

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**EFFECTO DEL NIVEL Y TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL FORRAJE  
SOBRE LA EFICACIA FÍSICA DE LAS DIETAS COMPLETAMENTE  
MEZCLADAS DE LAS VACAS HOLSTEIN.**

**POR:**

**ISIS MORAGA MONROY**

**TESIS:**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:**

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**Torreón, Coahuila, México.**

**Diciembre 2015**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Efecto del nivel y tamaño de partícula del forraje sobre la eficacia física de las dietas completamente mezcladas de las vacas Holstein.

POR

ISIS MORAGA MONROY

TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE

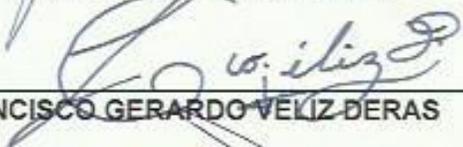
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR

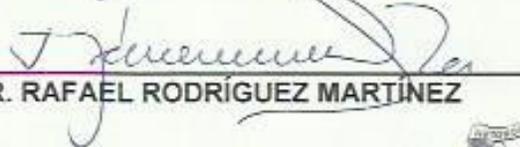
ASESOR PRINCIPAL:

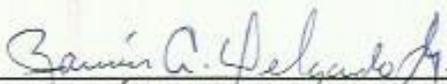
  
DR. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

ASESOR:

  
DR. FRANCISCO GERARDO VELIZ DERAS

ASESOR:

  
DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ

  
M.C. RAMÓN ALFREDO DELGADO GONZÁLEZ  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

  
Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

Efecto del nivel y tamaño de partícula del forraje sobre la eficacia física de las dietas completamente mezcladas de las vacas Holstein.

POR

ISIS MORAGA MONROY

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR

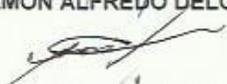
PRESIDENTE:

  
DR. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

VOCAL:

  
M.C. RAMÓN ALFREDO DELGADO GONZÁLEZ

VOCAL:

  
ING. ALFONSO ROBERTO NAVA CRUZ

VOCAL SUPLENTE

  
M.C. DELFINO REYES MACIAS

  
M.C. RAMÓN ALFREDO DELGADO GONZÁLEZ  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2015

## **Dedicatoria**

A:

*Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, haberme dado salud para lograr mis objetivos, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante esta etapa.*

*Mi madre por darme todo su apoyo durante mis estudios y compartir conmigo muchos momentos tanto alegres como tristes, por tener siempre tendida su mano amiga ya que su anhelo ha sido que llegara este momento.*

*Mi Padre (QEPD) quien con su ejemplo y amor fue mi mayor motivación para alcanzar esta meta y que desde el cielo me brinda luz y fuerzas para seguir adelante*

*Mis hermanos Iván, Fer Daniel y Rodrigo por estar en los momentos más difíciles, por su amor incondicional, apoyo y motivarme siempre.*

*Mis sobrinos (as) para que tomen en cuenta mi esfuerzo y lo consideren como ejemplo para alcanzar sus metas, en especial a Karina.*

*Al MVZ Oscar Denogean Ballesteros (QEPD) gracias por su valiosa amistad y consejos que me dió en vida; sé que donde quiera que se encuentre está feliz porque fue una de las personas que creyó en mí.*

*A José S. Guerrero por haberme brindado su extraordinaria amistad durante este tiempo que fue sin duda un gran soporte. Gracias por todas las experiencias vividas.*

*“Y por último quiero dedicar esta tesis a mí misma, por no dejarme vencer, ya que en ocasiones el principal obstáculo se encuentra dentro de uno...”*

## **Agradecimientos**

**a:**

Mi asesor el Dr Pedro Robles Trillo por su amistad, su gran apoyo, dedicación, y orientación en la elaboración de esta tesis; dándome las herramientas necesarias para mi formación.

Asesores: Ing Alfonso Nava Cruz e Ing. Pedro Cano por su apoyo ofrecido en este trabajo compartiendo su experiencia y tiempo.

Dra. Oralia Antuna Grijalva: por su apoyo en el análisis de muestras en el laboratorio de análisis bromatológicos.

Juan Olmos y Fátima Escobedo por su colaboración para que este proyecto se llevara a cabo.

Rubi y Lis: juntas trabajamos para la realización de este proyecto que es su éxito también; el cual nos unió, tomándonos mucho cariño que influencio para nuestra actual amistad.

Al M.C Ramón A. Delgado González que con su ejemplo nos ha impulsado al desarrollo de nuestra formación profesional.

Ily, Oscar Cassandra y Alex por su amistad incondicional ha sido un placer haber vivido grandes experiencias y compartir éxitos con ustedes.

Mis maestros: Erick Alejandro Reyes, Yong Wong, José Luis Corona, Francisco Carrillo, Edmundo Guzmán, por sus enseñanzas y ejemplo de superación

M.C Delfino Reyes Macías por compartir sus consejos y enseñanzas, y por esa bonita amistad que me brindo.

No terminaría mencionando a todos mis familiares, compañeros y amigos que tienen un lugar en mi corazón y fueron parte en esta etapa importante en mi vida,: Tios Lic, Mary, Dr. Rafael, Queta Lily Moraga, Fernando, Daniel, Elizabeth y Lic. Lupe Monroy, Lic. Sandra Adriano, Lic. Estela Angeles, Lic Citlalli Pineda, Dr. Dario Ortega, MVZ's Lupita, Perla. Ray, Alan Nevárez, Natha, Adelina, Omar, Luis, Rene, Rocio Burciaga, Nonis, Jessi; en especial MVZ Hector Maynez Monarrez; Cano, Pamela Wendy Sra Isabel y Rocio solo por mencionar algunos, gracias a todos.

## Índice

Introducción .....	v
Revisión de literatura .....	3
Requerimientos de fibra por el ganado bovino .....	3
Eficacia física de la fibra .....	4
Acidosis ruminal .....	7
Tamaño de partícula .....	10
Uso de raciones completamente mezcladas.....	11
Evaluación de la eficacia física .....	12
Materiales y métodos .....	16
Resultados y discusión .....	19
Literatura citada .....	23

## Índice de cuadros

Cuadro 1 Tamaño de partícula del forraje, pH ruminal y grasa de la leche.....	12
Cuadro 2 Efecto del nivel y tamaño de partícula del forraje sobre la eficacia física de las dietas completamente mezcladas ofrecida a vacas Holstein .....	19

í

## Resumen

Esta prueba se llevó a cabo para determinar el efecto de dos tamaños de partícula del forraje (corto, TPC y largo, TPL) y dos niveles de forraje (alto, 60% NFA y bajo 45% NFB, de la MS) sobre la eficacia física de las dietas completamente mezcladas (RTM) ofrecida por 30 días a vacas lecheras explotadas comercialmente. Para determinar diariamente la distribución del tamaño de partícula (DTP) y eficacia física de la dieta (ef) se utilizó el separador de partícula de la Universidad de Pennsylvania (PSPS), para estimar la eficacia física de la fibra detergente neutro (efFDN) de la TMR se multiplico la ef por la FDN de la ración. Los datos se analizaron mediante un arreglo de cuadrado latino 4x4 y un ajuste factorial 2x2. La retención de partícula en la criba de 19 mm fue afectada ( $P < 0.001$ ) sólo por el tamaño de partícula de la RTM. En tanto que el nivel de inclusión del forraje tuvo efecto ( $P < 0.001$ ) sobre la cantidad de partícula retenida en la criba 8 mm. La cantidad de partícula distribuida en la criba 1.18 fue afectada ( $P < 0.001$ ) tanto por el tamaño de partícula como por el nivel de forraje de la ración. Por otra parte, el tamaño de partícula tuvo un efecto significativo ( $P < 0.001$ ) sobre la  $ef_2$  de la ración, observándose una mayor cantidad en las raciones con TPL que en TPC (0.494 vs 0.474, respectivamente). El nivel de forraje en la ración también afectó la  $ef_2$  observándose una mayor cantidad en las raciones con NFB. En la  $ef_3$ , sólo se observó efecto ( $P < 0.001$ ) con TPC con una mayor cantidad que TPL (0.847 vs 0.835, respectivamente). La  $ef_2$  FDN no fue afectada ni por el tamaño de partícula, ni por el nivel de inclusión de la alfalfa. Tanto el tamaño de partícula del forraje y el nivel de inclusión de la alfalfa afectaron ( $P < 0.01$ ) a la  $ef_3$  FDN de la RTM. En conclusión, el nivel de inclusión y el tamaño de partícula de la alfalfa permiten que una mayor cantidad de alimento sea retenida en la criba 19mm pero la cantidad de forraje en la ración permite obtener una mayor eficacia física de la FDN de la ración de las vacas.

**Palabras clave:** tamaño de partícula, relación forraje concentrado, eficacia física de la ración, FDN físicamente efectiva.

## Introducción

Las características físicas de raciones para vacas lactantes se ven influenciadas por la dieta de forraje en relación con el concentrado (F:C) y el tipo y la medida de tamaño de las partículas de los alimentos (Mertens, 2002). La alteración de la fermentación ruminal puede resultar cuando el ganado es alimentado con raciones carentes de estructura física, cantidades excesivas de fibra larga y gruesa, también puede limitar el consumo y digestibilidad, afectando en última instancia, el balance energético del animal (Kononoff y Heinrichs, 2003). El requisito de fibra en la dieta de ganado lechero afecta el contenido de materia orgánica (MO) fermentada ruminalmente, ya que la efFDN es la fracción de alimentación que estimula la actividad de masticar, a su vez, estimula la secreción de bicarbonato y fosfato en la saliva que neutralizan los ácidos producidos por la fermentación de MO en el rumen; el equilibrio entre la producción de fermentación acida y la secreción neutralizante es un determinante importante de pH ruminal ya que una disminución de este puede disminuir IMS, la digestibilidad de la fibra, y el rendimiento microbiano y así disminuir la producción de leche y aumentar los costos de alimentación. (Allen, 1997)

Un gran desafío para los sistemas comunes de alimentación de ganado de alta producción de leche es como conciliar la alimentación de las dietas de alto contenido energético, formuladas para apoyar la producción de leche, con cantidades adecuadas de fibra físicamente efectiva en las dietas, que es necesaria para evitar trastornos ruminales (Zebeli y Col., 2012).

La producción de ácido en el rumen se debe principalmente a la fermentación de hidratos de carbono, que representan más del 65% de la MS en dietas de vacas lecheras (Allen, 1997) por lo que dietas altamente fermentables requieren la inclusión de cantidades adecuadas de fibra para reducir el riesgo de acidosis ruminal subaguda (SARA) (Zebeli y Col., 2012)

La acidosis ruminal cobra importancia no solo por razones económicas, si no también, por el bienestar del animal. SARA es asociada también con laminitis que

se pueden controlar con el aumento del nivel y el tipo de fibra en la dieta. (Nocek, 1997)

La media y la variación del tamaño de partícula son importantes nutricionalmente, y en circunstancias normales, las vacas consume partículas de tamaños diferentes, lo que permite una velocidad más constante de la digestión y el paso en el rumen (Lammers y Col., 1996).

Alimentar con raciones completamente mezcladas (RTM) es una estrategia de alimentación de uso frecuente entre el ganado de alta producción de vacas lecheras en todo el mundo. El maíz y ensilajes son los principales componentes de la parte de forraje de RTM (Tafaj y Col., 2007).

El NRC (2001) no establece requisitos para efFDN debido a la falta de un método estandarizado, que sea validado para medir la fibra efectiva de las dietas de vacas lecheras, la inclusión de forraje y la fermentación de grano para predecir la respuesta de los animales. (Zebeli y Col., 2006).

No existen trabajos a nivel de establos comerciales que hayan realizado investigaciones sobre el efecto del tamaño de partícula y el nivel de forraje sobre la eficacia física de la ración completamente mezclada. Se plantea la hipótesis de que el nivel y tamaño del forraje afecta la determinación de la eficacia física de las raciones completamente mezcladas, además el contenido de humedad afecta la estimación de la distribución de la partícula y la eficacia física de las raciones.

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del nivel y tamaño de partícula del forraje sobre la eficacia física de las dietas completamente mezcladas ofrecida a vacas Holstein.

## Revisión de literatura

### ***Requerimientos de fibra por el ganado bovino***

Las dietas de vacas lecheras altas productoras a menudo contienen proporciones relativamente altas de concentrado y bajas en fibra estructural con el fin de satisfacer la demanda de alta energía y las necesidades de nutrientes. Esta práctica fomenta la alta producción de leche, pero también puede conducir a trastornos ruminales, metabólicos y la depresión de grasa en la leche (NRC, 2001).

El contenido adecuado de fibra estructural en la dieta es necesario para una función ruminal saludable, ya que estimula la formación de la estera de partícula en el rumen, la actividad de masticar y por lo tanto aumenta la producción de saliva (Tafaj y Col., 2005)

La fibra es nutricionalmente importante porque representa la porción orgánica de los alimentos que son más difíciles de digerir; la fibra detergente neutro (FDN) es a menudo fermentada por bacterias en el rumen o intestino de los animales y se vuelve digestible. Por lo tanto, la FDN es la fibra insoluble en los piensos que es indigestible o digerido lentamente, y ocupa espacio en el tracto digestivo de los animales (Mertens, 2002).

El uso de FDN como indicador químico del contenido de fibra dietética, indica características tales como su importancia en la digestión con relación a las características físicas; las cuales afectan a la salud animal, la fermentación ruminal, la eficiencia de conversión del alimento, el metabolismo de los animales y el contenido de grasa en leche (Stojanović y Col., 2011).

Las características físicas de raciones para vacas lactantes se ven influenciadas por la dieta de forraje en relación con el concentrado (F:C) y el tipo y la medida de tamaño de las partículas de los alimentos (Mertens, 2002). Balch, (1971) propuso el tiempo de masticación por kg de MS como indicador de las características físicas de forrajes, que fue llamado índice de valor de fibra.

Las diferencias en la cantidad y las propiedades físicas de la fibra pueden afectar la utilización de la dieta y el rendimiento del animal. Cuando demasiada fibra está incluida en la ración, la densidad de energía es baja, el consumo y la productividad se reducen; al contrario, cuando muy poca fibra está incluida en la ración, se puede producir una variedad de signos, que van desde la fermentación alterada en el rumen a la acidosis grave con resultado de muerte (Mertens, 1997).

La alteración de la fermentación ruminal puede resultar cuando el ganado es alimentado con raciones carentes de estructura física, cantidades excesivas de fibra larga y gruesa, también puede limitar el consumo y digestibilidad, afectando en última instancia, el balance energético del animal. (Kononoff y Heinrichs, 2003) El NRC (2001) recomienda que la MS de las dietas lecheras contenga un mínimo de 25% de FDN y 75% de la FDN deben ser suministrados por los forrajes (Calberry y Col., 2003).

### ***Eficacia física de la fibra***

Aunque la medición de la fibra es de rutina, la eficacia de la fibra se ha definido de varias maneras, tradicionalmente, se han referido a la capacidad de la fibra para mantener la producción de grasa en la leche y la salud animal "con eficacia". La eficacia física de la FDN (efFDN) se distingue de FDN efectiva (FDNe) sobre la base de las siguientes definiciones: La FDNe está relacionada con la capacidad total de una alimentación para reemplazar forraje o fibra en una ración de modo que el porcentaje de grasa en la leche producida por vacas que comen la ración se mantenga de manera eficaz.

La efFDN está relacionada con las características físicas de la fibra (principalmente del tamaño de partícula) que estimula la actividad de masticar y la naturaleza bifásica del contenido ruminal (estera de partículas grandes flotando en un charco de partículas líquidas y pequeñas) (Mertens, 1997).

El requisito de fibra en la dieta de ganado lechero afecta el contenido de materia orgánica (MO) fermentada ruminalmente, ya que la efFDN es la fracción de alimentación que estimula la actividad de masticar, a su vez, estimula la secreción de bicarbonato y fosfato en la saliva que neutralizan los ácidos producidos por la

fermentación de MO en el rumen; el equilibrio entre la producción de fermentación acida y la secreción neutralizante es un determinante importante de pH ruminal ya que una disminución de este puede disminuir IMS, la digestibilidad de la fibra, y el rendimiento microbiano y así disminuir la producción de leche y aumentar los costos de alimentación (Allen, 1997). El término de efFDN se utiliza en la formulación de dietas para proporcionar la longitud de partícula de la fibra adecuada para reducir la acidosis (Arzola-Álvarez y Col., 2010). Yang y Beauchemin, (2007) encontraron que la ingesta de efFDN en la dieta es un buen indicador del estado ruminal pH de vacas lecheras y llegaron a la conclusión de que el aumento de la proporción de forraje en la dieta ayuda a prevenir la acidosis ruminal mediante el aumento de tiempo de masticación, un cambio en las pautas dietéticas y la disminución de la producción de ácido ruminal (Zebeli y Col., 2006).

Un gran desafío para los sistemas comunes de alimentación de ganado de alta producción de leche es como conciliar la alimentación de las dietas de alto contenido energético, formuladas para apoyar la producción de leche, con cantidades adecuadas de fibra físicamente efectiva en las dietas, que es necesaria para evitar trastornos ruminales (Zebeli y Col., 2012).

La efFDN de las dietas contribuye a neutralizar y a mantener un rumen favorable para el crecimiento de las bacterias, incluso cuando se alimentan con una dieta alta en concentrado (Van Soest, 1994). Sin embargo, el exceso de efFDN puede limitar el consumo de alimento (Allen, 2000). Las diferencias en la medición y definición de efFDN en dietas e interacciones entre los niveles de inclusión de concentrado, fuentes de forraje y granos, y las variables de la respuesta de los animales hace que las recomendaciones de efFDN sean difíciles (Zebeli y Col., 2006).

Yang y Beauchemin, (2005) concluyeron que los modelos utilizados para predecir el pH del rumen deben incluir tanto efFDN e ingesta de materia orgánica fermentable, debido a que el concepto FDNe sólo se refiere a las propiedades físicas de la fibra y la efFDN fue creada para combinar las características químicas y tamaño de partícula del forraje, y cuantificar su valor para la función del rumen

(Mertens, 2002). Aunque no se han hecho muchos estudios diseñados para examinar la necesidad de fibra efectiva en ganado lechero, son pocos los que han utilizado vacas en lactancia temprana. (Allen, 2000).

Mertens (1997) sugirió que la ración necesita consistir de 22% de MS de efFDN con el fin de mantener el pH del rumen por encima de 6,0 y de mantener un porcentaje de grasa de leche de 3,4% a principios o mediados de lactancia en vacas Holstein alimentadas con dietas a base de maíz.

NRC (2001) concluye, que antes de que los requisitos para efFDN se puedan formular, se requiere más investigación sobre las características químicas y físicas de los alimentos que influyen en su capacidad para mantener la función ruminal óptima y la salud animal.

El tamaño adecuado de la fibra físicamente efectiva, es necesaria en la dieta de vacas lecheras para mantener la función ruminal porque las partículas de forraje largas en la dieta promueven la masticación y la secreción de saliva como neutralizante, en última instancia, elevando pH ruminal (Beauchemin, 1991) y también puede afectar el consumo, la eficiencia digestiva, la salud de la vaca, la producción y composición de la leche, (Yang y Beauchemin, 2005) en los niveles de la relación acetato a propionato (Kononoff y Heinrichs, 2003; Beauchemin y Rode, 1997) porque cuando el pH ruminal cae por debajo de 6,0, el crecimiento de los organismos celulolíticos es deprimido, lo que permite un aumento en los microbios que producen propionato y una disminución del acetato (Lammers y Col., 1996). La fracción de la MO que se fermenta en el rumen varía mucho entre las dietas, teniendo efecto sobre la cantidad de ácidos producidos y en el requerimiento de la fibra físicamente efectiva para mantener un adecuado pH ruminal (Allen, 1997).

Una estrategia alimentaria de los rumiantes se basa en la simbiosis establecida entre los microorganismos ruminales y el animal ya que este provee alimentos y las condiciones adecuadas del medio que las bacterias utilizan, aportando productos de la fermentación. Cuando esta relación simbiótica se altera como consecuencia de cambios en la ración o por la presencia de sustancias no

deseadas, se produce un desequilibrio en la población microbiana ruminal que conduce a la aparición de alteraciones patológicas, siendo la acidosis una de las más importantes (Calsamiglia y Ferret, 2002).

### ***Acidosis ruminal***

Una acidosis aguda puede tener consecuencias extremas, los efectos de la fermentación alterada y acidosis leve o subaguda pueden tener el mayor impacto económico en la producción de lácteos (Mertens, 1997).

El aumento de la osmolaridad por ácidos y acumulación de glucosa pueden dañar la pared ruminal e intestinal, disminuir el pH sanguíneo y causar deshidratación que resulta fatal (Owens y Col., 1998).

Los ácidos fermentados se remueven del rumen por absorción a través de su epitelio y por el paso a través del orificio omasal y desde compartimentos distales al rumen. Con un alto pH ruminal, pocos ácidos grasos volátiles (AGV) existen en forma asociada, y la tasa fraccional de absorción se reduce. Bajo estas condiciones, la absorción de AGV del rumen se produce por la secreción de ácido carbónico, que suministra los iones de hidrógeno (Allen, 1997).

La producción de ácido en el rumen se debe principalmente a la fermentación de hidratos de carbono, que representan más del 65% de la MS en dietas de vacas lecheras (Allen, 1997) por lo que dietas altamente fermentables requieren la inclusión de cantidades adecuadas de fibra para reducir el riesgo de acidosis ruminal subaguda (SARA) (Zebeli y Col., 2012).

SARA es un problema de salud y producción que comunmente ocurre en los rumiantes y a menudo se desencadena por un bajo pH ruminal debido a una dieta baja en fibra y a la excesiva ingesta de carbohidratos no estructurales y de fibra inadecuada (Calsamiglia y Col., 2012). Además de la cantidad de fibra que se consume, la forma física de alimentación también juega un papel importante en la causa de SARA. Alimentar con tamaños de partícula más cortos por lo general resulta en un menor tiempo de masticación y pH ruminal bajo (Grant y Col., 1990). La efFDN, es necesario para estimular la rumia y reducir SARA. Esta situación es

un reto, sobre todo para las vacas en lactancia temprana, porque el aumento de la efFDN puede reducir el consumo de materia seca y complica a la vaca para alcanzar la máxima producción de leche (Alamouti y Col., 2014).

SARA inducida experimentalmente se obtiene mediante la reducción de efFDN de la dieta (Zhao y Col., 2011) o mediante el aumento de almidón degradable en rumen (Gozho Col., 2007).

Los requisitos de fibra y energía de las vacas a mediados y finales de la lactancia son relativamente fáciles de lograr, pero que satisfagan el requisito de fibra de vacas en lactancia temprana puede ser difícil debido a la necesidad de alimentar con dietas altas en grano para maximizar el consumo de energía, lo que puede conducir a un mayor riesgo de SARA (Allen, 1997; Stone, 2004).

La acidosis aguda se define como una condición en la que el pH ruminal es aproximadamente menor de 5 a 5.2, mientras que SARA se define como un pH ruminal de aproximadamente 5.2 a 5.6. Cuando el pH del rumen cae a 5.2 o menos, las bacterias productoras de ácido láctico como *Streptococcus bovis*, producen grandes cantidades de ácido láctico. (Nocek, 1997; Owens y Col., 1998) En estudios con ganado lechero con SARA, los niveles de lactato han sido bajos. (Oba y Allen, 2000). Parece que el pH ruminal en ganado lechero con SARA es generalmente más cercano a un intervalo de pH de 5.5 a 5.6 que de 5.2 (Keunen y Col., 2002).

Acetato y etanol se producen por encima de un pH de 5.7, mientras que los niveles de lactato no aumentan marcadamente hasta que el pH cae por debajo de 5.2. Más que por presencia de lactato, SARA parece ser causada debido a una elevación de AGV (Stone, 2004).

La acidosis ruminal cobra importancia no solo por razones económicas, si no también, por el bienestar del animal. SARA es asociada también con laminitis y crecimiento excesivo de la pezuña, abscesos de la suela y ulcera solear (Nocek, 1997).

La cojera es uno de los problemas económicos más importantes de salud y bienestar en las explotaciones lecheras de hoy (Espejo y Endres, 2007). Los problemas de pezuñas están relacionados con laminitis (úlceras, absceso línea blanca, y hemorragia solar) (Warnick y Col., 2001). Esta se ha asociado con la nutrición, específicamente con SARA (Nocek, 1997; Stone, 2004). Aunque esta relación no se conoce, una de las teorías se refiere al daño inducido por SARA en el epitelio ruminal, lo que permite la absorción de histamina y endotoxinas. Estos y posiblemente otros compuestos interrumpen la circulación lo que causa trastornos de la misma en el corion e inflamación dentro de la pezuña. Estos problemas podales no aparecen generalmente hasta semanas o meses después del comienzo de la acidosis ruminal (Keunen y Col., 2002).

La laminitis se caracteriza por la aparición de anillos de crecimiento en la pared posterior de la pezuña y cuando su incidencia es superior a 10% del total de animales en el hato, se debe considerar que es un problema relacionado con la alimentación (Nocek, 1997).

Los problemas podales son una de las causas más importantes de desechos prematuros e involuntarios en los hatos lecheros (las fallas reproductivas y la baja en la producción de leche son consecuencias de estos problemas). (Stone, 2004) La acidosis y laminitis pueden ser controladas con el aumento del nivel y el tipo de fibra en la dieta. Para maximizar la ingesta de energía, se debe proporcionar un equilibrio adecuado de carbohidratos no estructurales y estructurales, y la cantidad de fibra efectiva debe ser suficiente para promover la función normal del rumen (Nocek, 1997).

El equilibrio intrarruminal de AGV es probablemente limitado por la consistencia del contenido del rumen, el cual depende de la MS, la viscosidad del fluido y de la estratificación de estera ruminal (Shaver y Col., 1988).

La absorción de AGV se ve facilitada por los ciclos de contracción de bandas musculares del retículo-rumen mezclando los contenidos ruminales y exponiendo los AGV a la pared ruminal. En situaciones comunes de alimentación, el pH ruminal y las concentraciones de AGV difieren entre la estera medial y el saco

ventral del rumen, mostrando un pH más bajo y altas concentraciones de AGV en la región de la estera (Tafaj y Col, 2004). Esto indica que la mezcla de contenido ruminal es imperfecta y que el equilibrio de AGV es uno de los factores que contribuyen a su acumulación en el tapete ruminal (Storm y Kristensen, 2010).

### ***Tamaño de partícula***

El aumento del tamaño de partícula tiene efecto en el pH ruminal que se atribuye al cambio en la consistencia del contenido de rumen, reduciendo la velocidad de equilibrio intrarruminal, por consiguiente, el retraso de la absorción y la protección del epitelio de la carga máxima de AGV (Storm y Kristensen, 2010).

Alimentos con tamaño de partícula más largo por lo general resultan en mayor relleno debido a una tasa de paso más lenta limitando la ingesta de materia seca a través de una distensión. Las directrices actuales del NRC (2001) han demostrado útil la definición de los requisitos de composición de la alimentación pero no proporcionan recomendación detallada de la forma física en la ración (Kononoff y Heinrichs, 2003).

La reducción del tamaño de partícula de forraje aumenta la ingesta de materia seca, disminuye la digestibilidad y el tiempo de retención de sólidos en el rumen. Las dietas que tienen un tamaño de partícula de forraje más pequeñas entran en el rumen en un tamaño más pequeño después de la masticación y la deglución inicial; por lo tanto, dejan el rumen más rápido (Lammers y Col., 1996).

Las características físicas de la fibra se vuelven críticas cuando se trata de definir el límite inferior para la relación de forraje y concentrado F:C aceptable en las raciones para vacas productoras de leche. Sin embargo, FDN es menos eficaz en la formulación de raciones cuando se utilizan forrajes finamente picados o fuentes de fibra no forrajeras (Mertens, 1997). Además, las investigaciones han encontrado que la síntesis de proteína microbiana disminuye al incrementar el tamaño de forraje debido al aumento de pasaje ruminal de sólidos. La gravedad específica fraccional también juega un papel importante en las tasas de paso de partículas de alimento desde el rumen (Lammers y Col., 1996).

La media y la variación del tamaño de partícula son importantes nutricionalmente a la vaca, y, en circunstancias normales, esta consume partículas de tamaños diferentes, lo que permite una velocidad más constante de la digestión y el paso en el rumen (Lammers y Col., 1996).

Las características físicas y químicas de los ingredientes de la dieta y sus interacciones pueden tener un gran efecto en las vacas lactantes, las limitaciones físicas causadas por la distensión del retículo-rumen u otros compartimentos del tracto gastrointestinal a menudo limitan la ingesta de materia seca de vacas de alta producción o vacas alimentadas con dietas de alto forraje (Allen, 2000).

### ***Uso de raciones completamente mezcladas***

Alimentar con raciones completamente mezcladas (RTM) es una estrategia de alimentación de uso frecuente entre el ganado de alto rendimiento de vacas lecheras en todo el mundo. Maíz y ensilado de hierba son los principales componentes de la parte de forraje de RTM. Se alimentan como componentes individuales, forraje o en conjunto, dependiendo principalmente de la región, la disponibilidad, y el propósito de alimentación (Tafaj y Col., 2007).

La optimización del tamaño de las partículas de forraje es un aspecto crucial de la estrategia de alimentación con RTM porque influye en la eficacia estructural y uniformidad, procesos de digestión y, como consecuencia, el consumo de alimento y la producción de leche, (Tafaj y Col., 2007) también se ha demostrado que el contenido de MS de la RTM afecta el pH ruminal (Hosseinkhani y Col., 2007) una de las causas son las partículas grandes que disminuyen la tasa de fermentación ruminal y equilibrio AGV de la estera ruminal (Storm y Kristensen, 2010).

La eficacia estructural de RTM es el resultado del contenido de fibra, tamaño de partícula y degradabilidad de la MO ruminal (Mertens, 1997; De Brabander y Col., 1999; Zebeli y Col., 2006).

La distribución de tamaño de partícula y homogeneidad de la mezcla se pueden evaluar juntas cuando el objetivo es tener una RTM que tendrá un efecto positivo

sobre el comportamiento productivo de vacas lecheras altas productoras (Arzola-Álvarez y Col., 2010).

*Cuadro 1 Tamaño de partícula del forraje, pH ruminal y grasa de la leche.*

	<b>Fina</b>	<b>Media</b>	<b>Gruesa</b>
<b>pH Ruminal</b>	5.40	5.80	6.25
<b>Acetato/propionato</b>	2.08	3.20	3.89
<b>Grasa de la leche</b>	3.20	3.50	3.80

Fuente: Grant y Col., 1990.

En general, los distintos factores del tamaño de las partículas de forraje rigen el consumo de MS de las vacas lecheras altas productoras alimentadas con RTM con inclusión de concentrado alto. Entre estos factores, el tipo de forraje en la RTM juega un papel importante. La cantidad de carbohidratos fácilmente fermentables en la ración determina cambios metabólicos importantes en el rumen, que pueden afectar el consumo de MS de vacas lecheras de alta producción a un grado mayor que el tamaño de partícula de forraje (Tafaj y Col., 2007).

### ***Evaluación de la eficacia física***

Las diferencias en la medición y definición de efFDN e interacciones entre los niveles de inclusión de concentrado, fuentes de forraje y granos, y las variables de las respuestas de los animales entre diferentes estudios hacen difícil las recomendaciones de efFDN. El NRC (2001) no establece requisitos para efFDN debido a la falta de un método estandarizado, validado para medir la fibra efectiva en los alimentos, la inclusión de forraje y características de los modelos de la fermentación de grano para predecir la respuesta de los animales y para evaluar la eficacia física de las dietas de vacas lecheras (Zebeli y Col., 2006).

Para evaluar la adecuación de la fibra dietética en el ganado lechero, el concepto de efFDN ha recibido cada vez más atención, ya que combina información del

contenido químico de fibra y tamaño de las partículas de los forrajes (Zebeli y Col., 2012).

La evaluación del tamaño de partícula es una prueba para identificar la parte de la fibra en las dietas que es eficaz en la estimulación de la producción de saliva y la rumia. En principio, el análisis de tamaño de partícula de una dieta es similar al análisis de la proteína cruda o de otros análisis de nutrientes (Arzola-Álvarez y Col., 2010).

El Separador de Partículas de la Universidad de Pensilvania (PSPS) conformado por una criba superior de 19mm, seguida por una de 8mm, y la criba de acero de 1.18mm y finalmente la bandeja inferior de plástico como base es utilizado para la evaluación del tamaño de partícula, colocando una muestra en la criba de 19mm. (Heinrichs y Kononoff, 2002).

Lammers y Col., (1996) describen un método para el análisis de tamaños de partícula de forraje y RTM utilizando el PSPS. Este método también puede ser usado para estimar el contenido de efFDN de la dieta (Yang y Col., 2001; Beauchemin y Col., 2003). Sin embargo, una evaluación de laboratorio de la eficacia de la fibra debe ser validado con una evaluación de la eficacia biológica de la fibra (Calberry y Col., 2003).

Poppi y Col., (1985) determinaron que las partículas que fueron retenidos en una criba de 1,18 mm salen del rumen más lentos que los que no son retenidos. (Mertens, 1997) sugiere para que las partículas  $> 1,18$  mm salgan del rumen tienen que ser reducida a través de masticación y como resultado estas partículas podrían estimular más la secreción de saliva que los  $< 1,18$  mm. (Kononoff y Heinrichs, 2003).

Mertens (1997) desarrolló un sistema para la determinación del factor de eficacia física utilizado para el cálculo del contenido efFDN en los alimentos.

El sistema para la determinación de efFDN basado en análisis químicos y físicos consiste en la determinación del contenido de FDN en la ración y la porción de partículas de alimento retenido en la criba de 1,8 mm. El factor de eficacia ef es

equivalente a la porción de partículas mayores de 1,8 mm, y el de efFDN se calcula multiplicando el contenido de NDF con el factor de ef (Mertens, 1997).

Se ha propuesto que la efFDN de los alimentos se puede medir como el contenido de FDN de alimento multiplicado por el factor deef, que se puede determinar ya sea como la proporción de la alimentación retenido en una criba de 1,18 mm usando una técnica de tamizado en seco (Lammers y Co., 1996) o como la suma de la materia seca retenida en dos cribas del PSPS (Lammers y Col., 1996; Beauchemin y Col., 2003).

Un sistema práctico para la determinación de efFDN en la ingesta de la ración de vacas lactantes se basa en la medición del tamaño de partículas de alimento que retiene las cribas de 19, 8 y 1.8 mm del PSPS, y el análisis químico del contenido de FDN de cada fracción (Kononoff y Heinrichs, 2003).

Otros métodos para la determinación del contenido de efFDN como el de Yang y Beauchemin (2007) basado en la determinación de una parte de la muestra de MS retenido por criba de PSPS y la muestra promedio contenido de FDN; y el método marcos alemanes basado en la determinación de una parte del contenido total de la muestra FDN retenido por las cribas de PSPS; Los valores obtenidos se firmaron como peNDF3s y peNDF3s\_ndf, respectivamente (Stojanović y Col., 2011).

Según Lammers y Col., (1996) la efFDN podría medirse como una proporción de MS retenida por la criba 8 y 19 mm) en el PSPS y multiplicado por la FDN contenida en la dieta peNDF $>$  8, sin embargo, no está claro qué medida de efFDN proporciona la estimación más precisa de la masticación, la producción de saliva, y neutralización en el rumen (Einarson y Col., 2004).

Los requisitos mínimos para efFDN  $>$  1,18, y tamaño de partícula aún no se han formulado; sin embargo, se ha sugerido que estos requisitos dependen de la fuente de forraje y la fuente de grano de la dieta, ya que el forraje y granos varían en contenido de FDN, degradabilidad en rumen y capacidad intrínseca en

neutralización del rumen (Beauchemin, 1991; Beauchemin y Rode, 1997; Soita y Col., 2002; Einarson y Col., 2004).

La cantidad de FDN, FDN del forraje, y efFDN requerida en una ración de vacas en lactación para prevenir la depresión de grasa en la leche y la acidosis ruminal ha sido objeto de debate, sobre todo en las dietas a base de cebada (Beauchemin, 1991; Beauchemin y Rode, 1997).

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del nivel y tamaño de partícula del forraje sobre la eficacia física de las dietas completamente mezcladas ofrecida a vacas Holstein.

## Materiales y métodos

### **Descripción del lugar del proyecto**

El estudio se realizó en el establo Lanchares ubicado en la Comarca lagunera, que presenta un clima semidesértico, el cual tiene una altura de 1129 m sobre el nivel del mar, y una temperatura anual promedio de 27°C, alcanzando una temperatura máxima de 43°C en verano y una temperatura mínima de -5°C en invierno. Presenta una humedad relativa promedio de 58%, con una máxima de 83 %y una mínima de 29 %con una precipitación anual de 230 mm (CONAGUA, 2014) se presentan vientos de 5 Km/h y la evaporación es de 2500 mm anual, el periodo del estudio comprendió el mes de octubre de 2014.

### **Procedimiento Experimental**

Para el desarrollo de la presente prueba se utilizaron cuatro corrales que incluyeron a un total de 3,100 vacas de la raza Holstein, con más de un parto y con rango de producción de 35 a 40 litros por vaca al día. Para definir el efecto del tamaño de partícula de la alfalfa, ésta fue picada con un molino de martillo para obtener el tamaño corto y largo. En tanto que el nivel de forraje en la ración se obtuvo mediante la elaboración de dos dietas, una con la relación forraje concentrado 60:40 y otra con 45:55%, en ambos casos referidos como MS.

Además las vacas fueron asignadas a cuatro corrales que se constituyeron en los siguientes tratamientos: TPC que recibió una dieta con una relación forraje concentrado de 60:40 y con un tamaño de partícula corto, TPL que recibió una dieta con una relación forraje concentrado de 60:40 y con un tamaño de partícula largo, NFB que recibió una dieta con una relación forraje concentrado 45:55 y un tamaño de partícula corto y NFA que recibió una dieta con una relación forraje concentrado 45:55 y un tamaño de partícula largo.

### **Recolección de muestras**

Se consideró que al momento de la recolección diaria de la muestra fuera inmediatamente después de servida la ración en los pesebres y antes de que la vaca tuviera contacto con el alimento, colectándose aproximadamente 3

kilogramos a lo largo del pesebre y teniendo tres puntos de referencia que fueron al inicio, la mitad y el final del pesebre de cada corral (Arzola-Álvarez y Col., 2010).

### **Determinación de materia seca**

La materia seca de las muestras de las raciones colectadas en cada uno de los tratamientos fue determinada en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde las muestras de la RCM permanecieron dentro de un horno por un lapso de 24 horas a 80 ° C.

### **Determinación de la distribución del tamaño de partícula de la RCM**

La separación de las partículas de la ración según su tamaño, fue hecha usando el Separador de Partículas de la Universidad de Pensilvania (PSPS) conformado por una criba superior de 19mm, seguida por una de 8mm, y la criba de acero de 1.18mm y finalmente la bandeja inferior de plástico como base. En cada una de las determinaciones de la distribución del tamaño de partículas se colectó una muestra de aproximada a los 600-800 gr, los cuales se depositaron antes de la cribada en la criba de 19 mm.

El procedimiento de tamizado implicó 5 movimientos verticales, de aproximadamente 60 cm para cada lado de la caja y dando dos vueltas completas a la caja (5X4X2), dando como resultado un total de 40 movimientos, lo anterior fue para evitar, con la rotación, la aglomeración de las partículas en las cribas. Las cantidades de muestra de cada criba fueron expresadas como un porcentaje del total de la muestra. (Heinrichs y Kononoff, 2002).

### **Determinación de la eficacia física de la RCM**

Para determinar la eficacia física a dos cribas ( $ef_2$ ), se sumaron los porcentajes retenidos en la criba de 19mm y 8mm y se dividieron entre 100. La eficacia física a tres cribas ( $ef_3$ ), se obtuvo al sumar los porcentajes de las cribas de 19mm, 8mm y 1.18mm y se dividió entre 100.

### **Determinación de la eficacia física de la fibra detergente neutro (efFDN) de la RCM.**

Para determinar la efFDN de la ración, primero se obtuvo la FDN de la ración completamente mezclada la cual se determinó en el laboratorio de la UAAAN y se utilizó la metodología según (Leal y Col., 2010), utilizando equipo Digestor/Analizador ANKOM 200/220 y estufa con temperatura regulada a 105 °C.

La efFDN a dos cribas ( $ef_2$ FDN) se obtuvo al multiplicar la  $ef_2$  por la FDN de la RCM y la efFDN3 a tres cribas ( $ef_3$ FDN) por la FDN de la RCM. (Bhandari, 2007)

### **Análisis estadístico de la información**

Los datos fueron analizados utilizando un diseño experimental al azar con estructura factorial de 2 x 2 siendo los factores de nivel de forraje en la ración y tamaño de partícula de la alfalfa.

## Resultados y discusión

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de determinar el efecto del tamaño de partícula y el nivel de inclusión de forraje sobre la efectividad de la fibra de la ración completamente mezclada de las vacas productoras de leche. Los resultados de esta prueba se presentan en el cuadro 2.

*Cuadro 2 Efecto del nivel y tamaño de partícula del forraje sobre la eficacia física de las dietas completamente mezcladas ofrecida a vacas Holstein*

Valores	TP		NF		P
	Largo	Corto	Bajo	Alto	
<b>Cr 19</b>	6.932 <sup>a</sup>	5.706 <sup>b</sup>	6.159 <sup>a</sup>	6.52 <sup>a</sup>	< 0.002
<b>Cr 8</b>	42.486 <sup>a</sup>	41.717 <sup>a</sup>	44.735 <sup>a</sup>	39.495 <sup>b</sup>	< 0.001
<b>Cr 1.18</b>	34.205 <sup>b</sup>	37.262 <sup>a</sup>	33.556 <sup>b</sup>	37.806 <sup>a</sup>	< 0.001
<b>Cr base</b>	16.375	15.312	15.547	16.176	< 0.001
<b>ef<sub>2</sub></b>	0.494 <sup>a</sup>	0.474 <sup>b</sup>	0.509 <sup>a</sup>	0.46 <sup>b</sup>	< 0.001
<b>ef<sub>3</sub></b>	0.835 <sup>b</sup>	0.847 <sup>a</sup>	0.844 <sup>a</sup>	0.837 <sup>a</sup>	< 0.001
<b>FDN</b>	35.241 <sup>a</sup>	36.281 <sup>a</sup>	35.069 <sup>b</sup>	36.412 <sup>a</sup>	< 0.013
<b>ef<sub>2</sub> FDN</b>	16.738 <sup>a</sup>	17.25 <sup>a</sup>	17.155 <sup>a</sup>	16.815 <sup>a</sup>	< 0.7533
<b>ef<sub>3</sub> FDN</b>	28.452 <sup>b</sup>	30.785 <sup>a</sup>	28.574 <sup>b</sup>	30.579 <sup>a</sup>	< 0.0053

Renglones con literales diferentes fueron significativamente diferentes.

TPC= Tamaño de partícula Corto; TPL=, tamaño de partícula Largo; NFA Nivel de forraje alto; NFB Nivel de forraje bajo

Estudios previos que utilizaron separador de partículas de Penn State a tres cribas (PSPS<sub>3S</sub>) fueron capaces de mostrar diferencias entre TP largo contra corto de la RTM que contenían heno de alfalfa (Alamouti y Col., 2014). Los resultados indicaron que la distribución de las partículas en la dieta se ve afectada por el TP de forraje.

La retención de partícula en la criba de 19 mm fue afectada ( $P < 0.001$ ) sólo por el tamaño de partícula en la ración completamente mezclada de las vacas lactantes (6.39 vs 5.706, en el TPL y TPC respectivamente). En tanto que el nivel de inclusión del forraje tuvo efecto ( $P < 0.001$ ) sobre la cantidad de partícula retenida en la criba 8 mm, de tal forma que en nivel alto de forraje se observó menor retención de partícula en esa criba (39.345) en comparación con NFB.

La cantidad de partícula distribuida en la criba 1.18 fue afectada ( $P < 0.001$ ) tanto por el tamaño de partícula como por el nivel de forraje de la ración, de tal forma que en el TPC se retuvo más partícula que con TPL y con el NFA se retuvo una cantidad mayor de alimento que en el NFB.

La amplia gama de distribuciones de tamaño de partícula de RTM utilizados en diferentes estudios refleja la variabilidad observada que se presentan en establos lecheros. Por ejemplo, (Plaizier, 2004) utilizaron las PSPS para medir la longitud de partícula de RTM de 40 granjas lecheras en todo Manitoba, Canadá, y encontró que las partículas retenidos en las cribas de 19 y 8 mm fueron de 3 a 69%, de 18 a 50%, y 8 a 37%, respectivamente. Las proporciones recomendadas para RCM son de 2 a 8% en la criba de 19 mm y de 30 a 50% en la de 8 mm, 30 a 50 % en la de 1.18 y  $\leq 20$  % en la base (Heinrichs y Kononoff, 2002) Estas recomendaciones se basan en la suposición de que partículas de la alimentación retenidas en estas cribas promueven la actividad de masticar que contribuye a la neutralización del rumen. Las dietas utilizadas en nuestro estudio están dentro del rango recomendado.

Por otra parte, el tamaño de partícula de la alfalfa tuvo un efecto significativo ( $P < 0.001$ ) sobre la  $ef_2$  de la ración, observándose una mayor cantidad en las raciones con un tamaño de la partícula largo, que las de tamaño de partícula corto (0.494 vs 0.474, respectivamente). Así mismo, el nivel de forraje en la ración también afectó la  $ef_2$  registrándose una mayor cantidad en las raciones con menor contenido de forraje.

En el caso de la  $ef_3$ , sólo se observó efecto ( $P < 0.001$ ) en el tamaño de partícula, correspondiendo una mayor cantidad cuando se incluyó en la ración un menor tamaño de partícula. Ocurriendo lo contrario en los resultados obtenidos por Yansari y Col., (2004) quienes al aumentar la longitud de partícula de forraje aumentó significativamente la  $ef$ , coincidiendo con los resultados de (Zhao y Col., 2011)

Por otra parte la  $ef_3$ FDN de la RCM fue afectada ( $P < 0.001$ ) por el tamaño de partícula de la ración, de manera que la reducción del tamaño de partícula arrojó

una mayor cantidad de esta variable en relación al tamaño largo de la alfalfa (30.79 vs 28.45, respectivamente). El nivel de inclusión de la alfalfa en la ración también afectó ( $P < 0.001$ ) significativamente a la  $ef_3FDN$  de las raciones empleadas en las vacas, ya que en el nivel alto de forraje se observó una mayor cantidad de esta variable. En los resultados del estudio de Bhandari, (2007) donde determinó la  $efFDN_{\geq 1.18}$  no hubo mucha diferencia, y fue más alta al dar el ensilaje de alfalfa con tamaño más corto que largo (28.6 vs 28.4) respectivamente coincidiendo con nuestros resultados al determinar la  $efFDN$  con base húmeda.

Hay una controversia en cuanto a qué método de determinación de TP es el más apropiado para la adecuada predicción de la  $efFDN$  en las dietas y de las respuestas del comportamiento de las vacas alimentadas con RTM que difieren en TP del forraje (Zebeli y Col., 2012).

La cantidad de  $efFDN$  de la RTM es mayor cuando es estimada  $ef_3FDN$  que cuando es estimada  $ef_2FDN$ , esto se debe a que  $ef_3FDN$  contiene un gran número de partículas retenidas en las cribas inferiores (es decir, partículas mayores de 1,18 mm y menor que 8 mm). Los resultados de investigación (Kononoff y Heinrichs, 2003; Plaizier, 2004; Einarson, 2004) mostraron que la proporción de esta criba podría oscilar entre 30 y 50% en la RTM. Beauchemin y Col., (2003) reportaron una  $efFDN$  50% más alto de RTM cuando se estimó como  $ef_3FDN$  en comparación con  $ef_2FDN$ , porque  $ef_2FDN$  no considera partículas  $< 8$  mm, mientras  $ef_3FDN$  si lo hace. (Zebeli, 2006)

La cantidad de fibra detergente neutro en las raciones solamente fue afectada por la cantidad de forraje en la ración completamente mezclada de las vacas que recibieron los cuatro tratamientos. En un estudio de Yang y Beauchemin, (2007) evaluaron los efectos del TP sobre la fibra detergente neutra demostrando que la  $ef_3FDN$  fue mayor cuando la relación F:C fue alta, esto indica que la longitud de partícula de forrajes tiene un mayor impacto sobre la eficacia física de RTM, cuando contiene una mayor proporción de forraje como lo confirmándolo con estos autores.

## Conclusión

El nivel de inclusión y el aumento del tamaño del heno de alfalfa permiten que una mayor cantidad de alimento sea retenida en la criba de 19 mm, pero la cantidad de forraje en la ración permite una mayor eficiencia física del NDF de las raciones de vaca. La determinación de la eficacia física de las raciones es impactada por el tamaño de partícula y el nivel de forraje en las raciones de las vacas, además el contenido de humedad afecta la estimación de la distribución de la partícula y la eficacia física de las raciones.

Los resultados de estudios anteriores son difíciles de comparar porque fuentes de forraje y concentrado, tamaños de partículas, relación entre forraje y concentrado, y el contenido de FDN en el forraje varían mucho en las dietas, por lo que nuevos estudios se requieren para validar diferentes sistemas para optimizar el nivel del efFDN en la dieta de vacas lecheras

## Literatura citada

- Alamouti, A., M. Alikhani, G. Ghorbani, A. Teimouri-Yansari, and M. Bagheri. 2014. Response of early lactation Holstein cows to partial replacement of neutral detergent soluble fibre for starch in diets varying in forage particle size. *Livestock Science* 160: 60-68.
- Allen, M. S. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *Journal of Dairy Science* 80: 1447-1462.
- Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 83: 1598-1624.
- Arzola-Álvarez, C. et al. 2010. Particle size distribution and chemical composition of total mixed rations for dairy cattle: Water addition and feed sampling effects. *Journal of dairy science* 93: 4180-4188.
- Beauchemin, K. 1991. Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and alfalfa hay quality on chewing, rumen function, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 74: 3140-3151.
- Beauchemin, K., and L. Rode. 1997. Minimum versus optimum concentrations of fiber in dairy cow diets based on barley silage and concentrates of barley or corn. *Journal of dairy science* 80: 1629-1639.
- Beauchemin, K., W. Yang, and L. Rode. 2003. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production. *Journal of Dairy Science* 86: 630-643.
- Calberry, J., J. Plaizier, M. Einarson, and B. McBride. 2003. Effects of replacing chopped alfalfa hay with alfalfa silage in a total mixed ration on production and rumen conditions of lactating dairy cows. *Journal of dairy science* 86: 3611-3619.
- Calsamiglia, S., and A. Ferret. 2002. Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. XVIII Curso de Especialización. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). Eds. CP Ga Rebollar, GG De Blas y Mateos. Madrid, España.

- Calsamiglia, S., M. Blanch, A. Ferret y D. Moya. (2012). "Is subacute ruminal acidosis a pH related problem? Causes and tools for its control." *Animal feed science and technology* 172(1): 42-50. (Nº. 48)
- De Brabander, D., J. De Boever, J. Vanacker, C. V. Boucqué, and S. Botterman. 1999. Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. *Recent advances in animal nutrition*: 111-146.
- Einarson, M., J. Plaizier, and K. Wittenberg. 2004. Effects of barley silage chop length on productivity and rumen conditions of lactating dairy cows fed a total mixed ration. *Journal of dairy science* 87: 2987-2996.
- Espejo, L., and M. Endres. 2007. Herd-level risk factors for lameness in high-producing Holstein cows housed in freestall barns. *Journal of dairy science* 90: 306-314.
- Gozho, G., D. Krause, and J. Plaizier. 2007. Ruminal lipopolysaccharide concentration and inflammatory response during grain-induced subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90: 856-866.
- Grant, R., V. Colenbrander, and D. Mertens. 1990. Milk fat depression in dairy cows: role of particle size of alfalfa hay. *Journal of Dairy Science* 73: 1823-1833.
- Heinrichs, J., and P. Kononoff. 2002. Evaluando el tamaño de partícula de forrajes y RTMs usando el Nuevo Separador de Partículas de Forraje de Penn State. Departamento de Ciencias Animales y Lecheras de la Universidad Estatal de Pennsylvania, Extensión Cooperativa. DAS: 02-42.
- Keunen, J. et al. 2002. Effects of a subacute ruminal acidosis model on the diet selection of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85: 3304-3313.
- Kononoff, P., and A. Heinrichs. 2003. The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *Journal of dairy science* 86: 1445-1457.
- Lammers, B., D. Buckmaster, and A. Heinrichs. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 79: 922-928.
- Leal, C. C., W. C. Chalé, and C. R. Rivas. 2010. Determinación de fibras y lignina en alimentos, ingredientes y muestras de origen animal. Universidad Autónoma de Yucatan

- Mertens, D. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of dairy science* 80: 1463-1481.
- Mertens, D. R. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC international* 85: 1217-1240.
- National Research Council (NRC). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Washington, DC: National Academic Press.
- Nocek, J. E. 1997. Bovine acidosis: Implications on laminitis. *Journal of dairy science* 80: 1005-1028.
- Oba, M., and M. Allen. 2000. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 3. Digestibility and microbial efficiency. *Journal of dairy science* 83: 1350-1358.
- Owens, F., D. Secrist, W. Hill, and D. Gill. 1998. Acidosis in cattle: a review. *Journal of animal science* 76: 275-286.
- Plaizier, J. 2004. Replacing chopped alfalfa hay with alfalfa silage in barley grain and alfalfa-based total mixed rations for lactating dairy cows. *Journal of dairy science* 87: 2495-2505.
- Poppi, D., R. Hendricksen, and D. Minson. 1985. The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle and sheep. *The Journal of Agricultural Science* 105: 9-14.
- Shaver, R., A. Nyles, L. Satter, and N. Jorgensen. 1988. Influence of Feed Intake, Forage Physical Form, and Forage Fiber Content on Particle Size of Masticated Forage, Ruminal Digesta, and Feces of Dairy Cows 1, 2. *Journal of dairy science* 71: 1566-1572.
- Soita, H., D. Christensen, J. McKinnon, and A. Mustafa. 2002. Effects of barley silage of different theoretical cut length on digestion kinetics in ruminants. *Canadian journal of animal science* 82: 207-213.
- Stojanović, B., G. Grubić, N. Đorđević, A. Božičković, and A. Ivetić. 2011. Effects of forages and total mixed rations particle size on physical effectiveness and chewing activity of lactating cows. *Biotechnology in Animal Husbandry* 27: 935-942.

- Stone, W. 2004. Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 87: E13-E26.
- Storm, A. C., and N. B. Kristensen. 2010. Effects of particle size and dry matter content of a total mixed ration on intraruminal equilibration and net portal flux of volatile fatty acids in lactating dairy cows. *Journal of dairy science* 93: 4223-4238.
- Tafaj, M., A. Maulbetsch, Q. Zebeli, H. Steingass, and W. Drochner. 2005. Effects of physically effective fibre concentration of diets consisting of hay and slowly degradable concentrate on chewing activity in mid lactation dairy cows under constant intake level. *Archives of animal nutrition* 59: 313-324.
- Tafaj, M., B. Junck, A. Maulbetsch, H. Steingass, H. Piepho y W. Drochner. (2004). "Digesta characteristics of dorsal, middle and ventral rumen of cows fed with different hay qualities and concentrate levels. *Archives of animal nutrition* 58(4): 325-342. (N°. 49)
- Tafaj, M., Q. Zebeli, C. Baes, H. Steingass, and W. Drochner. 2007. A meta-analysis examining effects of particle size of total mixed rations on intake, rumen digestion and milk production in high-yielding dairy cows in early lactation. *Animal feed science and technology* 138: 137-161.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Warnick, L., D. Janssen, C. Guard, and Y. Gröhn. 2001. The effect of lameness on milk production in dairy cows. *Journal of dairy science* 84: 1988-1997.
- Yang, W., and K. Beauchemin. 2005. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of dairy science* 88: 1090-1098.
- Yang, W., and K. Beauchemin. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Chewing and ruminal pH. *Journal of dairy science* 90: 2826-2838.
- Yang, W. y K. Beauchemin. (2007). "Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: digestion and milk production." *Journal of dairy science* **90**(7): 3410-3421.

- Yansari, A. T. et al. 2004. Effects of alfalfa particle size and specific gravity on chewing activity, digestibility, and performance of Holstein dairy cows. *Journal of dairy science* 87: 3912-3924.
- Zebeli, Q. et al. 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of dairy science* 95: 1041-1056.
- Zebeli, Q., M. Tafaj, H. Steingass, B. Metzler, and W. Drochner. 2006. Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. *Journal of dairy science* 89: 651-668.
- Zhao, X., T. Zhang, M. Xu, and J. Yao. 2011. Effects of physically effective fiber on chewing activity, ruminal fermentation, and digestibility in goats. *Journal of animal science* 89: 501-509.