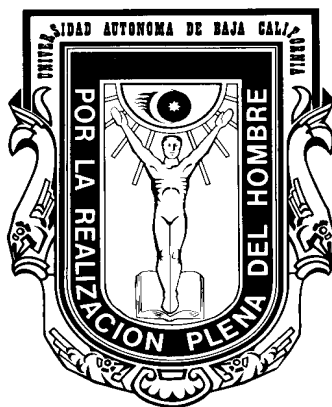


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
MAESTRIA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**



**EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL FORRAJE Y DESARROLLO
RUMINAL SOBRE LA DIGESTIÓN Y PASAJE DEL HENO DE ALFALFA EN
BECERROS HOLSTEIN**

**PRESENTA
JOSÉ JAIME LIRA SOLER**

**ASESOR:
Dr. ENRIQUE G. ÁLVAREZ ALMORA**

MEXICALI, B. C., 2008

La presente tesis titulada “**Efecto del tamaño de partícula del forraje y desarrollo ruminal sobre la digestión y pasaje del heno de alfalfa en becerros Holstein**”, realizada por el C. **José Jaime Lira Soler**; fue dirigida y asesorada por el **Dr. Enrique Gilberto Álvarez Almora**, siendo aceptada, revisada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCION ANIMAL

Consejo Particular

PRESIDENTE

Dr. Enrique Gilberto Álvarez Almora

SINODAL

M.C. Juan Rodríguez García

SINODAL

Dra. Noemí G. Torrentera Olivera

“POR LA REALIZACION PLENA DEL HOMBRE”

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México; Febrero de 2008

AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado con el cual me fue posible realizar esta maestría.
- A la Universidad Autónoma de Baja California y al Instituto de Ciencias Agrícolas por permitirme seguir con mi superación personal y académica.
- Al Dr. Enrique G. Álvarez Almora por ser el director del presente trabajo, por sus enseñanzas y por su amistad.
- Al M.C. Juan Rodríguez García y a la Dra. Noemí Torrentera Olivera por su valiosa cooperación en el presente trabajo, por la amistad brindada y a su excelencia educativa y personal.
- A PhD. Willem Sauer, PhD. Adolfo Pérez Máquez, Dr. Miguel Cervantes Ramírez, Dr. Leonel Avendaño por su contribución a mi formación, apoyo y amistad brindado durante mi estancia en esta casa de estudios.
- A las responsables del Laboratorio de Nutrición Animal M.C. Esmeralda Rodríguez y Graciela Ortiz por su amistad y colaboración en los análisis químicos de este experimento, al igual que a Sandra Rojas y Nadya Angulo por su apoyo y amistad.
- A los trabajadores Regalado y Alonso con quien compartí muchos días de mutuo trabajo y amistad, así mismo a todos los colaboradores del ICA que me hicieron sentir como en casa durante mi estancia.
- A mis amigos y compañeros de postgrado Agustín Corpus, Gerardo Serrano, Rafael, Vite, Janer, Rolando, Paco, Mario, Juan Augusto, José Luis, Alfonso, Salvador, Juan, Ulises, Rubén, Sabas, Víctor, Jorge L., entre muchos mas con quienes compartí momentos inolvidables, gracias por ofrecerme su amistad y consejos en su momento oportuno.
- Especial agradecimiento al Lic. Rubén Cervantes López por su gran apoyo, dirección y amistad que me permitió comenzar esta etapa de preparación profesional.
- A los MVZ. Rogelio Vera Fomperoza y Ofelia Marina Cadena, Lic. Blanca Lagunes, C.P. Laura y especialmente a Raquel por su amistad y a todos mis compañeros en Veracruz por apoyo moral.

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y las oportunidades para superarme día a día.

A mis padres Jaime Lira Durante y Bertha Soler Leal por darme la vida y por darnos a mi y a mis hermanos siempre las herramientas y el apoyo necesario para superarnos y alcanzar nuestros objetivos en la vida, no omitiendo todos los esfuerzos que implica el sacarnos adelante.

A mis hermanos Araceli, Rafael, Sandra, Verónica, Clara, Ariadna, Ángeles y Fátima, por todo su apoyo ya que juntos siempre tendremos fortaleza como familia y juntos lograr nuestras metas; así mismo a mis sobrinos Lupita, Mauricio, Lilia, Mariana, Sergio, Carlos, Sarahi, Luis, Santiago y Sandra., y a José Luis, Mauricio y Eva.

Especialmente a mi esposa Gaby, por su amor y que a pesar de la distancia compartimos y vivimos intensamente cada momento juntos, a la vez que ha sido amiga y compañera en mi vida y testigo de mi crecimiento profesional. Te Amo
Flaquita Hermosa.

Para mis amigos René, Jesús y Carlos con quien siempre he compartido todo lo bueno y no tan bueno de la vida.

CONTENIDO

CONSEJO PARTICULAR.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
CONTENIDO.....	V
INDICE DE CUADROS.....	VI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO.....	2
III. HIPÓTESIS.....	2
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
4.1. Estructura anatómica de las plantas y su relación sobre su digestión.....	3
4.2. Hidrólisis de las paredes celulares del forraje en el rumen.....	4
4.3. Digestión comparativa de alfalfa versus gramínea.....	5
4.4. Forma física del alimento y su efecto en el desarrollo ruminal.....	6
4.5. Estímulo de los ácidos grasos volátiles y fibra sobre el desarrollo y funcionalidad del epitelio ruminal.....	8
4.6. Fibra efectiva (eFDN).....	9
V. MATERIALES Y METODOS.....	12
5.1. Localización.....	12
5.2. Concentrado.....	13
5.3. Tratamientos.....	14
5.4. Muestreo.....	15
5.5. Análisis de muestras.....	16
5.6. Variables estimadas.....	17
5.7. Diseño experimental.....	17
VI. RESULTADOS.....	18
VII. CONCLUSIONES.....	30
VIII. LITERATURA CITADA.....	31

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición del concentrado del experimento I.	13
Cuadro 2.	Composición del concentrado del experimento II.	14
Cuadro 3.	Periodo de recolección de muestras.	15
Cuadro 4.	Consumo y flujo de nutrientes a duodeno en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa de tres diferentes tamaños de partícula.	19
Cuadro 5.	Consumo y flujo de nutrientes a duodeno en novillos Holstein alimentados con heno de alfalfa de tres diferentes tamaños de partícula.	20
Cuadro 6.	Digestión ruminal, postruminal y total en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa con diferente tamaño de partícula.	23
Cuadro 7.	Digestión ruminal, postruminal y total en novillos Holstein alimentados con heno de alfalfa con diferente tamaño de partícula.	24
Cuadro 8.	Efecto del tamaño de partícula del heno de alfalfa sobre la cinética de digestión en becerros Holstein.	27
Cuadro 9.	Efecto del tamaño de partícula del heno de alfalfa sobre la cinética de digestión en novillos Holstein.	28
Cuadro 10.	Efecto de la forma física del forraje sobre la producción de AGV's en becerros alimentados con heno de alfalfa.	30
Cuadro 11.	Efecto de la forma física del forraje sobre la producción de AGV's en novillos alimentados con heno de alfalfa.	30

I. INTRODUCCIÓN

El subdesarrollo del retículo-rumen y omaso, la presencia del canal retículo-esofágico, y un aceptable desarrollo enzimático en abomaso e intestino son característicos en los pre-rumiantes que les permite subsistir por corto tiempo a dietas lácteas ó sustitutos (Longenbach y Heinrichs, 1998; Van Soest, 1994). Debido al cambio en la digestión enzimática dado por el tracto, bajo el animal esta obligado a realizar una transición eficiente de no rumiante a rumiante al consumir alimentos sólidos, con mayor contenido de fibra y tamaño de partícula (Church, 1988; Gabler et al., 2000) desencadenando el comienzo del desarrollo ruminal en volumen y funcionalidad, el cuál en el caso de bovinos se completa totalmente entre los seis y nueve meses de edad (Church et al., 2002). Se ha demostrado que el adecuado contenido de FDN y el tamaño de partícula en la ración influyen directamente sobre la salud, metabolismo animal, fermentación y utilización ruminal. La relación de las características físicas de la ración con factores de fermentación y metabolismo es cuantificable a través de la efectividad física de la fibra FDN (Mertens, 1997).

Es posible que el desarrollo del rumen conjugado con la forma física de la dieta, pudieran tener efecto sobre la digestión y tasa de pasaje de nutrientes del forraje hacia el tracto posterior en diferente etapa de crecimiento en rumiantes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tamaño de partícula del forraje y desarrollo ruminal sobre la digestión y pasaje del heno de alfalfa en dos etapas del crecimiento de becerros Holstein.

II. OBJETIVO

Evaluar el efecto del desarrollo ruminal y tamaño de partícula del forraje sobre la digestión y pasaje del heno de alfalfa en dos etapas del crecimiento de becerros Holstein.

III. HIPÓTESIS

El desarrollo ruminal y la forma física de la dieta, inducen efectos diferentes sobre la digestión y tasa de pasaje de nutrientes del forraje hacia el tracto posterior en dos etapas de crecimiento en rumiantes.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Estructura anatómica de las plantas y su relación sobre su digestión

Se ha podido observar que la anatomía de la planta está diseñada principalmente para los sucesos competitivos en su nicho ecológico particular y no en base a su calidad nutricional (Rupper et al., 2003). Fundamentalmente, cada célula de las plantas superiores está envuelta en una pared lignocelulósica, representa la mayor parte de la biomasa vegetal y es el principal sustrato alimenticio para los animales. La composición química de las paredes celulares comprende aproximadamente 90% polisacáridos y 10% glicoproteínas. En términos generales, la biomasa vegetal está compuesta de 23% lignina, 40% celulosa y 33% hemicelulosa (Cornu, 1994).

El consumo y la digestibilidad de la materia seca del forraje son influenciados por la proporción de paredes celulares y la resistencia del forraje y estructuras fibrosas a la disminución del tamaño de partícula durante la masticación y digestión (Wilson et al., 1998; Wilson y mertens, 1995), además, la calidad del forraje afecta la actividad fibrolítica de los microorganismos ruminales, la cuál está restringida cuando se administran forrajes de mala calidad, repercutiendo en la adhesión bacteriana y la actividad enzimática, pero la extensión de estos efectos depende de las características químicas y anatómicas de las paredes celulares de las plantas utilizadas como sustrato (Yang et al., 2002).

4.2. Hidrólisis de las paredes celulares del forraje en el rumen

Por muchos años una gran variedad de disciplinas han investigado el proceso por medio del cuál las bacterias, hongos y protozoarios degradan los sustratos lignocelulósicos abundantes en la naturaleza ante la posibilidad de convertirlos por acción enzimática en productos útiles tales como biomasa microbiana que sea aprovechable por el animal y mejorar su comportamiento productivo (Besle y Cornu, 1994; Chen et al., 2002).

Los polisacáridos son componentes estructurales de la pared celular de las plantas, están compuestos de celulosa en un 40%, hemicelulosa en 33% y 23% de lignina por unidad de peso seco (Besle y Cornu, 1994) y son una fuente potencial de energía para los herbívoros; sin embargo, las enzimas endógenas de los mamíferos son incapaces de hidrolizar los componentes de los alimentos fibrosos, por lo tanto, estos animales dependen de los microorganismos ruminales capaces de hidrolizar y fermentar los componentes estructurales de los sustratos lignocelulósicos hasta moléculas simples que son utilizados por el rumiante hospedero (Akin, 1989; Nozière et al., 1999).

La hidrólisis de los polímeros complejos de lignina requiere de la interacción de un gran número de actividades enzimáticas y por lo tanto de microorganismos involucrados en este fenómeno (Morgavi et al., 1994). La capacidad de hidrólisis por las enzimas producidas por los microorganismos ruminales depende de la localización de éstos en el ecosistema rumen; se encuentran dos grupos de microorganismos reconocidos en el rumen: los microbios adheridos al sustrato sólido y los que se encuentran en la fase líquida (Williams et al., 1989; McAllister,

1994); la subpoblación no adherente subsiste en la fase líquida consumiendo sustratos solubles. En el ecosistema rumen, los carbohidratos son obtenidos de la dieta del rumiante y potencialmente disponibles para los microorganismos, las investigaciones previas con microbios ruminales indican que su dominancia en rumen esta fuertemente influenciada del tipo de dieta que reciba el rumiante (Williams et al., 1989).

4.3. Digestión comparativa de alfalfa versus gramínea

Al comparar dietas que utilizaron diferentes proporciones de alfalfa y gramíneas (Switchgrass: *Panicum virgatum* L. y pasto Orchard: *Datylis glomerata* L.) ofrecidas a novillos, Prigge et al. (1990) reportó que no hubo diferencias ($P > .10$) en la digestibilidad de la materia seca (MS) aunque el consumo de MS se incrementó linealmente ($P < .10$) cuando la proporción de alfalfa fue incrementada; por otro lado, en un estudio realizado en ganado lechero alimentado con dietas a base de pasto orchard y alfalfa, Solaiman (1990) encontró una mayor digestibilidad de la MS ($P < .05$) para el pasto orchard que para alfalfa; la diferencia en los resultados de digestibilidad de MS obtenidos en investigaciones previas, independientemente del tipo de animal consumidor, se explica en mayor razón debido a que la estructura y composición química de las paredes celulares de las plantas varía con la especie de interés y la edad de la planta; y ya que ésta última es inversamente proporcional a la tasa de digestión de la fibra, es conveniente considerarla como factor importante al realizar estudios comparativos de digestión entre leguminosas y gramíneas forrajeras (Van Soest, 1968; Carro y Miller, 1999).

Estudios comparativos de la digestión de la fracción fibrosa de la alfalfa y gramíneas han demostrado que la variación en la relación de la calidad nutritiva y digestión se debe a la diferencia en la proporción relativa de la celulosa, hemicelulosa y lignina, la composición de monosacáridos y la forma cristalina de la celulosa en ambos tipos de forrajes, por lo que se reporta mayor digestibilidad de los componentes fibrosos (FDN y FDA) de las gramíneas que para alfalfa (Prigge et al., 1990; Wilson et al., 1998). En cuanto a la digestibilidad de la proteína cruda, los trabajos realizados en ganado lechero han reportado mayor digestibilidad de las dietas en base a alfalfa que en dietas en base a gramíneas ($P < .05$) por efecto del relativo alto contenido de PC presente en la alfalfa (Prigge et al., 1990; Solaiman, 1990).

4.4. Forma física del alimento y su efecto en el desarrollo ruminal

El desarrollo del rumen está influenciado por los cambios dietéticos al momento en que el herbívoro no rumiante comienza a ingerir alimentos sólidos y fibrosos (Brownlee, 1956; Harrison et al., 1960). La transición de no rumiante a rumiante requiere de un desarrollo adecuado en volumen y funcionalidad del retículo-rumen para el uso eficiente de tales alimentos (Church, 1988; Davis y Drackley, 1998); una línea de estudio para determinar la eficiencia con la que el rumiante aprovecha alimentos fibrosos ha sido el efecto del tamaño de la partícula sobre patrones de fermentación ruminal, metabolismo y respuesta animal (Peña et al., 2005).

Los rumiantes jóvenes presentan peculiaridades anatómicas y fisiológicas respecto al sistema gastrointestinal del animal adulto. Al nacimiento existen características físicas que distinguen al rumiante del no rumiante, pues sus compartimientos característicos se encuentran en una proporción de 38% retículo-rumen, 13% omaso y 49% abomaso, además de la presencia del canal reticular o esofágico (Church y Pond, 2002). El desarrollado estado enzimático de abomaso e intestino y el rumen inmaduro hace que el rumiante joven funcione como animal no rumiante (Longenbach y Heinrichs, 1998) y por lo tanto aprovecha eficientemente dietas en base a leche o alimentos acorde a sus capacidades digestivas (Harrison et al., 1960; Sander et al., 1959; Tamate et al., 1962; Warner et al., 1956).

La inclusión de ingredientes fibrosos en la dieta del no rumiante propicia el desarrollo del retículo-rumen modificando las dimensiones de los compartimientos (67% retículo-rumen, 18% omaso y 15% abomaso) por el efecto estimulador del tamaño de partícula del alimento sobre la pared del rumen; no obstante, existe una cierta variación e independencia en la ocurrencia de los patrones de crecimiento y desarrollo ruminal debido a patrones de digestión, tasa de pasaje y masticado de tales alimentos (Beharka et al., 1998; Brownlee, 1956; Flatt et al., 1958; Stobo et al., 1966).

La forma física del alimento ha sido la mayor influencia sobre el desarrollo muscular y en volumen del rumen; además, la estimulación de la motilidad ruminal también es influenciada por la efectividad y el tamaño de partícula de la fibra del alimento tanto en rumiantes jóvenes como en rumiantes adultos (Beauchemin et al., 1994; Coverdale et al., 2004). Los efectos físicos potenciales de la fracción fibrosa del alimento sobre el desarrollo ruminal o motilidad digestiva pueden

alterarse debido al procesamiento a que ha sido sujeto el alimento ya que un menor tamaño de partícula del alimento se ha asociado con bajo estímulo del desarrollo muscular y rumia, además de menor tiempo de fermentación y digestión ruminal de la fracción fibrosa del alimento (De Blas, 1993; Ulyatt et al., 1986; Yang y Beauchemin, 2006).

4.5. Estímulo de los ácidos grasos volátiles y fibra efectiva sobre el desarrollo y funcionalidad del epitelio ruminal

La mayor ingestión de fibra y el tamaño de partícula del alimento desencadena la fermentación ruminal de la materia orgánica y producción de ácidos grasos volátiles como metabolitos finales que son absorbidos por la papila del epitelio ruminal (Church, 1988; Sutton et al., 1963; Warner et al., 1956; Van Soest, 1994). La presencia de ácidos grasos volátiles en rumen estimula el crecimiento constante, desarrollo del epitelio y aumento en longitud de la papila ruminal al comienzo de la producción de ácidos grasos volátiles en la etapa inicial del rumiante y permanece constante a lo largo de toda su vida.

Se ha comprobado que la tasa de absorción de ácidos grasos volátiles en rumen está relacionada positivamente con el tamaño del área absorptiva de la papila ruminal, la cuál puede ser afectada en su tamaño por las características físicas y químicas de la dieta (Allen, 1997; McGavin y Morrill, 1976). Loerch (1990) demostró que la presencia de fibra en rumen ayuda a limpiar el epitelio ruminal impidiendo la acumulación de material fermentable en la superficie de las papilas (ruminitis) manteniéndolas saludables, además de permitir la regeneración normal del epitelio ya que de lo contrario habría queratinización que impide la absorción

de ácidos grasos volátiles y por consecuencia distensión retículo-ruminal disminuyendo el flujo de digesta hacia el tracto posterior (Allen, 1997; Forbes, 1996).

4.6. Fibra efectiva (eFDN)

Fibra efectiva (eFDN) es la fracción del alimento que estimula la actividad de masticación y producción de saliva, balanceando la producción de ácidos provenientes de la fermentación ruminal y la acción amortiguadora de la saliva, manteniendo un pH ruminal saludable (Clark y Armentano, 2002; Mertens, 1997; Obispo, 2001). Existe una relación directa sobre la efectividad física de la fibra peFDN, término utilizado principalmente en la ganadería lechera para referirse a la habilidad del alimento para mantener efectivamente el porcentaje de grasa en la leche por efecto de las características físicas (tamaño de partícula) y químicas (FDN) del alimento (Allen, 1997; Mertens, 1997).

Existen diferentes recomendaciones prácticas sobre tamaño de partícula de forraje o fibra efectiva, algunos trabajos de investigación han mostrado que es necesaria una longitud de las partículas de forraje mínimo entre uno y tres mm para mantener un adecuado pH del rumen, una adecuada actividad de rumiación y prevenir un descenso en el porcentaje de grasa en la leche (Allen, 1997; Beauchemin et al., 1994; Linn, 2001).

La herramienta de campo que más aceptación ha tenido es el método de la Universidad de Pennsylvania (Pennsylvania State Particle Separator; Heinrichs, 2006) para medir el tamaño de las partículas de forraje, por ejemplo, algunos estudios que utilizaron el PSPS mostraron mayor confiabilidad en las respuestas al

incremento del consumo de peFDN como cambios en el masticado, pH, digestibilidad y concentración de grasa en leche (Lammers et al., 1996; Yang y Beauchemin, 2006).

Balch (1971) encontró que en dietas de paja de cereales y heno de alfalfa de calidad media reducen la masticación en un 65% y 47% respectivamente cuando se suministran molidas, por lo tanto es posible observar que el tiempo de masticación es proporcional a la eficiencia física de la fibra en la dieta (eFDN) y como consecuencia la producción de saliva disminuye afectando la posterior digestión de la fibra, así que por ello propone utilizar el tiempo de masticación como índice del contenido de fibra efectiva en el alimento.

En otra investigación Grant et al., (1990) encontró que la reducción del tamaño de partícula del forraje no afecta la producción diaria de leche, consumo de MS y FDN pero si existe respuesta directamente sobre la reducción en un 4% la producción de grasa en leche ($P < .10$) aparentemente por la reducción del tamaño de partícula del alimento, sugiriendo utilizar la concentración de grasa en leche para definir la efectividad y eFDN total (donde $eFDN = ef * FDN$). Contrariamente, Woodford y Murphy (1988) demostraron que la reducción del tamaño de partícula del forraje aumenta significativamente el consumo de MS por lo que se cuestionaría la propuesta de Grant et al., (1990) ya que el incremento en el consumo de MS afectaría las características de la leche producida y por lo tanto su porcentaje de grasa, además de la imposibilidad de su aplicación en la ganadería de carne.

Debido a ello, Armentano y Pereira (1997), sugieren una definición completa de la cuantificación de la fracción eFDN en base a la respuesta animal que toma una integración de las características físicas (tamaño de partícula) y químicas de los carbohidratos de la dieta y utilizarla como variable respuesta, así que pH ruminal o patrones de ácidos grasos volátiles en rumen también podrían ser utilizados como la respuesta animal que integran múltiples componentes del contenido de fibra efectiva de la ración.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

El presente estudio se realizó en la unidad de digestión y metabolismo de rumiantes del Instituto de Ciencias Agrícolas, de la Universidad Autónoma de Baja California, ejido Nuevo León, Valle de Mexicali, B. C. Con ubicación geográfica de 32°24'27.71" Latitud Norte y 115°23'03.68" Longitud Oeste. El clima es de tipo desértico, donde el mes más frío es enero, con una temperatura mínima promedio de -1.66 °C y 13 °C de temperatura media siendo julio el mes más calido con una temperatura máxima, mínima y promedio de 45, 20 y 33 °C respectivamente. La temperatura media anual es de 22 °C (INEGI, 1993).

Se realizaron dos experimentos a diferentes tiempos considerando la edad de los animales (Experimento uno: cinco meses aproximadamente; Experimento dos: once meses aproximadamente) y se utilizaron los mismos animales en ambos experimentos.

Experimento 1. Se utilizaron seis becerros Holstein (111 kg de PV) habilitados con cánulas tipo "T" en rumen y duodeno proximal (6 cm del esfínter pilórico), distribuidos en un diseño Cuadro latino 3 x 3. Los animales permanecieron en corraletas de 7.6 m² equipadas con comederos individuales de 60 x 40 cm y bebederos automáticos. Todos los animales recibieron 2.6% de su PV en kg de MS de una dieta isoenergética e isoprotéica con 70% de forraje y 30% de concentrado, repartidos equitativamente a las 0800 y 2000 horas.

Experimento 2. Se utilizaron los mismos becerros Holstein (243 kg de PV) utilizados en el experimento 1, habilitados con cánulas tipo “T” en rumen y duodeno proximal (6 cm del esfínter pilórico), distribuidos en un diseño Cuadro latino 3 x 3. Los animales permanecieron en corraletas de 7.6 m² equipadas con comederos individuales de 60 x 40 cm y bebederos automáticos. Todos los animales recibieron 2.6% de su PV en kg de MS de una dieta isoenergética e isoprotéica con 90% de forraje y 10% de concentrado, repartidos equitativamente a las 0800 y 2000 horas.

5.2. Concentrado

En el experimento uno se proporcionó un concentrado proteico (Cuadro 1) formulado para becerros de 111 kg promedio en base a los requerimientos de mantenimiento y ganancia diaria de 200 g/d. Para el segundo experimento (Cuadro 2) se formuló un concentrado energético para becerros de 243 kg promedio en base a los requerimientos de mantenimiento y ganancia diaria de 400 g/d. (NRC, 1996).

Cuadro 1. Composición del concentrado del experimento I.

Ingrediente	Base Seca, %
Trigo molido	23.57
Pasta de soya	74.13
Piedra caliza	0.51
Ortofosfato	0.79
Oxido de cromo*	1.00
<i>Variable</i>	<i>Composición química, %</i>
PC	35.3
FDN	7.38
Materia Seca	93.09
Cenizas	6.96

* Como marcador al 0.3% del total ofrecido.

Cuadro 2. Composición del concentrado del experimento II.

Ingrediente	Base Seca, %
Trigo molido	81.66
Melaza	10.38
Piedra caliza	1.75
Ortofosfato	2.75
Oxido de cromo*	3.46
<i>Variable</i>	<i>Composición química, %</i>
PC	9.46
FDN	8.07
Materia Seca	90.00
Cenizas	8.90

* Como marcador al 0.3% del total ofrecido.

5.3. Tratamientos

Experimento 1. Se utilizaron tres diferentes tamaños de partícula de alfalfa como tratamientos experimentales, el modo de suministro fue 30% concentrado + 70% de heno de alfalfa con 33, 66 y 99% de partículas menores a 1.18 mm.

Experimento 2. El modo de suministro de los tratamientos fue 10% concentrado + 90% de heno de alfalfa con 33, 66 y 99% de partículas menores a 1.18 mm.

Para determinar la proporción de partículas menores de 1.18 mm se agitó durante 3 minutos con una frecuencia de 170rpm una alícuota de 500 g de alfalfa cada tratamiento, en un separador de partículas Rotachoc®. Finalmente las proporciones de partícula en los tratamientos se lograron de la siguiente manera: 33%, alfalfa en greña; 66%, criba de 24.5 mm; 99%, criba de 3.18 mm.

5.4. Muestreo

Antes del inicio de la fase experimental, los animales fueron sometidos a un periodo inicial de adaptación a la dieta y consumo. Cada experimento consistió de tres períodos de 12 d cada uno, en donde los primeros nueve fueron de ajuste y los tres restantes para recolección de muestras. El período de recolección fue del día 10 al 12, de la siguiente forma:

Cuadro 3. Periodo de recolección de muestras.

Muestreo	Día de muestreo		
	D1	D2	D3
Primero	09:00	6:00	7:30
Segundo	13:30	10:30	12:00
Tercero	16:30	15:00	

Durante cada muestreo se recolectaron 500 mL de líquido duodenal y 200 g de heces, las muestras de cada becerro y dentro de cada período de recolección se mezclaron y se tomó una alícuota tomada para su posterior análisis, antes de iniciar el último muestreo de cada período se tomó muestra de líquido ruminal, vía cánula ruminal para determinar pH y ácidos grasos volátiles. Para cuantificar volumen total de líquidos y sólidos, y estimar la proporción de fibra indigestible de cada período se vació el rumen usando una aspiradora seco/líquido con capacidad de 50 L y se regresó el contenido ruminal nuevamente a cada animal una vez cuantificado.

5.5. Análisis de muestras

Las muestras de alimento, duodenales o fecales se sometieron a todos o parte de los siguientes análisis: materia seca (105 °C hasta peso constante), ceniza, N Kjeldhal (AOAC, 2000), fibra detergente neutro (FDN) (Goering y Van Soest, 1970), oxido crómico (Hill y Anderson, 1958), purinas como estimadores del N bacterial (Zinn y Owens, 1986) y ácidos grasos volátiles del fluido ruminal (Cromatografía de gas; Zinn, 1991).

Mediante la estimación de purinas como marcador microbiano fue posible calcular materia orgánica microbiana (MOM) y N microbiano (NM) que llegan a duodeno. La materia orgánica (MO) fermentada en el rumen es considerada igual a la materia orgánica digerida menos la diferencia entre la cantidad total de materia orgánica que llega al duodeno y la MOM que también llega hasta el duodeno. N del alimento de escape, que llega al intestino delgado es considerado igual al total de N que llega al abomaso menos N-amoniaco y N microbiano de esta manera se incluye cualquier contribución endógena.

El modelo de Zinn y Salinas (1999) fue usado para estimar el consumo máximo esperado. La estimación de la tasa de pasaje (k_p) de FDN fue estimada de la siguiente manera: $K_p = ((FDNI * (1-RDNDF))/(S * (RNDF/100)))/24$, donde: FDNI = consumo diario total de FDN, RDNDF = digestibilidad ruminal de FDN (%), S = sólidos en rumen (g), RNDF = FDN en rumen, como porcentaje del total de los sólidos ruminales. La tasa ruminal de digestión de FDN se determinó por la relación: $DRFDN = K_d / (K_d + K_p)$.

5.6. Variables estimadas

Las variables estimadas fueron digestibilidad ruminal y post-ruminal (flujo a duodeno) de materia seca (MS), materia orgánica (MO), fibra detergente neutro (FDN), N y eficiencia microbiana, agua, proporción de ácidos grasos volátiles (Acético, Propiónico y Butírico).

5.7. Diseño experimental

Los datos de cada experimento fueron analizados estadísticamente mediante Cuadro Latino 3 x 3 repetido (Hicks, 1973), utilizando el procedimiento PROC. MIXED de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) con repetición del cuadro, donde los efectos aleatorios fueron repetición, animal dentro de repetición y periodo dentro de repetición y tratamientos se consideraron como efectos fijos.

$$Y_{ijk} = \mu + \delta_i + R_j + A_i(R)_j + P_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y = Variable respuesta.

μ = Efecto común experimental.

δ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

R_j = Efecto de j -ésima repetición.

$A_i(R)_j$ = Efecto del i -ésimo animal dentro de j -ésima repetición.

P_k = Efecto del k -ésimo periodo experimental.

ϵ_{ijk} = Error experimental.

Para estimar los componentes lineales y cuadráticos Producidos por los niveles de tamaño de partícula se realizaron polinomios ortogonales:

1. Componente lineal.
2. Componente cuadrático.

VI. RESULTADOS

En el experimento 1, el efecto de la forma física del heno de alfalfa se muestran en el Cuadro 4, no se detectaron diferencias sobre el flujo a duodeno de MS, MO, FDN, N, NM y agua ($P>.05$); donde si hubo un comportamiento cuadrático fue en el flujo a duodeno de NH_3 , NNA y N de sobrepaso en becerros alimentados con heno de alfalfa de diferente tamaño de partícula ($P<.05$). El mayor flujo a duodeno de NH_3 fue semejante para T1 y T3, pero hubo una disminución de 16% para T2; así mismo, se observó una respuesta cuadrática similar para el flujo de N del alimento, NNA y de sobrepaso (NF) pero contraria respecto al flujo de NH_3 ; el mayor flujo de N (70.7 g/d); NNA (58.1 g/d) y NF (16.8 g/d) fue para T2 lo cuál fue 11%, 18% y 32% superiores respecto al menor flujo observado para estas variables correspondiendo al T1.

En el experimento 2 (Cuadro 5), la diferencia de tamaño de partícula del forraje no provocó variación, ($P>.05$), en el flujo a duodeno de MS, MO, FDN, NH_3 , pero si presenta variación en el flujo de N del alimento, efecto cuadrático ($P<.05$), donde T2 tuvo una reducción del 13% con respecto al mayor flujo de N (T3=110.1 g/d); en adición T3 presentó el mayor flujo ($P<.05$), de NM y NNA (62.8 g/d y 93.8 g/d respectivamente), debido a la mayor transformación de N en NM por efecto de una población microbial totalmente desarrollada y por las características de sustrato (%FDN), la respuesta fue directamente sobre la eficiencia en la utilización del N (Mertens, 1997; Solaiman, 1990).

Cuadro 4. Consumo y flujo de nutrientes a duodeno en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa de tres diferentes tamaños de partícula.

Variable ^a	Tratamientos ^b			EE ^c	Contrastes ^e	
	33	66	99		L	Q
Consumo, g/d						
MS	1994.3	1990.4	2001.8	--	--	--
MO	1773.0	1775.5	1787.4	--	--	--
FDN	647.6	615.2	545.2	--	--	--
N	57.3	60.6	62.6	--	--	--
Flujo a duodeno, g/d						
MS	1328	1420	1394	49	0.118	0.105
MO	1046	1142	1119	48	0.134	0.158
FDN	342	330	343	30	0.950	0.354
N	62.9	70.7	69.9	3.5	0.086	0.201
NH ₃	15.0	12.6	14.2	0.9	0.362	0.035
NM	36.9	41.1	42.7	2.8	0.103	0.637
NNA	47.8	58.1	55.7	3.4	0.034	0.048
NF	11.3	16.8	12.9	3.0	0.446	0.023
Agua	30.8	30.5	28.1	1.6	0.167	0.523

^a MS: Materia Seca, MO: Materia Orgánica, FDN: Fibra Detergente Neutro, N: Nitrógeno en alimento, NH₃: Nitrógeno amoniacal, NM: Nitrogeno microbial, NNA: Nitrógeno no amoniacal, NF: Nitrógeno de sobrepaso.

^b Heno de alfalfa con 33, 66 y 99% partículas menores a 1.18 mm.

^c Error estándar.

^d Efecto Lineal (L) y Cuadrático (C); Pr > F.

Cuadro 5. Consumo y flujo de nutrientes a duodeno en novillos Holstein alimentados con heno de alfalfa de tres diferentes tamaños de partícula.

Variable ^a	Tratamientos ^b			EE ^c	Contrastes ^e	
	33	66	99		L	Q
Consumo, g/d						
MS	5626.5	5615.6	5606.9	--	--	--
MO	5027.6	4986.84	4985.7	--	--	--
FDN	2181.7	1943.4	2042.9	--	--	--
N	130.6	140.4	129.3	--	--	--
Flujo a duodeno, g/d						
MS	3145	3347	3243	118	0.538	0.281
MO	2489	2416	2566	91	0.430	0.203
FDN	1197	1257	1177	104	0.862	0.483
N	105.3	95.4	110.1	3.4	0.250	0.005
NH ₃	17.5	15.7	16.4	1.5	0.530	0.424
NM	57.1	51.2	62.8	2.6	0.073	0.007
NNA	88.1	79.1	93.8	3.0	0.088	0.001
NF	31.4	27.2	31.3	2.7	0.995	0.234
Agua	63.5	61.1	62.3	3.6	0.748	0.606

^a MS: Materia Seca, MO: Materia Orgánica, FDN: Fibra Detergente Neutro, N: Nitrógeno en alimento, NH₃: Nitrógeno amoniacal, NM: Nitrogeno microbial, NNA: Nitrógeno no amoniacal, NF: Nitrógeno de sobrepaso.

^b Heno de alfalfa con 33, 66 y 99% partículas menores a 1.18 mm.

^c Error estándar.

^d Efecto Lineal (L) y Cuadrático (C); Pr > F.

Respecto a la digestión ruminal de MS, MO (Cuadro 6) en el primer experimento, no se detectaron respuestas diferentes por efecto de la forma física del forraje ($P > .05$). Pero si hubo un componente lineal ($P = .07$) en la digestión ruminal de FDN por efecto de los tratamientos, se observa una relación directa del menor tamaño de partícula del forraje sobre la disminución del %FDN digerida en rumen, por lo tanto, la digestión postruminal de FDN fue linealmente inversa ($P < .05$), ya que T3 presentó la mayor tasa de digestión de FDN comparada con T1 y T2 (2.5 veces mayor que T1 y 21% mayor que T2), aunque no hubo cambios en la generación de MOM, EfM y EfN ($P > .05$). La digestión ruminal de N mostró componente cuadrático ($P < .05$), donde la menor digestión fue por efecto de T2, lo cual tuvo similar comportamiento en el total del N digerido, efecto cuadrático ($P > .05$) independientemente de que a nivel duodenal la digestión de N se mantuvo sin cambios ($P > .05$).

En el experimento 2 (Cuadro 7), no hubo efecto de tratamientos sobre la digestión ruminal de MS, MO y N. Se observa que la digestión ruminal de FDN tuvo efecto cuadrático ($P < .05$), donde T2 fue el tratamiento que provocó menor digestión ruminal de esta variable (19% menos que T1, mayor FDN digerida en rumen), así mismo el comportamiento de la digestión total de FDN fue similar efecto cuadrático ($P < .05$). El efecto sobre MOM, EfM y EfN tuvo comportamiento cuadrático en el exp. 2, donde la mejor producción de MOM (628.3 g), N microbiano (26.2 g) correspondieron para T3; así mismo la mejor eficiencia en la utilización del N (EfN=0.7) también correspondió a T3 por efecto del flujo a duodeno de NNA con respecto a T1 y T2 presentado anteriormente.

Por lo anterior, la producción de MOM, eficiencia microbiana (EfM) y de N (EfN) presentó mejor respuesta en el exp. 2 con respecto al exp. 1, se observó mayor eficiencia en la utilización del N (EfN) por parte de las bacterias ruminales (EfM) para fermentar y producir materia asimilable para la utilización por el bovino (MOM).

Cuadro 6. Digestión ruminal, postruminal y total en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa con diferente tamaño de partícula.

Variable ^a	Tratamientos ^b			EE ^c	Contrastes ^e	
	33	66	99		L	Q
Digestión ruminal, %						
MS	33.4	28.7	30.4	3.7	0.223	0.148
MO	40.8	35.9	37.3	4.0	0.265	0.244
FDN	46.5	46.1	37.3	5.1	0.068	0.292
N	79.9	72.2	79.3	4.3	0.855	0.026
MOM, g	368.9	411.4	427.2	27.9	0.103	0.637
EfM	51.7	70.5	73.2	12.6	0.159	0.530
EfN	0.9	1.0	0.9	0.1	0.677	0.325
Digestión postruminal, % de flujo a duodeno						
MO	42.9	46.3	47.1	2.8	0.218	0.655
FDN	4.3	12.4	15.0	4.2	0.090	0.593
N	71.7	70.5	70.5	1.9	0.590	0.773
Digestión total, %						
MS	62.6	63.2	64.7	3.0	0.151	0.736
MO	65.5	65.8	67.2	2.8	0.202	0.629
FDN	47.2	52.8	48.5	5.3	0.691	0.120
N	68.8	65.0	66.8	3.2	0.207	0.061

^a MS: Materia Seca, MO: Materia Orgánica, FDN: Fibra Detergente Neutro, N: Nitrógeno en alimento, MOM: Materia Orgánica Microbial, EfM: Eficiencia Microbial, EfN: Eficiencia del Nitrógeno.

^b Heno de alfalfa con 33, 66 y 99% partículas menores a 1.18 mm.

^c Error estándar.

^d Efecto Lineal (L) y Cuadrático (C); Pr > F.

^e N microbial, g/kg de MO fermentada.

^f N no amoniacal en duodeno/ N consumido.

Cuadro 7. Digestión ruminal, postruminal y total en novillos Holstein alimentados con heno de alfalfa con diferente tamaño de partícula.

Variable ^a	Tratamientos ^b			EE ^c	Contrastes ^e	
	33	66	99		L	Q
Digestión ruminal, %						
MS	44.1	40.4	42.2	2.1	0.493	0.283
MO	50.4	51.6	48.6	1.8	0.308	0.204
FDN	44.2	35.8	42.3	4.9	0.557	0.026
N	75.3	79.7	76.4	2.6	0.726	0.198
MOM, g						
MOM, g	570.6	512.5	628.3	25.8	0.073	0.007
EfM	22.4	20.3	26.2	1.6	0.072	0.036
EfN	0.7	0.6	0.7	0.1	0.581	0.018
Digestión postruminal, % de flujo a duodeno						
MO	31.2	28.5	28.1	3.9	0.330	0.660
FDN	8.6	1.6	0.8	8.0	0.292	0.620
N	66.3	64.3	68.2	1.9	0.294	0.090
Digestión total, %						
MS	62.4	58.6	60.2	2.9	0.450	0.288
MO	65.9	65.3	62.9	2.5	0.145	0.602
FDN	50.7	36.2	42.8	4.9	0.032	0.005
N	72.6	75.1	73.2	1.9	0.825	0.349

^a MS: Materia Seca, MO: Materia Orgánica, FDN: Fibra Detergente Neutro, N: Nitrógeno en alimento, MOM: Materia Orgánica Microbial, EfM: Eficiencia Microbial, EfN: Eficiencia del Nitrógeno.

^b Heno de alfalfa con 33, 66 y 99% partículas menores a 1.18 mm.

^c Error estándar.

^d Efecto Lineal (L) y Cuadrático (C); Pr > F.

^e N microbial, g/kg de MO fermentada.

^f N no amoniacal en duodeno/ N consumido.

El cuadro 8 muestra el efecto de los tratamientos sobre la cinética de digestión de los animales en el experimento 1. El contenido ruminal total y el contenido de líquido en rumen se comportaron de forma cuadrática ($P < .05$), contrario a la cantidad de sólidos y al %FDN en rumen ya que ambos tuvieron tendieron a disminuir linealmente ($P < .05$) por el efecto de la reducción de la partícula del forraje (Sólidos: 2, 1.7 y 1.6 para T1, T2 y T3) y (46% FDN, 44 %FDN y 38.4% FDN para T1, T2 y T3). Respecto a la cinética de digestión de la FDN, la k_p tendió a un aumento lineal ($P < .05$) contrario al contenido ruminal de sólidos y %FDN por efecto de tratamientos, donde se observó valores de 0.07, 0.09 y 0.13 %/h para T1, T2 y T3 respectivamente.

En el experimento 2 (Cuadro 9), se observa que el contenido ruminal total y la cantidad de sólidos y líquido disminuyó linealmente ($P < .05$) por efecto de la reducción de la partícula del forraje; aunque el %FDN tuvo comportamiento cuadrático ($P < .05$). La k_p aumentó linealmente ($P < .05$) en medida que se redujo el tamaño de partícula del forraje; aunque la k_d presentó efecto cuadrático ($P < .05$) debido a la cantidad de FDN presente en el rumen lo cual se relaciona directamente de acuerdo a Armentano y Pereira (1997).

Comparando el exp. 1 y exp. 2, la respuesta directa de la k_p es inversa en ambos experimentos con respecto a la cantidad de sólidos ruminales; contrario a investigaciones previas de tasa de digestión en gramíneas (Bourkin L., et al., 1994) la k_p se incrementó ($P < .05$) conforme disminuyó el tamaño de partícula del forraje, observándose en T3 valores de $k_p = 0.13\%/h$ y $0.1\%/h$ para exp.1 y exp.2

respectivamente, aunque hubo mayor k_p en el exp.1 con respecto al exp.2., lo anterior coincide con lo reportado por Okine y Mathison (1991) quienes mencionan que la tasa de pasaje de la digesta es modificada proporcionalmente por efecto de la reducción del tamaño de partícula del forraje; por lo anterior, es posible estimar el consumo máximo de forraje de los animales, que en ambos experimentos se incrementó linealmente ($P < .05$) a medida que disminuyó el tamaño de la partícula del forraje.

Cuadro 8. Efecto del tamaño de partícula del heno de alfalfa sobre la cinética de digestión en becerros Holstein.

Variable	Tratamientos			EE	Contrastes ^e	
	33	66	99		L	Q
Contenido en rumen, Kg						
Total	16.6	14.9	16.3	1.0	0.664	0.056
Líquido	14.7	13.2	14.7	1.0	0.981	0.058
Sólidos	2.0	1.7	1.6	0.1	0.005	0.410
FDN, %	46.0	44.0	38.4	1.3	0.001	0.169
Cinética de digestión de FDN						
Kp, %/h	0.07	0.09	0.13	0.02	0.012	0.567
Kd, %/h	0.08	0.08	0.08	0.01	0.482	0.197
CMx, g/d	5091.6	5874.7	7849.6	689.0	0.008	0.427

^a Kp: Tasa de pasaje, Kd: Tasa de digestión, CMx: Consumo máximo.

^b Heno de alfalfa con 33, 66 y 99% partículas menores a 1.18 mm.

^c Error estándar.

^d Efecto Lineal (L) y Cuadrático (C); Pr > F.

Cuadro 9. Efecto del tamaño de partícula del heno de alfalfa sobre la cinética de digestión en novillos Holstein.

Variable ^a	Tratamientos ^b			EE ^c	Contrastes ^e	
	33	66	99		L	Q
Contenido en rumen, Kg						
Total	33.7	29.9	30.1	1.5	0.026	0.128
Líquido	29.1	25.9	26.5	1.5	0.033	0.066
Sólidos	4.5	4.0	3.6	0.3	0.021	0.977
FDN, %	54.8	57.1	50.1	1.7	0.020	0.010
Cinética de digestión de FDN						
Kp, %/h	0.06	0.08	0.10	0.01	0.010	0.719
Kd, %/h	0.05	0.04	0.07	0.01	0.063	0.052
CMx, g/d	6760.6	7639.5	10252.0	948.1	0.012	0.374

^a Kp: Tasa de pasaje, Kd: Tasa de digestión, CMx: Consumo máximo.

^b Heno de alfalfa con 33, 66 y 99% partículas menores a 1.18 mm.

^c Error estándar.

^d Efecto Lineal (L) y Cuadrático (C); Pr > F.

La forma física del forraje sobre pH y producción de ácidos grasos volátiles en los becerros del experimento 1 se muestra en el cuadro 10; el pH tendió a disminuir, efecto lineal ($P < .05$), por la diferencia física del forraje; no se detectaron diferencias para AC y PR., pero si hubo componente cuadrático ($P < .05$) en la disminución de la concentración de BU para T2.

En el experimento 2 (Cuadro 11), el pH disminuyó ($P < .05$) por efecto de tratamientos. La concentración de BU por efecto de T2 disminuyó, efecto cuadrático ($P < .05$), respecto a T1 y T3; a la vez que la concentración de AC y PR se mantuvo sin cambios por efecto de tratamientos.

En ambos experimentos, el pH disminuyó de forma lineal ($P < .05$) a medida que el tamaño de partícula del forraje disminuyó. Se observa menor valor de pH por efecto del T3 del exp. 2, debido al menor estímulo de la forma física del forraje sobre el reflejo de rumia y secreción de buffer (Clark y Armentano, 2002; Mertens, 1997). Así mismo, la concentración de AC y PR se mantuvo sin cambios por efecto de tratamientos lo cual coincide con trabajos previos utilizando heno de alfalfa (Arana y Gutiérrez, 2003); no así para la producción de BU, pues su producción disminuyó ($P < .05$) por efecto de T2, debido a la menor tasa de digestión (kd) relacionado por el total de %FDN del contenido ruminal.

Cuadro 10. Efecto de la forma física del forraje sobre la producción de AGV's en becerros alimentados con heno de alfalfa.

Variable ^a	Tratamientos ^b			EE ^c	Contrastes ^e	
	33	66	99		L	Q
pH	6.1	6.1	6.0	0.8	0.018	0.314
AGV ruminales, mM/100 mL						
AC	55.7	55.8	55.0	1.0	0.489	0.624
PR	21.5	22.8	22.2	0.7	0.399	0.214
BU	13.0	12.0	13.2	0.6	0.675	0.044

^a pH: Potencial Hidrógeno, AC: Acetato, PR: Propionato, Bu: Butirato.

^b Heno de alfalfa con 33, 66 y 99% partículas menores a 1.18 mm.

^c Error estándar.

^d Efecto Lineal (L) y Cuadrático (C); Pr > F.

Cuadro 11. Efecto de la forma física del forraje sobre la producción de AGV's en novillos alimentados con heno de alfalfa.

Variable ^a	Tratamientos ^b			EE ^c	Contrastes ^e	
	33	66	99		L	Q
pH	6.2	6.3	5.9	0.2	0.078	0.178
AGV ruminales, mM/100 mL						
AC	61.7	61.6	60.8	0.9	0.385	0.680
PR	23.8	25.1	24.6	0.8	0.350	0.224
BU	14.4	13.3	14.6	0.6	0.724	0.032

^a pH: Potencial Hidrógeno, AC: Acetato, PR: Propionato, Bu: Butirato.

^b Heno de alfalfa con 33, 66 y 99% partículas menores a 1.18 mm.

^c Error estándar.

^d Efecto Lineal (L) y Cuadrático (C); Pr > F.

VII. CONCLUSIONES

El efecto de la forma física del forraje sobre la cinética de digestión provoca mayor flujo de NH_3 , NNA y N de sobrepaso cuando los animales presentan características de desarrollo parcial del rumen; la diferencia física del forraje en animales con rumen funcional totalmente desarrollado, provoca que el flujo de NH_3 disminuya y aumenta la síntesis microbiana ruminal, debido al completo ecosistema ruminal; por lo que la EfM y EfN se condicionan por tasa de pasaje y digestión de la FDN presente en rumen, característica inherente a la efectividad de la fibra del alimento y su interacción en la estimulación física y funcional del rumen.

La respuesta directa de la kp es inversa en ambos experimentos con respecto a la cantidad de sólidos ruminales y la tasa de pasaje de la digesta es modificada proporcionalmente por efecto de la reducción del tamaño de partícula del forraje.

En este estudio, el T2 provocó menor EfM debido a una motilidad ruminal aparentemente menor que T1 (mayor estímulo de los receptores responsables de la rumina) y que T3 (menor tamaño de partícula = mayor kp a duodeno). La presencia de eFDN (Medible mediante el tamaño de partícula del forraje) es de consideración en el rumiante para mantener la cinética ruminal dentro de los parámetros adecuados para un rumen saludable, el principal efecto de eFDN es mantener regulado el nivel de acidez ruminal, inducir la motilidad y eficientizar la utilización de FDN presente en los forrajes.

El pH disminuye a medida que el tamaño de partícula del forraje disminuye debido al menor estímulo de la forma física del forraje sobre el reflejo de rumia y secreción de buffer, sin modificar significativamente, la concentración de AC y PR pero si disminuir la producción de BU.

VIII. LITERATURA CITADA

- Akin, D.E. 1989. Histological and physical factors affecting digestibility of forages. *Agronomy Journal*. 81: 17-25.
- Allen, S. M. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J Dairy Sci* 80:1447–1462.
- AOAC, 2000. *Official Methods of Analysis* (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA. 2200 pp.
- Arana, S. J. A., Gutiérrez, V. E. 2003. Parámetros de fermentación ruminal en toros alimentados con heno de alfalfa y suplementados con bloques de melaza urea. *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*.
- Armentano, L., and M. Pereira. 1997. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. Symposium: Meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Anim. Sci.* 80:1416-1425
- Balch, C.C.1971. Chewing reduction in cows feeding of ground straw and hay. *Br. J. Nutr.* 26, 383.
- Beauchemin, K. A., Farr, L. M., Rode, y G. B. Schaalje. 1994. Effects of Alfalfa Silage Chop Length and Supplementary Long Hay on Chewing and Milk Production of Dairy Cows. *J Dairy Sci.* 77:1326-1339
- Beharka, A. A., T. G. Nagaraja, J. L. Morrill, G. A. Kennedy and R. D. Klemm. 1998. Effects of form of the diet on anatomical, microbial and fermentative development of the rumen of neonatal calves. *J. dairy Sci.* 81:1946-1955.
- Besle, J. M., and A. Cornu. 1994. Roles of structural phenylpropanoids in forage cell wall digestion. *Journal of the science of food and agriculture.* 64: 171-190.
- Bourkin, D. L., E. C. Titgemeyer, J. V. Milgen and G. C. Fahey. 1994. Forage Level and Particle Size Effects on Orchardgrass Digestion by Steers: II. Ruminal Digestion Kinetics of Cell Wall Components. *J. Anim. Science.* 1994. 72:759-767
- Brownlee, A. 1956. The development of rumen papillae in cattle fed on different diets. *Brit, vet. J.* 112:369-375.

- Carro, M. D. and E. L. Miller. 1999. Effect of supplementating a fiber basal diet with different nitrogen forms on ruminal fermentation and microbial growth in vitro semi-continuous culture system (RUSITEC). *British J. of Nutrition*. 82(2):149-57.
- Chen, L., C. Auh, F. Chen, X. Cheng, H. Aljoe, R. A. Dixon, Z. Wang. 2002. Lignin deposition and associated changes in anatomy, enzyme activity, gene expression, and ruminal degradability in stems of tall fescue at different development stages. *J. of agricultural and food chemistry*. 50(20):5558-65.
- Church, D. C. 1988. *The Ruminant Animal: Digestive physiology and nutrition*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Church, D. C., W. G. Pond, K. R. Pond. 2002. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. 2ª edición. Uteha Wiley. 635 pp.
- Cornu, A., J. M. Besle, P. Mosoni, E. Grenet. 1994. lignin-carbohydrate complex in forages: structure and consequences in the ruminal degradation of cell wall carbohydrates. *Rep. Nutr. Development*. 34(5)385-98.
- Clark, P. W., and L. E. Armentano. 2002. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in alfalfa silage. *J. Dairy Sci*. 85:3000–3007
- Coverdale, J. A., H. D. Tyler, J. D. Quigley, and J. A. Brumm. 2004. Effect of various levels of forage and form of diet on rumen development and growth in calves. *J. Dairy Sci*. 87:2554-2562.
- Davis, C. L., and J. K. Drackley. 1998. *The Development, Nutrition, and Management of the Young calf*. Iowa State University Press. Ames, Iowa.
- De Blas, B. C. y R. P. García. 1993. Tamaño de partícula de los forrajes en la alimentación de vacas lecheras y conejos. Bases fisiológicas y recomendaciones. Departamento de Producción Animal Universidad Politécnica de Madrid.
- Flatt, W. P., R. G. Warner, and J. K. Loosli. 1958. Influence of purified materials on development of the ruminant stomach. *J. Dairy Sci*. 41:1593-1600.
- Forbes, J. M. 1996. Integration of regulatory signal controlling forage intake in ruminants. *J. Anim. Sci*. 74: 3029-3035.

- Gabler, M. T., P. R. Tozer, and A. J. Heinrichs. 2000. Development of a cost analysis spreadsheet for calculating the costs to raise a replacement dairy heifer. *J. Dairy Sci.* 83:1104-1109.
- Goering H.K., P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agric Handbook No. 379.* ARS, USDA, Washington, DC.
- Grant, R. J. and V. F. Colenbrander D. R. Mertens. 1990. Milk Fat Depression in Dairy Cows: Role of Particle Size of Alfalfa Hay. *J Dairy Sci* 73:1823-1833.
- Harrison, H. N., R. G. Warner, E. G. Sander, and J. K. Loosli. 1960. Changes in the tissue and volume of the stomachs of calves following the removal of dry feed of consumption of inert bulk. *J. Dairy Sci.* 43:1301-1312.
- Heinrichs, J. 2006. Evaluating particle size of forages and TMRs using the Penn State Particle Size Separator. Department of Dairy Science and Animal Science. The Pennsylvania State University. DAS 96-20.
- Hicks, C. R. 1973. *Fundamental Concepts in the Design of Experiments.* Holt, Rinehart and Winston, New York, 1973.
- Hill, F. N., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-603.
- INEGI, 1993. Cuaderno estadístico del municipio de Mexicali, Baja California. Pp:121.
- Lammers, B.P., D.R. Buckmasters, and A. J. Heinrichs. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 79:922-928.
- Linn, J. 2001. Necesidades nutritivas del Ganado vacuno lechero: Resumen de las normas de NRC (2001). Department of Animal Science. Univ. Minnessota.
- Loerch, S. C. 1990. Plastic pot scrubbers replace roughage for cattle fed all concentrate diets. *Ohio Beef Cattle Research & Industry Report.* OARDC. The Ohio State University. pp 91-97.
- Longenbach, J. L. and A. J. Heinrichs. 1998. A review of the importance and physiological role of curd formation in the abomasums of young calves. *Anim. Feed Sci. And Tech.* 73:85-97.

- McAllister, T. A. 1994. A review of the microbial digestion of feed particles in the rumen. *AJAS*. 7:303-316.
- McGavin, M. D., and J.L. Morrill. 1976. Scanning electron microscopy of ruminal papillae in fed various amounts and forms of roughage. *Am. J. Vet. Res.* 37:497-508.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80:1463-1481.
- Morgavi, D. P., M. Sakurada, Y. Tomita, R. Onodera. 1994. Presence in rumen bacterial and protozoal populations of enzymes capable of degrading fungal cell walls. *Journal of microbiology*. 140(3):631-6.
- Nozière, P., D. Attaix, F. Bocquier, M. Doreau. 1999. Effects of underfeeding and refeeding on weight and cellularity of splanchnic organs in ewes. *Journal of animal science*. 77(8):2279-90.
- NRC, 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle (7th Rev. Ed)*. National Academic of Press. Washington D. C.
- Obispo, N. E. 2001. La importancia de la fibra efectiva en los cebaderos bovinos y su relación con acidosis ruminal clínica y subclínica. Unidad de Producción Animal CENIAP-INIA, Maracay, Venezuela.
- Peña, S., E. Velázquez, J. Rojas, F. Olivera, y A. Arias 2005. Efecto del tamaño de partícula de la ración sobre la producción de leche y comportamiento alimenticio en ganado bovino lechero. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Prigee, E. C., B. A. Stuthers, and N. A. JacquemeT. 1990. Influence of forage diets on ruminal particle size, passage of digesta, feed intake and digestibility by steers. *J. Anim. Sci.* 68: 4352-4360.
- Rupper, L. D., J. K. Drackley, D. R. Bremmer, J. H. Clark. 2003. Effects of tallow in diets based on corn silage or alfalfa silage on digestion and nutrient use by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86(2)593-609.

- Sander, E. G., R. G. Warner, H. N. Harrison, and J. K. Loosli. 1959. The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf. *J. Dairy Sci.* 42:1600-1605.
- Solaiman, S. G., F. A. Martz, M. F. Weiss, and R. L. Belyea. 1990. Effects of protein and energy supplementation of Guernsey cows on the kinetics of digestion and passage of orchardgrass versus alfalfa. *J. Anim. Sci.* 68:2119-2129.
- Stobo, I. J. F., H. B. Roy, and H. J. Gaston. 1966. Rumen development in the calf. 1. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on rumen development. *Br. J. Nutr.* 20:171-188.
- Sutton, J. D., A. D. McGilliard, and N.L. Jacobson. 1963. Functional development of rumen mucosa. I. Absorptive ability. *J. Dairy Sci.* 46:426-436.
- Tamate, H., A. D. McGilliard, N. L. Jacobson, and R. Getty. 1962. Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach on the calf. *J. Dairy Sci.* 45:408-402.
- 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.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Second Edition. USA. pp 7-15.
- Van Soest, P. J. 1968. Structural and chemical characteristics wich limit the nutritive value of forage. *Am. Soc. Agron. Spec. Pub. No. 13*, p. 63.
- Warner, R. G., W. P. Flatt, and J. K. Loosli. 1956. Dietary factors influencing the development of the ruminant stomach. *J. Agric. Food Chem.* 4:788-792.
- Wilson, J. R., and D. R. Mertens. 1995. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. *Crop Sci.* 35:251-259.
- Wilson, R. C., T. R. Overton, J. H. Clark. 1998. Effects of yucca shidigera extract and soluble protein on performance of cows and concentrations of urea nitrogen in plasma and milk. *J. Dairy Sci.* 81(4):1022-7.

- Williams, A. G., S. E. Withers, and N. H. Strachan. 1989. Postprandial variation in the activity of polysaccharidedegrading enzymes in microbial populations from the digesta solids and liquor fractions of rumen contents. *Journal applied bacteriology*. 66:15-26.
- Woodford, S. T., and M. R. Murphy. 1988. Effect of forage physical form on chewing activity, dry matter intake, and rumen function of dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 71:674.
- Yang, W. Z., and K. A. Beauchemin, 2006. Increasing the physically effective fiber content of dairy cows diets may lower efficiency of feed use. *J. Dairy Sci.* 89:2694-2704.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2002. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cows diets on site and extent of digestion. *J. Dairy Sci.* 85(8):1958-68.
- Zinn, R. A. and J. Salinas. 1999. Influence of fibrozyme on digestive function and growth performance of feedlot steers fed a 78% concentrate growing steers. In: *Biotechnology in the feed industry, proc. 14th Annual Symp.* T. P. Lyons and K. A. Jaques (Eds) pp 313- 319.
- Zinn, R. A. 1991. Comparative feeding value of steam-flaked corn and sorghum in finishing diets supplemented with or without sodium bicarbonate. *J. Anim. Sci.* 1991. 69:905-916.
- Zinn, R.A., and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can J Anim Sci.* 66:157-166.