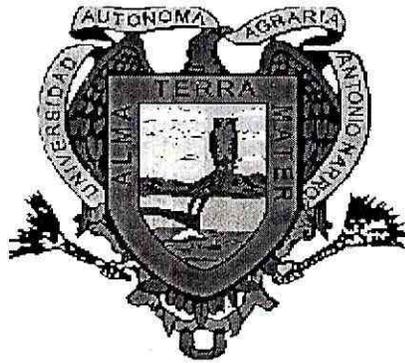


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
División Regional de Ciencia Animal**



**“IMPORTANCIA DEL MANEJO DE LA FIBRA DIETÉTICA
SOBRE LA PRODUCCIÓN Y LA SALUD DE LAS VACAS
LECHERAS”**

POR:

JORGE ENRIQUE CRUZ VELÁZQUEZ

MONOGRAFÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

TORREÓN, COAHUILA

NOVIEMBRE DE 2002

001505

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
División Regional de Ciencia Animal**

MONOGRAFÍA

**“IMPORTANCIA DEL MANEJO DE LA FIBRA DIETÉTICA
SOBRE LA PRODUCCIÓN Y LA SALUD DE LAS VACAS
LECHERAS”**

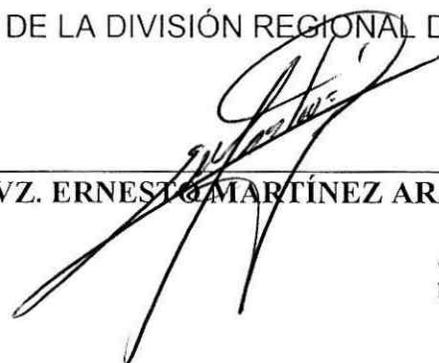
APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA

PRESIDENTE DEL JURADO



M.C. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



MVZ. ERNESTO MARTÍNEZ ARANDA



**Coordinación de la División
Regional de Ciencia Animal
UAAAN - UL**

TORREÓN, COAHUILA

NOVIEMBRE DE 2002

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
División Regional de Ciencia Animal**

MONOGRAFÍA

JORGE ENRIQUE CRUZ VELÁZQUEZ

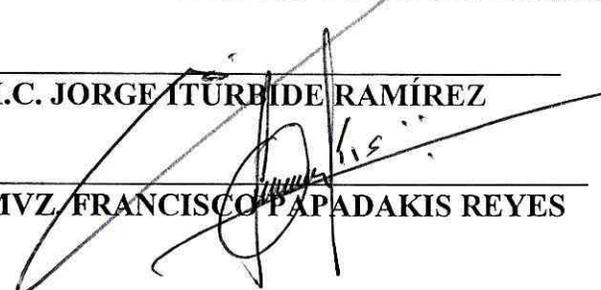
**"IMPORTANCIA DEL MANEJO DE LA FIBRA DIETÉTICA SOBRE
LA PRODUCCIÓN Y LA SALUD DE LAS VACAS LECHERAS"**

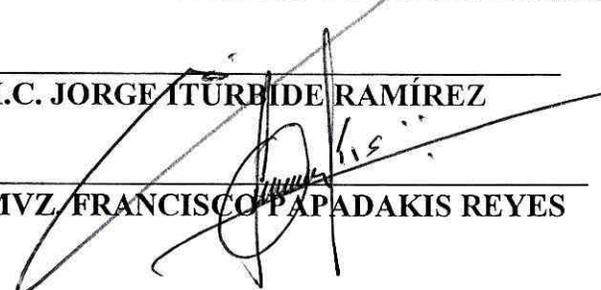
**MONOGRAFÍA ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ
PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESIDENTE : 
M.C. PEDRO ANTONIO ROBLES TRILLO

VOCAL: 
I.Z. JORGE HORACIO BORUNDA RAMOS

VOCAL: 
M.C. JORGE ITURBIDE RAMÍREZ

VOCAL SUPLENTE: 
MVZ. FRANCISCO PAPADAKIS REYES

TORREÓN, COAHUILA

NOVIEMBRE DE 2002

AGRADECIMIENTOS

Le doy las gracias a Dios por la oportunidad de vivir.

Al M.C. Pedro Antonio Robles Trillo por haber dado la confianza, experiencia, apoyo y orientación en el desarrollo de esta investigación.

A mi Alma Terra Meter.

Por abrirme las puertas dándome la oportunidad de formarme como profesionalista bajo su techo y todo su apoyo brindando desde el inicio hasta la culminación.

A mis Amigos

Que siempre estuvieron conmigo a través de mi carrera.

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

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Sr. René Cruz Moguel
Sra. María Elena Velázquez Cruz

A mis padres con todo amor y respeto , quienes me dieron la vida, amor , cariño y depositaron en mi toda su confianza para culminar con mis estudios.

Gracias por sus consejos y lucha inagotable que realizaron para guiarme por el mejor camino de la vida y así terminar mi carrera.

A MI ESPOSA Y A MI HIJO

M.V.Z. Mia Margarita Rascón Hernández y Jorge Alberto Cruz Rascón con todo mi amor y ternura, a ustedes, quienes han sabido hacerme tan feliz.

INTRODUCCIÓN.....	1
CARACTERÍSTICAS Y PRODUCCIÓN DE PAREDES CELULARES DE LAS PLANTAS EN EL MUNDO.....	4
INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PAREDES CELULARES.....	5
INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS ANATÓMICAS DE LAS PAREDES CELULARES SOBRE SU DIGESTIÓN.....	5
CELULOSA	6
IMPACTO DE LA ACCESIBILIDAD Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LIGNINA SOBRE LA DEGRADABILIDAD DE LOS POLISACÁRIDOS DE LA PARED CELULAR.....	6
EFFECTO DE LOS ÁCIDOS FENÓLICOS SOBRE LA DEGRADABILIDAD DE LAS PAREDES CELULARES	7
MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LIGNINA.....	10
MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS FENÓLICOS EN LAS PAREDES CELULARES DE LAS PLANTAS.....	11
REQUERIMIENTO DE FIBRA.....	11
REQUERIMIENTOS DE FIBRA Y ESTADO DE LACTANCIA	13
DIGESTIÓN DE LA FIBRA.....	13
FIBRA Y LLENADO DEL RUMEN	15
EFFECTIVIDAD DE LA FIBRA.....	15
EVALUACIÓN DE LA EFFECTIVIDAD DE LA FIBRA	17
INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA SOBRE LA EFICACIA DE LA FIBRA.....	17
TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA ALFALFA	17
TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL ENSILAJE DE MAÍZ	18
<i>Ensilaje de maíz mutante de enervadura café</i>	19
TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL FORRAJE DE CEBADA	19
TAMAÑO DE PARTÍCULA Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS ALIMENTOS	21
INFLUENCIA DEL MANEJO DEL FORRAJE SOBRE EL TAMAÑO DE PARTÍCULA	21
REEMPLAZO DEL FORRAJE DIETÉTICO CON FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA	21
ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FFNF.....	21
PROPIEDADES DE EFFECTIVIDAD DE LA FIBRA DE LAS FFNF	22
LAS FFNF Y LA ACTIVIDAD RUMINAL	23
ADMINISTRACIÓN DE FFNF A TRAVÉS DE LA LACTANCIA	24
SUBPRODUCTOS UTILIZADOS COMO FFNF	24
<i>Semilla de algodón</i>	24
<i>Granos secos de cervecería</i>	25

<i>Alimento de gluten de maíz seco</i>	26
<i>Cascarilla de soya</i>	26
<i>Salvado de maíz</i>	26
INTERACCIONES ENTE LOS FORRAJES Y LAS FUENTES DE FIBRA NO FORRAJERA	27
REQUERIMIENTOS DE FDN AL UTILIZAR FFNF	27
USO DEL FORRAJE Y FERMENTACIÓN DE LAS GRASAS EN EL RUMEN	28
LITERATURA CITADA	30

RESUMEN

El manejo de la fibra tales como tamaño de partícula, sustitución de la fibra forrajera con fibra no forrajera o concentración de FDN en las dietas, pueden traernos como resultado una mejor eficacia de la fibra. El rumiante requiere una cantidad mínima de fibra dietética efectiva para un consumo óptimo de materia seca, estimulación de la salivación, producción de leche y buena salud. La fibra efectiva ha sido definida como la que puede 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. La función normal del rumen depende de la calidad (forma física) y la cantidad (concentrado dietético) de la fibra dietética. 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 disminución de la grasa en la leche. La forma física (tamaño de la partícula) 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. Los forrajes tienen un tamaño de partícula (TdP) medio el cual es crítico y que arriba de ese tamaño se encuentra poco beneficio adicional. La fibra de las fuentes de fibra no forrajera (FFNF) tienen propiedades físicas y químicas diferentes de la FDN de los forrajes. 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. Debido al contenido de lignina bajo 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. Sin embargo, algunos estudios han indicado que el TdeP tan pequeño de las FFNF podrían facilitar su rápido escape del rumen y subsecuentemente disminuir la digestibilidad de su fibra. El manejo de las dietas para un adecuado contenido de 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 largas lo suficiente para una digestión adecuada y estimulan la síntesis de grasa en la leche.

INTRODUCCIÓN

La materia seca de las plantas representa la forma de biomasa más abundante en la tierra; los constituyentes más abundantes de ésta son: la celulosa (28 a 50%), hemicelulosa (20 a 30%) y la lignina (18 al 30%)(12). La mayoría de las reservas de los carbohidratos en la tierra se encuentran en forma de "forrajes pobres" cuyo potencial energético no está completamente 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 (17). La matriz compleja de las paredes celulares difiere considerablemente entre las diferentes especies de plantas, así como entre 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 (21). 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 (28). La lignificación de la pared celular de las plantas está considerada como el primer factor que limita la degradación de los polisacáridos de esas estructuras vegetales (28).

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 (40,15).

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 baja generalmente. 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 de alimento en el rumen, tanto como en el consumo de alimento y la proporción de carbohidratos rápidamente fermentables en la dieta (60).

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 (40).

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 esta determinada principalmente por el total de masticación debido a que las vacas secretan más saliva durante la masticación (45).

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 largas lo suficiente para una digestión adecuada y estimulan la síntesis de grasa en la leche (14).

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 esta altamente relacionada a las propiedades físicas de la fibra, como es el caso de la longitud de la partícula (40).

Las características físico químicas de una dieta pueden causar cambios en la composición de la leche producida debido a cambios en los patrones de fermentación en el rumen (53).

Los forrajes tienen un TdeP medio el cual es crítico y que arriba de ese tamaño se encuentra poco beneficio adicional (15).

La gravedad específica del TdeP está relacionada a la tasa de pasaje de las partículas ruminales. Dentro del rango de la densidad de la partícula normalmente encontradas en el rumen, a medida que la gravedad específica de una partícula independiente incrementa, su tasa de pasaje a través del rumen también aumenta (54).

En muchas regiones donde 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 (3). Algunos son subproductos de plantas, producidos por la extracción del almidón, azúcares u otros constituyentes no fibrosos de gran valor (48).

La fibra de los subproductos tienen 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 y otros presentan poco o ningún efecto sobre el tiempo de rumia (14).

La disminución de actividad de la masticación cuando las FFNF reemplaza al forraje puede disminuir el flujo de saliva amortiguadora a el rumen, disminuyendo el pH y la degradación de FDN (58). 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 (24). El objetivo del presente trabajo fue hacer una recopilación de datos de investigaciones recientes en las que el manejo de las paredes celulares de los forrajes se administran con tamaño de partícula diferentes, así como con recursos diversos que proporcionan fibra para lograr una mejor eficacia de la fibra dietética en la alimentación de rumiantes con la finalidad de prevenir problemas de salud y manipular la producción y componentes de la leche del ganado lechero.

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

La fijación de bióxido de carbono (CO_2) por el proceso de la fotosíntesis en la biosfera produce aproximadamente 136×10^{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) ocurren 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 (12).

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 (22).

Las plantas sintetizan cerca de 4×10^9 toneladas de celulosa anualmente, 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 CO_2 en el ecosistema (61).

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 alcoholes respectivos p-coumaril, conferil y sinapil (56).

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

La temperatura es el factor que mas influye 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 mas que en las hojas).

Los forrajes utilizados como alimento para el ganado en zonas tropicales y subtropicales son de naturaleza fibrosa, tienen contenido alto en paredes celulares, contenido bajo 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 (1).

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 y 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 (43).

La mayoría de las reservas de los carbohidratos en la tierra se encuentran en forma de "forrajes pobres" cuyo potencial energético no está completamente 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 (17).

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 β 1-4 de residuos de glucosa de 100 hasta 10,000 unidades monómeras, presentándose como microfibrillas cristalinas (61).

Las cadenas de celulosa forman numerosos enlaces de hidrógeno intra y extra moleculares, que resultan en la formación de microfibrillas insolubles de celulosa (19). En las paredes secundarias gruesas de las plantas superiores la deposición de las microfibrillas a menudo ocurren en capas que alternan la dirección, por lo que crean paredes celulares con gran fortaleza (18).

La matriz compleja de las paredes celulares difiere considerablemente entre las diferentes especies de plantas, así como entre 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 (21).

La degradabilidad de las paredes celulares de los vegetales dentro del rumen está influenciada por la tasa de hemicelulosa/celulosa (37).

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

La estructura de la lignina y sus relaciones con los carbohidratos de la pared celular se han estudiado extensamente en la madera, pero se conoce poco acerca de lo anterior en la lignina encontrada en los forrajes, sin embargo en la literatura se encuentran disponibles revisiones que abordan estas relaciones (10), (9), (17).

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 (28).

La lignina es un compuesto abundante en la naturaleza y es degradado por un número pequeño de microorganismos, principalmente por los basidiomicetos (26). 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 (29).

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 (31).

La lignificación de la pared celular de las plantas está considerada como 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 (28). 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 (51).

Las limitaciones estructurales 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 (64).

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

Los ácidos fenólicos participan en el enlace de la lignina a otros componentes de la pared celular (principalmente carbohidratos), dentro de los cuales destacan el ácido *p*-coumárico, ferúlico (52), dehidroferúlico, *p*-OH benzoico, vanillico, siringico y aldehídos con esqueletos de 7 átomos de carbono (27), (9, 38).

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 también para formar enlaces dentro de las cadenas de hemicelulosa a través de uniones éster o éter (13).

Los ácidos fenólicos tales como el ácido p-coumárico y los ácidos ferúlico, que son precursores de la lignina, 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 vasculares (65).

El ácido ferúlico está enlazado como un éster al C5-hidroxil de las moléculas de alfa-L-arabinosa de los xilanos de los zacates. Está reconocido que los arabinoxilanos son enlaces cruzados limitados por una conexión 5-5 dehidrómero de ácido ferúlico (23)

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(56)

Los mecanismos que determinan la resistencia de las paredes celulares de los forrajes al ataque microbiano se han estudiado extensamente y han surgido algunos principios generales, de tal forma que se acepta actualmente que el ataque bacteriano a las paredes celulares es un proceso superficial en que la lignina presenta una superficie esencialmente inerte y resistente a la adhesión por el ataque microbiano y a la degradación por sus enzimas (56).

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 (28).

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

pastos. Como resultado, los forrajes pueden seguir cinéticas de degradación diferentes dependiendo de la variedad y edad de las plantas (56).

La paja de trigo es una gramínea que tiene cantidades elevadas de lignocelulosa y como tal es más rica que los forrajes convencionales en ácidos cinámicos. 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 (69).

En 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 (28).

La lignina es 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, tal como la celulosa y hemicelulosa, a través de la formación de un complejo estable lignina-carbohidratos (CLC) (29).

En los complejos lignina carbohidratos de los pastos, 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. Existen 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 (29).

Algunos microorganismos, tal como el hongo blanco de la pudrición (13, 30) 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 la descomposición de esos enlaces en los polímeros de la lignina ocurre en condiciones anaerobias (29).

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 (69).

Otro aspecto que permanece sin respuesta es que si la lignina y otros fenoles están distribuidos aleatoriamente en la pared 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 (56). El forraje entero o aún dentro de las partes de la planta son modelos demasiado complejos con que 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 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. Actualmente se han utilizado diferentes métodos para medir la lignina, entre ellos se incluye a la oxidación con permanganato, lignina ácido detergente, oxidación con clorito de sodio y extracción con acetil bromuro (51).

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 (29).

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 magnitud de efectividad, que el anterior, en la liberación de los enlaces β -éter de los ácidos fenólicos. Además fue mucho más rápida que las determinaciones basadas en digestiones alcalinas sometidas a altas temperaturas (50).

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 (40) (15). 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 (62).

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 baja generalmente. 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 de alimento en el rumen, tanto como en el consumo de alimento y la proporción de carbohidratos rápidamente fermentables en la dieta (60).

Son tres los componentes independientes que afectan el balance de carbohidratos en la dieta. Los primeros dos son la naturaleza de la fibra detergente neutro (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:carbohidrato no fibrosos (CNF) (3).

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 (33). 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 leguminosos, cascarilla de soya, pulpa de remolacha y de cítricos (33). 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 depresión 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 (6).

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 (6).

Aunque las concentraciones de FDN están positivamente relacionadas a la densidad del volumen de los alimentos y afecta 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 (44).

El valor nutritivo de los forrajes está negativamente relacionado a la concentración de fibra dietética, debido a la relación inversa entre fibra y energía neta de lactación (ENI) (42).

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 (63).

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 (39).

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 (62).

Digestión de la fibra

La función normal del rumen depende de la calidad (forma física) y la cantidad (concentrado dietético) de la fibra dietética (57). 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 podría reducir el llenado físico del rumen y permitiría un mayor consumo voluntario de

materia seca (46). Por tal razón, la digestibilidad de la fibra detergente neutro NDF 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 (40).

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 masticación debido a que las vacas secretan más saliva durante la masticación (45).

Aunque el 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 (20).

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 largas lo suficiente para una digestión adecuada y estimulan la síntesis de grasa en la leche (14).

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) (8).

Por lo tanto, la expresión cuantitativa de la cinética de la digestión y la tasa de pasaje de la FND 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 (60).

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 (44).

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 de alimento más alto (44).

La predicción de los efectos de los cambios dietéticos, tales como el tamaño de partícula (TdeP), sobre el tiempo de retención media no es simple y depende sobre el entendimiento de los mecanismos que regulan el llenado del rumen, la fragmentación de la partícula y las actividades propulsoras del tracto gastrointestinal (8).

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 fue la retención de las partículas elegibles para salir del rumen (8).

Efectividad de la fibra

El rumiante requiere un cantidad mínima de fibra dietética efectiva para un consumo óptimo de materia seca, estimulación de la salivación, producción de leche y buena salud (24). La fibra efectiva ha sido definida como la que puede 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 (14) (24), (59).

La habilidad para prevenir la depresión de la concentración de la grasa en la leche, en relación al ensilaje de alfalfa, se ha utilizado para determinar el contenido de la eNDF de los alimentos. De acuerdo a esta aproximación la eFDN puede definirse como el contenido de FDN de un alimento multiplicado por un factor de eficacia (ef) (48).

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 esta altamente relacionada a las propiedades físicas de la fibra, como es el caso de la longitud de la partícula (40). El término pe 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 la respuesta.

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 (59). 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 (20). Debido a que el término pe está afectado por el TdeP, 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 esta determinada por las respuestas del animal 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 (3).

Las características físico químicas de una dieta pueden causar cambios en la composición de la leche producida debido a cambios en los patrones de fermentación en el rumen (53). Las cabras son menos sensibles que las vacas 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 (15). Aunque existe 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 TdeP 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 (14).

Evaluación de la efectividad de la fibra

La efectividad de la fibra esta basada en tres estudios: 1) cambios en la concentración de grasa en la leche, 2) cambios en la actividad de rumia 3) cribado y análisis de TdeP (2).

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 están basadas a menudo en el análisis de la distribución del TdeP 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 (41).

La reducción del TdeP dentro del rango medio de longitud de partícula (0.4 a 0.8) 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 (14).

El TdeP varía ampliamente entre los forrajes debido a factores que involucran a la planta, a la cosecha del forraje, así como al tipo de procesamiento del alimento, procedimientos de almacenaje, etc. (25) (66).

Tamaño de partícula de la alfalfa

Los forrajes tienen un TdeP medio el cual es crítico y que arriba de ese tamaño se encuentra poco beneficio adicional (15). 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 aproximadamente un 21% , en cambio, la reducción del TdeP medio del heno de alfalfa de 2.3 a 0.90 mm disminuyó el tiempo total de masticación (masticación más rumia) en aproximadamente 16% (15).

Yang et al. (68) 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 la manipulación de la tasa de ensilaje : heno de alfalfa en las dietas de vacas lecheras modificó el consumo de alimento, pero tuvo poco efecto sobre la digestión. En contraste, el incremento del TdeP 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 del la síntesis de proteína microbiana y digestión de nutrimentos.

Krause et al. (32) 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 microbial. Para ello utilizaron ensilaje de alfalfa con dos tamaños de corte (corto y largo) con dos niveles de maíz quebrado (bajo y alto). Estos investigadores concluyeron que la productividad de las vacas no fué 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 (59). Este TdeP 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 1.90cm de largo. De acuerdo con éste experimento se recomienda un corte teórico de 1.90 cm. de largo para mejorar el consumo de materia seca, digestión del almidón y desarrollo de la lactación (4).

Ensilaje de maíz mutante de enervadura café

Schwab et al. (55) evaluaron la influencia del largo del corte y el procesamiento mecánico del ensilaje del mutante de enervadura café (brown midrib corn) sobre el consumo, digestión y producción de leche. El TdeP empleado fue de 13 y 19 mm para el forraje sin procesar y de 19 a 32 mm 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 TdeP 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 tienen 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. (67) evaluaron los efectos del tratamiento del grano de cebada (rolado a 1.6 y 1.36 mm), la relación forraje:concentrado y longitud del forraje de la cebada (larga 7.59 y corta 6.08 mm) sobre la masticación, pasaje de la digesta y la digestión en vacas lactantes. Los resultados indicaron que el tamaño de la partícula de dietas basadas en cebada rolada no fue 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 incrementar con dietas con relación alta forraje :concentrado o 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. (59), 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 TdeP del ensilaje no deprimió la concentración de grasa en la leche, sin embargo, la actividad total de masticación por kilogramo de forraje consumido fué mayor para las vacas cuyas dietas contenían ensilaje con TdeP largo comparada con aquellas que contenían ensilaje con TdeP corta, lo cual sugiere que el TdeP 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, que tienen como finalidad reducir el TdeP y disminuir la selección de la dieta, reduciendo el riesgo de acidosis ruminal. Maekawa et al. (36) 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. (35) compararon la capacidad de masticación, producción de saliva y pH ruminal entre vacas holstein primíparas y multíparas, para ello utilizaron diferentes niveles de ensilaje (40, 50 y 60%) en dietas completamente mezcladas y en dietas con ingredientes separados. Las vacas multíparas emplearon más tiempo comiendo, masticando y rumiando. Aunque las vacas multíparas emplearon más tiempo masticando que las vacas de un parto, 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 multíparas 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 compensa 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 factores principales que determinan la salida de las partículas del alimento del rumen y están íntimamente ligados (8).

La gravedad específica del TdeP está relacionada a la tasa de pasaje de las partículas ruminales. Dentro del rango de la densidad de la partícula normalmente encontradas en el rumen, a medida que la gravedad específica de una partícula independiente incrementa, su tasa de pasaje a través del rumen también aumenta (54).

El TdeP tiene poco efecto sobre la gravedad específica funcional de las fuentes de fibra no forrajera (FFNF), incluyendo a la pulpa de remolacha (14).

Influencia del manejo del forraje sobre el tamaño de partícula

El forraje es potencialmente reducido en tamaño por todas las fases de manejo, entre los que destacan: cosecha, almacenamiento, sacarlo del almacén, revoltura y servida del alimento a las vacas lecheras. La mezcla del alimento causa una reducción en el tamaño de todas las partículas del alimento y es directamente relacionada al tiempo de revoltura del TMR. Estudios de campo indican que las partículas más largas (> 27mm) pueden ser reducidas a un 50% de su tamaño (25).

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 (3). Algunos son subproductos de plantas, producidos por la extracción del almidón, azúcares u otros constituyentes no fibrosos de gran valor (48).

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 protéico moderado y su disponibilidad energética alta, pero también se caracterizan por su contenido de fibra elevado (5). Sin embargo, en condiciones de falta de forraje o de su precio elevado se han utilizado exitosamente como sustitutos del forraje (20).

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 (71), por ejemplo las partículas de los subproductos tienen dimensiones pequeñas y densidad elevada (20).

La eficacia de la fibra de las FFNF generalmente se miden comparando las 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 son bien caracterizados (40).

Propiedades de efectividad de la fibra de las FFNF

La fibra de los subproductos tienen 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 y otros presentan poco o ningún efecto sobre el tiempo de rumia (14).

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 (20). 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 (14).

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 (48).

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 (47). La disminución de actividad de la masticación cuando las FFNF reemplaza al forraje puede disminuir el flujo de saliva amortiguadora a el rumen, disminuyendo el pH y la degradación de FDN.

Para otros investigadores, las FFNF sólo tienen la mitad de la efectividad de FDN contenida en el ensilaje de alfalfa, debido a su habilidad para mantener el porcentaje de grasa. Cuando la fibra detergente neutro efectiva de un forraje es reemplazada por las FFNF podrá ser solamente efectivo en dos tercios en relación a la fibra del forraje en el incremento de la digestibilidad del tracto digestivo total debido a al incremento de los efectos negativos asociados (58).

Las FFNF y la actividad ruminal

Las FFNF pueden contener valores similares de FDN que los encontrados en los forrajes toscos pero con TdeP muy similar a los concentrados (48) Otra característica de los subproductos es que tienen densidad elevada (14). A medida que la FDN de las FFNF reemplazan al forraje, el total de la FDN de la dieta aumenta, mientras que el TdeP 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 (24).

Debido al contenido de lignina bajo y a una proporción elevada de fibra potencialmente digestible, las fuentes de fibra no forrajera (FFNF) suministra la energía necesaria para la lactación sin la carga ácida en el rumen provocada por la fermentación rápida de los concentrados con almidón (2). Sin embargo, algunos estudios han indicado que el TdeP tan pequeño de las FFNF podrían facilitar su

rápido escape del rumen y subsecuentemente disminuir la digestibilidad de su fibra (24).

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 (47).

Administración de FFNF a través de la lactancia

Se han realizado además algunos estudios para determinar la cantidad de inclusión de las FFNF a través de la lactancia. Las vacas al inicio de la lactancia no pueden tolerar las mismas cantidades de FFNF como las de la lactancia tardía eso se debe a que las vacas al inicio de la lactancia son más susceptibles a la laminitis, desplazamiento de abomaso y otros desórdenes metabólicos (24).

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, los granos secos de destilería, que se administran durante los períodos en donde faltan los forrajes o cuando éstos son muy caros (16).

Las evidencias sugieren que la cascarilla de soya y la semilla de algodón entera pueden ser usadas para reemplazar a la fibra detergente neutro del forraje o para diluir a los carbohidratos no fibrosos y tienen el mérito de mantener un balance entre la fibra y el almidón dietéticos (58).

Mooney et al. (40) 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 largo (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. (7) 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 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. (49) 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.

Cabe mencionar que se necesitan efectuar estudios a largo plazo, especialmente con vacas altas productoras en lactación temprana, para aclarar algunas exploraciones 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 la extensa aplicación de ese proceso.

Faltan trabajos adicionales para determinar el efecto de la semilla de algodón procesada por un mayor período sobre el desarrollo de la lactancia en vacas lecheras.(7)

Granos secos de cervecería

Los granos de cervecería (GC) estimulan la masticación más de lo que los granos de los cereales, pero cuando los GC reemplazan a la alfalfa su efectividad vario considerablemente (70).

Hasta hace poco la poca información disponible que se encuentra sobre la 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 (16).

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 (70).

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 (2).

Cascarilla de soya

Los efectos de reemplazar fibra del forraje con cascarilla de soya y semilla de algodón al inicio de la lactancia en vacas, no han sido evaluados, por lo que se necesita investigación para evaluar las respuestas productivas y de salud de la vaca (58).

Falta información sobre el efecto de los forrajes y las FFNF con un TdeP 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 fue determinada (14).

Hasta hace poco la poca información disponible que se encuentra sobre la 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 (16).

Salvado de maíz

Boddugari et al. (11) 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 indicaron que éste nuevo 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 estimula la actividad de rumia con la efectividad del forraje dietético debido a su TdeP pequeño, por lo que es importante considerar el contenido de FDN efectiva de esas fuentes (2).

El cálculo de los valores de efectividad de la FND, basados en la respuesta en la masticación 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 TdeP pequeña (24).

La forma física del alimento aunque el 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 (20).

La digestión de la fibra podría posiblemente 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 TdeP pequeño y al potencial para la fermentación rápida y al incremento de la gravedad específica (24).

Requerimientos de FDN al utilizar FFNF

La cantidad de fibra neutro detergente (FDN) recomendada oscila entre 25 a 28% y la de la fibra ácido detergente está entre 19 a 21% de la MS, 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 .

El propósito de formular dietas con un requerimiento de eFDN, en lugar de FDN, permite que las dietas contengan menos forraje pero más FDN, 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 deberán incrementar el requerimiento de FDN (o disminuir los niveles máximos de carbohidratos no fibrosos) a medida que los contenidos de forrajes toscos disminuyen (48).

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 (70).

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 (62).

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 en la ración un suplemento energético y proteico. 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 (54).

Al 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, causó disminución en los ácidos grasos volátiles, en la relación de acetato a propionato y bajo la producción de leche (34).

Los beneficios del suministro de grasas pueden estar relacionado a la cantidad y tipo de forraje en la dieta y podría mejorarse 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 (34).

Literatura citada

1. **Agnes, T. H., A. S. Blis, y H. Matthiesen.** 1996. Digestibility and rumen fermentation in reindeer feed with silage in summer and winter. *J Agric Sci* **127**:517-523.
2. **Allen, D. M., y 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**:322-31.
3. **Armentano, L., y M. Pereira.** 1997. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. *J Dairy Sci* **80**:1416-1425.
4. **Bal, M. A., R. D. Shaver, y 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.
5. **Bava, L., L. Rapetti, G. M. Crovetto, A. Tamburini, A. Sandrucci, G. Galassi, y G. Succi.** 2001. Effects of a nonforage diet on milk production, energy, and nitrogen metabolism in dairy goats throughout lactation. *J Dairy Sci* **84**:2450-9.
6. **Beauchemin, K. A., y 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.
7. **Bernard, L., y M. C. Calhoun.** 1997. Response of Lactating Dairy Cows to Mechanically Processed Whole cottonseed. *J Dairy Sci* **80**:2062-2068.
8. **Bernard, L., J. P. Chaise, R. Baumont, y 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.
9. **Besle, J. M., A. Cornu, y J. P. Jouany.** 1994. Roles of structural phenylpropanoids in forage cell wall digestion. *J Sci Food Agr* **64**:171-190.
10. **Besle, J. M., J. P. Jouany, y A. Cornu.** 1995. Transformations of structural phenylpropanoids during cell wall digestion. *Microbiol Rev* **16**:33-52.

11. **Boddugari, K., R. J. Grant, R. A. Stock, y 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.
12. **Breznak, J. A., y A. Brune.** 1994. Role of microorganisms in the digestion of lignocellulose by termites. *Annu Rev Entomol* **39**:453-487.
13. **Chen, J., S. L. Fales, G. A. Varga, y 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.
14. **Clark, P. W., y L. Armentano.** 1997. Influence of Particle Size on the Effectiveness of Beet Pulp fiber 1. *J Dairy Sci* **80**:898-904.
15. **Clark, P. W., y L. E. Armentano.** 1999. Influence of particle size on the effectiveness on the fiber in corn silage. *J Dairy Sci.* **82**:521-588.
16. **Clark, P. W., y L. E. Armentano.** 1997. Replacement of alfalfa neutral detergent fiber with a combination of nonforage fiber sources. *J Dairy Sci.* **80**:675-680.
17. **Cornu, A., J. M. Besle, P. Mosoni, y E. Grenet.** 1994. Lignin-carbohydrate complexes in forages: structure and consequences in the ruminal degradation of cell-wall carbohydrates. *Reporod Nutr Dev* **34**:385-398.
18. **Delmer, D. P.** 1999. Cellulose Biosynthesis: Exciting times for a difficult field of study. *Annu Rev Plant Mol. Biol.* **50**:245-276.
19. **Denman, S., G.-P. Xue, y B. Patel.** 1996. Characterization of a *Neocallimastix patriciarum* Cellulase cDNA (celA) homologous to *Trichoderma reesi* cellobiohydrolase II. *Appl Environ Microb* **62**:1889-1896.
20. **Firkins, J. L.** 1997. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. *J Dairy Sci* **80**:1426-37.
21. **Fondevila, M., y 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.
22. **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.

23. **Grabber, J. H., R. D. Hatfield, J. Ralph, J. Zon, y N. Amrhein.** 1995. Ferulate cross-linking in cell walls isolated from maize cell suspensions. *Phytochemistry* **40**:1077-1082.
24. **Grant, R. J.** 1997. Interactions among forages and nonforages fiber sources. *J Dairy Sci* **80**:1438-1446.
25. **Heinrich, A. J., D. R. Buckmaster, y B. P. Lammers.** 1999. Processing Mixing, and Particle Size Reduction of Forage for Dairy Cattle. *J Animal Sci* **77**:180-186.
26. **Hofrichter, M., T. Vares, M. Kalsi, S. Galkin, K. Scheibner, W. Fritsche, y A. Hatakka.** 1999. Production of Manganese Peroxidase and Organic Acids and Mineralization of ¹⁴C-labelled Lignin (¹⁴C-DHP) during Solid State Fermentation of Wheat with White Rot Fungus *Nematoloma frowardii*. *Appl Environ Microbiol* **65**:1864-1870.
27. **Jung, H. G.** 1983. Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: A review. *J Anim Sci* **57**:206-219.
28. **Jung, H.-J. G., M. Jorgensen, J. G. Linn, y 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.
29. **Kajikawa, H., H. Kudo, T. Kondo, K. Jodai, Y. Honda, M. Kuwahara, y T. Watanabe.** 2000. Degradation of benzyl ether bonds of lignin by ruminal microbes. *FEMS Microbiol Lett* **187**:15-20.
30. **Karunanandaa, K., y 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.
31. **Kondo, T., T. Watanabe, T. Oshita, y T. Kyuma.** 1998. Physico-Chemical Characteristics of Soluble Lignin Fractions Released from Forage Grasses by Ruminant Digestion. *JARQ* **32**:187-195.
32. **Krause, D. M., D. K. Combs, y K. A. Beauchemin.** 2002b. Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. Milk Production and Diet Digestibility. *J Dairy Sci* **85**:1936-1946.

33. **Leiva, E., M. B. Hall, y 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.
34. **Lewis, W. D., J. A. Bertrand, y T. C. Jenkins.** 1999. Interaction of tallow and hay particle size on ruminal parameters. *J. Dairy Sci.* **82**:1532-1537.
35. **Maekawa, M., K. A. Beauchemin, y D. A. Christensen.** 2002b. Chewing activity, saliva production, and ruminal pH of primiparous and multiparous lactating dairy cows. *J Dairy Sci* **85**:1176-1182.
36. **Maekawa, M., K. A. Beauchemin, y 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.
37. **Matsui, H., K. Ushida, K. Miyazaki, y 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.
38. **McDougall, G. J.** 1993. Phenolic cross-links in growth and development of plants., p. 129-136. *In* A. Scalbert (ed.), *Polyphenolic Phenomena*. INRA Editions, Paris.
39. **Mertens, D. R.** 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J Dairy Sci* **80**:1463-81.
40. **Mooney, C. S., y 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.
41. **Murphy, M. R., y J. S. Zhu.** 1997. A comparasion of methods to analyze particle sizes as applied to alfalfa haylage, corn silage, and concentrate mix. *J.Dairy Sci.* **80**:2932-2938.
42. **Nichols, S. W., M. A. Froetschel, H. E. Amos, y 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**:2383-93.

43. **Nogueira, F. J. C. M., M. Fondevila, U. A. Barrios, y R. M. González.** 2000. In vitro microbial fermentation of tropical grasses at an advanced maturity stage. *Anim Feed Sci Techn* **83**:145-157.
44. **Oba, M., y 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**:1333-41.
45. **Oba, M., y 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**:1342-9.
46. **Oba, M., y 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**:1350-8.
47. **Pereira, M. N., y 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**:2876-87.
48. **Pereira, M. N., E. F. Garrett, y 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.
49. **Pires, A. V., M. L. Eastridge, y 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.
50. **Provan, G. J., L. Scobbie, y A. Chesson.** 1994. Determination of phenolic acids in plant cell walls by microwave digestion. *J. Sci food agric* **64**:63-65.
51. **Reeves, I. J. B.** 1997. Relationships between crude protein and determination of nondispersible lignin. *J Dairy Sci* **80**:692-699.
52. **Rosazza, J. P. N., Z. Huang, L. Dostal, T. Volm, y B. Rousseau.** 1995. Review: Biocatalytic transformations of ferulic acid: an abundant aromatic natural product. *J Industr Microbiol*:457-471.

53. **Sanz Sampelayo, M. R., L. Pérez, J. Boza, y 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**:492-498.
54. **Schettini, M. A., E. C. Prigge, y 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.
55. **Schwab, E. C., R. D. Shaver, K. J. Shinnors, J. G. Lauer, y 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.
56. **Sewalt, V. J. H., W. G. Glasser, J. P. Fontenot, y V. G. Allen.** 1996a. 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.
57. **Shain, D. H., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, y 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.
58. **Slater, A. L., M. L. Eastridge, J. L. Firkins, y L. J. Bidingier.** 2000. Effects of starch sources and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. *J Dairy Sci* **83**:313-21.
59. **Soita, H. W., D. A. Christensen, y J. J. McKinnon.** 2000. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in barley silage. *J Dairy Sci* **83**:2295-300.
60. **Stensig, T., y 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**:1339-52.
61. **Tomme, P., R. A. J. Warren, y N. R. D. Gilkes.** 1995. Cellulose hydrolysis by bacteria and fungi. *Adv Microb Physiol.* **37**:1-82.
62. **Wang, Z., M. L. Eastridge, y X. Qiu.** 2001. Effects of forage neutral detergent fiber and yeast culture on performance of cows during early lactation. *J Dairy Sci* **84**:204-12.

63. **West, J. W., P. Mandebvu, G. M. Hill, y 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**:1599-607.
64. **Wilson, J. R., y D. R. Mertens.** 1995. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. *Crop Sci* **35**:251-259.
65. **Wubah, D. A., y D. S. H. Kim.** 1996. Chemoattraction of anaerobic ruminal fungi zoospores to selected phenolic acids. *Microbiol. Res.* **151**:257-262.
66. **Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, y 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.
67. **Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, y L. M. Rode.** 2001a. Effects of grain processing, forage to concentrate ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows. *J Dairy Sci* **84**:2203-16.
68. **Yang, W. Z., K. A. Beauchemin, y 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.
69. **Yosef, E., y D. Ben-Ghedalia.** 2000. Changes in the alkaline-labile phenolic compounds of wheat straw cell walls as affected by SO₂ treatment and passage through the gastro-intestine of sheep. *Anim Feed Sci Techn* **83**:115-126.
70. **Yunker, R. S., S. D. Winland, J. L. Firkins, y B. L. Hull.** 1998. Effects of replacing forage fiber or nonfiber carbohydrates with dried brewers grains. *J Dairy Sci* **81**:2645-56.
71. **Zhu, J. S., S. R. Stokes, y 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**:2901-6.