis. Maceration process (MAC) consisted of a single passage of moistened wheat straw throughout two corrugated rolls (20 x 68 cm) set at 0.0 mm clearance with differential speed of opposing roles of 8 rpm (28 vs. 20 rpm). The roll pressures used were 41,341 milibares (600 psi; MAC600) and 62,011 milibares (900 psi; MAC900). All forage treatments were ground in a hammer mill (Bear Cat #1A-S, Westerns Land and Roller Co., Hastings, NE) with a 3.81-cm screen before incorporation into complete mixed diets.

2.2 Animals and sampling

All procedures involving live animals were conducted within the guidelines of approved local official techniques of animal care.

Four Holstein steers (142 ± 3 kg) with ruminal (Alvarez and Zinn, 2001) and duodenal cannulas (Zinn and Plascencia, 1993) were housed in individual pens (3.9 m^2) with concrete floor covered by neoprene carpet, automatic waterers and individual feed bunk. All steers received *ad libitum* access to the STRW diet (treatment 1) for 10 days before initiation of the trial. Dry matter intake was restricted to 3.13 kg/d (90% of *ad libitum* intake of steers during the 10-d preliminary period). Diets were fed in two equal proportions at 0800 and 2000 h daily. Experimental periods consisted of a 10-d diet adjustment period followed by a 4-d collection period. During the collection period duodenal and fecal samples were taken from all steers, twice daily as follows: d 1, 0750 and 1350 h; d 2, 0900 and 1500 h; d 3, 1050 and 1650 h; and d 4, 1200 and 1800 h. Individual samples consisted of approximately 500 mL duodenal chyme and 200 g (wet basis) fecal material. Samples from each steer and within each collection period were composited for analysis. During the final day of each collection period, total ruminal contents were evacuated via the ruminal cannula (Ridgid vacuum, mod 5.0 HP, St. Luis, MO, USA). Ruminal content from each steer was mixed, weighed and sub-sampled (approximately 1 kg ruminal contents/sample) in triplicate before being returned to the animal via the ruminal cannula. Ruminal pH was determined on freshly collected contents. Subsamples were oven dried at 65°C , before grinding (Wiley mill) to pass through a 1 mm mesh and stored for later analysis. Upon completion of the trial, ruminal fluid was obtained from all steers and composited for isolation of ruminal bacteria via differential centrifugation (Bergen *et al.*, 1968). The microbial isolate served as the purine:N reference for estimation of microbial N contribution to chyme entering the small intestine (Zinn and Owens, 1986).

2.3 Sample analysis and calculations

Samples were subjected to all or part of the following analysis: DM (oven drying at 105 °C until no further weight loss; method 930.15, AOAC, 2000); ash (method 942.05, AOAC, 2000); Kjeldahl N (method 984.13, AOAC, 2000), ammonia N (method 941.04, AOAC, 2000); purines (Zinn and Owens, 1986); gross energy (GE; adiabatic calorimeter bomb, model 1271, Parr, Moline, IL); chromic oxide (Hill and Anderson, 1958), NDF (ash corrected; Chai and Uden, 1998), and starch (Zinn, 1990). Microbial organic matter (MOM) and N (MN) leaving the abomasum were calculated using purines as a microbial marker (Zinn and Owens, 1986). Organic matter fermented in the rumen (OMF) was considered equal to OM intake minus the difference between the amount of total OM reaching the duodenum and MOM reaching the duodenum. Feed N escape to the small intestine was considered equal to total N leaving the abomasum minus ammonia-N and MN and, thus, includes any endogenous contributions. Ruminal NDF passage (K_p) and digestion (K_d) rates were determined as follow:

$$K_p, \%/\text{h} = (\text{NDF}_I \times (1 - \text{NDF}_{\text{DIGRUM}/100})) / (\text{TSR} \times (\text{NDF}_{\text{RUM}}/100))/24$$

$$K_d, \%/\text{h} = (\text{NDF}_{\text{DIGRUM}/100} \times K_p) / (1 - \text{NDF}_{\text{DIGRUM}/100})$$

Where: NDF_I = NDF intake, g; NDF_{RUM} = Ruminal NDF, % total solids; $\text{NDF}_{\text{DIGRUM}}$ = Observed ruminal NDF digestion, TSR = Total solids in rumen, g.

2.4 Statistical design and analysis

The trial was analyzed as a 4 x 4 Latin square design using the MIXED procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Fixed effect consisted of treatment, and random effects consisted of steer and period. The statistical model for the trial was as follows:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + P_j + T_k + E_{ijk},$$

where: Y_{ijk} is the response variable, μ is the common experimental effect, S_i is the steer effect, P_j is the period effect, T_k is the treatment effect and E_{ijk} is the residual error. Treatment effects were tested for the following orthogonal components: 1) SG vs. STRW; 2) SG vs. averaged observed in both maceration process (MAC), and 3) STRW vs. MAC, and 4) MAC600 vs. MAC900. Forage composition data was submitted to analysis of variance and F test, to investigate differences among forage fractions (N, NDF and ash). Variables with significant variances were submitted to Tukey test ($p < 0.05$) for mean comparisons. Contrasts were considered significant when the P -value was ≤ 0.05 , and as a tendency approaching significance with P -value between $P > 0.05$ and $P \leq 0.10$.

3. Results and discussion

3.1 Physical and chemical characteristics of test forages.

Composition of forages used are shown in Table 1. As expected (NRC, 1996; Torrentera *et al.*, 2000), wheat straw contained ($P < 0.01$) 69.6% less CP ($N \times 6.25$) and 12.6% more NDF than sudangrass hay (SG). Ash and NDF content of macerated and ground wheat straw were similar, although the N content of macerated wheat straw was slightly (14%, $P > 0.05$) lower. Changes in composition of N and fibrous fractions have been observed following maceration of freshly cut legumes; presumably the result of leaf loss (Agbossamey *et al.*, 2000) and loss of soluble cellular material during processing and handling (Lu *et al.*, 1980). Petit *et al.* (1994) detected a 17% increase of N content after maceration of Timothy hay. This was attributed to sampling procedures rather than the process of maceration.

3.2 Characteristics of ruminal and total tract digestion.

Treatment effects on characteristics of digestion are shown in Table 2. There were no treatment effects ($P \geq 0.11$) on the extent of ruminal digestion of OM, NDF, starch, microbial efficiency (g of microbial N /kg of fermented OM) or ruminal protein efficiency (duodenal nonammonia N/N intake) averaging 61.6, 35.1, 78.7, 23.0, and 1.01, respectively. Likewise, Torrentera *et al.* (2000) did not detect differences in ruminal digestion OM and NDF when comparing ground vs. macerated rice straw at a level of 20% inclusion. In contrast, Plascencia *et al.* (2007) reported a 28% increase in ruminal NDF digestion of (28%) due to maceration of rice straw (rice straw comprised 14% in the diet DM). Whereas, Lopez-Soto *et al.* (2006) observed decreased (14%) ruminal NDF digestion for macerated vs. ground rice straw (rice straw comprised 40% of diet DM).

Ruminal digestion of feed N was lower for SG (19%, $P = 0.01$) than for STRW and MAC treatments. Torrentera *et al.* (2000) observed lower (12%) ruminal N digestion in growing-finishing diets containing 20% forage as sudangrass hay versus rice straw, but not with macerated rice straw. In a comparison of ground sudangrass hay vs. ground or macerated rice straw in growing-finishing diets containing 14% forage, Plascencia *et al.* (2007) did not detect differences ($P = 0.08$) in ruminal N digestion.

Postruminal OM starch and N digestion were similar ($P \geq 0.18$) for STRW and SG treatments. Likewise, postruminal and total tract digestion of starch and N digestion were similar ($P \geq 0.49$) for SG and MAC treatments. However, postruminal OM digestion tended to be greater (6.2%, $P = 0.08$) for MAC than for SG diets. Likewise, postruminal (66%; $P = 0.09$) and total tract (5.3%; $P = 0.07$) NDF digestion tended to be greater for MAC than for SG diets. Plascencia *et al.* (2007) also observed greater total tract NDF digestion (48.4 vs. 44.4%) with growing-finishing diets containing 14% forage as macerated rice straw vs.

sudangrass hay. In contrast, Torrentera *et al.* (2000) observed greater NDF digestion (41.5 vs. 32.7%) with diets containing 20% forage as sudangrass hay vs. macerated rice straw.

Consistent with previous studies (Moore, 1990; Torrentera *et al.*, 2000; Plascencia *et al.*, 2007), total tract digestion of OM digestion (2.7%), NDF (23.9%) and DE (3.4%) were greater ($P < 0.01$) for SG than for STRW. Postruminal and total tract digestion ($P \leq 0.04$) of OM (8.6 and 3.8%), NDF (76 and 27.9%) and N (5.1 and 5.2%), and dietary DE (4.5%, $P < 0.01$) were greater for MAC than for STRW diets. Likewise, maceration increased total tract digestion of OM and NDF of alfalfa hay (Petit *et al.*, 1994; Broderick *et al.*, 1999), and rice straw (Torretera *et al.*, 2000; Ware *et al.*, 2005; Lopez-Soto *et al.*, 2006; Plascencia *et al.*, 2007). Roll pressure (MAC600 vs. MAC900) did not affect ($P \geq 0.11$) site and extent of digestion.

3.3 Ruminal pH and ruminal NDF kinetics.

Treatment effects on ruminal pH and NDF digestion kinetics are shown in Table 3. There were no treatment effects ($P = 0.44$) on ruminal pH, averaging 6.20. Consistent with Bowman *et al.* (1991), ruminal NDF K_d and K_p were greater (51 and 37%, respectively; $P < 0.01$), and ruminal DM and NDF fill was lesser (40 and 46%, respectively; $P < 0.01$) for SG vs. STRW diets. Likewise, ruminal NDF K_p was greater (26%, $P = 0.05$) and ruminal NDF K_d tended to be greater (39%, $P = 0.09$), and ruminal DM and NDF fill were lesser (32 and 29%, respectively; $P < 0.02$) for MAC vs. STRW diets. Increased K_d and K_p and reduced ruminal fill due to maceration of rice straw has been previously reported (Lopez-Soto *et al.*, 2006).

Although not quantified, evacuated ruminal contents from steers consuming MAC had a relatively homogeneous aspect, whereas in the case of STRW, evacuated ruminal

contents appeared more segregated and stratified. Level of stratification of the ruminal contents in diets has an inverse relationship with rate of passage (Moore *et al.*, 1990).

Changes in the structure of fiber particles brought about by mechanical maceration increase the rate of particle hydration, that in turn enhances particle specific gravity and rate of particle size reduction through chewing (Hong *et al.*, 1988); factors that contribute to enhanced rates of digestion and passage (Offer and Dixon, 2000). Roll pressure (MAC600 and MAC900) did not affect ($P \geq 0.80$) digestion kinetics or ruminal fill.

3.4 Energy value of processed straw.

Given that the DE value of SG is 2.46 Mcal/kg (NRC, 1996), the DE content in test forages can be estimated using the replacement technique (Plascencia and Zinn, 2002): DE, Mcal/kg of straw = $[(\text{DE of straw diet} - \text{DE of SG diet})/0.21] + 2.46$, where 0.21 represents the amount of straw that replaced sudangrass hay in the diet. Accordingly, DE values of control and macerated wheat straw is 1.91 and 2.65 Mcal/kg, respectively. Thus, the DE value of macerated rice straw in this study was 7.7% greater than that of sudangrass hay and 39% greater than that of the control, non-macerated straw. These findings with wheat straw are in good agreement with previous studies comparing sudangrass hay vs. rice straw and macerated rice straw (Torreterra *et al.*, 2000; Ware *et al.*, 2005, López-Soto *et al.*, 2006; Plascencia *et al.*, 2007), wherein the average increase in DE for macerated rice straw was 3.3 and 39% compared to sudangrass hay and ground rice straw, respectively.

4. Conclusions

Maceration enhances the DE value of wheat to the extent that its value may exceed that of medium-quality sudangrass hay. This improvement is attributable to enhancement in rate of ruminal digestion and passage of NDF fractions, resulting in greater total tract OM and NDF digestion. Increasing the roll pressure during maceration beyond 600 psi may not further enhance the feeding value of macerated straws.

5. Acknowledgements

The authors thank Mr. Francisco Rivero of Ganadera EFRAL (feedlot), Mexicali, México and the Secretaría de Fomento Agropecuario de BC, which partially support the study through the federal grants “Fondo Alianza para el Campo”.

6. References

- Agbassamey, Y., Savoie, R.P., Petit, H.V., 2000. Effect of intensity of maceration on digestibility and intake of alfalfa straw and silage fed to sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 80, 113-121.
- Álvarez, E. G., Zinn, R.A., 2001. Development of a low-cost, easy-to-assemble, and durable ruminal cannula for cattle. *Proc. West Sec. Amer. Soc. Anim. Sci.* 52, 539-540.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis*. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.
- Bergen, W. G., Purcer, D.B., Cline, J.H., 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J. Anim. Sci.* 27, 1497-1501.
- Bowman, J. G., Hunt, C.W., Kerley, M.S., Paterson, J.A., 1991. Effects of grass maturity and legume substitution on large particle size reduction and small particle flow from

- the rumen of cattle. J. Anim. Sci. 69, 369-378.
- Broderick, G. A., Koegel, R.G., Mauris, M.C.J., Schneeberger, E., Krause, T. J., 1999. Effect of feeding macerated alfalfa silage on nutrient digestibility and milk yield in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 82, 2472-2485.
- Chai, W., Uden, P., 1998. An alternative oven method combined with different detergent strengths in the analysis of neutral detergent fiber. Anim. Feed Sci. Technol. 74, 281-288.
- Hill, F. N., Anderson, D.L., 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. J. Nutr. 64, 587-594.
- Hong, B. J., Broderick, G.A., Panciera, M.P., Koegel, R.G., Shinnors, K.J., 1988. Effects of shredding alfalfa stems of fiber digestion determined by *in vitro* procedures and scanning electron microscopy. J. Dairy Sci. 71, 1536-1545.
- Lopez-Soto, M.A., Arellano, G.E., Barreras, A., González, V.M., García, D.M., Plascencia, A., Zinn, R.A., 2006. Influence of exogenous fibrolytic enzyme supplementation and maceration process in a low-quality forage on digestion parameters and rumen function in dry Holstein cows. Veterinaria México. 37, 275-289.
- Lu, C. D., Jorgensen, N.A., Barrington, B.P., 1980. Intake, digestibility, and rate of passage of silages and hay from wet fractionation of alfalfa. J. Dairy Sci. 63, 2051-2059.
- Moore, J. A., Poore, M.H., Swingle, R.S., 1990. Influence of roughage source on kinetics of digestion and passage and on calculated extents of ruminal digestion in beef steers fed 65% concentrate diets. J. Anim. Sci. 68, 3412-3420.
- NRC. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. National Academy of Press. Washington DC.

- Offer, N. W., Dixon, J., 2000. Factors affecting outflow rate from reticulo-rumen. *Nutrition Abstracts and Reviews: Livestock Feed and Feeding*. 70, 833-844.
- Petit, H. V., Savoie, P., Tremblay, P.D., Dos Santos, G.T., Buttler, G., 1994. Intake, digestibility, and ruminal degradability of shredded hay. *J. Dairy Sci.* 77, 3043-3050.
- Plascencia, A., Lopez-Soto, M.A., Montaña, M.F., Serrano, J.G., Ware, R.A., Zinn, R.A., 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.
- Plascencia, A., Zinn R.A., 2002. Evaluation of a forage:fat blend as an isocaloric substitute for steam-flaked wheat in finishing diets for feedlot cattle: growth-performance and digestive function. *Prof. Anim. Sci.* 18, 247-253.
- Torrentera, N., Alvarez, E.G., Zinn, R.A., 2000. Influence of maceration on the feeding value of rice straw in growing-finishing diets of feedlot cattle. *Proc. West Sec. Amer. Soc. Anim. Sci.* 51, 496-499.
- Ware, R.A., Torrentera, N.G., Zinn, R., 2005. Influence of maceration and fibrolytic enzymes on the feeding value of rice straw. *J. of Anim. and Vet. Adv.* 4, 387-392.
- Zinn, R.A., 1990. 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., Owens, F.N., 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 66, 157-164.
- Zinn R.A., Plascencia, A., 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71, 11-17.

Table 1Physicochemical characteristics of the forage sources tested^a.

Item	Sudangrass hay	Wheat straw ^b		
		STRW	MAC600	MAC900
DM (%)	94.80±0.10	95.04±0.14	95.08±0.21	94.95±0.20
N (%)	1.25±0.03 ^c	0.38±0.02 ^d	0.35±0.03 ^d	0.30±0.02 ^d
NDF (%)	60.32±0.82 ^c	67.90±0.98 ^d	68.65±1.96 ^d	68.26±2.24 ^d
Ash (%)	10.37±0.47	11.05±0.34	10.79±0.47	10.68±0.40

^a Eight replicates/forage^b STRW= ground wheat straw, MAC 600= macerated wheat straw at intensity of 600 psi (41,341 milibares), MAC 900 macerated wheat straw at intensity of 900 psi (62,011 milibares).^c Rows with different literals differ (p<0.05).

Table 2Treatment ^a effects on characteristics of feed intake and digestion in cannulated Holstein steers (142 kg BW).

Item	SG	Wheat straw			EEM	P value			
		ST RW	MAC 600	MAC9 00		SG vs. STRW	SG vs. MAC	STRW vs. MAC	MAC600 vs. MAC900
Intake, g/d									
DM	3,134	3,136	3,136	3,134	65.3				
OM	2,935	2,922	2,922	2,919	66.4				
Starch	1,183	1,183	1,183	1,183	25.1				
NDF	620	671	677	673	13.0				
N	57.7	53.3	53.0	52.7	1.14				
GE, Mcal/d	12.82	12.75	12.83	12.78	0.31				
Flow to duodenum, g/d									
OM	1,398	1,489	1,426	1,520	59.2	0.30	0.32	0.83	0.28
Starch	252	238	266	312	15.4	0.53	0.07	0.02	0.06
NDF	387	454	440	438	16.3	0.01	0.03	0.40	0.80
Non ammonia N	57	53	52	55	1.90	0.13	0.14	0.78	0.28
Microbial N	31.0	35.5	32.4	35.6	1.74	0.08	0.17	0.48	0.21
Feed N	26.3	17.4	19.7	19.5	1.32	<0.01	<0.01	0.20	0.91
Ruminal digestion, % of intake									
OM	62.9	61.2	62.3	59.9	1.42	0.39	0.32	0.98	0.26
Starch	78.6	79.9	77.6	78.6	1.22	0.48	0.46	0.37	0.40
NDF	37.7	32.3	35.0	35.4	2.24	0.11	0.37	0.30	0.90
Feed N	54.4	67.1	63.1	63.0	2.51	<0.01	0.01	0.20	0.99
Microbial efficiency ^b	22.2	23.9	22.7	23.4	0.70	0.11	0.32	0.37	0.49
Protein efficiency ^c	0.99	1.00	0.98	1.05	0.033	0.95	0.61	0.66	0.17

Fecal excretion, g/d									
OM	57 9	644	552	561	17.0	0.02	0.28	<0.01	0.71
Starch	21	28	25	26	6.1	0.42	0.59	0.69	0.85
NDF	32 8	430	339	337	11.4	<0.01	0.42	<0.01	0.88
N	15	16	13	14	0.53	0.52	0.02	<0.01	0.51
GE, Mcal	2. 60	2.86	2.46	2.48	0.06 1	0.02	0.09	<0.01	0.83
Postruminal digestion, % leaving abomasum									
OM	58 .4	56.7	61.2	62.9	1.51	0.42	0.08	0.02	0.45
Starch	91 .4	88.3	90.8	91.8	1.92	0.28	0.95	0.24	0.74
NDF	14 .8	5.2	22.7	22.0	3.41	0.07	0.09	<0.01	0.89
N	73 .7	71.0	74.5	75.2	1.34	0.18	0.49	0.04	0.75
Total tract digestion, %									
OM	80 .2	77.9	81.1	80.8	0.41	<0.01	0.21	<0.01	0.53
Starch	98 .2	97.6	97.9	97.4	0.54	0.40	0.57	0.68	0.81
NDF	47 .2	35.9	49.9	49.8	1.13	<0.01	0.07	<0.01	0.99
N	73 .5	70.4	74.8	73.7	1.01	0.06	0.58	<0.01	0.48
DE (%)	79 .7	77.5	80.9	80.6	0.22	<0.01	0.04	<0.01	0.65
DE diet, Mcal/kg	3. 26	3.15	3.31	3.29	0.02 3	<0.01	0.08	<0.01	0.38
DE of straw. Mcal/kg ^d		1.91	2.68	2.61	0.01 2				

^a SG= sudangrass hay, STRW= ground wheat straw, MAC 600= macerated wheat straw at intensity of 600 psi (41,341 milibares), MAC 900 macerated wheat straw at intensity of 900 psi (62,011 milibares)

^b Duodenal microbial N, g kg⁻¹ OM fermented in the rumen.

^c Duodenal non-ammonia N, g · g⁻¹ N intake.

^d Calculated assuming a DE value of 2.46 Mcal / kg for sudangrass hay (NRC, 1996).

Table 3Treatment ^a effects on ruminal characteristics and ruminal kinetics of NDF in cannulated Holstein steers (142 kg BW).

Item	SG	Wheat straw			EEM	P value			
		ST RW	MAC 600	MAC90 0		SG vs. STRW	SG vs. MAC	STRW vs. MAC	MAC600 vs. MAC900
Ruminal pH ^b	6.24	6.15	6.20	6.22	0.16 3	0.44	0.57	0.55	0.88
Ruminal characteristics									
Total content (kg)	20.8	19.0	21.6	23.5	2.51	0.84	0.79	0.45	0.81
DM (%)	9.24	15.5 5	9.37	8.94	1.27 2	0.03	0.99	0.02	0.98
Solids (g)	1,77 1	2,96 0	2,006	2,013	157. 4	<0.01	0.65	0.02	0.99
NDF (g)	763	141 6	1045	968	62.2	<0.01	0.13	0.01	0.80
NDF kinetics (%/h)									
k _p	2.12	1.34	1.80	1.82	0.09 1	<0.01	0.20	0.05	0.99
k _d	1.30	0.64	0.99	1.11	0.10 3	0.02	0.38	0.09	0.83

^a SG= sudangrass hay, STRW= ground wheat straw, MAC 600= macerated wheat straw at intensity of 600 psi (41,341 milibares), MAC 900 macerated wheat straw at intensity of 900 psi (62,011 milibares)

^b Measured at 4-h posprandium (morning meal).

EXPERIMENTO II

Running head: Mechanical maceration on digestion of sudangrass hay

Digestion and energy value of macerated sudangrass hay used in growing-finishing diets for feedlot cattle

Alejandro Plascencia Jorquera^{1*}, José Gerardo Serrano Ponce¹, Berenice Sánchez-Mendoza¹, Alberto Barreras Serrano¹, José Fernando Calderón-Cortés¹, María Alejandra López-Soto¹, Martín Francisco Montaña Gómez¹, y Richard Avery Zinn²

¹ UABC/Inst. de Investigaciones en Ciencias Veterinarias - Mexicali, Baja California- 21386-México.

² UC Davis/Dept. of Animal Science-Davis 95616- USA.

Corresponding author <alejandro.plascencia@uabc.edu.mx>

Enviado al Journal of Scientia Agricola. Ref # MS-284/10

ABSTRACT: Four Holstein steers (172 ± 8 kg) with cannulas in rumen and proximal duodenum were used to evaluate the process of mechanical maceration of sudangrass hay on the characteristics of ruminal and total tract digestion. Treatments consisted of a steam-flaked corn-based growing diet supplemented with 21% forage (DM basis) as: 1) wheat straw (STRW), 2) sudangrass hay (SG), 3) macerated SG at intensity of 600 psi (MAC600) and 4) macerated SG at intensity of 900 psi (MAC900). All forages were ground to pass through a 3.8 cm screen before incorporation into complete mixed diets (21:79 forage to concentrate ratio). Maceration did not affect ($p \geq 0.17$) on site and extent of OM, N and ADF, and DE of sudangrass supplemented diets. Characteristics of ruminal digestion of OM, ADF, starch, as well as, microbial efficiency (microbial N, g/kg of OM fermentad) and protein efficiency (nonammonia N, g/g of N intake) were not different ($p \geq 0.11$) for wheat straw versus sudangrass supplemented diets. However, total tract digestion of OM, ADF, N, and DE diet were greater ($p \leq 0.05$) for sudangrass than for wheat straw supplemented diets. Using the replacement technique, DE value of SG averaged 2.29 Mcal/kg, very close to the expected value given its chemical composition. Mechanical maceration did not enhance the feeding value of sudangrass hay. Increase the intensity of maceration from 600 to 900 psi did not altered ruminal or total tract digestion of OM, NDF or energy value of processed hay.

Key words: *Sorghum sudanense*, feed value, maceration, steers, forages.

Digestão e valor energético do feno de capim-sudão maceradas utilizados em dietas de crescimento e terminação de bovinos em confinamento

RESUMO: Quatro novilhos Holstein com cânulas em rúmen e duodeno proximal (172 ± 8 kg) foram utilizados para avaliar o processo de maceração de feno de capim-sudão sobre as características da digestão e na função ruminal. Os tratamentos consistiram de uma floclulação, em dieta à base de milho cresce com forragem de 21% (base MS) como: 1) palha de trigo (STRW), 2) feno de capim-sudão (SG), 3) SG maceradas com intensidade de 600 psi (MAC600) e 4) maceradas SG na intensidade de 900 psi (MAC900). Todas as forrageiras foram moídas para passar por uma tela de 3,8 cm antes de sua incorporação completa dietas mistas (21:79 volumoso: concentrado). Não houve diferença ($p \geq 0.17$) no local e extensão da OM, N e digestão da ADF entre SG e SG maceradas. Características da digestão ruminal da MO, FDA, amido, bem como a eficiência microbiana (MN, g / kg de MO fermentad) e eficiência protéica (NAN, g / g de N consumido) não foram diferentes ($p \geq 0.11$) para o trigo palha versus capim-sudão. No entanto, a digestão trato total da MO, FDA, N, e maiores DE da dieta ($p \leq 0.05$) para Capim Sudão para que dietas suplementadas com palha de trigo. Usando a técnica de substituição, o valor de DE SG média 2,29 Mcal / kg, muito próximo do valor esperado, dada a sua composição química. Maceração mecânica não aumentar o valor nutritivo do feno de capim-sudão. Aumentar a intensidade de maceração 600-900 psi não alterou a digestão ruminal do trato ou total de MO, FDN ou valor energético do feno processado.

Palavras-chave: *Sorghum sudanense*, valor nutricional, maceração, novilhos, forrageiras

Introduction

Mechanical maceration was initially developed to enhance drying rate and reduce selective leaf loss of freshly cut alfalfa (*Medicago sativa*; Hong et al., 1988; Shinnars et al., 1988; Broderick et al., 1999). However, maceration applications have also been developed to enhance site and extent of digestion of low-moisture, low-quality forages such rice straw (Torreterra et al., 2000, Plascencia et al., 2007), and the improvements in digestion and in digestible energy due to maceration may be more pronounced when the level of inclusion of macerated straws in growing-finishing diets is moderated (~20%; Torreterra et al., 2000). The latter process consists of sets of opposing corrugated rolls maintained within set tolerances of each other using hydraulic pressure. Opposing rolls turning at differential speeds, crush and stretch the fiber, but forage remains otherwise, intact. Indentation during maceration greatly alters the structural integrity and density of the fiber, promoting microbial attachment, digestion and fast passage rate of fiber in high-quality high-moisture forage (Hintz et al., 1999). However, very little information is presently available regarding the efficacy of mechanical maceration on digestion of grasses. In a preliminary study with lambs (Petit et al., 1994), maceration increased *in situ* ruminal DM, fiber digestion and total tract digestible energy of freshly cut timothy grass. However, in a subsequent study (Petit et al., 1997) *in situ* digestion was not affected by maceration of timothy grass. In contrast, Chiquette et al. (1994) reported decreased digestibility of OM, and NDF for macerated vs. conventional timothy hay when fed as the sole ingredient to mature beef steers. Maceration intensity may be a reason for these inconsistencies. In these sense, Agbossamey et al. (2000) reported that total tract digestion of DM and fiber decreased linearly ($p < 0.01$) with the level of intensity of maceration of freshly cut alfalfa.

In northwestern of Mexico, typical growing-finishing diet containing from 15 to 25% of forage and sudangrass hay is a primary source of forage used.

The objective of this experiment was to evaluate the effects of mechanical maceration of sudangrass hay on comparative site and extent of nutrient digestion in cannulated Holstein steers fed a growing-finishing diet containing 21% of forage.

Materials and Methods

The trial was conducted at the Ruminant Metabolism Experimental Unit of the Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias of the Universidad Autónoma de Baja California located 10 km south of Mexicali City in northwestern México (32° 40' 7"N and 115° 28' 6"W) is about 10 m above sea level, and has Sonoran desert conditions (BWh classification according Köppen). All procedures involving live animals were conducted within the guidelines of approved local official techniques of animal care.

Four Holstein steers (172 ± 8 kg) with ruminal (80 mm diameter; Alvarez and Zinn, 2001) and duodenal cannulas (Zinn and Plascencia, 1993) were used in a 4 × 4 Latin square experiment design to evaluate the influence of maceration of sudangrass hay on the characteristics of ruminal and total tract digestion. Experimental diets were total mixed ration (TMR) and contained (DM basis) 64.0% steam-flaked corn, 7.0% cane molasses, 3.7% fat, 1.4% urea, 1.4% limestone, 0.4% trace mineralized salt, 0.3% chromic oxide (Cr₂O₃), and 21% forage as: 1) wheat straw (STRW), 2) sudangrass hay (SG), 3) macerated SG, tension of the rollers was adjusted to provide pressure of 600 psi (MAC600) and 4) macerated SG, tension of the rollers was adjusted to provide pressure of 900 psi (MAC900). All forages were ground to pass through a 3.8-cm screen before incorporation into complete mixed diets. Cr₂O₃ was used as an indigestible marker to estimate

nutrient flows and digestibility. Chromic oxide was premixed with minor ingredients (urea, limestone and trace mineral salt) before incorporation into complete mixed diets to reach a final concentration of 0.3%. The Cr_2O_3 concentration measured, according to the technique described by Hill and Anderson (1958), was $0.00289 \pm 6.75 \times 10^{-6}$ g/kg of diet DM in close agreement with the targeted 0.0030 g/kg diet, and therefore, daily intake of Cr_2O_3 averaged 11.04 ± 0.47 g during experiment. All animals began to consume Cr_2O_3 10 days before starting the experiment. The macerator machine is a prototype and was designed and built jointly by staff of Universidad Autónoma de Baja California and University of California, Davis. Sudangrass (*Sorghum sudanense*) was harvested, from the second growth, field cured for 6 days, and baled using rectangular-bale baler equipment (New Holland, model 575). The bales were stored for 8 months before use in this study. Wheat straw (*var.* Rio Colorado C2003) was baled (New Holland, model 575) following grain harvest and stored for one month before its use in this study. In order to facilitate the tearing of the fiber, sudangrass hay was moistened by spraying with the addition of 10% water (w/v) before introduction into the macerator. The maceration processing (MAC) consisted of a single passage of moistened sudangrass hay throughout two corrugated rolls (20 x 68 cm) set at 0.0 mm clearance with differential speed of opposing rolls of 8 rpm (7×10^{-3} g). Speeds of rolls were 20 rpm (45×10^{-3} g) and 28 rpm (88×10^{-3} g). The roll pressures used were 600 psi (equivalent to 41,341 milibares, MAC600) and 900 psi (equivalent to 62,011 milibares, MAC900). All forage treatments were ground in a hammer mill (Bear Cat #1A-S, Westerns Land and Roller Co., Hastings, NE) with a 3.8-cm screen before incorporation into complete mixed diets.

Steers were housed (indoors facilities) in individual pens (3.9 m^2) with concrete floor covered by neoprene carpet, automatic waterers and individual feed bunk. All steers received straw treatment (Treatment 1) for 10 days before initiation of the trial. Dry matter intake was

restricted to 3.83 kg/d (90% of *ad libitum* intake by steers at start of the experiment). Diets were fed in two equal proportions at 0800 and 2000 h daily. Experimental periods consisted of a 10-d diet adjustment period followed by a 4-d collection period. During the collection period duodenal and fecal samples were taken from all steers, twice daily as follows: d 1, 0750 and 1350; d 2, 0900 and 1500 h; d 3, 1050 and 1650; and d 4, 1200 and 1800 h. Individual samples consisted of approximately 500 mL duodenal chyme and 200 g (wet basis) of fecal material. Samples from each steer and within each collection period were composited for analysis. During the final day of each collection period, a ruminal sample was obtained from each steer 4 h after feeding via the ruminal cannula. Ruminal fluid was taken from ruminal ventral sac by vacuum pump (Cole Parmer Instrument, Vernon Hill, IL) using a tygon tube ($\frac{3}{4}$ " ; USP Lima, Ohio), and pH was determined (Orion 261S, Fisher Scientific, Pittsburgh, PA.) on fresh samples. Upon completion of the trial, ruminal fluid was obtained from all steers and composited for isolation of ruminal bacteria via differential centrifugation (Bergen et al., 1968). The microbial isolate served as the purine:N reference for estimation of microbial N contribution to chyme entering the small intestine (Zinn and Owens, 1986). Samples were subjected to all or part of the following analysis: DM (oven drying at 105 °C until no further weight loss; method 930.15, AOAC, 2000); ash (method 942.05, AOAC, 1986); Kjeldahl N (method 984.13, AOAC, 2000), ammonia N (method 941.04, AOAC, 2000); purines (Zinn and Owens, 1986); gross energy (GE; adiabatic calorimeter bomb, model 1271, Parr, Moline, IL), ADF (Goering and Van Soest, 1970), and starch (Zinn, 1990). Microbial organic matter (MOM) and N (MN) leaving the abomasum were calculated using purines as a microbial marker (Zinn and Owens, 1986). Organic matter fermented in the rumen (OMF) was considered equal to OM intake minus the difference between the amount

of total OM reaching the duodenum and MOM reaching the duodenum. Feed N escape to the small intestine was considered equal to total N leaving the abomasum minus ammonia-N and MN and, thus, includes any endogenous contributions. The comparative digestible energy (DE, Mcal/kg) values for tested forages were estimated using the replacement technique (Plascencia and Zinn, 2002). It was assumed that the DE values of STRW is equal to the corresponding DE value of SG it replaced plus the change in the content in the complete diet brought about by the replacement. Given that the DE value of STRW is 1.80 Mcal/kg (NRC, 1996), the DE values of sudangrass treatments were estimated as follow: DE, Mcal/kg of sudangrass = [(DE of test sudangrass diet - DE of straw diet)/0.21] + 1.80. The constant 0.21 represents the amount of forage in the diet. The trial was analyzed as a 4 × 4 Latin square design using the MIXED procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Fixed effect consisted of treatment, and random effects consisted of steer and period. Treatment effects were tested for the following orthogonal components: 1) STRW vs. SG; 2) SG vs. MAC, and 3) MAC600 vs. MAC900. Forage composition data was submitted to analysis of variance and F test, to investigate differences among forage fractions (N, ADF and ash). Variables with significant variances were submitted to Tukey test ($p < 0.05$) for mean comparisons. Contrasts were considered significant when the P -value was ≤ 0.05 , with a P -value between $P > 0.05$ and $P \leq 0.10$ considered as a tendency approaching significance.

Results and Discussion

Nutrient composition and density of forages used in this study are shown in Table 1. As expected (NRC, 1996; Torrentera et al., 2000), sudangrass contained ($p < 0.01$) 64.6% more N and 18.9% less ADF than straw. The Maceration of sudangrass tended ($p = 0.09$) to increased fiber content (4.1%) and increased ($p < 0.01$) ash value. N content of sudangrass hay was not affected by

maceration. Changes in composition of N and fibrous fractions have been observed following maceration of freshly cut legumes. This effect was presumably the result of leaf loss (Agbossamey et al., 2000), and loss of soluble cellular material during processing and handling of freshly cut forage (Lu et al., 1980). However, the tendency to increase on fiber and ash content in macerated hay is more apparent than real, and in agreement with Petit et al. (1994), these differences can be attributed to sampling procedures rather than the process of maceration.

Treatments effects on digestive function are shown in Table 2. As a result of different chemical composition from SG treatments and STRW (Table 1), the average ADF intake was lower (12.8%, $p < 0.01$) and N intake was higher (8.3%, $p < 0.01$) for SG treatments.

Ruminal digestion of OM and starch were similar ($p \geq 0.11$) between SG and STRW. Measures of ruminal ADF digestion, ruminal microbial efficiency and ruminal N efficiency were not different ($p \geq 0.27$) for SG vs. STRW. Ruminal digestion of feed N was lower (15.4%, $p = 0.03$) for SG than for STRW. Torrentera et al. (2000) observed greater (19%) ruminal fiber digestion, and lower (12%) ruminal N digestion (11.6%) in growing-finishing diets (20% forage) supplemented with ground sudangrass hay versus rice straw. However, in a comparison of ground sudangrass hay vs. ground wheat straw in growing-finishing diets containing 14% forage, Plascencia et al. (2007) did not detect differences ($p = 0.08$) in ruminal fiber and N digestion. Consistent with previous studies (Moore, 1990; Torrentera et al., 2000; Plascencia et al., 2007), total tract digestion of OM (2.7%, $p < 0.01$), ADF (20.1%, $p < 0.01$) and N (5.2%, $p < 0.01$) were greater for SG than for STRW.

Ruminal digestion of OM, ADF and starch were not different ($p \geq 0.46$) for SG and MAC. To our knowledge, no comparable information about the impact of maceration on in vivo ruminal digestion of macerated grass hay is available in the literature. In a preliminary study (Petit et al.,

1994), maceration increased *in situ* ruminal DM and fiber digestion of freshly cut timothy grass. However, in a subsequent study (Petit et al., 1997) *in situ* digestion was not affected by maceration of timothy grass.

Total tract digestibility of OM, ADF, N and starch were not different ($p \geq 0.17$) for SG vs. MAC. Likewise, Petit et al. (1997) reported no effect of maceration on total tract OM and fiber digestion of timothy hay. In contrast, Hong et al. (1988) and Petit et al. (1994) reported greater total tract OM digestion for macerated vs. conventional timothy grass hay. Chiquette et al. (1994) reported decreased digestibility of OM, and NDF for macerated vs. conventional timothy hay when fed as the sole ingredient to mature beef steers. The variation in results of macerated timothy hay on ruminal digestion of OM and NDF is not clear. In these studies, the maceration process was carried out with freshly cut forage and at different stages of maturity (early head stage, 10% of head stage or flowering stage), and therefore with different moisture content at time of processing. Furthermore, different drying processes were utilized after that forage was macerated (forced-air-dried or field dried). These conditions could be the main reason for variation in results observed between these studies. Another possibility is the level of forage inclusion. In studies conducted with macerated straw, inclusion at a level of 14% improved digestion (Plascencia *et al.*, 2007), inclusion at 40%, reduced it (Lopez-Soto *et al.*, 2006); while as it happened in present study inclusion at 20% of macerated straw, did not show differences (Torentera *et al.*, 2000).

Intensity of the maceration process (MAC600 vs. MAC900) did not affect ($p \geq 0.28$) measures of site and extent of digestion. Agbossamey et al. (2000) reported that total tract digestion of DM and fiber decreased linearly ($p < 0.01$) with the level of intensity (one, two or three passages

through three knurled steel rolls) of maceration of freshly cut alfalfa under poor drying conditions (precipitation in first 48-h). Increases in alfalfa content of NDF and ADF with more intensive mechanical conditioning may be explained partly by leaf shatter, partly by enhanced leaching under rainy conditions (Savoie et al. 1993) and partly by increased respiration during prolonged wilting (Kraus et al. 1998). These losses tend to be greater in the leaf and non-fibrous fractions (cell content), thereby resulting in higher final fiber content, and a lower digestion of DM. Contrary to the present study, the study conducted by Agbosammey et al. (2000) did not specified the pressure exerted between rollers and the "intensity" was means by the number of times that the freshly cut alfalfa was passed through the rollers.

Maceration did not affect ($p = 0.38$) DE value of sudangrass hay supplemented diets. Accordingly to the replacement technique, the DE values of sudangrass treatments averaged 2.29 Mcal/kg (2.37, 2.28 and 2.23 Mcal/kg, for SG, MAC600 and MAC9000, respectively). This value is 0.93 the tabular DE value (NRC, 1996), and 0.99 of expected DE value based on its ADF content of $[DE, \text{Mcal/kg} = ((59.2 + 1.32 \cdot \text{ADF}\%) - (0.0338 \cdot \text{ADF}^2)) \cdot 0.04409]$; Rohweder et al., 1978]. Petit et al. (1997) reported no effect of maceration of timothy hay on diet DE. In contrast, higher values of digestibility energy content of forage were reported by Hong et al. (1988) and Petit et al. (1994) for sheep fed macerated hay compared with conventional hay.

Conclusions

At the level of forage inclusion (21%) in this study, the energy value of medium-quality hay (such sudangrass hay) did not enhanced by mechanical maceration. Increase the intensity of maceration from 600 to 900 psi did not altered ruminal or total tract digestion of OM, NDF or energy value of processed hay. This circumstance may be by the physical and chemical

characteristics of plant vascular tissue. The sudangrass hay has 16% less ADF, and accordingly to previous reports (NRC, 2006; Lopez-Soto et al., 2006) 32% higher passage rate than straw. This makes that the hay grasses compared to straws respond differently to the maceration process. Further studies with different types of forages and with different levels of inclusion are needed to better define the effects of mechanical maceration process on the feed value of forages.

Acknowledgements

The authors thank Mr. Francisco Rivero, Ganadera EFRAL, Mexicali, México and the Secretaría de Fomento Agropecuario de BC, which partially support the study through the grants “Fondo Alianza para el Campo”.

References

- Agbossamey, Y.R.; Savoie P.; Petit, H.V. 2000. Effect of intensity of maceration on digestibility and intake of alfalfa hay and silage fed to sheep. *Canadian Journal of Animal Science* 80:113-121.
- Álvarez, E.G.; Zinn, R.A. American Society of Animal Science [ASAS]. 2001. Development of a low-cost, easy-to-assemble, and durable ruminal cannula for cattle. p 539-540. *Proceeding Western Section American Society of Animal Science* 52. Ft. Collins. CO, USA.
- Association of Official Analytical Chemists-International [AOAC]. 2000. *Official Methods of Analysis*. 17ed. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
- Bergen, W.G.; Purcer, D.B.; Cline, J.H. 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *Journal of Animal Science* 27:1497-1501.
- Broderick, G.A.; Koegel, R.G.; Mauris, M.J.C.; Schneeberger, E.; Krause, T.J. 1999. Effect of feeding macerated alfalfa silage on nutrient digestibility and milk yield in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82:2472-2485.
- Chiquette, J.; Savoie, P.; Lirette, A. 1994. Effects of maceration at mowing on digestibility and ruminal fermentation of timothy hay in steers. *Canadian Journal of Animal Science* 74: 235–242.

- Goering, H. K.; VanSoest, P.J. 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications). USDA, ARS, Washington, D.C. USA. (Agriculture Handbook 379).
- Hill, F.N.; Anderson, D.L. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. *Journal of Nutrition* 64:587-594.
- Hintz, R.W.; Koegel, R.G.; Krause, T.J.; Mertens, D.R. 1999. Mechanical maceration of alfalfa. *Journal of Animal Science* 77:187-193.
- Hong, B.J.; Broderick, G.A.; Panciera, M.P.; Koegel, R.G.; Shinnors, K.J. 1988. Effects of shredding alfalfa stems of fiber digestion determined by *in vitro* procedures and scanning electron microscopy. *Journal of Dairy Science* 71:1536-1545.
- Lu, C.D.; Jorgensen, N.A.; Barrington, B.P. 1980. Intake, digestibility, and rate of passage of silages and hay from wet fractionation of alfalfa. *Journal of Dairy Science* 63: 2051-2059.
- Moore, J.A.; Poore, M.H.; Swingle, R.S. 1990. Influence of roughage source on kinetics of digestion and passage, and on calculated extents of ruminal digestion in beef steers fed 65% concentrate diets. *Journal of Animal Science* 68:3412-3420.
- National Research Council [NRC]. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7ed. National Academy of Press, Washington D.C., USA.
- Petit, H.V.; Savoie, P.; Tremblay, D.; Dos Santos, G.T.; Buttler, G. 1994. Intake, digestibility, and ruminal degradability of shredded hay. *Journal of Dairy Science* 77:3043-3050.
- Petit, H.V.; Tremblay, G.F.; Savoie, P. 1997. Performance of growing lambs fed two levels of concentrate with conventional or macerated timothy hay. *Journal of Animal Science* 75:598-603.
- Plascencia A.; Lopez-Soto, A.M.; Montaña, M.F.; Serrano, J.; Ware, R.A.; Zinn, R.A. 2007. Influence of surfactant supplementation and maceration on the feeding value of rice straw in growing-finishing diets for Holstein steers. *Journal of Animal Science* 85:2575-2581.
- Plascencia, A.; Zinn, R.A. 2002. Evaluation of a forage:fat blend as an isocaloric substitute for steam-flaked wheat in finishing diets for feedlot cattle: Growth-performance and digestive function. *The Professional Animal Scientist*. 18:247-253.
- Rohweder, D. A.; Barnes, R.F.; Jorgensen, N.A. 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science* 47:747-759.
- SAS Institute. 2009. SAS/STAT[®] 9.2 User's Guide, Second Edition. SAS Institute, Cary, NC, USA.

- Shinners, K. J.; Koegel, R.G.; Straub, R.J. 1988. Design considerations and performance of forage maceration devices. *Applied Engineering in Agriculture* 4:13-18.
- Torrentera, N.; Alvarez, E.G.; Zinn, R.A. American Society of Animal Science [ASAS] 2000. Influence of maceration on the feeding value of rice straw in growing-finishing diets of feedlot cattle. P. 496-499. *Proceeding Western Section American Society of Animal Science* 51. Davis, CA, USA.
- Zinn, R.A. 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 68: 767-775.
- Zinn, R.A.; Plascencia, A. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *Journal of Animal Science* 71:11-17.
- Zinn, R.A.; Owens, F.N. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal synthesis. *Canadian Journal of Animal Science* 66:157-164.

Table 1- Physiochemical characteristic of forages tested^A.

Item	STRW ^C	Sudangras hay ^B		
		SG	MAC600	MAC900
DM (%)	95.01±0.10	94.74±0.14	94.65±0.21	94.95±0.20
N (%)	0.40±0.03 ^D	1.13±0.02 ^E	1.12±0.03 ^E	1.13±0.02 ^E
ADF (%)	52.09±0.82 ^D	42.25±0.98 ^E	43.35±1.96 ^E	44.76±2.24 ^E
Ash (%)	11.05±0.47 ^D	9.63±0.34 ^E	10.79±0.47 ^D	10.68±0.40 ^D

^A Eight replicates/forage

^BSG= sudangrass hay, MAC 600 = macerated sudangrass intensity 600 psi, MAC 900= macerated sudangrass intensity 900 psi.

^CSTRW = wheat straw.

^{D,E} Rows with different literals differ (p<0.05)

Table 2- Influence of maceration of sudangras hay on site and extent of digestion in cannulated Holstein steers (173± 7.8 kg) fed a growing-finishing diet contained 21% of forage (Dry matter basis).

Item	Sudangrass hay ^A					P value		
	STRW ^B	SG	MAC600	MAC900	SEM	STRW vs. SG	SG vs. MAC	MAC600 vs. MAC900
Intake (g/d)								
DM	3,835	3,832	3,835	3,832	13.7	0.62	0.77	0.62
OM	3,569	3,578	3,571	3,569	12.8	0.57	0.83	0.88
Starch	1,447	1,447	1,447	1,446	1.1	0.99	0.99	0.92
ADF	543	463	473	484	4.1	<0.01	0.48	0.44
N	66	72	72	72	0.3	<0.01	0.99	0.99
GE, Mcal/d	15.59	15.69	15.68	15.63	0.57	0.13	0.95	0.27
Ruminal digestion (% intake)								
OM	56.18	58.71	57.74	57.83	1.341	0.11	0.46	0.95
Starch	79.68	77.59	77.66	78.96	1.961	0.39	0.72	0.59
ADF	25.54	29.99	26.70	28.66	2.893	0.32	0.54	0.65
Feed N	74.55	63.06	66.27	65.15	3.563	0.03	0.50	0.80
Microbial efficiency ^C	23.3	24.3	24.6	24.8	0.69	0.31	0.72	0.83
N efficiency ^D	0.97	1.03	1.02	1.03	0.27	0.11	0.91	0.89
Total tract digestion (%)								
OM	78.87	81.10	80.10	80.22	1.011	<0.01	0.17	0.87
Starch	97.51	98.26	97.82	97.70	1.51	0.18	0.26	0.75
ADF	32.91	41.22	38.15	42.18	2.94	0.04	0.73	0.28
N	73.08	77.08	77.80	76.76	1.353	<0.01	0.23	0.63
DE diet,%	78.04	80.57	79.89	79.96	0.945	0.02	0.38	0.93
DE diet, Mcal/kg	3.17	3.29	3.27	3.26	0.038	<0.01	0.26	0.85

^ASG= sudangrass hay, MAC 600 = macerated sudangrass intensity 600 psi, MAC 900= macerated sudangrass intensity 900 psi., ^BSTRW = wheat straw, ^C Microbial N, g/kg OM fermented, ^D Nonammonia N entering the small intestine, g/g N intake.