

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



**"EVALUACIÓN DE DOS TIPOS DE CRIBAS UTILIZADAS  
PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA RACIÓN  
DE VACAS EN PRODUCCIÓN LÁCTEA"**

**POR:**

**NICANDRO ISAURO BAUTISTA TOLENTINO**

**TESIS**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO  
DE:**

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

**“EVALUACIÓN DE DOS TIPOS DE CRIBAS UTILIZADAS  
PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE PARTICULA DE LA  
RACION DE VACAS EN PRODUCCIÓN LACTEA”**

**POR:**

**NICANDRO ISAURO BAUTISTA TOLENTINO**

**T E S I S**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TITULO  
DE:**

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**M.C. Pedro Antonio Robles Trillo  
Director**

**Dr. Rafael Rodríguez Martínez  
Asesor**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

**"EVALUACIÓN DE DOS TIPOS DE CRIBAS UTILIZADAS  
PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE PARTICULA DE LA  
RACION DE VACAS EN PRODUCCIÓN LACTEA"**

**POR:**

**NICANDRO ISAURO BAUTISTA TOLENTINO**

**TESIS**

**Aprobado por el comité**

**Presidente del jurado**



---

**M.C: Pedro Antonio Robles Trillo**

**Coordinador de la división regional de ciencia animal**



---

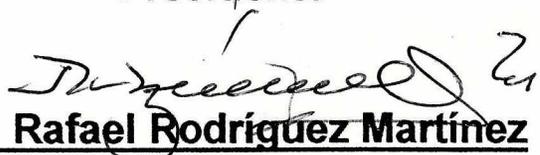
**M.V.Z. Ernesto Martínez Aranda**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

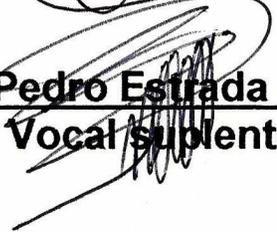
**DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**

**"EVALUACIÓN DE DOS TIPOS DE CRIBAS UTILIZADAS  
PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE PARTICULA DE LA  
RACION DE VACAS EN PRODUCCIÓN LACTEA"**

  
**M.C: Pedro Antonio Robles Trillo**  
**Presidente**

  
**DR.: Rafael Rodríguez Martínez**  
**Vocal**

  
**M.V.Z. Luis Javier Prado Ortiz**  
**Vocal**

  
**M.C: Pedro Estrada Adame**  
**Vocal suplente**

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar doy gracias a mi Dios todopoderoso, por darme la oportunidad de vivir y por hacer uno de mis sueños una realidad, ya que su presencia siempre estuvo conmigo.*

*A mi asesor al M.C. Pedro Antonio Robles Trillo por su amistad, por todo el apoyo, paciencia y orientación para la realización de este trabajo de investigación.*

*Al Dr. Rafael Rodríguez Martínez por su valiosa colaboración en el desarrollo del presente trabajo.*

### *A mi Alma Terra Mater*

*Por darme la oportunidad de formarme como profesionista y por todo el apoyo brindado desde el inicio hasta la culminación.*

*Agradezco a todos mis profesores que de una u otra manera compartieron conmigo sus conocimientos y experiencias desinteresadamente y que hoy se ve reflejada en esta noble profesión de **Medico Veterinario Zootecnista**.*

*A todos mis cuates con los cuales compartí momentos de tristeza y de felicidad, a todos ellos gracias por su confianza, apoyo y cariño.*

*A mis compañeros de la Rondalla de Torreón como olvidarlos, ya que pasamos momentos muy agradables. Al M.V.Z. Manuel Esquivel Limones por su gran amistad.*

*Al personal del establo "campo sagrado" por las facilidades brindadas para que este trabajo se llevara a cabo en sus instalaciones.*

*A la tierra que me dio cabida. Gracias Comarca Lagunera.*

## DEDICATORIAS

### *A MIS PADRES*

*Que son pieza clave en mi camino y a quienes debo la vida, amor y cariño ya que depositaron en mi toda su confianza para culminar con mis estudios.*

*A mi Sr. padre Julio Bautista Cisneros todo un ejemplo a seguir, por su gran amor y apoyo incondicional y sus sabios consejos que me motivan a seguir luchando y a no desfallecer en el camino de la vida. Para ti mis respetos y admiración.*

*A la mujer mas maravillosa del mundo mi Sra. madre Ana Tolentino Hernández por su amor tan inmenso y sus oraciones ya que siempre estuvieron conmigo. Recibe esta modesta dedicación como un homenaje a tu grandeza, que de niño me dieras cuidados y de hombre fortaleza.*

*Gracias por ese sacrificio tan grande que hicieron para formarme como profesionista y por ser los mejores padres que puedo tener, tengan presente que la gloria más grande que tengo es el ser hijo suyo. LOS AMO.*

### *A MIS HERMANOS*

*VIDA, ALEX, AMOR Y JULIO N.*

*A MI SOBRINITA XOCHITL T.*

*Por sus buenos deseos, amor, cariño y porque siempre están conmigo, gracias por ser parte de mi vida.*

*A mi segunda madre Sra. Guadalupe Cuevas Retiz por todo el cariño y apoyo brindado desde que llegue a este lugar.*

*A don Daniel, esté donde esté. Que la luz ilumine su sombra y su sombra defina su luz.*

*A todos ustedes MIL GRACIAS. Que Dios los bendiga, ya que han sido una bendición en mi vida.*

*"Entre más estudiamos a los animales, más comprendemos sobre su lealtad, compasión y coraje y sobre nuestra responsabilidad de tratarlos con respeto y compasión."*

LARRY HAWK

## INDICE

Página

<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>CARACTERÍSTICAS Y PRODUCCIÓN DE PAREDES CELULARES DE LAS PLANTAS EN EL MUNDO</b> .....	1
<b>INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PAREDES CELULARES</b> .....	1
<b>INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS ANATÓMICAS DE LAS PAREDES CELULARES SOBRE SU DIGESTIÓN</b> .....	2
<b>EFFECTO DE LOS ÁCIDOS FENÓLICOS SOBRE LA DEGRADABILIDAD DE LAS PAREDES CELULARES</b> .....	4
<b>MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LIGNINA</b> .....	7
<b>MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS FENÓLICOS EN LAS PAREDES CELULARES DE LAS PLANTAS</b> .....	8
<b>REQUERIMIENTO DE FIBRA</b> .....	8
<b>EFFECTIVIDAD DE LA FIBRA</b> .....	12
<b>EVALUACIÓN DE LA EFFECTIVIDAD DE LA FIBRA</b> .....	14
<b>INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA SOBRE LA EFICACIA DE LA FIBRA</b> .....	14
<b>REEMPLAZO DEL FORRAJE DIETÉTICO CON FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA</b> .....	19
<b>INTERACCIONES ENTE LOS FORRAJES Y LAS FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA</b> .....	24
<b>USO DEL FORRAJE Y FERMENTACIÓN DE LAS GRASAS EN EL RUMEN</b> .....	25
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	27
LOCALIZACIÓN.....	27
COMEDEROS.....	27
ALIMENTACIÓN DE LAS VACAS.....	28
TOMA DE MUESTRAS.....	28
MÉTODO DE SEPARACIÓN.....	28
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	29
<b>RESULTADOS</b> .....	30
DISTRIBUCIÓN DEL PORCENTAJE RETENIDO DE TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	30
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN.....	31
<b>DISCUSIÓN</b> .....	32
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	35

## RESUMEN

Para evaluar y determinar la correlación existente entre dos tipos de cribas que son utilizadas para la separación del tamaño de partícula (TPr) de la ración completamente mezclada (RTM) de vacas en producción láctea, se utilizaron las cribas diseñadas por la Universidad de Pensilvania, las que se compararon contra unas cribas de madera y de alambre adaptadas a nivel regional. Para la determinación del TPr en ambos tipos de criba, se procedió a tomar las muestras, para lo cual se seleccionó a lo largo del comedero, 3 puntos de muestreo de alimento recién servido y que no halla sido probado por la vaca, uno al inicio, otro en medio y el último al final del comedero. En cada punto de muestreo se seleccionó el alimento de un metro lineal del comedero, tomándose aproximadamente un Kg. de la dieta en cada sección de alimento. Para la determinación de las proporciones del TPr de la ración se cribó la mezcla alimenticia y se determinaron las proporciones que se quedaron en los diferentes tamaños de las cribas, los cuales se pesaron, determinándose el porcentaje respectivo. La distribución del porcentaje retenido en ambos sistemas de separación de partículas se consideró como tamaño grande ( $>19.0$  mm), como tamaño mediano ( $<19.0 > 8.0$  mm) y como tamaño pequeño ( $< 8.0$  mm) . El porcentaje de retención en la criba con orificios  $> 19.0$  mm fue similar entre ambas técnicas, sin embargo, en el resto, el porcentaje de retención fue diferente ya que en el tamaño mediano fue muy superior en las criba control (CC) que en la criba testigo (CT). El coeficiente de correlación general encontrado en esta prueba fue de 0.396, lo cual se considera bajo. Se concluye que dada la correlación tan baja existente entre ambos tipos de cribas, no existe similitud en los resultados de separación de tamaño de partícula con los sistemas de criba utilizados en este trabajo.

## **INTRODUCCION**

### **Características y producción de paredes celulares de las plantas en el mundo.**

La fijación de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por el proceso de la fotosíntesis en la biosfera produce aproximadamente  $136 \times 10^{15}$  g de materia seca de las plantas por año, lo cual representa la forma de biomasa más abundante en la tierra; los constituyentes más abundantes son: la celulosa (28 a 50%), hemicelulosa (20 a 30%) y la lignina (18 al 30%). Estos constituyentes y su volumen a menudo son referidos como biomasa lignocelulósica o lignocelulosa. La mayoría de la síntesis de estos materiales (2/3 partes) ocurre en los ecosistemas terrestres donde es balanceada por medio de la respiración/descomposición, en el ciclo del carbono y por la digestión de la lignocelulosa, que es llevada a cabo primeramente por microorganismos, principalmente bacterias y los hongos (Breznak and A., 1994).

El componente mayoritario de la hemicelulosa es el xilano, un polímero heterogéneo, en el cual las unidades de xilanopiranosil son sustituidos con residuos de acetil, arabinosil y glucuronosil (Gomez de Segura, et al., 1998)

Las plantas sintetizan anualmente cerca de  $4 \times 10^9$  toneladas de celulosa, pero este material no se acumula en el ambiente porque los hongos y las bacterias degradan eficientemente la biomasa de las plantas para proveerse de energía y carbono, para finalmente reciclar el  $\text{CO}_2$  en el ecosistema (Tomme, et al., 1995)

La lignina son polímeros de las paredes celulares de los vegetales, compuestos de tres diferentes monómeros fenólicos que varían en el grado de metil sustitución del anillo aromático. Esas unidades monolignoles, llamadas p-hidroxifenil (no metoxilado) guaiacil (monometoxilado) y siringil (dimetoxilado), se derivan de la polimerización deshidrogenativa de los respectivos alcoholes: p-coumaril, conferil y sinapil (Sewalt, et al., 1996).

### **Influencia de los factores ambientales sobre las características de las paredes celulares.**

La temperatura es el factor que más influye sobre las paredes celulares, ocasionando una lignificación elevada y una maduración rápida de los tejidos de

las plantas. Este efecto se observa tanto en gramíneas como en leguminosas y difiere entre estructuras anatómicas de la planta (en tallos más que en las hojas).

Los forrajes utilizados como alimento para el ganado en zonas tropicales y subtropicales son de naturaleza fibrosa, tienen un alto contenido en paredes celulares, un bajo contenido de nitrógeno y son menos digestibles que las especies de clima templado. A mayor cantidad de luz, el contenido de lignina de las paredes celulares se incrementa y la digestibilidad disminuye (Agnes, et al., 1996).

### **Influencia de las estructuras anatómicas de las paredes celulares sobre su digestión.**

La calidad de la pastura afecta fuertemente la actividad fibrolítica de los microorganismos del rumen, la cual puede estar restringida cuando se administran forrajes de mala calidad, repercutiendo tanto en la adhesión bacteriana, como en la actividad enzimática, pero la extensión de estos efectos depende de las características químicas y anatómicas de las paredes celulares de los forrajes utilizados como sustratos (Nogueira, et al., 2000).

La mayoría de las reservas de los carbohidratos en la tierra se encuentran en forma de "forrajes pobres", cuyo potencial energético no es totalmente utilizado por los microorganismos. Las principales restricciones para una mejor utilización de esos materiales vegetales están relacionadas al contenido de fenilpropanoides (lignina, ácidos fenólicos) de las paredes celulares de esos vegetales. Esos compuestos actúan pasiva y activamente a través de mecanismos complejos para producir barreras físicas y químicas que limitan el ataque de los microorganismos (Cornu, et al., 1994).

### **Celulosa**

La celulosa es descrita como un compuesto de microfibrillas contenidas en una matriz amorfa similar al refuerzo de concreto, las cuales imparten rigidez a la célula y contribuyen al tamaño y a la morfología de la pared celular. Los complejos biosintéticos en la superficie externa de la membrana celular de las plantas

producen polímeros de moléculas unidas con enlaces  $\beta$ 1-4 de residuos de glucosa de 100 hasta 10,000 unidades monómeras, presentándose como microfibrillas cristalinas (Tomme, et al., 1995).

Las cadenas de celulosa forman numerosos enlaces de hidrógeno intra y extra moleculares, que resultan en la formación de microfibrillas insolubles de celulosa (Denman, et al., 1996). En las paredes secundarias gruesas de las plantas superiores la deposición de las microfibrillas a menudo ocurre en capas que alternan la dirección, por lo que crean paredes celulares con gran fortaleza (Delmer, 1999)

La matriz compleja de las paredes celulares difiere considerablemente entre las diferentes especies de plantas, así como entre los estados de madurez, protegiendo a los polímeros de la celulosa de los diferentes grados de adhesión de las bacterias celulolíticas ruminales y de sus enzimas correspondientes (Fondevila and Dehodority, 1996), por lo que la degradabilidad de las paredes celulares de los vegetales dentro del rumen está influenciada por la tasa de hemicelulosa/celulosa (Matsui, et al., 1998).

### **Impacto de la accesibilidad y composición química de la lignina sobre la degradabilidad de los polisacáridos de la pared celular.**

En la madera se ha estudiado extensamente la estructura de la lignina y sus relaciones con los carbohidratos de la pared celular , pero se conoce poco acerca de ella en la lignina encontrada en los forrajes. Sin embargo, en la literatura se encuentran disponibles revisiones que abordan estas relaciones (Besle, et al., 1994, Besle, et al., 1995, Cornu, et al., 1994).

Los polisacáridos de las paredes celulares se consideran inaccesibles para las enzimas microbianas debido a que la lámina media lignificada de la pared primaria es una barrera no degradable para el movimiento bacteriano entre esas células (Jung, et al., 2000).

La lignina es un polímero amorfo de masa molecular alta encontrada en las paredes celulares de las plantas y está compuesta por derivados fenilpropanoides enlazados a través de enlaces éster, éter y C-C (Kajikawa, et al., 2000), siendo un

compuesto abundante en la naturaleza y es degradada por un número pequeño de microorganismos, principalmente por los basidiomicetos (Hofrichter, et al., 1999).

La lignina es una sustancia macromolecular compleja, compuesta de tres residuos fenilpropanoides (unidades de guaiacil- siringil y *p*-hidroxifenilpropionato) y sus tasas varían dependiendo de la especie de planta, órganos, tejidos y madurez (Kondo, et al., 1998).

La lignificación de la pared celular de las plantas es el primer factor que limita la degradación de los polisacáridos de esas estructuras vegetales. Esta conclusión proviene de repetidas observaciones de los efectos negativos entre la concentración de lignina y la degradabilidad de las paredes celulares (Jung, et al., 2000). Por lo tanto, se plantea la hipótesis de que el acceso de los microorganismos a la lignina puede explicar mejor las diferencias que existen entre la degradación de los forrajes, que la teoría de la química de la pared celular.

Es conocido que la lignina tiene una influencia sobre la digestibilidad de los tejidos de las plantas, aunque su naturaleza exacta aún sigue en debate (Reeves, 1997).

Las limitaciones estructurales de la lignina deberán ser reducidas significativamente por medio de modificaciones genéticas a la composición de la pared celular que hagan a la región de la lámina media susceptible a la digestión microbiana, ayudando por consiguiente a la separación de la célula y a la desintegración de la partícula e incrementando la superficie del área para la acción microbiana. También ayudaría a incrementar la actividad de los hongos anaerobios del rumen (Wilson and Mertens, 1995).

### **Efecto de los ácidos fenólicos sobre la degradabilidad de las paredes celulares**

Los ácidos fenólicos dentro de los cuales destacan el ácido *p*-coumárico, ferúlico, dehidroferulico, *p*-OH benzoico, vanillico, siringico y aldehídos con esqueletos de 7 átomos de carbono, participan en el enlace de la lignina a otros componentes de la pared celular (principalmente carbohidratos). (Rosazza, et al., 1995)(Besle, et al., 1994, Jung, 1983, McDougall, 1993).

Algunos estudios han sugerido que los ácidos fenólicos de las paredes celulares funcionan para unir o formar enlaces cruzados entre las cadenas de hemicelulosa al corazón de la lignina y para formar enlaces dentro de las cadenas de hemicelulosa a través de uniones éster o éter (Chen, et al., 1996).

Los ácidos fenólicos que son precursores de la lignina, tales como el ácido p-coumárico y los ácidos ferúlico, están a menudo unidos a ella a través de enlaces éster y éter con arabinoxilanos dentro de las paredes celulares de los pastos. Esos compuestos también se presentan como glicósidos en combinación con azúcares o enlaces covalentes unidos a diferentes terpenoides, flavonoides en la pared celular de las plantas (Wubah and Kim, 1996).

El ácido ferúlico está enlazado como un éster al C5-hidroxil de las moléculas de alfa-L-arabinosa de los xilanos de los zacates. Se sabe que los arabinoxilanos son enlaces cruzados, limitados por una conexión 5-5 dehidrómero de ácido ferúlico (Grabber, et al., 1995). Los enlaces covalentes de la lignina con los carbohidratos de la pared celular contribuyen a la retención de lignina a las paredes celulares durante la degradación ruminal, pero también pueden inhibir la actividad de las enzimas (Sewalt, et al., 1996).

Los mecanismos que determinan la resistencia de las paredes celulares de los forrajes al ataque microbiano han sido extensamente estudiados, sugiriéndose algunos principios generales, de tal forma que actualmente se acepta que el ataque bacteriano a las paredes celulares es un proceso superficial, en el que la lignina presenta una superficie esencialmente inerte y resistente a la adhesión por el ataque microbiano y a la degradación por sus enzimas (Sewalt, et al., 1996). Por esto se considera que la lignina ejerce su efecto negativo al actuar como una barrera física que impide el acceso a las enzimas de los microbios ruminales a los sustratos de los polisacáridos de las paredes celulares (Jung, et al., 2000).

Se ha demostrado que los compuestos fenólicos tienen efectos en la reducción de la magnitud de la degradación de las paredes celulares por la microflora ruminal. Sin embargo, existe una considerable heterogeneidad en la composición y en la manera en que la lignina y los ácidos fenólicos estructurales simples están asociados con otros componentes de las paredes celulares en los

pastos. Como resultado, los forrajes, dependiendo de la variedad y edad de las plantas pueden tener cinéticas de degradación diferentes (Sewalt, et al., 1996).

La paja de trigo es una gramínea que tiene cantidades elevadas de lignocelulosa y como tal es más rica en ácidos cinámicos que los forrajes convencionales. Esos compuestos han sido ampliamente investigados para caracterizar su papel químico como constituyente y como unidades de puenteo entre los componentes de la matriz de las paredes celulares del trigo y del maíz (Yosef and Ben-Ghedalia, 2000).

En los pastos, los enlaces cruzados mediados por el ácido ferúlico de la lignina a los arabinoxilanos, obstruye la hidrólisis enzimática de los polisacáridos en las paredes celulares (Jung, et al., 2000), siendo la lignina el principal componente del soporte mecánico en los tejidos de las plantas haciéndolas resistentes al ataque de las enzimas microbianas. La lignina también restringe la digestión ruminal de los carbohidratos, como la celulosa y hemicelulosa, a través de la formación de un complejo estable lignina-carbohidratos (CLC) (Kajikawa, et al., 2000). En los pastos, en estos complejos la lignina está usualmente enlazada a la posición C-5 hidroxilo de la arabinofuranosida en los arabinoxilanos a través de puentes éter-éster de ácido ferúlico. Existiendo evidencias que sugieren que más del 80% de ácido ferúlico eterizado y del ácido coumárico de las paredes celulares de las gramíneas están ligados a la posición alfa de la lignina (Kajikawa, et al., 2000).

Algunos microorganismos, como el hongo blanco de la pudrición (Chen, et al., 1996, Karunanandaa and Varga, 1996) y los actinomicetos, pueden degradar al complejo L-C, pero la despolimerización y el subsecuente metabolismo de la lignina parece improbable bajo las condiciones anaerobias como las del rumen, ya que se piensa que el oxígeno es esencial para el rompimiento de la lignina. Sin embargo, se ha demostrado que puede darse la degradación de los enlaces éter bencil de la lignina por los microbios del rumen, lo que implica que la descomposición de esos enlaces en los polímeros de la lignina ocurre en condiciones anaerobias (Kajikawa, et al., 2000).

Existe confusión en la literatura con respecto al papel que desempeñan el ácido p-coumárico o el ferúlico como barreras o inhibidores de la biodegradación por lo que es importante estudiar *in vivo* las características biodegradadoras de los enlaces éster y éter de dichos ácidos (Yosef and Ben-Ghedalia, 2000).

Otro aspecto que permanece sin respuesta es el que si la lignina y otros fenoles están distribuidos aleatoriamente en la pared de la planta y tienen entonces un efecto uniforme en todos los estados de la degradación de las paredes celulares, o si los efectos varían con un gradiente de estructuras dentro de la pared celular, resultando en un cambio de topografía química en su superficie. Un acercamiento a esta pregunta ha sido el estudio a el modelo de degradación en varios tejidos o de células con composiciones diferentes y en diferentes estados de desarrollo. El forraje entero o aún partes de la planta son modelos demasiado complejos para estudiar los mecanismos de degradación de la pared celular. El internodo prolongado proporciona un modelo único en que la distribución espacial de los eventos temporales que gobiernan el desarrollo de la pared secundaria, permiten seleccionar al internodo para suplir los materiales de la pared celular en diferentes estados de desarrollo.

### **Métodos de determinación de lignina**

La determinación de la lignina ha sido utilizada por muchos investigadores de diversas áreas para monitorear los cambios en la composición de las plantas o en la digestibilidad. A la fecha se han utilizado diferentes métodos para medir la lignina, entre ellos se incluyen: la oxidación con permanganato, lignina ácido detergente, oxidación con clorito de sodio y extracción con acetil bromuro (Reeves, 1997).

Muchas investigaciones sobre las limitantes de la degradación de la pared celular se han centrado sobre la composición química y la estructura de la misma, especialmente la lignificación, sin embargo existe la hipótesis de que la estructura anatómica puede jugar un papel muy importante, posiblemente más crítico que la concentración de la lignina (Kajikawa, et al., 2000).

## **Métodos de determinación de ácidos fenólicos en las paredes celulares de las plantas.**

En el año de 1985 se implementó la hidrólisis ácida bajo el reflujo en Dioxano-HCl para confirmar la existencia de enlaces éter de ácidos fenólicos no saponificables en la lignina de la paja de trigo. Posteriormente en 1994, otros investigadores plantearon la determinación de ácidos fenólicos en esas paredes por medio de la digestión en horno de micro ondas. Ellos demostraron que este procedimiento tuvo mayor efectividad que el anterior en la liberación de los enlaces  $\beta$ -éter de los ácidos fenólicos. Además, fue mucho más rápida que las determinaciones basadas en digestiones alcalinas sometidas a altas temperaturas (Provan, et al., 1994).

## **Requerimiento de fibra**

El forraje proporciona energía y fibra para el mantenimiento de la función ruminal, para mantener los niveles de producción y cantidad de la grasa en la leche, así como para mantener la salud de la vaca (Clark and Armentano, 1999, Mooney and Allen, 1997). El suministro de la fibra de los forrajes en la dieta es un factor importante para la optimización de la producción de leche y el mantenimiento de la función ruminal (Wang, et al., 2001).

La digestión de la fibra puede darse solo por la fermentación microbiana, que ocurre en el rumen y la tasa de digestión de la fibra del forraje es generalmente baja. Así la utilización actual de la fibra del forraje esta determinada no solo por las atribuciones intrínsecas del forraje, si no también por una extensión considerable de factores que influyen en la actividad fibrolítica ruminal y el tiempo de retención de partículas del alimento en el rumen, tanto como en el consumo de alimento y la proporción de carbohidratos rápidamente fermentables en la dieta (Stensig and Robinson, 1997).

Son tres los componentes independientes que afectan el balance de carbohidratos en la dieta. Los primeros dos son la naturaleza de la fibra detergente neutra (FDN) y la naturaleza de los carbohidratos no fibrosos. El tercer componente podría ser descrito por cualquiera de los siguientes: el contenido de

FDN, el contenido de carbohidratos no fibrosos, o la tasa de FDN: carbohidratos no fibrosos (CNF) (Armentano and Pereira, 1997).

Los carbohidratos solubles neutro detergentes (CSND) varían en sus características digestivas y de fermentación, incluyendo el perfil de nutrimentos metabolizables que ellos generan. La fermentación de los mono y oligosacáridos y del almidón, tiende a producir más propionato que acetato, pudiendo producir además ácido láctico (Leiva, et al., 2000), en tanto que la fermentación de la fibra soluble neutro detergente (NDSF, por sus siglas en inglés), que son básicamente sustancias pécticas, tienden a producir más acetato que propionato y no generan cantidades apreciables de ácido láctico. Hay poca información directa que describa como la variación en las concentraciones dietéticas de las fracciones de carbohidratos solubles ND afectan el rendimiento animal y la eficiencia alimenticia.

El almidón y la fibra soluble ND tienden a predominar en diferentes alimentos usados comúnmente en el ganado. El almidón casi siempre compone a los carbohidratos solubles ND en granos pequeños, de maíz, sorgo y sus ensilajes, así como en los subproductos. En tanto que la fibra soluble ND predomina en los forrajes de leguminosas, cascarilla de soya, pulpa de remolacha y de cítricos (Leiva, et al., 2000). El grano de maíz contiene cerca del 70% de almidón, de 6 a 10% de fibra soluble ND, y de 0 a 5% de azúcares, mientras que la pulpa de cítricos contiene de 12 a 14% de azúcares, 25 a 44 % de fibra soluble ND y menos del 1% de almidón en base seca.

Para mantener el funcionamiento saludable del rumen y para prevenir la disminución de la grasa en la leche se recomienda un mínimo de 25 a 28% de fibra, expresada como FDN, de la cual al menos el 75% debe ser proporcionada por el forraje. Esas recomendaciones están basadas en estudios realizados donde el principal grano era el maíz (Beauchemin and Rode, 1997).

La concentración de la FDN en la dieta puede depender de la fuente de grano de cereal. La FDN contenida en la cebada (19 a 25%) es más alta que la del maíz (7%), haciendo imposible satisfacer los criterios mínimos de fibra (Beauchemin and Rode, 1997).

Aunque las concentraciones de FDN están positivamente relacionadas a la densidad del volumen de los alimentos y afectan el potencial de consumo de alimento, la FND del forraje varía mucho en su digestibilidad en el rumen o en condiciones *in vitro*. La digestibilidad de la FDN tiene mucha influencia en el desarrollo del animal, independientemente de la concentración dietética de la FDN (Oba and Allen, 2000a).

Debido a la relación inversa entre fibra y energía neta de lactación (ENI), el valor nutritivo de los forrajes está negativamente relacionado a la concentración de fibra dietética, (Nichols, et al., 1998).

Existe poca información con respecto a la fuente de fibra o a el potencial para la interacción para la fuente de forraje y la concentración de fibra que está disponible (West, et al., 1998).

El Consejo Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de Norte América (NRC) proporciona sólo recomendaciones mínimas de fibra y no proporciona ajustes para factores tales como la eficacia de la fibra, interacciones con carbohidratos no fibrosos o los atributos de los animales, los cuales pueden afectar el rendimiento óptimo del ganado bovino productor de leche (Mertens, 1997).

### **Requerimientos de fibra y estado de lactancia**

La mayoría de los experimentos que han investigado la concentración de FDN en la dieta han iniciado cuando el pico de lactancia ha concluido. Por consiguiente existe poca información sobre las concentraciones de la FDN del forraje en vacas entre el parto y el pico de lactancia (Wang, et al., 2001).

### **Digestión de la fibra**

La función normal del rumen depende de la calidad (forma física) y la cantidad (concentrado dietético) de la fibra dietética (Shain, et al., 1999). La fracción fibrosa del alimento se fermenta lentamente en el rumen y es retenida por más tiempo que las fracciones de los alimentos no fibrosos. Debido a que el llenado físico del rumen a menudo limita el consumo máximo de MS, afecta a la desaparición rápida de la fracción de FDN del rumen debido a un incremento de la tasa de digestión o pasaje ya que esto podría reducir el llenado físico del rumen y

permitiría un mayor consumo voluntario de materia seca (Oba and Allen, 2000b). Por tal razón, la digestibilidad de la fibra detergente neutro FDN es un parámetro importante en la determinación de la calidad del forraje.

Si la fibra es insuficiente o la fibra no tiene una textura tosca puede resultar en pH ruminal bajo, disminución de la eficiencia microbiana o por la disminución de la grasa en la leche (Mooney and Allen, 1997).

Cuando los alimentos son digeridos en el rumen, los microorganismos microbianos fermentan y producen ácidos orgánicos, disminuyendo el pH ruminal. Aunque es deseable una mayor fermentación en el rumen, para una máxima producción proteínica microbiana, la producción de ácidos por la fermentación en el rumen necesita estar balanceada con la remoción de los ácidos y la neutralización del pH. La capacidad amortiguadora de la digesta ruminal está determinada principalmente por el total de la masticación, debido a que las vacas secretan más saliva durante la masticación (Oba and Allen, 2000c.).

Aunque el pH ruminal bajo disminuye la digestión de la fibra, los efectos de un pH bajo sobre algunas variables específicas de la cinética de la digestión (tasa y grado de digestibilidad de la FDN) varían entre estudios (Firkins, 1997).

Las dietas adecuadas en fibra promueven un pH ruminal deseable, mantienen la integridad del epitelio ruminal, contribuyen a la formación del bolo ruminal como un medio de retención de las partículas de fibra lo suficientemente largas para una digestión adecuada y estimulan la síntesis de grasa en la leche (Clark and Armentano, 1997b).

La digestibilidad ruminal de los alimentos está influenciada por la tasa en la que es degradada en el rumen y la tasa de remoción de su forma física del rumen (tiempo de retención media en el rumen, MRT por sus siglas en inglés) (Bernard, et al., 2000). Por lo tanto, la expresión cuantitativa de la cinética de la digestión y la tasa de pasaje de la FDN del forraje y su respuesta a cambios en la composición o consumo de alimento son esenciales para predecir el valor nutritivo de los forrajes en diferentes situaciones de alimentación (Stensig and Robinson, 1997).

## **Fibra y llenado del rumen**

Las fracciones fibrosas de los alimentos tienen un efecto mayor sobre el llenado físico del rumen que las fracciones no fibrosas ya que las primeras se fermentan más lentamente y son retenidas por más tiempo en el rumen ( Oba and Allen, 2000 c.)

Una desaparición más rápida de la fracción de FDN del rumen debida a un incremento de la tasa de digestión o de pasaje, podría reducir el llenado físico en el rumen todo el tiempo y permitir un consumo voluntario más alto de alimento (Oba and Allen, 2000c.).

La predicción de los efectos de los cambios dietéticos, tales como el tamaño de partícula (TPr) sobre el tiempo de retención media no es simple y depende del entendimiento de los mecanismos que regulan el llenado del rumen, la fragmentación de la partícula y las actividades propulsoras del tracto gastrointestinal (Bernard, et al., 2000).

Existe controversia sobre el efecto de la molienda sobre la tasa de pasaje de las partículas en el rumen. Lo anterior es debido a la complejidad de los mecanismos que determinan la retención en el rumen. Para algunos científicos la rumia es una de las etapas limitantes en el desalojo de la materia seca del rumen, mientras que para otros el factor que más tiene influencia en la retención de la MS es la retención de las partículas elegibles para salir del rumen (Bernard, et al., 2000).

## **Efectividad de la fibra**

El rumiante requiere un cantidad mínima de fibra dietética efectiva para un óptimo consumo de materia seca, estimulación de la salivación, producción de leche y buena salud (Grant, 1997). La fibra efectiva ha sido definida como la capacidad para estimular la masticación, salivación y rumia, por lo tanto, la tasa de pasaje de la digesta, la salivación, la producción de acetato en el rumen y consecuentemente el porcentaje de grasa en la leche (Clark and Armentano, 1997, Grant, 1997, Soita, et al., 2000).

Por otra parte (Pereira, et al., 1999) consideran que la habilidad para prevenir la depresión de la concentración de la grasa en la leche, en relación al henilaje de alfalfa, se ha utilizado para determinar el contenido de la FDN efectiva (eNDF) de los alimentos. De acuerdo a esta aproximación, la FDN efectiva puede definirse como el contenido de FDN de un alimento multiplicado por un factor de eficacia (ef).

La eficacia de la fibra para estimular la masticación ha sido denominada eficacia física (pe) debido a que la respuesta de la masticación por la vaca está altamente relacionada a las propiedades físicas de la fibra, como es el caso de la longitud de la partícula (Mooney and Allen, 1997). El término (ef) distingue los valores de eficacia medidos, usando la masticación como la respuesta a partir de valores calculados a partir de los porcentajes de grasa como resultado.

Se ha propuesto el tiempo que se emplea para masticar un Kg. de forraje como un índice de la cantidad de fibra de un alimento dado (Soita, et al., 2000). Sin embargo, las fuentes de fibra varían su habilidad para estimular la masticación, lo cual es evidente cuando se utilizan concentrados altos en fibra para reemplazar a los concentrados (Firkins, 1997). Debido a que el término pe está afectado por el TPr, los valores de pe calculados a partir de fuentes de fibra no forrajeras pueden variar, dependiendo del pe de los forrajes usados en el experimento.

La eficacia física está determinada por las respuestas del animal las que dependen principalmente de las características macro físicas de los forrajes. La certeza de las mediciones de los alimentos altos en fibra difiere cuando se estiman por la capacidad de provocar la masticación, por la tasa de ácido acético : propiónico o por la concentración de grasa en la leche (Armentano and Pereira, 1997).

Las características físico químicas de una dieta pueden causar cambios en la composición de la leche producidos debido a cambios en los patrones de fermentación en el rumen (Sanz Sampelayo, et al., 1998). Las cabras son menos sensibles que las vacas (en la alimentación) y tales cambios en la dieta

probablemente se reflejen en una menor disminución en el contenido de grasa en la leche.

Las vacas lactantes deben recibir al menos un tercio del total de la MS dietética como heno largo o su equivalente como ensilaje cortado de pequeño a tosco, u otros forrajes para proporcionar una fibra efectiva adecuada (Clark and Armentano, 1999). Aunque existen recomendaciones para satisfacer un mínimo de FDN en el ganado lechero, tales indicaciones no consideran el contenido de fibra efectiva de los concentrados en la dieta o la influencia del TPr del forraje sobre la efectividad de la fibra.

Una limitante para determinar la eficacia de la fibra, es la falta de especificidad en los índices de valores que la determinan (masticación, rumia, consumo, salivación), cuando los alimentos varían en el tamaño de la partícula, perfil del componente de la fibra, materia seca y efectos asociados del alimento (Clark and Armentano, 1997b).

### **Evaluación de la efectividad de la fibra**

La efectividad de la fibra esta basada en tres estudios: 1) cambios en la concentración de grasa, 2) cambios en la actividad de rumia 3) cribado y análisis del TPr ( Allen and Grant, 2000).

### **Influencia del tamaño de partícula sobre la eficacia de la fibra**

La forma física de la dieta es una determinante importante de su valor nutritivo, la cual afecta las actividades de consumo, rumia, función ruminal, eficiencia digestiva, producción de leche y su composición, así como la salud de la vaca. La evaluación cuantitativa de la forma física está basada a menudo en el análisis de la distribución del TPr del alimento obtenido, utilizando varios métodos de cernido o cribado. Ha habido poco acuerdo sobre que método utilizar o como resumir los resultados obtenidos, por lo tanto es difícil comparar los resultados de los diferentes laboratorios o compilar los resultados dentro de un formato que sea útil en la formulación de dietas (Murphy and Zhu, 1997).

La reducción del TPr dentro del rango medio de longitud de partícula (0.4 a 0.8 mm) mejoró la tasa de consumo y fermentación y redujo el tiempo de masticación, pH ruminal y la tasa de ácido acético y propiónico en el fluido ruminal (Clark and Armentano, 1997b).

El TPr varía ampliamente entre los forrajes debido a factores que involucran a la planta, a la cosecha del forraje, sí como al tipo de procesamiento del alimento, procedimientos de almacenaje, etc. (Heinrich, et al., 1999, Yang, et al., 2001b.).

### **Tamaño de partícula de la alfalfa**

Los forrajes tienen un TPr medio el cual es crítico y arriba del cual se obtiene poco beneficio adicional; Por ejemplo la reducción del tamaño medio de la partícula de ensilaje de alfalfa (de 3.1 mm a 2.0 mm) disminuye la masticación en aproximadamente un 21% , en cambio, la reducción del TPr medio del heno de alfalfa de 2.3 a 0.90 mm disminuyó el tiempo total de masticación (masticación más rumia) en aproximadamente un 16% (Clark and Armentano, 1997b, Clark and Armentano, 1999).

Yang et al. (Yang, et al., 2002), evaluaron el efecto de la tasa de ensilaje y heno de alfalfa y el tamaño de partícula sobre el consumo de nutrimentos, sitio de digestión, síntesis de proteína microbiana ruminal y tasa de pasaje de los contenidos ruminales. Las dietas contenían 40% de forraje (50:50 o 25:75 ensilaje y heno, respectivamente). El consumo de nutrimentos se incrementó a medida que se aumentó la tasa de ensilaje pero no fue afectado por el tamaño de partícula. Sin embargo, al incrementarse el tamaño de partícula de las dietas mejoró la digestibilidad de la fibra y del N en todo el tracto, así como la síntesis de proteína microbiana ruminal y la eficiencia microbiana. Esos resultados indican que en las dietas de vacas lecheras la manipulación de la tasa de ensilaje : heno de alfalfa modificó el consumo de alimento, pero tuvo poco efecto sobre la digestión. En contraste, el incremento del TPr del forraje en las dietas mejoro la digestión de la fibra y la síntesis de proteína microbiana en el rumen. El tamaño de partícula dietético expresado como peFDN fue un indicador confiable de la síntesis de proteína microbiana y digestión de nutrimentos.

Krause et al. (Krause, et al., 2002) estudiaron los efectos del nivel de carbohidratos fermentables en el rumen y el tamaño de partícula del forraje, así como las interacciones entre éstas sobre la producción de leche, digestibilidad de los nutrientes y producción de proteína microbiana. Para ello, utilizaron ensilaje de alfalfa con dos tamaños de corte (corto y largo) y con dos niveles de maíz quebrado (bajo y alto). Estos investigadores concluyeron que la productividad de las vacas no fue afectada por el tamaño de la partícula ni por los carbohidratos fermentables en el rumen.

### **Tamaño de partícula del ensilaje de maíz**

El tamaño teórico de partícula de ensilaje de maíz está entre 13 a 19 mm (Soita, et al., 2000). Este TPr también proporcionó resultados satisfactorios, cuando se compararon tres tamaños para el ensilaje de maíz de planta entera (EMPE) la cual se procesó en los siguientes tamaños: 0.95, 1.45, y 1.90 cm de largo. De acuerdo con éste experimento para mejorar el consumo de materia seca, digestión del almidón y desarrollo de la lactación se recomienda un corte teórico de 1.90 cm. de largo (Bal, et al., 2000).

### **Ensilaje de maíz mutante de enervadura café**

Schwab et al. (Schwab, et al., 2002) evaluaron la influencia del largo del corte y el procesamiento mecánico del ensilaje de maíz mutante de enervadura café (brown midrib corn) sobre el consumo, digestión y producción de leche. El TPr empleado fue de 13 y 19 mm para el forraje sin procesar y de 19 a 32 mm para el procesado. El procesamiento redujo el contenido de grasa y la digestión de la FDN en el tracto digestivo, pero incrementó la digestión del almidón. En conclusión el ensilaje del maíz de enervadura café provocó una producción de 43 kg de leche por día, pero no hubo beneficios en el procesamiento del forraje o en el incremento de la longitud del TPr sobre el rendimiento lactacional.

### **Tamaño de partícula del forraje de cebada**

Algunos modelos que utilizan la eFDN para formular dietas, tienen la limitante de no considerar la fermentación de la fracción de carbohidratos no fibrosos y sus posibles efectos en el pH ruminal. Por lo tanto, esos modelos

implícitamente asumen que la digestión ruminal de las dietas no tiene efectos sobre la predicción del pH del rumen, lo cual puede ser incorrecto. Por ejemplo, el pH del rumen es más bajo para las vacas alimentadas con cebada que con maíz, aún cuando las vacas contengan la misma proporción de eFDN, lo anterior es debido a una más rápida y extensiva digestión ruminal de la cebada.

Debido a este hecho, Yang et al. (Yang, et al., 2001b.) evaluaron en vacas lactantes los efectos del tratamiento del grano de cebada (rolado a 1.6 y 1.36 mm), la relación forraje:concentrado y la longitud del forraje de la cebada (larga 7.59 mm y corta 6.08 mm) sobre la masticación, pasaje de la digesta y la digestión. Los resultados indican que el tamaño de la partícula de dietas basadas en cebada rolada no es un indicador confiable de la actividad de masticación, a diferencia del tamaño de la partícula del forraje y el contenido de FDN de la dieta. El contenido de grasa tendió a incrementarse con dietas con relación alta forraje :concentrado o con longitud de las partículas de forraje largas (7.59 mm), pero se redujo al alimentarlas con cebada rolada.

En otra investigación realizada por Soita et al. (Soita, et al., 2000), evaluaron el efecto del tamaño de partícula (4.68 vs 18.75 mm) del ensilaje de cebada sobre la eficacia de la fibra de ese forraje. Ellos encontraron que la reducción del TPr del ensilaje no deprimió la concentración de grasa en la leche, sin embargo, la actividad total de masticación por Kg. de forraje consumido fue mayor para las vacas cuyas dietas contenían ensilaje con TPr largo comparada con aquellas que contenían ensilaje con TPr corta, lo cual sugiere que el TPr puede tener un control dominante sobre la actividad de masticación a pesar de los consumos adecuados de la FDN.

Por otra parte, la administración de dietas completamente mezcladas, tienen como finalidad reducir el TPr y disminuir la selección de la dieta, reduciendo el riesgo de acidosis ruminal. Maekawa et al. (Maekawa, et al., 2002a.) evaluaron el efecto de la proporción del ensilaje de cebada (40, 50 y 60% de la MS) y del tipo de dieta TMR o ingredientes separados (INSE) sobre la actividad de masticación, salivación y pH ruminal. La alimentación INSE incrementó el riesgo de acidosis,

debido a que las vacas consumieron una proporción de concentrado más elevada de lo pensado.

En otro estudio, Maekawa et al. (Maekawa, et al., 2002b.) compararon la capacidad de masticación, producción de saliva y pH ruminal entre vacas Holstein primíparas y múltiparas. Para ello utilizaron diferentes niveles de ensilaje (40, 50 y 60%), en dietas completamente mezcladas y en dietas con ingredientes separados. Las vacas múltiparas emplearon más tiempo comiendo, masticando y rumiando, aunque la producción de saliva sólo fue más alta numéricamente para las de varios partos, debido a que el incremento en la producción de saliva durante la masticación fue acompañada por una disminución de la misma en el tiempo de descanso de la vaca. Las vacas múltiparas tuvieron más riesgos de acidosis ruminal que las de un parto, debido a que el incremento de la salivación asociada al incremento de la masticación no compensó suficientemente el incremento de la fermentación de ácidos producidos en el rumen por el incremento del consumo de alimento.

### **Tamaño de partícula y gravedad específica de los alimentos**

La gravedad específica funcional de la partícula y el tamaño de la partícula son los principales factores que determinan la salida de las partículas del alimento del rumen y están íntimamente ligados (Bernard, et al., 2000).

La gravedad específica del TPr está relacionada a la tasa de pasaje de las partículas ruminales. Dentro del rango de la densidad de la partícula normalmente encontrada en el rumen, a medida que la gravedad específica de una partícula independiente se incrementa, también aumenta su tasa de pasaje a través del rumen (Schettini, et al., 1999).

El TPr tiene poco efecto sobre la gravedad específica funcional de las fuentes de fibra no forrajera (FFNF), incluyendo a la pulpa de remolacha (Clark and Armentano, 1997b).

### **Influencia del manejo del forraje sobre el tamaño de partícula**

El forraje es potencialmente reducido en su tamaño por todas las fases de manejo, entre los que destacan: la cosecha, el almacenamiento, el sacarlo del almacén, la revoltura y la servida del alimento. La mezcla del alimento causa una

reducción en el tamaño de todas las partículas del alimento y se relaciona directamente con el tiempo de revoltura del TMR. Estudios de campo indican que las partículas más largas (> 27mm) pueden ser reducidas a un 50% de su tamaño (Heinrich, et al., 1999)

## **Reemplazo del forraje dietético con fuentes de fibra no forrajera**

### **Origen y características de las FFNF**

En muchas regiones los forrajes no son un recurso barato para alimentar al ganado y las fuentes de fibra no forrajeras (FFNF) son utilizadas para suministrar fibra y otros nutrimentos. La mayoría de las FFNF son subproductos altos en fibra obtenidos del procesamiento de las plantas para elaborar alimentos para el hombre (Armentano and Pereira, 1997). Algunos son subproductos de plantas, producidos por la extracción del almidón, azúcares u otros constituyentes no fibrosos de gran valor (Pereira, et al., 1999).

Las FFNF se han utilizado como una alternativa alimenticia en la alimentación del ganado productor de leche ya que su precio y calidad las hacen atractivas. Aunque tradicionalmente estos recursos se han utilizado como concentrado por su valor proteico moderado y su disponibilidad energética alta, también se caracterizan por su contenido de fibra elevado (Bava, et al., 2001). Sin embargo, se han utilizado exitosamente como sustitutos del forraje en condiciones de falta de forraje o de su precio elevado (Firkins, 1997)

Generalmente estas fuentes son subproductos de la industrialización de algún producto vegetal, la fibra neutro detergente de esos materiales tiene diferencias físicas y químicas de la FDN de los forrajes (Zhu, et al., 1997), por ejemplo las partículas de los subproductos tienen dimensiones pequeñas y densidad elevada (Firkins, 1997).

La eficacia de la fibra de las FFNF generalmente se miden comparando la respuesta con relación al ensilaje de alfalfa, sin embargo, otros forrajes considerados como estándares no han sido utilizados en estos estudios y los forrajes que se han empleado no siempre están bien caracterizados (Mooney and Allen, 1997).

## **Propiedades de efectividad de la fibra de las FFNF**

La fibra de los subproductos tiene propiedades físicas y químicas diferentes de la FDN de los forrajes. Algunos alimentos (FFNF) tal como la semilla de algodón entera, presentan una considerable habilidad para estimular la rumia mientras otros presentan poco o ningún efecto sobre el tiempo de rumia (Clark and Armentano, 1997b).

Las FFNF tienen alguna fracción de fibra efectiva. Sin embargo es difícil separar los beneficios de la fibra efectiva de los beneficios de la dilución del almidón en esas fuentes, ya que ambos impactan al pH del rumen (Firkins, 1997). Además algunos de los efectos positivos de añadir FFNF son su tamaño físico y que se les relaciona para reemplazar almidones y azúcares con otros polisacáridos (Clark and Armentano, 1997b).

La FDN en las fuentes de fibra no forrajera es aproximadamente la mitad de efectiva, en comparación del la FDN del henilaje de alfalfa, para elevar el contenido de grasa en la leche (Pereira, et al., 1999).

La FDN de la mayoría de las FFNF no estimula la masticación tan efectivamente como la de los forrajes para alcanzar los mismos incrementos en la grasa de la leche, con la excepción notable de la semilla de algodón entera (Pereira and Armentano, 2000). La disminución de actividad de la masticación cuando las FFNF reemplaza al forraje puede disminuir el flujo de saliva amortiguadora al rumen, disminuyendo el pH y la degradación de FDN.

Debido a su habilidad para mantener el porcentaje de grasa para otros investigadores, las FFNF sólo tienen la mitad de la efectividad de FDN contenida en el ensilaje de alfalfa. Cuando la fibra detergente neutro efectiva de un forraje es reemplazada por las FFNF podrá ser solamente efectiva en dos tercios en relación a la fibra del forraje en el incremento de la digestibilidad del tracto digestivo total esto es debido al incremento de los efectos negativos asociados (Slater, et al., 2000).

## **Las FFNF y la actividad ruminal**

Las FFNF pueden contener valores similares de FDN que los encontrados en los forrajes toscos, pero con TPr muy similar a los concentrados (Pereira, et al.,

1999). Otra característica de los subproductos es que tienen densidad elevada (Clark and Armentano, 1997b). A medida que la FDN de las FFNF reemplazan al forraje, el total de la FDN de la dieta aumenta, mientras que el TPr disminuye. Sin embargo, muchos experimentos han demostrado que la sustitución parcial de la dieta de la fibra del forraje con la fibra de subproductos no afecta negativamente la actividad del rumen o el contenido de grasa en la leche (Grant, 1997).

Debido al bajo contenido de lignina y a una proporción elevada de fibra potencialmente digestible, las fuentes de fibra no forrajera (FFNF) suministran la energía necesaria para la lactación sin la carga ácida en el rumen provocada por la fermentación rápida de los concentrados con almidón (Allen and Grant, 2000). Sin embargo, algunos estudios indican que el TPr tan pequeño de las FFNF podrían facilitar su rápido escape del rumen y subsecuentemente disminuir la digestibilidad de su fibra (Grant, 1997).

Las dietas formuladas con niveles altos de FDN proporcionados por FFNF tienen menos almidón que las dietas formuladas para proporcionar la misma cantidad de FDN efectiva de los forrajes, por consiguiente, los efectos directos negativos del almidón sobre la digestión de la fibra, podrían ser menores para estas dietas altas en FDN (Pereira and Armentano, 2000).

### **Administración de FFNF a través de la lactancia**

Se han realizado algunos estudios para determinar la cantidad de inclusión de las FFNF a través de la lactancia. Al inicio de la lactancia, las vacas no pueden tolerar las mismas cantidades de NNFN como en la lactancia tardía, debido a que al inicio de la lactancia son más susceptibles a la laminitis, desplazamiento de abomaso y otros desórdenes metabólicos (Grant, 1997).

### **Subproductos utilizados como FFNF**

#### **Semilla de algodón**

Algunas FFNF se han utilizado para reemplazar a los forrajes convencionales en la alimentación del ganado bovino productor de leche, como es el caso de la semilla de algodón entera y los granos secos de destilería, que se administran durante los períodos en donde faltan los forrajes o cuando éstos son muy caros (Clark and Armentano, 1997b).

Las evidencias sugieren que la cascarilla de soya y la semilla de algodón entera pueden ser usadas para remplazar a la fibra detergente neutro del forraje o para diluir a los carbohidratos no fibrosos y que tienen el mérito de mantener un balance entre la fibra y el almidón dietéticos (Slater, et al., 2000).

Mooney et al. (Mooney and Allen, 1997) realizaron un estudio para determinar la eficacia física (ef) de la FDN de la semilla de algodón, comparándola con la ef de la FDN del ensilaje de alfalfa, encontrando que la semilla de algodón entera tuvo un 50% de ef en comparación con el ensilaje de alfalfa de longitud larga (9.5 mm) y 125% cuando se comparó con el ensilaje de alfalfa de longitud corta (4.8 mm), lo cual indicó que la ef de esta semilla depende de las características del forraje que reemplace.

Bernard et al. (Bernard and Calhoun, 1997) realizaron otro estudio para determinar el efecto del tratamiento mecánico (tostado a 310 grados centígrados/45 min.) de la semilla de algodón entera sobre la producción y composición de la leche y la digestibilidad de los nutrientes en vacas lecheras, cuyos resultados muestran un aumento en la concentración de grasa y una disminución en el peso corporal de las vacas. En dicho estudio se utilizó la semilla de algodón en un 15% de la MS de la dieta, manteniendo la producción de leche.

En otro estudio realizado por Pires et al. (Pires, et al., 1997) evaluaron la semilla de algodón, sólo que ésta tuvo un proceso de molido (4.97 mm de tamaño de la partícula medio) y otro de calentamiento (149 grados centígrados/30 min.). Esta combinación de tratamientos mejoró la digestibilidad total de la materia orgánica, del nitrógeno y de la fibra detergente neutro en el estómago e intestinos.

Por esto, cabe mencionar que se necesitan efectuar estudios a largo plazo, especialmente con vacas altas productoras en lactación temprana, para aclarar algunas dudas sobre la respuesta de producción al procesamiento de la semilla de algodón. También es necesario el mejoramiento del equipo para ocuparse con la semilla de algodón con borra, para facilitar una aplicación extensa de ese proceso y realizar trabajos adicionales para determinar el efecto sobre el desarrollo de la lactancia en vacas lecheras de la semilla de algodón procesada por un mayor período. (Bernard and Calhoun, 1997).

### **Granos secos de cervecería**

Los granos de cervecería (GC) estimulan la masticación más que los granos de cereales, pero cuando los GC reemplazan a la alfalfa su efectividad varía considerablemente (Younker, et al., 1998).

Hasta hace poco la escasa información disponible sobre las FFNF versa principalmente sobre la efectividad de la fibra sobre FFNF individuales como sustitutos del henilaje de alfalfa. Sin embargo, existe poca información sobre el rendimiento de esos alimentos usados en combinación en la misma dieta o usando niveles variados de esos ingredientes (Clark and Armentano, 1997b). Además existe controversia sobre el efecto de los granos secos de destilería sobre el pH del rumen, ya que en algunos casos lo eleva, pero en otros lo baja (Younker, et al., 1998).

### **Alimento de gluten de maíz seco**

Un producto de la molienda húmeda del maíz es el alimento de gluten de maíz húmedo (WCGF, por sus siglas en inglés). Este subproducto es principalmente una mezcla de salvado de maíz y extractos de maíz fermentado. Aunque el WCGF contiene de 40 a 45% de FDN, solamente tiene el 3% de lignina y es una fuente de fibra altamente digestible (Allen and Grant, 2000).

### **Cascarilla de soya**

No se han evaluado los efectos de reemplazar fibra del forraje con cascarilla de soya y semilla de algodón al inicio de la lactancia en vacas, por lo que se necesita investigar para evaluar las respuestas productivas y de salud de la vaca (Slater, et al., 2000). También falta información sobre el efecto de los forrajes y las FFNF con un TPr medio inferior de 0.4 cm. La molienda de la cascarilla de soya disminuye su digestibilidad presumiblemente, debido a una disminución en el tiempo de retención, sin embargo, la influencia de la eficacia de la fibra no ha sido determinada (Clark and Armentano, 1997b).

### **Salvado de maíz**

Boddugari et al. (Boddugari, et al., 2001) realizaron un estudio para determinar la cantidad máxima de concentrado y forraje que podría ser

reemplazado con un producto nuevo de maíz molido húmedo, el cual contiene 23.1% de PC, 9.9% de proteína no degradable en el rumen, 13.7% de FDA, 40.3% de FDN y 2.6% de extracto etéreo (% de la materia seca). Los resultados indican que éste producto tiene el potencial para reemplazar efectivamente todo el concentrado y hasta el 45% del forraje en dietas para vacas lactantes.

### **Interacciones ente los forrajes y las fuentes de fibra no forrajera**

Las fuentes de fibra no forrajera no estimulan la actividad de rumia con la efectividad del forraje dietético, debido a su TPr pequeño, debido a esto, es importante considerar el contenido de FDN efectiva de esas fuentes (Allen and Grant, 2000).

Basados en la respuesta en la masticación el cálculo de los valores de efectividad de la FND, permite la separación de los efectos físicos y químicos de la fibra y cuantifica el impacto de reemplazar la fibra del forraje con fuentes de fibra no forrajera (FFNF, o por sus siglas en inglés, NFFS) que son de TPr pequeña (Grant, 1997).

La forma física del alimento, aunque un pH ruminal bajo disminuye la digestión de la fibra, los efectos de un pH bajo sobre algunas variables específicas (tasa y grado de digestibilidad de la FDN) de la cinética de la digestión varían entre estudios. La tasa de dilución del almidón no necesariamente incrementa el pH ruminal (Firkins, 1997).

La digestión de la fibra podría mejorarse al incrementar el tiempo medio de retención en el rumen. La competencia entre la digestión y la tasa de pasaje es importante para la utilización de la FFNF debido al TPr pequeño, al potencial para la fermentación rápida y al incremento de la gravedad específica (Grant, 1997).

### **Requerimientos de FDN al utilizar FFNF**

La cantidad de (FDN) recomendada oscila entre un 25 a un 28% de la MS y la de la fibra ácido detergente está entre un 19 a un 21%. Además, se recomienda que el 75% de la FDN dietética sea provista por el forraje. Esas recomendaciones no proporcionan ajustes relacionados con la eficacia física de la fibra, ya que cuando se utilizan fuentes de fibra no forrajera con forrajes se presentan

interacciones que tienen influencia sobre el diseño de la ración (Clark and Armentano, 1999).

El propósito de formular dietas con un requerimiento de eFDN, en lugar de FDN, permite que las dietas contengan menos forraje pero más FDN y por consiguiente, un aumento dramático en la fracción de FDN de las FFNF. Esta alternativa permitiría que las dietas bajas en forraje con fibra elevada incrementaran el requerimiento de FDN (o disminuir los niveles máximos de carbohidratos no fibrosos) a medida que los contenidos de forrajes toscos disminuyen (Pereira, et al., 1999).

Hasta la fecha se ha intentado cuantificar la fibra efectiva, pero los investigadores necesitan determinar la cantidad óptima de la FDN en dietas que contengan FFNF (Yunker, et al., 1998).

Las recomendaciones de FDN hechas por el NRC son suficientes para dietas tradicionales constituidas con combinaciones de forraje y concentrado, pero parecen no ser apropiadas cuando se utilizan cantidades sustanciales de FFNF (Wang, et al., 2001).

### **Uso del forraje y fermentación de las grasas en el rumen**

Recientemente se ha incrementado el interés en los subproductos de origen animal tradicionalmente no utilizados en la alimentación de los rumiantes, ya que incluyen a la ración un suplemento energético y protéico. Algunos tipos de ingredientes, tales como la grasa hidrolizada, el cebo o las sales cálcicas de ácidos grasos, proporcionan energía adicional para el mantenimiento o para incrementar la producción de leche o la grasa en la misma (Schettini, et al., 1999).

El usar grasas no protegidas en las dietas del ganado bovino productor de leche ha demostrado provocar efectos negativos en la síntesis de la grasa de la leche y en la disminución de la digestibilidad de la fibra. El uso de la canola, que es una grasa no protegida y altamente insaturada, causa disminución en los ácidos grasos volátiles, en la relación de acetato a propionato y disminución en la producción de leche (Lewis, et al., 1999).

Los beneficios del suministro de grasas pueden estar relacionados con la cantidad y tipo de forraje en la dieta y podrían perfeccionarse cuando el uso del forraje se mejore. Las grasas no protegidas pueden interferir menos con la fermentación ruminal y en la digestión en dietas con contenidos elevados de forrajes (Lewis, et al., 1999).

## **OBJETIVOS**

- 1) Determinar la distribución del porcentaje retenido de tamaño de partícula (media) de la ración completamente mezclada (RTM) de dos técnicas de cribado que se utilizan para la separación de partículas
  
- 2) Determinar la correlación que existe con los resultados de la distribución del porcentaje retenido de tamaño de partícula de la RTM de vacas lecheras entre las dos técnicas de cribado.

## **MATERIALES Y METODOS**

Se realizó el presente trabajo para evaluar la correlación existente entre las cribas que determinan el tamaño de partículas en las dietas de vacas en producción

### **LOCALIZACIÓN**

El presente trabajo se llevo a cabo de noviembre a diciembre del 2002 en las instalaciones del establo " campo sagrado" , ubicado en el municipio de Torreón que se localiza en la parte oeste del sur del Estado de Coahuila, en las coordenadas 103° 26'33" longitud oeste y 25° 32' 40" latitud norte, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar, el clima es de subtipos secos semicálidos; la temperatura media anual es de 20 a 22°C. Se divide en 112 localidades. Se localiza a una distancia aproximada de 265 Km. de la capital del Estado. Limita al norte con el municipio de Matamoros; al sur y al oeste con el estado de Durango y al este con el municipio de Matamoros. ( Gobierno del estado de Coahuila).

### **cribas**

Se utilizaron como referencia las cribas diseñadas por la Universidad de Pensilvania, cuyas medidas de las aberturas esféricas son, para la criba grande (CG) 19.0 mm, con un grosor de 12.2 mm y para la criba mediana (CM) 8.0 mm, con un grosor de 6.4 mm ( (Kononoff, et al., 2003), designadas como cribas CONTROL (CC). Estas se compararon contra unas cribas adaptadas y utilizadas a nivel regional para determinar el tamaño de partícula. Las que son de 2 tamaños: la medida de las aberturas cuadradas de la criba grande son de 12 mm y las de la criba mediana 7mm. Estas cribas se construyeron con madera y alambre y se han designado para esta prueba como cribas TESTIGO (CT).

### **Comederos**

Se determinó el TPR de las dietas seleccionando el comedero de 55 metros de longitud de un corral de vacas en producción. Estos comederos son de

concreto tipo banquetta, el piso de los corrales consta de una parte de concreto (próxima a los comederos).

### ***Alimentación de las vacas***

Las vacas del experimento fueron alimentadas con una dieta elaborada con un carro mezclador de la marca TORMEX, modelo 1200 de fabricación Mexicana. La dieta contenía los siguientes ingredientes, concentrado Lala : alfalfa, ensilaje de maíz, maíz rolado, melaza, semilla de algodón, núcleo (fuente de proteína), minerales (bicarbonato de sodio, carbonato de calcio, óxido de magnesio), Megalac (grasa de paso).

### ***Toma de muestras***

Para la determinación del TPr en ambos tipos de cribas se procedió a tomar la muestra según las indicaciones de Kononoff y Heinrich (2003) las cuales consisten en seleccionar a lo largo del comedero 3 puntos de muestreo de alimento recién servido y que no haya sido probado por la vaca, uno al inicio, otro en medio y el último al final del comedero. En cada punto de muestreo se seleccionó el alimento de un metro lineal del comedero, tomándose aproximadamente un Kg. de la dieta en cada sección de alimento. Este procedimiento se repitió 3 veces en cada sitio de muestreo, para obtener una muestra para cada tipo de criba, la cual posteriormente fue cribada como se describe a continuación:

### ***Método de separación***

La determinación de las proporciones del TPr de la ración se determinó al cribar a la mezcla alimenticia, primero en la CG y después en la CM. La cantidad de alimento que no pasó la CG se consideró como de tamaño grande. Aquel alimento que no pasó por la CM se consideró como tamaño mediano y la fracción que pasó la CM se consideró como tamaño pequeño.

El cribado se hizo con sacudidas horizontales de cinco veces en una dirección, luego se giró unas cuatro vueltas, y una vez más se sacudió cinco veces. Una sacudida, es considerada como un movimiento excesivo hacia

adelante y hacia atrás a una distancia de 17 cm. (Kononoff, et al., 2003). Este mismo procedimiento se llevó a cabo 10 veces, tanto en la CC como en la CT, lo que se significa que cada día se hizo este procedimiento en un total de 20 muestras, lo que considerando el número de tamaños nos arroja un total de 30 por cada tratamiento de criba.

Se utilizó una balanza de fabricación mexicana, para pesar cada una de las muestras obtenidas durante los días que duró este estudio.

Una vez obtenidos un total de 60 tamaños de partícula de ambas cribas por día, se procedió a pesar y a calcular el porcentaje de cada uno.

## ***ANÁLISIS ESTADÍSTICO***

Los resultados obtenidos fueron analizados para determinar la correlación existente en ambos tratamientos utilizando la técnica de correlación lineal (SAS, 1991).

## RESULTADOS

### ***Distribución del porcentaje retenido de tamaño de partícula***

Este trabajo se realizó para determinar la distribución del porcentaje retenido de tamaño de partícula

de la ración completamente mezclada (RTM) de dos tipos de cribas que se utilizan para la separación de partículas. En el cuadro 1 se muestra la distribución del porcentaje retenido de tamaño de partícula de la TMR en ambos tipos de técnicas.

**Cuadro 1.-** Distribución del porcentaje retenido de tamaño de partícula (media) de la RTM de ambos sistemas de separación de partícula

---

<b>&gt; 19.0 mm</b>		<b>&lt; 19.0 &gt;8.0 mm</b>		<b>&lt; 8.0 mm</b>	
<b>C.C</b>	<b>C.T</b>	<b>C.C</b>	<b>C.T</b>	<b>C.C</b>	<b>C.T</b>
16 %	19.88 %	47.17 %	28.85 %	36.84 %	51.21%
*3.51	2.54	2.2	2.08	3.17	3.68

---

\* media de los días evaluados entre ambos tipos de cribas.

- C.C cribas control.
- C.T cribas testigo.

En dicho cuadro se aprecia que el porcentaje de retención en la criba > 19.0 mm es muy similar entre ambas técnicas. Sin embargo, en el resto el porcentaje de retención es diferente ya que en el tamaño < 19.0 y > 8.0 es muy superior en la CC que en el CT.

## ***Coefficiente de correlación***

Para determinar la correlación existente entre dos tipos de cribas que determinan el tamaño de partícula en las dietas de vacas en producción, se utilizó como referencia a las cribas diseñadas por la Universidad de Pensilvania, que se compararon contra unas cribas construidas de madera y alambre que se han adaptado y utilizado para determinar el tamaño de partícula.

En el cuadro 2 se presentan los resultados de la correlación existente entre los dos tipos de procedimientos para determinar el tamaño de partícula de la ración para vacas en producción.

**CUADRO 2.** Análisis de correlación lineal del porcentaje retenido de tamaño de partícula (media) de la RTM de ambos sistemas de separación de partícula.

<b>Días de medida</b>	<b>&gt; 19.0 mm</b>	<b>&lt; 19.0 &gt; 8.0 mm</b>	<b>&lt; 8.0 mm</b>
1	0.218	0.000	0.014
2	0.131	- 0.100	0.120
3	- 0.593	- 0.147	- 0.115
4	0.342	0.139	0.352
5	0.368	0.413	- 0.285
6	0.566	- 0.653	0.488
7	- 0.637	0.224	-0.281
8	0.146	- 0.832	0.237
9	- 0.757	- 0.470	- 0.477
10	- 0.567	- 0.034	0.080
<b>COEFICIENTE DE CORRELACIÓN TOTAL</b>			<b>0.396</b>

En el cuadro se observa el coeficiente de correlación obtenido entre los diferentes tamaños de partícula que se obtuvieron durante cada uno de los días de la evaluación. Además se presenta el coeficiente de correlación total entre ambas técnicas evaluadas, el cual fue de 0.396 lo que implica que existe una correlación muy baja entre ambas técnicas de separación de partículas.

## Discusión

Este trabajo se desarrolló con el planteamiento de determinar la correlación existente entre las dos técnicas de cribas para determinar el tamaño de partícula en las RTM de las vacas en producción.

Uno de los hallazgos mas significativos fue la correlación baja existente al ser evaluados ambos tratamientos la cual nos indica la gran diferencia que hay al utilizar ambos tipos de cribas para determinar el TPr ya que unas se han utilizado de manera rutinaria a nivel regional y las demás se encuentran avaladas por la Sociedad Americana de Ingenieros en agricultura. Ya que este trabajo consistió en determinar que tan estrechamente se encontraban relacionadas ambos tipos de cribas podemos afirmar que no existe una correlación tan significativa entre ambos tratamientos ya que son muy diferentes.

Kononoff and Heinrichs (2003a) encontraron que el porcentaje de retención de TPr > 19.0 mm fue de 10.9 lo que se asemeja al porcentaje encontrado en la CC de este trabajo. En el caso del tamaño < 19.0 y > 8.0 ellos encontraron 52.3 y en este trabajo se determino 5 puntos porcentuales abajo. En tanto que la fracción menor a 8 fue de 30.4 que también es semejante a lo encontrado en CC. Cabe señalar que los resultados encontrados por estos autores fue con dietas que contenían ensilaje con tamaño de partícula larga (>7.9 mm). Por lo cual es importante señalar que los resultados están en función del tipo de forraje usado y la longitud del mismo.

Por ejemplo Kononoff y Heinrichs (2003b) evaluaron el efecto de la reducción del tamaño de partícula del henilaje de alfalfa para lo cual utilizaron cuatro tratamientos uno que contenía partícula larga (PrL), otro partícula corta

(PrC), el tercero tenía 1/3 de PrL y 2/3 de PC y el último contenía 2/3 de PrL y 1/3 de PrC. Los resultados encontrados sugieren que a medida que el tamaño del forraje se reduce la partícula retenida en la criba >19.0 mm se reduce (31.4 hasta 3%) y aumenta la cantidad retenida en la criba < 8.0 mm.(33 hasta 49%). Estos resultados se asocian a los encontrados en este reporte ya que la CC arrojó un porcentaje de 36.84 en la partícula pequeña y el CT el 51.21% en la fracción < 8.0 mm. Lo anterior implica que en esas cantidades el consumo de MS se aumenta por la vaca, más no el nivel de producción.

En otro estudio se confirma que el tipo de forraje y su longitud afecta el porcentaje de retención de la partícula en diferentes cribas. (Beauchemin, et al., 2003) evaluaron la reducción ensilaje de alfalfa picada a 10 mm y dos tratamientos con alfalfa heno (picada y molida). Se confirma que al reducir el tamaño del forraje el porcentaje retenido en las cribas >19 mm disminuye, ya que en este experimento la alfalfa molida no se quedó en esta criba (0%), el ensilaje se retuvo en 4.7% y la alfalfa picada se retuvo 25%. El porcentaje retenido en la criba < 8 mm fue de 99% para el caso de la alfalfa molida y de 50% en la alfalfa picada y sólo 27.5 en el ensilaje. Estos autores confirman que la eficacia de la fibra podría ser determinada por diferentes medios y los resultados pueden ser discrepantes.

En el análisis de correlación lineal que se llevó a cabo en los dos tipos de cribas puede interpretarse como baja, lo que nos indica la gran diferencia que existe entre ambas. Por lo tanto bajo las condiciones de este trabajo se sugiere utilizar las cribas diseñadas por la Universidad de Pensilvania para determinar el tamaño de partícula de raciones completamente mezcladas para el ganado bovino productor de leche.

## Conclusiones

Este trabajo consistió en determinar que tan estrechamente se encuentran relacionadas 2 tipos de cribas que determinan el tamaño de partícula en dietas de vacas en producción. Al ser evaluadas y determinar la correlación lineal existente entre ambas en los resultados se observó una gran diferencia entre ambos tipos ( $r = 0.396$ ). Estos resultados sugieren diferencias entre ambos tratamientos, por lo cual podemos afirmar que no es lo mismo utilizar uno que otro tipo de cribas y recomendamos utilizar las cribas diseñadas por la Universidad de Pensilvania para determinar el tamaño de partícula de raciones completamente mezcladas para el ganado bovino productor de leche.

## LITERATURA CITADA

- Agnes, T. H., A. S. Blis, and H. Matthiesen. 1996. Digestibility and rumen fermentation in reindeer feed with silage in summer and winter. *J Agric Sci.* 127:517-523.
- Allen, D. M. and R. J. Grant. 2000. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 83(2):322-331.
- Armentano, L. and M. Pereira. 1997. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. *J Dairy Sci.* 80(7):1416-1425. .
- Bal, M. A., R. D. Shaver, and A. G. Jirovec. 2000. Crop Processing and Chop Length of Corn Silage: Effects on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. *J Dairy Sci.* 83:1264-1273.
- Bava, L., L. Rapetti, G. M. Crovetto, A. Tamburini, A. Sandrucci, G. Galassi, and G. Succi. 2001. Effects of a nonforage diet on milk production, energy, and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. *J Dairy Sci.* 84(11):2450-2459..
- Beauchemin, K. A. and L. M. Rode. 1997. Minimum versus optimum concentrations of fiber in dairy cows diets based on barley silage and concentrates of barley or corn. *J. Dairy Sci.* 80:1629-1639.
- Beauchemin, K. A., W. Z. Yang, and L. M. Rode. 2003. Effects of particle size of alfalfa based dairy cows diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production. *J Dairy Sci.* 86:630-643.
- Bernard, L. and M. C. Calhoun. 1997. Response of Lactating Dairy Cows to Mechanically Processed Whole cottonseed. *J Dairy Sci.* 80:2062-2068.
- Bernard, L., J. P. Chaise, R. Baumont, and C. Poncet. 2000. The effect of physical form of orchardgrass hay on the passage of particulate matter through the rumen of sheep. *J. Anim. Sci.* 78:1338-1354.
- Besle, J. M., A. Cornu, and J. P. Jouany. 1994. Roles of structural phenylpropanoids in forage cell wall digestion. *J Sci Food Agr.* 64:171-190.
- Besle, J. M., J. P. Jouany, and A. Cornu. 1995. Transformations of structural phenylpropanoids during cell wall digestion. *Microbiol Rev.* 16:33-52.
- Boddugari, K., R. J. Grant, R. A. Stock, and M. Lewis. 2001. Maximal replacement of Forage and Concentrate with a New Wet Corn Milling Product for Lactating Dairy Cows. *J Dairy Sci.* 84:873-884.
- Breznak, J. A. and B. A. 1994. Role of microorganisms in the digestion of lignocellulose by termites. *Annu Rev Entomol.* 39:453-487.
- Chen, J., S. L. Fales, G. A. Varga, and D. J. Royse. 1996. Biodegradability of free monomeric and cell-wall-bound phenolic acids in maize stover by two strains of white-rot fungi. *J Sci Food Agric.* 71:145-150.
- Clark, P. W. and L. Armentano. 1997. Influence of Particle Size on the Effectiveness of Beet Pulp fiber 1. *J Dairy Sci.* 80:898-904.
- Clark, P. W. and L. E. Armentano. 1997b. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources. *J Dairy Sci.* 80:675-680.
- Clark, P. W. and L. E. Armentano. 1999. Influence of particle size on the effectiveness on the fiber in corn silage. *J Dairy Sci.* 82:521-588.

- Cornu, A., J. M. Besle, P. Mosoni, and E. Grenet. 1994. Lignin-carbohydrate complexes in forages: structure and consequences in the ruminal degradation of cell-wall carbohydrates. *Repornd Nutr Dev.* 34:385-398.
- Delmer, D. P. 1999. Cellulose Biosynthesis: Exciting times for a difficult field of study. *Annu Rev Plant Mol. Biol.* 50:245-276.
- Denman, S., G.-P. Xue, and B. Patel. 1996. Characterization of a *Neocallimastix patriciarum* Cellulase cDNA (celA) homologous to *Trichoderma reesi* cellobiohydrolase II. *Appl Environ Microb.* 62:1889-1896.
- Firkins, J. L. 1997. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. *J Dairy Sci.* 80(7):1426-1437.
- Fondevila, M. and B. A. Dehodority. 1996. Interactions between *Fibrobacter succinogenes*, *Prevotella ruminicola*, and *Ruminococcus flavefaciens* in the digestion of cellulose from forages. *J Anim Sci.* 74:678-684.
- Gobierno del Estado de Coahuila. Available at: <http://dns2.comuni-k.com/explora/Torreón/ubicacion%20torreón.htm>. Accessed Noviembre 20, 2003.
- Gomez de Segura, B., R. Durand, and M. Fèvre. 1998. Multiplicity and Expression of Xylanases in the Rumen Fungus *Neocallimastix frontalis*. *FEMS Microbiol Lett.* 164:47-53.
- Grabber, J. H., R. D. Hatfield, J. Ralph, J. Zon, and N. Amrhein. 1995. Ferulate cross-linking in cell walls isolated from maize cell suspensions. *Phytochemistry.* 40:1077-1082.
- Grant, R. J. 1997. Interactions among forages and nonforages fiber sources. *J Dairy Sci.* 80:1438-1446.
- Heinrich, A. J., D. R. Buckmaster, and B. P. Lammers. 1999. Processing Mixing, and Particle Size Reduction of Forage for Dairy Cattle. *J Animal Sci.* 77:180-186.
- Hofrichter, M., T. Vares, M. Kalsi, S. Galkin, K. Scheibner, W. Fritsche, and A. Hatakka. 1999. Production of Manganese Peroxidase and Organic Acids and Mineralization of <sup>14</sup>C-labelled Lignin (<sup>14</sup>C-DHP) during Solid State Fermentation of Wheat with White Rot Fungus *Nematoloma frowardii*. *Appl Environ Microbiol.* 65:1864-1870.
- Jung, H. G. 1983. Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: A review. *J Anim Sci.* 57(1):206-219.
- Jung, H.-J. G., M. Jorgensen, J. G. Linn, and F. M. Engels. 2000. Impact of accessibility and chemical composition on cell wall polysaccharide degradability of maize and lucerne stems. *J Sci Food Agric.* 80:419-427.
- Kajikawa, H., H. Kudo, T. Kondo, K. Jodai, Y. Honda, M. Kuwahara, and T. Watanabe. 2000. Degradation of benzyl ether bonds of lignin by ruminal microbes. *FEMS Microbiol Lett.* 187:15-20.
- Karunanandaa, K. and G. A. Varga. 1996. Colonization of crop residues by white-rot fungi: cell wall monosaccharides, phenolic acids, ruminal fermentation characteristics and digestibility of cell wall fiber components in vitro. *Anim Feed Sci Tech.* 63:273-288.
- Kondo, T., T. Watanabe, T. Oshita, and T. Kyuma. 1998. Physico-Chemical Characteristics of Soluble Lignin Fractions Released from Forage Grasses by Ruminant Digestion. *JARQ.* 32:187-195.

- Kononoff, P. J. and A. J. Heinrichs. 2003a. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. *J Dairy Sci.* 86:2438-2451.
- Kononoff, P. J. and A. J. Heinrichs. 2003b. The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. *J Dairy Sci.* 86:1445-1457.
- Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs, and D. R. R. Buckmaster. 2003. Modification of the Penn State Forage and Total Mixed ration Particle Separator and the effects of Moisture Content on its Measurements. *J Dairy Sci.* 86:1858-1863.
- Krause, D. M., D. K. Combs, and K. A. Beauchemin. 2002. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. Milk Production and Diet Digestibility. *J Dairy Sci.* 85(8):1936-1946.
- Leiva, E., M. B. Hall, and H. H. Van Horn. 2000. Performance of dairy cattle fed citrus pulp of corn products as sources of neutral detergent-solubles carbohydrates. *J Dairy Sci.* 83:2866-2875.
- Lewis, W. D., J. A. Bertrand, and T. C. Jenkins. 1999. Interaction of tallow and hay particle size on ruminal parameters. *J Dairy Sci.* 82:1532-1537.
- Maekawa, M., K. A. Beauchemin, and D. A. Christensen. 2002a. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 85:1165-1175.
- Maekawa, M., K. A. Beauchemin, and D. A. Christensen. 2002b. Chewing activity, saliva production, and ruminal pH of primiparous and multiparous lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 85:1176-1182.
- Matsui, H., K. Ushida, K. Miyazaki, and Y. Kojima. 1998. Use of Digested xylan to digested cellulose (X/C) as an index of fiber digestion in plant cell-wall material by ruminant microorganisms. *Anim Feed Sci Tech.* 71:207-215.
- McDougall, G. J. 1993. Phenolic cross-links in growth and development of plants. Pages 129-136 in *Polyphenolic Phenomena*. A. Scalbert, ed. INRA Editions, Paris.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J Dairy Sci.* 80(7):1463-1481.
- Mooney, C. S. and M. S. Allen. 1997. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linted cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. *J. Dairy Sci.* 80:2052-2061.
- Murphy, M. R. and J. S. Zhu. 1997. A comparison of methods to analyze particle sizes as applied to alfalfa haylage, corn silage, and concentrate mix. *J. Dairy Sci.* 80:2932-2938.
- Nichols, S. W., M. A. Froetschel, H. E. Amos, and L. O. Ely. 1998. Effects of fiber from tropical corn and forage sorghum silages on intake, digestion, and performance of lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 81(9):2383-2393.
- Nogueira, F. J. C. M., M. Fondevila, U. A. Barrios, and R. M. González. 2000. In vitro microbial fermentation of tropical grasses at an advanced maturity stage. *Anim Feed Sci Techn.* 83:145-157.
- Oba, M. and M. S. Allen. 2000a. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 2. Chewing activities. *J Dairy Sci.* 83(6):1342-1349.
- Oba, M. and M. S. Allen. 2000b. 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. *J Dairy Sci.* 83(6):1350-1358.
- Oba, M. and M. S. Allen. 2000c. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization. *J Dairy Sci.* 83(6):1333-1341.
- Pereira, M. N. and L. E. Armentano. 2000. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. II. Digestion and rumen function. *J Dairy Sci.* 83(12):2876-2887.
- Pereira, M. N., E. F. Garrett, and G. R. Oetzel. 1999. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. I. Performance and health. *J. Dairy Sci.* 82:2716-2730.
- Pires, A. V., M. L. Eastridge, and J. L. Firkins. 1997. Effects of Heat Treatment and Physical Processing of Cottonseed on Nutrient Digestibility and Production Performance by Lactating Cows. *J. Dairy Sci.* 80:1685-1694.
- Provan, G. J., L. Scobbie, and A. Chesson. 1994. Determination of phenolic acids in plant cell walls by microwave digestion. *J. Sci food agric.* 64:63-65.
- Reeves, I. J. B. 1997. Relationships between crude protein and determination of nondispersible lignin. *J Dairy Sci.* 80:692-699.
- Rosazza, J. P. N., Z. Huang, L. Dostal, T. Volm, and B. Rousseau. 1995. Review: Biocatalytic transformations of ferulic acid: an abundant aromatic natural product. *J Industr Microbiol*(15):457-471.
- SAS. 1985. User Guide: Statistics. Version 5 Edition. SAS Inst., Inc. Cary, NC.
- Sanz Sampelayo, M. R., L. Pérez, J. Boza, and L. Amigo. 1998. Forage of Different Physical Forms in the Diets of Lactating Granadina Goats: Nutrient Digestibility and Milk Production and Composition1. *J Dairy Sci.* 81(2):492-498.
- Schettini, M. A., E. C. Prigge, and E. L. Nestor. 1999. Influence of mass and volume of ruminal contents on voluntary intake and digesta passage of a forage diet in steers. *J. Anim. Sci.* 77:1896-1904.
- Schwab, E. C., R. D. Shaver, K. J. Shinnors, J. G. Lauer, and J. G. Coors. 2002. Processing and chop length effects in Brown-Midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J Dairy Sci.* 85:613-623.
- Sewalt, V. J. H., W. G. Glasser, J. P. Fontenot, and V. G. Allen. 1996. Lignin impact on fibre degradation: 1-quinone methide intermediates formed from lignin during In Vitro fermentation of corn stover. *J Sci Food Agr.* 71:195-203.
- Shain, D. H., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, and D. W. Herold. 1999. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 77:1082-1092.
- Slater, A. L., M. L. Eastridge, J. L. Firkins, and L. J. Bidinger. 2000. Effects of starch sources and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. *J Dairy Sci.* 83(2):313-321.
- Soita, H. W., D. A. Christensen, and J. J. McKinnon. 2000. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in barley silage. *J Dairy Sci.* 83(10):2295-2300.

- Stensig, T. and P. H. Robinson. 1997. Digestion and passage kinetics of forage fiber in dairy cows as affected by fiber-free concentrate in the diet. *J Dairy Sci.* 80(7):1339-1352.
- Tomme, P., R. A. J. Warren, and N. R. D. Gilkes. 1995. Cellulose hydrolysis by bacteria and fungi. *Adv Microb Physiol.* 37:1-82.
- Wang, Z., M. L. Eastridge, and X. Qiu. 2001. Effects of forage neutral detergent fiber and yeast culture on performance of cows during early lactation. *J Dairy Sci.* 84(1):204-212.
- West, J. W., P. Mandevu, G. M. Hill, and R. N. Gates. 1998. Intake, milk yield, and digestion by dairy cows fed diets with increasing fiber content from bermudagrass hay of silage. *J Dairy Sci.* 81(6):1599-1607.
- 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.
- Wubah, D. A. and D. S. H. Kim. 1996. Chemoattraction of anaerobic ruminal fungi zoospores to selected phenolic acids. *Microbiol. Res.* 151:257-262.
- Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, and L. M. Rode. 2001b. Barley Processing, Forage:Concentrate, and Forage Length Effects on Chewing and Digesta Passage in Lactating Cows. *J Dairy Sci.* 84:2709-2720.
- 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.* 85:1958-1968.
- Yosef, E. and D. Ben-Ghedalia. 2000. Changes in the alkaline-labile phenolic compounds of wheat straw cell walls as affected by SO<sub>2</sub> treatment and passage through the gastro-intestine of sheep. *Anim Feed Sci Techn.* 83:115-126.
- Yunker, R. S., S. D. Winland, J. L. Firkins, and B. L. Hull. 1998. Effects of replacing forage fiber or nonfiber carbohydrates with dried brewers grains. *J Dairy Sci.* 81(10):2645-2656.
- Zhu, J. S., S. R. Stokes, and M. R. Murphy. 1997. Substitution of neutral detergent fiber from forage with neutral detergent fiber from by-products in the diets of lactating cows. *J Dairy Sci.* 80(11):2901-2906. .