



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**IMPORTANCIA DE LA FIBRA EN LA ALIMENTACIÓN DE LOS
BOVINOS**

SERVICIO PROFESIONAL QUE PRESENTA:

SANTIAGO HERNÁNDEZ GUZMÁN

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Morelia, Michoacán, México.
Octubre del 2010.



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**IMPORTANCIA DE LA FIBRA EN LA ALIMENTACIÓN DE LOS
BOVINOS**

SERVICIO PROFESIONAL QUE PRESENTA:

SANTIAGO HERNÁNDEZ GUZMÁN

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

ASESORES:

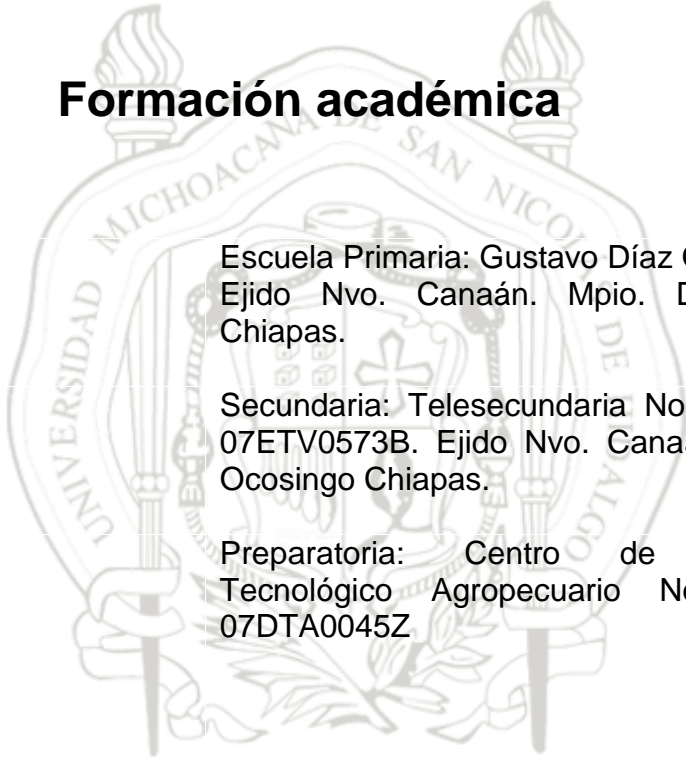
MVZ. RODOLFO LUCIO DOMINGUEZ

MVZ. JOSE ALONSO GALEANA

Morelia, Michoacán, México.
Octubre del 2010.

El autor del presente trabajo Santiago Hernández Guzmán nació el 28 de Noviembre de 1979, en el Bello Estado de Chiapas, México.

Formación académica



1987-1993	Escuela Primaria: Gustavo Díaz Ordaz. Ejido Nvo. Canaán. Mpio. De Ocosingo Chiapas.
1994-1997	Secundaria: Telesecundaria No. 545. Clave: 07ETV0573B. Ejido Nvo. Canaán. Mpio. De Ocosingo Chiapas.
1997-2000	Preparatoria: Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No.45. Clave: 07DTA0045Z
2000-2006	Licenciatura: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Cursos de actualización.

Curso: **“Reconocimiento de las principales enfermedades exóticas de los animales los sistemas y planes de emergencia”** del 31 del Mayo al 2 Junio del 2006, con una duración de 24 horas en la Facultad de Medicina Veterinaria Zootecnia de la U.M.S.N.H. Morelia Michoacán

Curso: **“Zootecnia Acuícola”** impartido del 11 de noviembre del 2002 al 8 de Enero del 2003 con una duración de 40 horas en la Facultad de Medicina Veterinaria Zootecnia de la U.M.S.N.H. Morelia Michoacán.

Curso: **“Clínica y Zootecnia en Equinos”**. Del 04 de noviembre al 02 de diciembre del 2002, con duración de 40 horas. FMVZ de la U.M.S.N.H. Morelia, Michoacán.

“X11 Tianguis de la Ciencia”, efectuado por la U.M.S.N.H. y la Secretaria de Educación en el Estado. Llevado a cabo el 19 y 20 de abril del 2002.

Dedicatorias

A Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida y lograr esta meta y la oportunidad que me diste de vivir y de regalarme una maravillosa familia que tanto quiero en la vida.

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida por su cariño y comprensión y apoyo sin condiciones ni medida. Gracias por todo, aunque hemos pasado momentos difíciles y los quiero con todo mi corazón y este trabajo se los dedico a mi familia con mucho cariño.

Un agradecimiento profundo a mi esposa por sus consejos día a día de las situaciones vividas a lo largo de estos meses.

Le dedico a mi hija Quetzaly Yunuen quien con su belleza y sonrisa y alegría me demuestra que cada día vale la pena vivir y cuando me dice papá además de la satisfacción que me genera me recuerda el compromiso que tengo con ella para avanzar y darle lo mejor en la vida....

A mi asesor M.V.Z. *RODOLFO LUCIO DOMINGUEZ* porque gracias a su paciencia y sus consejos y de su gran ayuda se llegó al término de este trabajo.

A mi asesor auxiliar. M.V.Z. *JOSE ALONSO GALEANA* por compartir su apoyo prestado y enseñanza y paciencia para terminar este trabajo.

	PAG.
1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura.....	3
2.1. Definición de fibra.....	3
2.2. Degradación ruminal de la fibra.....	5
2.3. La fibra y su función ruminal.....	6
2.4. Simbiosis ruminal.....	6
2.5. Fibra bruta.....	8
2.6. Fibra detergente neutro.....	9
2.7. Fibra detergente ácida.....	11
2.8. Composición química de la fibra.....	11
2.8.1. Celulosa.....	13
2.8.2. Hemicelulosa.....	16
2.8.3. Lignina.....	19
2.8.4. Azúcares.....	21
2.8.5. Almidón.....	22
2.8.6. Pectinas.....	23
2.9. Métodos de determinación de la fibra.....	24
2.9.1. Método de southgate.....	25
2.9.2. Método de cromatografía de gas líquido.....	26
2.9.3. Métodos colorimétricos.....	26
2.9.4. Método de englyst y cols.....	27
2.9.5. Métodos enzimático-químico.....	27
2.9.6. Método enzimático gravimétrico.....	28
2.9.7. Método de fibra cruda.....	28
2.9.8. Método de fibra detergente ácido.....	29
2.9.9. Método de fibra detergente neutra.....	29

2.9.10.	Método de sistema proximal o de Weende.....	30
2.9.11.	Método de sistema detergente o de Van Soest.....	33
2.10.	Producción de AGVs.....	34
2.11.	Efectividad de la fibra en la alimentación.....	35
2.12.	Importancia de la fibra efectiva.....	37
2.13.	FDN efectiva y físicamente efectiva (FDNfe).....	38
2.14.	Digestión de la fibra.....	41
2.15.	Digestibilidad de la fibra.....	41
2.16.	Factores que afectan la digestibilidad de la fibra.....	42
2.16.1.	Factores ligados al animal.....	42
2.16.2.	Factores ligado al alimento.....	42
2.17.	Respuestas fisiológicas de la fibra.....	43
2.18.	Consumo de fibra.....	45
2.19.	Fuentes de fibra.....	46
2.20.	Efectos de consumo de fibra.....	49
3.	Conclusiones.....	50
4.	Bibliografía.....	51

1. Introducción

La fibra es una entidad heterogénea formada por varios componentes químicos de composición conocida, pero cuya estructura tridimensional es variable y poco conocida. La fibra se compone de un entramado de hemicelulosa, celulosa y lignina que se encuentran en las plantas, los cuales le proporcionan rigidez, soporte y protección. A efectos prácticos, se ha definido Fibra Bruta (FB), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Acida (FDA) y se utiliza para la predicción de la calidad de los forrajes, la ingestión de la materia seca, digestibilidad y valor energético de los alimentos. Desde el punto de vista de la nutrición de los rumiantes, la fibra puede definirse como el conjunto de componentes de los vegetales que tienen baja digestibilidad y promueven la rumia y el equilibrio ruminal. La fibra (y particularmente los forrajes) constituye el componente fundamental de las raciones en la mayor parte de los sistemas productivos de rumiantes.

El concepto de fibra, su cuantificación y caracterización tanto del contenido total como el de sus diferentes constituyentes son temas en permanente revisión y discusión. Esto se debe a la compleja organización física y composición química de la pared celular vegetal, como a la diversidad de tipos de células, y por tanto de paredes celulares, que componen los distintos tejidos vegetales. Esto hace que, por ejemplo, no existe ningún método o combinación de métodos analíticos que ofrezcan un análisis cuantitativo completo de todos los componentes de la fibra.

En animales de producción baja o moderada, las recomendaciones tratan de establecer límites máximos de fibra. El exceso de fibra reduce la capacidad de ingestión de alimentos, la digestibilidad de la ración, la síntesis de proteína microbiana ruminal, y el aporte de energía. Por el contrario, en animales de alta producción en los que la ración debe tener una elevada densidad energética, las recomendaciones se preocupan de establecer mínimos. La falta de fibra resulta en una depresión de la grasa en la leche, acidosis, laminitis y desplazamiento de abomaso, debido a desequilibrios físicos (falta de llenado ruminal) o fermentativos (reducción del pH ruminal).

La fibra ayuda a moderar el pH del rumen a través del proceso de la rumia, el cual estimula la producción de saliva. Esto es muy importante en la prevención de los trastornos metabólicos cuando se alimentan con una dieta alta en granos que es común en la ceba de becerros. Algunos alimentos pueden contener suficiente fibra, pero si la alimentación contiene partículas pequeñas, la fibra no será eficaz para mantener un rumen saludable. Las dietas altas en granos deberán ser balanceadas para contener un mínimo de fibra cruda o fibra efectiva (FDN efectiva) para garantizar la adecuada fibra necesaria para estimular la rumia y proporcionar suficiente factor almidón.

El objetivo del presente trabajo, fue realizar una revisión de literaturas sobre la importancia de la fibra en la alimentación de los bovinos, esto es para proponer un programa de alimentación adecuada en los bovinos con el objetivo de obtener buenos resultados en la producción.

2. Revisión de literatura.

2.1. Definición de la fibra.

Desde el punto de vista químico la fibra es un agregado de componentes que no constituyen una entidad propia y que se compone de un entramado tridimensional de hemicelulosa, celulosa y lignina frecuentemente se le asocian minerales y otros componentes. El concepto de fibra ha evolucionado a través de los años. En un principio hacía referencia a porción de los alimentos sin valor nutritivo. El primero en usar el término *fibra* para describir a los componentes indigestibles que constituyen la pared celular de la planta. (Van Soest, 1967).

Mencionan que el uso del término *fibra* fue un intento claro para diferenciarla algunos constituyentes fibrosos de los alimentos como la celulosa, hemicelulosa y lignina que para entonces eran medidos por el método de fibra cruda. Desarrollaron el concepto de fibra de la dieta en humanos para describir los "componentes de la pared celular de plantas que son resistentes a la hidrólisis por enzimas digestivas de los mamíferos". (Mertens 1989, y Trowell 1976).

Ampliaron la definición de fibra para incluir todos los polisacáridos, tal como gomas y mucílagos provenientes de la pared celular de la planta. Estas definiciones que limitan el término de fibra dietaría a los componentes de los alimentos que no pueden ser digeridos por las enzimas de animales mamíferos, pueden ser excesivamente restringido para animales rumiantes o herbívoros, los cuales tienen una relación simbiótica con microorganismos digestivos y otras adaptaciones de la fisiología digestiva que aumenta significativamente la digestión de la fibra dietaría (Mertens, 2002).

En la definición que AOAC se basa para aprobar los Métodos Oficiales para Análisis de fibra desde 1981 es la siguiente: "Fibra de la dieta consiste de los restos comestibles de la célula de la planta, polisacáridos, ligninas y sustancias asociadas resistentes a (hidrolisis) a la digestión por las enzimas del sistema digestivo. La fibra es la pared celular de las plantas y es el componente que les da estructura y rigidez a las mismas formando su "esqueleto" del mismo modo en que los huesos conforman la estructura esquelética de un animal. (Mertens, 2001).

Químicamente la fibra es un compuesto agregado en el cual su composición química es dependiente de la fuente y de la forma en que se mide por lo tanto, el método para medir la fibra debe basar su análisis en definiciones tan claras que mejor involucren los principios biológicos y químicos de los diferentes componentes de esta. De lo contrario, las definiciones no tan claras no proporcionarían análisis precisos de los diferentes constituyentes de la fibra, por lo que estos se verán subestimados. (Mertens, 1989).

Propuso que la fibra de la dieta para herbívoros es definida como la "porción de los alimentos indigestibles o lentamente digestibles que ocupan espacio en el tracto gastrointestinal". Esta definición excluye los polisacáridos de la pared celular de la planta que son rápidamente fermentados (como pectinas) y polisacáridos solubles que no ocupan espacio en un ambiente líquido (como fructanos y gomas), pero incluye los complejos polisacáridos lentamente fermentables en el tracto digestivo de los herbívoros (como celulosa y hemicelulosa). (Mertens 2002).

Esencialmente, esta definición de fibra dietaria está más restringida para describir la fibra dietaria insoluble, la cual son los componentes de los alimentos que tienen variable digestibilidad y afectan la digestibilidad de la materia orgánica o la digestibilidad de la materia seca total de alimentos en dietas para rumiantes. En

cambio la fibra dietaria soluble que es rápidamente fermentable tiene similar digestibilidad que los componentes del contenido celular de la planta. La fibra de la dieta insoluble afecta la tasa de pasaje y digestibilidad en las dietas de todos los animales; el hecho de que ocupa espacio en el rumen y requiere de mayor masticación para reducir el tamaño de partículas para pasar a través del tracto gastrointestinal. (Van Soest *et al.*, 1982).

2.2. Degradación ruminal de la fibra.

La fibra se fermenta en el rumen lentamente por la acción de las bacterias fibrolíticas. El proceso de degradación de la fibra se inicia con la adhesión de las bacterias a la pared vegetal, proceso que se realiza a una velocidad inversamente proporcional al grado de lignificación de dicha pared. Una vez adheridas, la degradación de los componentes de la pared celular progresa por la acción de las celulasas y hemicelulasas, y varía en función de la composición, con el entramado tridimensional de los componentes y el grado de lignificación (Hall, 1999).

Las bacterias fibrolíticas producen glucosa o pentosas como productos intermedios, y utilizan mayoritariamente vías fermentativas que conducen a la producción de acetato como producto final. Durante el proceso fermentativo de la fibra se pierde un carbono en forma de metano, por lo que el proceso es energéticamente menos eficaz que la fermentación de otros nutrientes. Sin embargo, el acetato juega un papel muy importante en el aporte de precursores para la síntesis de grasas en la glándula mamaria, y por lo tanto la producción de acetato (y en consecuencia el aporte de fibra y la supervivencia de las bacterias fibrolíticas) es imprescindible. (Mertens, 1989).

La degradabilidad efectiva en el rumen de la fibra potencialmente degradable depende de la velocidad del tránsito ruminal y de su velocidad de degradación. Por otro lado, la fibra supone un inconveniente, en el sentido que limita el contenido energético de las raciones (baja digestibilidad) y el potencial de ingestión. (Mertens, 1989).

2.3. La fibra y su función ruminal.

La fibra, como nutriente, contribuye al mantenimiento del funcionamiento ruminal (llenado ruminal y estímulo de las contracciones ruminales) y de las condiciones ruminales (pH, a través de la secreción salivar dependiente de la masticación y la rumia. Estas dos funciones dependen de la composición, la degradabilidad y la forma de presentación de la fibra. Por otro lado, la fibra supone un inconveniente, en el sentido que limita el contenido energético de las raciones (baja digestibilidad) y el potencial de ingestión. La formulación correcta de raciones debe buscar el equilibrio entre la ingestión máxima de materia seca (niveles bajos de FND) y el mantenimiento de las funciones y condiciones normales del rumen (aportando unos niveles mínimos de FND y FAD). (Church, 1989).

2.4. Simbiosis ruminal.

El medio ruminal es un ecosistema con unas características bien definidas y poco variables. En él habitan numerosas especies microbianas, siendo las bacterias y los protozoos las más numerosas. Los microorganismos ruminales cumplen dos funciones principales. (Church, 1989).

- ❖ La digestión de los alimentos ingeridos por los rumiantes.
- ❖ El aporte de nutrientes en forma de productos de fermentación (ácidos grasos volátiles) y cuerpos microbianos (ricos en proteína).

La estrategia alimentaria de los rumiantes se basa en la simbiosis establecida entre los microorganismos ruminales y el animal. Mientras el rumiante aporta alimentos y las condiciones medioambientales adecuadas (temperatura, acidez, anaerobiosis, ambiente reductor,...), las bacterias utilizan parcialmente los alimentos haciendo útiles los forrajes (de otra forma indigestibles para los mamíferos) y aportando productos de la fermentación con valor nutritivo para el rumiante (los ácidos grasos volátiles) y sus propios cuerpos microbianos. La característica más peculiar de las bacterias fibrolíticas es su capacidad de digerir la fibra, produciendo acetato como producto principal de fermentación. El acetato es fundamental para la síntesis de grasa de la leche. Sin embargo, es esencial que el pH ruminal se mantenga por encima de 6.0 para garantizar las condiciones idóneas para su funcionamiento. (Church, 1988).

A medida que se conocen los efectos de las condiciones del medio ruminal sobre la actividad y desarrollo de las diversas poblaciones microbianas será más fácil predecir el aporte de nutrientes derivados de una ración. Las raciones deben formularse con el objetivo de obtener el máximo rendimiento, respetando los principios básicos de la simbiosis ruminal. En consecuencia, los niveles de hidratos de carbono en la ración deben aportar el máximo de energía al animal manteniendo el equilibrio ruminal entre la flora fibrolítica y la amilolítica.

El aporte máximo de energía requiere la optimización de la ingestión de materia seca (que depende fundamentalmente de los niveles de fibra detergente neutro). (Church, 1992).

El equilibrio ruminal requiere una fermentación de velocidad moderada (que depende de la cantidad, el tipo y el procesado de azúcares, almidones y fibras solubles) y el aporte de niveles mínimos de fibra que garanticen el llenado ruminal, que estimulen la rumia, y que permitan la suficiente secreción salivar para garantizar un pH ruminal superior a 6,0 (que depende de la cantidad, el tipo y la forma de la fibra detergente neutra de la ración). (Mertens, 2001).

2.5. Fibra bruta

Consiste en el residuo insoluble después de una incubación en una solución ácida, seguida por una alcalina. La extracción ácida elimina almidones, azúcares y parte de la pectina, hemicelulosa de algunos alimentos. La extracción básica elimina proteínas, y resto de hemicelulosas y parte de la lignina. La fibra bruta consiste principalmente de celulosa adicionada de pequeñas cantidades de lignina y hemicelulosa. Sin embargo el método para determinar la fibra bruta tiene la limitación o el fracaso de solubilizar variablemente la lignina. Por lo que actualmente se han puesto nuevos métodos para análisis de fibra proporcionando mayor precisión en la investigación para la alimentación para la alimentación de rumiantes. (Van Soest & Wine, 1968).

2.6. Fibra detergente neutro

Es el material insoluble en una solución detergente neutra y se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina, existen otros componentes minoritarios como residuos de almidón cenizas y nitrógeno. Para la determinación de fibra detergente neutro sugieren la utilización de amilasas termoestables específicas (libres de actividad hemicelulosa, proteasa o glúcánasa), especialmente en concentrados o ensilados de maíz, y la corrección por el contenido en cenizas, la proteasa es una enzima que cataliza la digestión de otras proteínas. (Van Soest et al. 1982).

La fibra detergente neutro es solo parcialmente digerible por cualquier especie pero puede ser utilizada en mayor grado por animales como los rumiantes los cuales dependen de la digestión microbiana para aprovechar la mayoría de los componentes fibrosos de los vegetales. El detergente solubiliza las proteínas, contribuyendo el sulfito sódico que se añade a eliminar la materia nitrogenada al romper los enlaces disulfuro. El ácido etilendiamintetracético (EDTA) es empleado como quelante del calcio y para eliminar las pectinas a la temperatura de ebullición. El trietilenglicol ayuda a eliminar parte de la materia no fibrosa de los alimentos concentrados y la amilasa termoestable es usada para eliminar el almidón. (Theander 1986).

Dos adiciones de amilasa ayudan a mejorar la precisión de la determinación y, sobretodo, facilita la filtración. Debido a la contaminación de la muestra con tierra, se recomienda tener en cuenta el contenido en cenizas y excluir éste del valor de fibra detergente neutro. Dan como opcional el uso de sulfito sódico que reduce el contenido proteico de la muestra y elimina los residuos de queratina (es una proteína) de origen animal. (Van Soest et al. (1968).

Sin embargo, al describir la determinación de la fibra detergente neutro tratada con amilasa. Tres modificaciones principales en el método de FDN, en cada uno existen diversos valores que dependan del alimento que se analizan. (Van Soest et al. (1968).

Una modificación en el residuo de la fibra detergente neutro fue desarrollado, incluyendo una amilasa constante la caliente en el procedimiento para quitar el almidón, sin embargo, el sulfito fue quitado del procedimiento debido a preocupaciones en la pérdida posible de lignina y de compuestos fenólicos (Van Soest y otros, 1967).

La fibra detergente neutro tratada con α -amilasa (α FDN) fue desarrollada para medir FDN en todos los tipos de alimentos. La amilasa y el sulfito de sodio se utilizan para conseguir un residuo de FDN con mínima contaminación de almidón o de proteína. (Armentano, 1997).

Este método modificado fue adoptado como el método de referencia para fibra detergente neutra por la Asociación Nacional de la Prueba del Forraje (ANPF) y se está evaluando en un estudio del colaborativo para la aprobación para la AOAC como método oficial. El uso del sulfito de sodio es crucial para el retiro de la contaminación del nitrógeno del alimento ocupada de calor. Si el objetivo es medir la fibra total con la precisión en alimentos con la contaminación mínima a través de la proteína o del almidón digestible el método de la fibra detergente neutro se prefiere. (Backes et al 2000).

2.7. Fibra detergente acida

Es el material insoluble en una solución detergente acida, y está constituida fundamentalmente por celulosa y lignina, suelen existir otros componentes como nitrógeno y/o minerales. Importancia de la misma radica en que está inversamente correlacionada con la digestibilidad del forraje como componentes principales, pero además contiene distintas cantidades de ceniza, compuestos nitrogenados, entre otros. La concentración de nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA) se utiliza para determinar la disponibilidad de proteínas en los alimentos que son procesados en calor. (Calsamiglia, S. 1995).

Otros componentes son los productos de Maillard también conocida como pandeamiento o no enzimática causadas por el calor y el secado. El nitrógeno en estos las fracciones tienen baja biodisponibilidad y tiende a ser recuperados en la fibra detergente ácida. La concentración de nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA) en el forraje tiene una alta correlación negativa con la digestibilidad aparente de la proteína. La composición química del (NIDA) y la relación entre las concentraciones del NIDA y la digestibilidad es diferente entre los concentrados y forrajes, por lo tanto, el uso de una única ecuación que relacione la digestibilidad del NIDA para todos los alimentos no es correcta (Weiss et al., 1999).

2.8. Composición química de la fibra

Los carbohidratos son el principal depósito de energía fotosintética en las plantas y comprenden aproximadamente del 50-80% de la materia seca de los forrajes. Las características nutritivas de estos son variables dependiendo de la composición de los azúcares y el tipo de enlace. La clasificación química de los

carbohidratos está basada sobre el tamaño molecular, así como el grado de polimerización (DP), tipo de enlace (α o no α) y carácter de los monómeros individuales. (REIS, R.A.1993).

Esta clasificación divide a los carbohidratos en tres principales grupos, azúcares (DP1-2), oligosacáridos (DP3-9) y polisacáridos (DP=10). Los azúcares comprenden (i) monosacáridos, (ii) disacáridos, (iii) polialcoholes (azúcares-alcoholes). Los oligosacáridos son ambos (a) malto-oligosacáridos (α -glucanos), principalmente del resultado de la hidrólisis del almidón y (b) no α -glucanos, tal como rafinosa y estaquiosa (α -galactósidos), fructo y galacto-oligosacáridos. Los polisacáridos pueden ser divididos en almidón (glucanos α -1:4 y 1:6) y polisacáridos sin almidón (NSPs), de los cuales los mayores componentes son los polisacáridos de la pared celular de las plantas, tal como celulosa, hemicelulosa y pectina, pero también incluyen las gomas, mucilagos e hidrocoloides de las plantas (Englyst 1987).

Las características nutritivas de los carbohidratos dependen de la composición de las moléculas de azúcares y de los enlaces con polifenoles de lignina y otros factores fisicoquímicos y de capacidad de los animales para romper las uniones glucosídicas entre los carbohidratos de la planta y entre estos y otras sustancias. (Van Soest, 1994, Cummings 1981).

2.8.1. Celulosa.

Está conformada solamente de unidades de glucosa, se encuentra formando la estructura de la pared celular y es la molécula disponible más abundante en la naturaleza. Es una molécula tridimensional conformada al menos de 15 a 10,000 unidades de glucosa, con enlaces β 1-4 de glucopiranososa. (Calsamiglia, S. 1995).

La celulosa es la sustancia que más frecuentemente se encuentra en la pared de las células vegetales, y fue descubierta en 1838. La celulosa es un polímero de glucosa sin ramificar que puede absorber grandes volúmenes de agua. Está formado por residuos lineales de glucosa unidos mediante enlaces glucosídicos beta y tiende a formar cristales. Se trata de un material fibroso, insoluble en agua y solventes ordinarios, difícilmente degradado por las enzimas. Sólo un 43% de la celulosa puede ser digerida por la flora bacteriana a nivel intestinal. (Van Soest, 1982).

Es el componente mayoritario de las paredes celulares, particularmente se encuentra en tallos, tejidos leñosos y hojas de las plantas. Abunda en los vegetales hojosos, especialmente en la lechuga, alcachofas, espinacas, judías verdes y repollo, en la parte blanca de las frutas cítricas (naranja, limón, mandarina entre otras), en la parte externa de semillas y cereales (del trigo, maíz), y en las cáscaras de las frutas (manzanas, peras). (Forbes).

Es un polímero de enlaces D-glucosa unidas por de tipo β -1,4. Son moléculas individuales extremadamente grandes organizadas en paquetes dentro de microfibrillas. (Hoover 1996).

La celulosa esta combinada con mayor o menor cantidad de lignina, hemicelulosa, cutina y minerales formando la matriz estructural de la pared celular de las plantas. La disponibilidad nutricional de la celulosa es esencialmente insoluble y extremadamente resistente a la degradación enzimática. La lignina es aceptada generalmente como la entidad primaria responsable para limitar la digestión de los forrajes. (Mertens, 1989).

Sin embargo adicionalmente a lignificación hay otros factores inhibitorios y limitantes en los que se incluye el grado de silificación, cutinización y propiedades intrínsecas propias de la celulosa. (Van Soest, 1982).

La hidrólisis enzimática de la celulosa es un proceso complejo que requiere la acción cooperativa de un número de proteínas. Tres tipos de enzimas están involucradas en la hidrólisis de la celulosa. (Gutmman1974).

Endo-b-glucanasas ó 1,4-b-D-glucan glucanohidrolasas (EC 3.2.1.4), que rompen los enlaces b-glucosídicos en forma aleatoria en el interior de las moléculas de celulosa, produciendo nuevos sitios de ataque complementados por las exoglucanasas. Como resultado, hay una rápida disminución en el largo de las cadenas y un lento incremento en los grupos reductores. El mejor sustrato para la medición de la actividad de endoglucanasas es un derivado soluble de celulosa tal como la carboximetilcelulosa (CMC). (Gutmman1974).

Exo-b-glucanasas ó 1,4-b-D-glucan celobiohidrolasas (EC 3.2.1.91), que atacan gradualmente las moléculas de celulosa de los terminales no reductores liberando subunidades de celobiosa. No son muy activas contra celulosa cristalina pero exhiben acción sinérgica altamente cooperativa en presencia de endoglucanasas. Tienen una limitada acción sobre sustitutos de celulosa como

carboximetilcelulosa (CMC) e hidroximetilcelulosa (HEC). La β -1,4-Glucosidasa está presente en todos los microorganismos, hidroliza los β -1,4-Glucosidos como la celobiosa, salicina y esculina, o glucosa más residuos aromáticos. La celodextrinasa es una enzima común en las bacterias ruminales hidroliza los polímeros solubles de glucosa de cadena larga a seis o siete residuos de celobiosa, celotriosa o ambas. (Jhonston, 2000).

Una de las restricciones para la degradación ya sea enzimática o por sistemas químicos es el amplio enlazamiento de hidrógeno que ocurre en las microfibrillas que dan a la celulosa una naturaleza cristalina, en que con el fin de la degradación, ocurre éstos enlaces que tienen que ser separados. La cristalinidad de la fibra es un factor limitante para la hidrólisis de los carbohidratos complejos, por otro lado la degradación es rápida en las regiones no cristalinas y se hace más lenta cuando son atacadas a las regiones cristalinas. (Hall, 1999).

El sistema enzimático que ha sido caracterizado en la degradación primaria de los polisacáridos complejos, incluyen celulasas, hemicelulasas, xilanasas y glucanasas mixtas unidas. Los microorganismos ruminales poseen sistemas complejos de enzimas que degradan la celulosa incluyendo β -1,4-D-Glucanasas, esta complejidad es un reflejo de la estructura compleja y conformación rígida de los sustratos lignocelulolíticos. (Theande, 1983).

2.8.2. Hemicelúlosa

Esta fracción de la pared celular de las plantas está relacionada con las gomas vegetales, que se encuentra en menor cantidad que la celulosa y su estructura química es de menor tamaño comparada con la celulosa. Engloba a un grupo de polisacáridos heteroglicanos solubles en soluciones básicas y capaces de unirse a la celulosa a través de puentes de hidrogeno. En las gramíneas, la mayoría de la hemicelulosa son xylanos con ramificaciones de arabinosa y ácidos glucorónicos. En los monogástricos, la hemicelulosa suele ser más digestibles que la celulosa pues la celulosa apenas se digiere en los monogástricos, pero en los rumiantes la celulosa suele ser más digestibles que la hemicelulosa. (Cañas, C.R. 1995).

La distribución de las hemicelulosas en el reino vegetal es prácticamente universal, y aunque existen grandes diferencias respecto a la importancia cuantitativa y la composición química de las mismas, puede afirmarse que las hemicelulosas están presentes en cualquier tejido vegetal. Dentro de la célula vegetal, las hemicelulosas se localizan en las paredes formando parte de la fase amorfa. La hemicelulosa no es, como su nombre lo sugiere la mitad de la celulosa. Es una mezcla compleja y heterogena de un gran número de polímeros de monosacáridos incluyendo glucosa, xilosa, manosa arabinosa galactosa. Es parte estructural del material de las paredes celulares de las plantas y vegetales. Estas también se adhieren por puentes de hidrogeno a la superficie de las microfibrillas de celulosa mejorando la resistencia de la pared celular. (Jung, H.J. 1997).

Además está unida covalentemente a los polisacáridos pépticos. La hemicelulosa es menos resistente a la degradación química que la celulosa se define como un carbohidrato soluble en álcalisis diluidos. Está formada por monómeros de carbohidratos como hexosas (D-glucosa, D-manosa, D-galactosa), pentosas (D-

xilosa, D-arabinosa), (L -ramnosa) y ácidos urónicos (D-ácido glucurónico, 4-D-metil-D-ácido glucurónico). Por su elevada ramificación y poseer grupos polares en los diversos azúcares son fácilmente solubles en agua. (Machado, 1997).

El tipo y frecuencia de ramificaciones varía con la especie y estado de desarrollo de la planta. Las hemicelulosas de hojas y tallos de gramíneas y leguminosas parecen ser principalmente arabinoxilanos con asociadas uniones a ácidos glucurónicos y probablemente lignina. Las cadenas de xilanos pueden estar unidas a lignina mediante éster glucorinídicos o directamente a lignina. Los enlaces entre arabinosa y xilosa son 1-3, mientras el ácido urónico puede tener enlaces 1-2, 1-3 o 1-4. Algunos de los enlaces en hemicelulosa como los éster y 1-3 glucosídicos son susceptibles a agregados alcalinos. Las uniones de éster son hidrolizadas mediante saponificación, y 1-3 glucosídicos son divididos a través de la eliminación de β y la formación de una unión insaturada. Los últimos son particularmente vulnerables incluso a medios alcalinos suaves. Ambos tipos de enlaces se presentan en pectinas y hemicelulosas. Por lo tanto, el método tradicional de extracción alcalina debe producir una degradación extensa. La digestión de la hemicelulosa es un asunto complejo por su diversificada composición con varios azúcares y enlaces glucosídicos. Además, el carácter de la hemicelulosa difiere conforme se comparan varios forrajes o tipos de células de la pared vegetal. (Hoover, W., 1986).

Las enzimas hemicelulolíticas están presentes en líquidos ruminal filtrado y tienen la habilidad de romper una variedad de enlaces, éstos son producidos por algunas bacterias ruminales y protozoos ciliados. El mismo autor señala que todas las enzimas identificadas son del tipo en que atacan al azar a las cadenas glucosídicas; tales enzimas atacan a las cadenas laterales de la hemicelulosas como D-Glucosiduronidasa que ataca los enlaces D-(1-2) en los glucoronoxilanos

y la L-Arabinofuranosidasa que hidroliza el enlace 1-3 en puntos laterales en los arabinoxilanos. (Van Soest, 1982).

Indica que la compleja naturaleza de los xilanos necesitan un número de enzimas microbiales para hidrolizar y metabolizar estos polisacáridos. Las primeras enzimas involucradas en la degradación de los xilanos son las xilanasas, enzimas que atacan al azar las cadenas glucosídicas produciendo una mezcla de xilosa, xilobiosa y xilooligosacáridos de cadena larga, siendo estos últimos aun más degradables. Existe además una xilodextrinasa que puede romper la xilobiosa y cadenas largas de oligosacáridos, además está presente una xilosidasa que degrada xilopentosas, algunos microorganismos poseen una fosforilasa que rompe y asimila xilooligasacáridos y xilobiosa permitiendo la producción de energía para la fermentación. (Hoover, W.H 1986).

Las xilanasas incluyen la β -D-Xilanasa una endoenzima que ataca los oligómeros pero no los xilanos o la xilobiosa, estas enzimas degradan eficientemente los xilanos lineales, los no ramificados son lentamente o incompletamente degradados. El progreso de la hidrólisis de los xilanos es al menos parcialmente dependiente de la acción de la arabinosa para remover los grupos laterales. La digestibilidad de la hemicelulosa está relacionada negativamente con el grado de lignificación, e incluso esta relación es mayor a la de otras fracciones lignificadas. (Van Soest, 1982).

2.8.3. Lignina.

Es un compuesto fenólico de alto peso molecular, adiciona rigidez a la estructura y limita la disponibilidad de carbohidratos estructurales para los microorganismos ruminales. La lignificación aumenta con la madurez fenológica con consecuente aumento de ácidos fenólicos. Es un polímero sin una estructura definida que contiene alcoholes de hidroxycinnamyl y puede contener además ácidos fenólicos y compuestos no fenólicos que es totalmente indigestible en el tubo digestivo de los rumiantes. La lignina ejerce un efecto negativo directo sobre la digestión total y un efecto indirecto a consecuencia de impedimentos físicos que limita el acceso de las bacterias a las zonas degradables de la fibra. Este efecto indirecto es más evidente en las gramíneas que en las leguminosas, pues las gramíneas tienen un mayor contenido de ácidos fenólicos. La concentración de lignina depende la especie de forraje, siendo mayor en las leguminosas que en las gramíneas y el estado vegetativo, mayor madurez mayor lignina. (Van Soest, PJ, 1968).

- ❖ No es un polisacárido sino un grupo de polímeros complejos (de unidades de fenilpropano) insolubles no pertenecientes a la categoría de los hidratos de carbono.
- ❖ Es totalmente indigerible si bien para la planta es de utilidad ya que cumple importantes funciones estructurales, carece de valor nutritivo para el animal. (Jung et al., 1997).
- ❖ Es un compuesto no carbohidrato que da el soporte estructural a las plantas. La lignina es un polímero fenólico que se asocia a los carbohidratos estructurales, la celulosa y hemicelulosa durante el proceso de formación de la

pared celular, alterando significativamente la digestibilidad de los hidratos de carbono de los forrajes. (Van Soest & Wine, 1968).

La lignina verdadera es un polímero amorfo de derivados del fenil-propano de elevado peso molecular aromático tridimensional que rodea las microfibrillas de la celulosa y se une a la hemicelulosa con algunas uniones covalentes. Las ligninas de monocotiledones, como cereales y pastos, están compuestas por unidades de coniferil alcohol y trans-sinapil alcohol y por eso se conocen como guaiacyl o syringyl ligninas, aunque también contienen ciertas cantidades de p -coumaril alcohol que es un precursor de p -hidroxifenil. (Lammers, 1996)

El tipo de guaiacyl a syringyl lignina cambia con la maduración del forraje, y la digestibilidad de la pared celular de forrajes maduros es más baja que en aquellos inmaduros, esto es razonable para asumir que la composición de la lignina afecta la digestibilidad de la pared celular. Todos los pastos tienen ligninas que están acetiladas por ácido p -coumárico y también incorporan ferulatos que se entrecruzan con la lignina y con carbohidratos y tienen un impacto negativo con la disponibilidad de los polisacáridos para su utilización por los de microorganismos ruminales de los animales. La lignina es completamente indigerible por animales rumiantes y su determinación sirve para predecir la digestibilidad en materia seca y energía de un alimento. (Van Soest, 1963).

La lignina se encuentra en las plantas leñosas tales como mazorcas, cáscaras y las porciones fibrosas de raíces, tallos y hojas. Los organismos aeróbicos y los hongos pueden romper las ligaduras, lo que produce la putrefacción del forraje y la madera que se puede observar en la naturaleza. La relación negativa que al parecer existe entre la concentración de lignina y la digestibilidad del forraje se centra únicamente en los componentes de la pared celular y no a la materia

orgánica total. Su efecto negativo sobre la digestibilidad de los polisacáridos de la pared celular parece estar ejercida por la protección de estos a la hidrólisis mediante las enzimas digestivas. Esto puede ser debido a que la lignina evita que las enzimas logren estar en contacto con el polisacárido. (Jung y Allen, 1999).

El efecto de lignina sobre digestibilidad ha sido mostrado con mayor grado en gramíneas que en leguminosas. Sin embargo esto puede ser un reflejo del método analítico empleado para cuantificar lignina el cual muchas veces subestima el contenido de lignina en gramíneas. Este efecto de la lignina sobre la digestión de la fibra en forrajes al parecer disminuye cuando su concentración aumenta. (Van Soest, et al 1967).

El procedimiento para la determinación de la lignina detergente ácido (LDA) incluye tanto los métodos de hidrólisis (ácido sulfúrico) y oxidación (permanganato de potasio), la variante de ácido de azufre de la (LDA) es la más popular. La lignina es el residuo que queda después de una hidrólisis con ácido sulfúrico en dos fases, que se utiliza comúnmente para determinar los componentes de azúcar neutral de polisacáridos de la pared celular. La lignina es un Klason mejor marcador de la digestibilidad del permanganato de la lignina. (Mertens, 2001).

2.8.4. Azúcares.

El término “azúcar” es convencionalmente usado para describir los monosacáridos y disacáridos en los alimentos. Muchos azúcares en las plantas están unidos por enlaces glucosídicos para formar moléculas más complejas como disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Estos enlaces unen las moléculas de azúcares a estas con otros componentes como fenoles, lípidos o alcaloides, ácidos nucleídos,

péptido, etc. Los complejos moleculares de mayor interés en nutrición animal por su acción inhibitoria y toxicidad son azúcares unidos a fenoles, terpenos o alcaloides. La forma más estable de los azúcares son cíclicas o en forma de anillo con 5 carbonos (furanosa) o 6 carbonos (piranosa). La fructosa, arabinosa y ribosa ocurren invariablemente como furanosas con enlaces glucosídicos. De esta manera la fructosa de 6 carbonos es furanosídica, mientras la xilosa de 5 carbonos es piranosídica. Los enlaces furanosídicos son considerados más débiles que las piranosas, con el resultado de las furanosas son hidrolizados relativamente por ácidos débiles y representan sitios débiles en los polisacáridos que los contienen. (Calsamiglia, S. 1997).

2.8.5. Almidón.

El almidón es un polisacárido homoglicano que se encuentra como hidrato de carbono de reserva en los granos más importante de almacenamiento en las plantas. Este es clasificado algunas veces con los carbohidratos solubles por sus propiedades de gelatinización y parcial solubilidad en agua caliente. La degradación del almidón en el rumen es realizada por bacterias amilolíticas y ciertos protozoos. (Mertens 2000)

La ramificación ocurre en el sexto carbono para formar cadenas laterales unidas con enlaces α 1-4. La proporción de amilasa y amilopectina de los cereales varía con la madurez. Los dos tipos de enzimas que hidrolizan el almidón son α y β amilasa. La primera rompe las cadenas de almidón aleatoriamente y degrada amilasa y amilopectina. La segunda es una exoenzima que rompe las unidades finales de las cadenas; degrada amilasa, pero es limitada a la periferia de la amilopectina. La amilasa y amilopectina pueden encontrarse en forma cristalizada,

lo que dificulta el rompimiento de las moléculas. La aplicación de calor favorece la hidrólisis de gránulos de almidón cristalizados. La temperatura a la cual esto sucede con la temperatura de gelatinización. (Englyst *et al.*, 1987).

La amilasa tiene una mayor fuerza cristalina por lo que requiere más altas temperaturas de gelatinización que la amilopectina. La gelatinización del almidón incrementa la tasa de digestión, la cual puede incrementar la eficiencia del uso de nitrógeno no proteico. Sin embargo los tratamientos de calor al almidón pueden tener efectos negativos y positivos. (Englyst *et al.*, 1987; citado por Hall, 2000).

La ineficiencia de utilización del almidón en rumiantes se puede relacionar con el efecto negativo de carbohidratos rápidamente fermentables en el rumen, por lo que se producen grandes cantidades de ácido láctico que impactan en el cambio del ph. (Hall, M.B 2000).

2.8.6. Pectinas.

Las pectinas o sustancias pécticas constituyen un grupo de polisacáridos ricos en ácido galacturónico y, en menor medida, ramnosa, arabinosa y galactosa, es un heteroglucano que se encuentra principalmente en los espacios que están entre las paredes de la planta (laminilla media) aunque también se infiltran en la pared celular. La definición de pectinas es operativa y se basa en la extracción de la fibra (previamente delignificada) con soluciones acuosas de un agente quelate o bien, extracción con una solución ácida diluida. (Theander, O. y P. Aman 1979).

Las pectinas están ampliamente distribuidas en todo el reino vegetal. Son un componente esencial de las paredes celulares de las plantas dicotiledóneas y también se hallan presentes, aunque en menor grado, en las monocotiledóneas. (Valadares, RFD. et al 1999).

El grupo ácido esta combinado con calcio y esteres metil. Los métodos de aislamiento tienden a alterar su estructura por la pérdida de grupos metil y cadenas laterales de arabinosa que son muy susceptible al acido débil. La remoción de los grupos metil tiende a incrementar la solubilidad del ácido péptico, al igual que la separación de calcio con solvente de quelatos (Ca^{+2}). (Hatfield, 1989).

Sin embargo debido a su completa disponibilidad para la digestión, esta no ha tenido un gran interés para su cuantificación. La pectina es degradada por enzimas bacterianas extracelulares: exo y endopectatoliasas, pectato metil esterasa y poligalacturonidasas. (Van Soest, P.J. y el Vino, R.H. de 1967).

2.9. Métodos de determinación de la fibra.

El método para el análisis de la fibra se puede dividir en dos categorías: gravimétricos y métodos enzimático químicos. Métodos gravimétricos se basan en pesar el residuo que queda después de una solubilización enzimática o química de los componentes que no son fibra. Los métodos gravimétricos se originó hace más de 100 años con la fibra cruda, la medición del residuo insoluble después de la extracción con ácido diluido y álcali. (Armentano, L., Pereira, M. 1997).

Aunque se informó en la década de 1930 que el 40% de los hidratos de carbono disponibles se perdió en estas extracciones el método de la fibra cruda se hizo popular para los alimentos humanos. Los métodos gravimétricos son capaces de medir la fibra dietética total y raciones de que, como solubles / insolubles componentes de la lignina. Los métodos gravimétricos son más sencillos y rápidos, se limitan al cálculo de las fibras totales o de las fibras solubles e insolubles, los métodos enzimático-químicos en cambio son más complejos y lentos, proporcionan la cantidad de cada uno de los azúcares neutros y ácidos, se pueden estimar por separado la lignina y añadirla a la suma de los azúcares individuales dando el contenido de fibra total. (Englyst, HN y Hudson, GJ, 1987).

2.9.1. Método de Southgate

Se basa en el fraccionamiento de fibra en polisacáridos no celulósicos solubles e insolubles medidos colorimétricamente como hexosas, pentosas y ácidos uránicos, celulosa como glucosa y la lignina gravimétricamente como residuo insoluble en H₂SO₄ 72%. El método de Southgate ha resultado difícil de reproducir en los diferentes laboratorios. Esto puede ser debido a la hidrólisis del almidón pobre. La ventaja que da una rica información de los componentes de la fibra. Su desventaja que es complejo, sobreestima el valor de fibra porque no considera la hidratación de los azúcares al hidrolizar los polisacáridos y porque las reacciones colorimétricas que emplea de hexosas, pentosas y ácidos uránicos con antrona, orcinol y carbazol respectivamente son poco específicas. También se ha encontrado que en algunos alimentos ricos en hidratos de carbono, no se elimina bien este componente. (Van Soest, PJ. 1968).

2.9.2. Método de cromatografía de gas líquido

Analiza los azúcares que componen la fibra después de su derivatización a compuestos volátiles y de su separación con cromatografía de gas líquido, generalmente 5-6 monómeros neutros. Los métodos de cromatografía de gas líquido son los más comúnmente usados para la determinación de la dieta constituyentes monoméricos de la fibra. Los polisacáridos de fibra entonces tienen que ser hidrolizados a monosacáridos libres de los que se derivan compuestos adecuados para la separación y cuantificación. (Englyst, HN y Hudson, GJ, 1987).

2.9.3. Métodos colorimétricos.

En soluciones ácidas, los carbohidratos producen reacciones de condensación con un gran número de sustancias dando productos coloreados que pueden medirse espectrofotométricamente que es un método de análisis óptico más usado en las investigaciones químicas y biológicas. El espectrofotómetro es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto, y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia. (Van Soest, PJ, Robertson JB, 1982).

2.9.4. Método de Englyst y cols.

Con esta técnica es posible obtener en un mismo ensayo la determinación de los polisacáridos que no son almidón, polisacáridos no celulósicos y polisacáridos insolubles. La lignina no es posible medirla. Hay que hacer notar que no se incluye el almidón resistente en la determinación de fibra a diferencia de la determinación de fibra por métodos enzimático-gravimétricos. Desde su inicio, el método ha tenido varias modificaciones para mejorar su exactitud. Un punto importante de notar es que los polisacáridos que no son almidón soluble, se calculan como la diferencia entre el total. Informan que la sobreestimación de la cantidad de polisacáridos que no son almidón soluble podría ser la razón de porqué este componente se calculó como diferencia entre el total y polisacáridos que no son almidón insoluble. (Englyst, HN y Hudson, GJ, 1987).

2.9.5. Métodos enzimático-químicos.

El residuo de las fibras obtenido después de la digestión enzimática es hidrolizado con ácidos fuertes para liberar los azúcares monoméricos que se determinan colorimétricamente. Los azúcares ácidos se cuantifican por descarboxilación y medición del anhídrido carbónico liberado o colorimétricamente. La lignina se determina gravimétricamente en algunas técnicas. (Reis, R.A.; Rodriguez L.R.A. 1993).

2.9.6. Método enzimático gravimétrico.

Estos métodos se basan en digerir las proteínas e hidratos de carbono con enzimas, el remanente se adjudica en la fibra previo descuento del contenido de cenizas y proteínas remanentes. Puede determinarse la fibra insoluble sola, o por precipitación con alcohol, se puede incluir la fibra soluble y se pueden determinar por separadas o juntas. Las principales ventajas de estos métodos es que son relativamente exactos y precisos comparados a otros procedimientos. Más aún, estos métodos son simples, económicos y sencillos de realizar y no requieren personal altamente entrenado y una alta inversión de capital, particularmente cuando se comparan a métodos más sofisticados. (Englyst, HN y Hudson, GJ, 1987).

Sin embargo, no dan información detallada sobre los componentes de la fibra estos métodos son considerados los más adecuados para análisis de rutina para el etiquetado de la fibra y propósitos de control de calidad. Últimamente ha aparecido una técnica simple para la determinación de fibra detergente (FD) en alimentos congelados, que requiere menor tiempo y manipulación que los métodos de la AOAC. El método contempla la dispersión de la muestra en buffer fosfato 7,4 y adición de bilis y enzimas pancreáticas. (Mertens 2000).

2.9.7. Método de fibra cruda.

Se basa en el tratamiento secuencial con ácidos y álcalis en condiciones estandarizadas. Con este método se subvalora en forma importante el contenido de fibra detergente (FD) ya que se disuelve gran parte de la hemicelulosa y lignina, cantidades variables de celulosa y toda la fibra soluble. Los valores de

fibra cruda no tienen relación con el verdadero valor de fibra de los alimentos humanos. Los valores de fibra generalmente son 3 a 5 veces mayores que los valores de fibra cruda, pero no puede hacerse un factor de corrección porque la relación entre fibra cruda y fibra dietaria varía dependiendo de los componentes químicos. La fibra cruda tiene poca significancia fisiológica en la nutrición humana y no debiera usarse para informar del contenido de fibra de los alimentos. (Van Soest, P.J. 1968).

2.9.8. Método de Fibra detergente ácido.

Este método consiste en someter la muestra a ebullición con bromuro de cetiltrimetilamonio en medio ácido y subsecuente filtración y lavado del residuo. Este método da una buena estimación de celulosa y lignina. En el residuo se puede analizar la celulosa o lignina. (Van Soest, P.J, Robertson JB. 1968).

2.9.9. Método de Fibra detergente neutra.

Este procedimiento envuelve la extracción del alimento con una solución caliente de laurilsulfato de sodio y la subsecuente determinación gravimétrica del residuo. Este método da una buena estimación de la fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) y ha sido usado ampliamente para evaluar los alimentos de consumo humano. (Van Soest, P.J. 1967).

En alimentos ricos en hidratos de carbono como cereales y verduras amiláceas sobreestima la fibra detergente neutro, por ello ha sido necesario modificar esta técnica con el agregado de una alfa amilasa que digiere los hidratos de carbono.

La ventaja de este método es que permite determinar la fibra insoluble por un método relativamente simple. La gran desventaja es que la fibra soluble se pierde, además se ha encontrado que subestima la fibra insoluble en algunos alimentos como la soya y papa, por la disolución de complejos proteína-fibra. La diferencia entre el método neutro y ácido detergente nos da la hemicelulosa pero existen errores potenciales asociados con esta estimación, por lo que se enfatiza la medición directa de hemicelulosa. (Van Soest, P.J. 1963).

2.9.10. Método de sistema proximal o de weende.

Desde 1860 el método de análisis Weende, que fue desarrollado por Henneberg y Stohmann en Alemania, constituyó la metodología más utilizada para la determinación de la fibra bruta de los alimentos, como componente, que representaba los carbohidratos estructurales de las plantas. Con el pasar de los años y cerca de 100 años después, este fraccionamiento se logró desglosar mejor y se pudieron seccionar otros componentes que, dependiendo de su proporción, podían ser utilizados por los animales con diferentes niveles de eficiencia. (Van Soest, P.J. 1963).

A finales de la década de los años 60, el Dr. Peter Van Soest del Laboratorio de Investigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, desarrolló un método de análisis para fibra detergente neutro (FDN), para separar las muestras de alimento en fracciones de alta y baja digestibilidad. El método incluía hervir una muestra de 0.50 a 1.0 g en una solución buffer (pH .7.) de lauril sulfato (detergente neutro), durante una hora para después filtrarla. El material que permanecía, era la fracción insoluble del detergente neutro (Johnston, 2000).

Los análisis realizados mediante este sistema son los siguientes:

- ❖ Materia seca (MS) a 100°C,
- ❖ Extracto etéreo (EE) o lípido, el residuo seco es extractado con éter.
- ❖ Fibra cruda (FC) el residuo EE es llevado a digestión por 30 min en ácido sulfúrico al 1.25%, seguido por 30 minutos en hidróxido de sodio al 2.25%.

El residuo insoluble es secado, pesado e incinerado; la materia orgánica insoluble es reportada como FC. La determinación de nitrógeno (N) y ceniza se realizan en muestras separadas. El extracto libre de nitrógeno (ELN) de la materia seca no es considerado por sumar EE, FC, ceniza y proteína cruda (PC) ($PC = \text{nitrógeno} \times 6.25$). (Vittori, Silva.2000).

Este sistema es la base para calcular los nutrientes digeribles totales (NDT) de los alimentos, por lo que asume lo siguiente:

- ❖ EE recupera lípidos y grasas los cuales contienen 2.25 veces la energía de carbohidratos.
- ❖ Todo el nitrógeno está en proteína la cual contiene el 16 % de nitrógeno.
- ❖ La fibra cruda recupera todo el material estructural y fibroso menos digerible del alimento.
- ❖ El ELN representa los carbohidratos altamente solubles.

Ninguna de esas soluciones al parecer son tan ciertas y el grado de error varía considerablemente para cada una de estas estimaciones. Además, los forrajes no contienen triglicéridos y los galactolípidos de sus hojas contienen menos energía que el factor 2.25 empleado para su cálculo. El error involucrado en este análisis es relativamente de menor importancia, a menos que los lípidos sean un componente elevado en el alimento, ya que este componente puede tener poca importancia en análisis de forrajes u otros alimentos para rumiantes. (Englyst, 1987).

Una inconsistencia adicional se hace presente al usar el factor (6.25) para estimar la PC. Esto se debe a que los tejidos de las plantas contienen una variedad de compuestos nitrogenados que pueden ser divididos dentro de proteínas, ácidos nucleídos, nitrógeno no proteico (NNP) soluble en agua y muchas fracciones insolubles asociadas con lignina cruda. El contenido de nitrógeno en proteínas de plantas varía de 15 a 16%, además de que la proteína verdadera en forrajes solo es el 70% del nitrógeno total y poca o nada del nitrógeno, así que la aplicación del factor 6.25 a todo el nitrógeno del alimento constituye un error que es reflejado principalmente en el cálculo de ELN. La magnitud de este error depende del contenido de nitrógeno en la dieta. El error es más serio en análisis de muestras fecales donde poca proteína verdadera por lo general es encontrada y los principales constituyentes nitrogenados son de origen bacteriano o productos de reacción Maillard con solo 7-11% de nitrógeno. Por lo tanto, el ELN contiene los errores acumulados de todas las demás determinaciones. El más grande de estos errores es debido a la solubilización y pérdida de mucha lignina y hemicelulosa en la porción de fibra cruda. Incluso la celulosa no es recuperada completamente y su solubilidad en las diferentes partes de la planta. (Van Soest, P.J. 1963).

Generalmente, la solubilidad de lignina en gramíneas es mayor que en leguminosas. El efecto de este error es el causal de la menor digestibilidad aparente del ELN que de la FC en un gran número de forrajes. En un estudio realizado por este efecto se observó gramíneas templadas, gramíneas tropicales y pajas (62, 74 y 100% de número de muestras analizadas). La estimación de los componentes fibrosos de los alimentos es determinado como fibra cruda (FC), la cual se obtiene mediante un método gravimétrico. Bajo esta química analítica, una muestra es digerida secuencialmente en solución básica y ácida. El residuo resultante fue pensado originalmente para representar la porción indigestible del alimento. En la actualidad esto se compone primariamente de celulosa y proporciones variables de polisacáridos no celulósicos y lignina en la muestra. Sin embargo, este método subestima seriamente el contenido total de pared celular del alimento y recupera únicamente una porción de pared celular y lignina. (Van Soest 1968).

2.9.11. Método de sistema detergente o Método de Van Soest.

Van Soest y sus colaboradores y otros investigadores interesados en el tema han creado métodos analíticos pensado específicamente en forrajes de origen vegetal así mismo se han inventado métodos que requieren de pequeñas muestras (micro métodos). Debido a las inconsistencias notadas en el análisis de fibra cruda del sistema proximal, en los años 60's Van Soest desarrolló el sistema detergente como una alternativa para cuantificar los componentes fibrosos, principalmente de forrajes, logrando así convencer a la comunidad científica de reemplazar el sistema de Weende o Proximal por su sistema detergente. (Mertens 2000).

2.10. Producción de AGVs.

La proporción suele ser influida por la dieta y el estado de la población de metanogénicas del rumen. A pesar de grandes oscilaciones, es relativamente estable entre las dietas en porciones variables de forraje concentrado (fibra), sin embargo las proporciones ruminal de AGV dependen en gran medida del pH. Los ácidos de cadena corta son absorbidos en su mayor parte del (95 al 99%) a través de la mucosa del rumen siendo transportados al hígado. Los ácidos grasos volátiles principales: acético, propionico y butírico producto de la fermentación del rumen en (mayor cuantía) y del ciego en (menor cuantía) son utilizados principalmente por los rumiantes para cubrir sus requerimientos energéticos (aproximadamente 60%). Como la celulosa y hemicelulosa aumentado en relación a los carbohidratos solubles y almidón, acetato: propionato también tiende a aumentar. Los microbios fermentan glucosa para obtener la energía para crecer y ellos producen ácidos grasos volátiles (AGVs) como los productos finales de fermentación. Los AGVs crecen en las paredes del rumen y sirven como fuentes de energía para el animal. Los tipos y las cantidades de AGVs pueden ser manipulados por los tipos de hidratos de carbono utilizados en acción con los posibles efectos sobre el rendimiento y la composición de la leche o el crecimiento del corporal. Para estimar la disponibilidad de nutrientes metabolizable, la tasa y el lugar de la digestión de los componentes de los alimentos debe ser conocida. La digestión de un hidrato de carbono o proteína particular, en el rumen o intestino delgado determina como el animal absorbe el ácido orgánico o glucosa, o la cantidad de proteína disponible para la digestión y se excreta. La digestión de los de nitrógenos en el rumen que determina cuánto nitrógeno llega al intestino delgado como NNP aminoácidos de los alimentos o los microorganismos en el rumen (Hall et al., 1999).

2.11. Efectividad de la fibra en la alimentación.

Una de las características principales de los carbohidratos, principalmente respecto a los forrajes es eficaz en promover la actividad física de motor del tracto gastro-intestinal. Selectivamente mantener la fibra en el rumen de vaca por un tiempo adecuado para la digestión, comer partículas grandes al comer. Estas partículas grandes forman una estera grande flotando en el rumen desde el principio que estimula la actividad de rumia. Después de varios ciclos de rumia o masticar, las partículas fibrosas se reducen a un tamaño tal que puede escapar el rumen. Sin embargo, cuando las vacas se alimentan con dietas con un contenido mínimo de fibra, la falta de fibra puede ser eficaz en la promoción de fermentación ruminal y la producción optimal. (Church, D.C 1992).

Así, varios investigadores han sugerido que proporción ideal para forraje: concentrado (F: C) para las vacas lecheras se situarían entre 40:60 y las 60:40. Mertens propuso un sistema que utiliza el nivel óptimo de la FDN y las necesidades energéticas de las vacas lecheras para determinar la proporción ideal de forraje: concentrado de maximizar el uso de forraje en la dieta. Según él, mientras la mayoría de las dietas ricas en fibra para las vacas lecheras en una fibra de largo o picado de forraje, la FDN también puede ser utilizado para formular dietas con menos fibra, que no es recomendable y como forrajeras son finamente o picado fuentes de fibra de origen no forrajera (subproductos) se utilizan. (Mertens, et al. 1984).

Con el advenimiento de los programas para la formulación de la dieta de un mínimo costo, se estimuló el interés en el desarrollo de un método cuantitativo para garantizar que un requisito mínimo en el forraje está establecido. Se observó que si se concentraron en las fuentes de menor costo de los nutrientes que

alimentan estos y formular programas de raciones para vacas lecheras que contenían niveles pequeños o prácticamente no hay forraje, lo que sería fatal para la salud y la productividad de las vacas lecheras a largo plazo, no existe un estímulo suficiente para el normal funcionamiento del rumen y mantener el porcentaje de grasa láctea. Los primeros intentos de describir la eficacia de los alimentos para las necesidades de equivalente heno de forraje basado en la fijación de valores de fibra cruda como requisito mínimo, un conjunto de valores como FDN. Cabe señalar que el análisis químico de fibra, ya sea como fibra cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente acida, o siempre satisfacer las necesidades de fibra efectiva. Algunas de las formas físicas de la fibra (finamente suelo) no siempre son eficaces en el mantenimiento de la leche el porcentaje de grasa que conduce al concepto de fibra efectiva. Aunque el criterio de fibra efectiva se determinó el porcentaje de grasa en la leche, se aceptó que ambas propiedades físicas y químicas de fibra son importantes para determinar la eficacia. De la misma manera que ha desarrollado el concepto de fibra efectiva, se determinó que las propiedades físicas de los alimentos afectan la digestibilidad, la tasa de pasaje y la función ruminal. Mertens propone que la actividad de la masticación por unidad de materia seca (MS) podría ser una medida biológica de las propiedades físicas de un alimento, lo que él llamó característico de la fibrosis. (Mertens 2001).

Los mismos autores unificaron los procedimientos y la medición la actividad de la masticación y la fijación de un valor de índice de forraje (FIV) para una variedad de alimentos (total de minutos de mascar por / Kg. MS). Dada estas características, se define el índice de un alimento como fibrosidad minutos empleados en la actividad de la masticación por kg de MS y evaluar su potencial como una herramienta en la formulación de raciones para vacas lecheras. Estos investigadores observaron el índice de fibrosis fue altamente correlacionada con la

concentración de fibra cruda en los alimentos y el nivel de consumo de materia seca. (Trowell, H. G., et al. 1976).

Hay que considerar que la actividad masticatoria (suma del tiempo de masticación y rumia) es afectada por la raza, el tamaño corporal, edad, consumo de materia seca, la concentración de fibra y tamaño de partículas de alimentos y posiblemente el método de medición de la actividad masticatoria (seguimiento tiempo visual o automática, sin control durante el ordeño. (Mertens 2001).

2.12. Importancia de fibra efectiva.

Las características nutricionales de la fibra no sólo dependen de su composición, sino de las interacciones entre sus componentes y de la forma cómo se presenta al animal. Por estas razones, no es suficiente considerar únicamente el análisis químico como método de valoración de la calidad de un forraje, y es necesario observar el tamaño de partícula y el manejo de la ración. La fibra efectiva puede definirse como la capacidad real para estimular la rumia y la salivación que resulta en el mantenimiento de las condiciones ruminales óptimas para la producción de leche, y depende del tipo, forma y tamaño de la fibra que estimula la rumia. La fibra efectiva es la fracción del alimento que estimula la actividad de masticación. Esta masticación estimula la producción de saliva, la cual contiene bicarbonatos y fosfatos, encargados de neutralizar los ácidos producidos por la fermentación de la materia orgánica. El balance entre la producción de ácidos y la cantidad de saliva secretada es importante para mantener un rumen saludable, con un valor de pH adecuado que prevenga la aparición de enfermedades metabólicas tales como acidosis. La fracción de la materia orgánica total que es fermentada en rumen hará variar los requerimientos de fibra efectiva. Sin embargo, el dato del análisis

químico de FDN únicamente no es adecuado para balancear dietas de vacas lecheras de alta producción, debido a que distintos tipos de fibra varían en su capacidad estimuladora de la producción de saliva, lo cual estaría relacionada con el tamaño de partícula del forraje. (Hall, 2000).

Existen métodos rápidos y relativamente precisos para determinar la fibra efectiva de un determinado alimento. Por ejemplo, la Universidad de Pennsylvania (EEUU) desarrolló el “Penn State Separator”, que consiste en tres cajones plásticos dotados de fondos agujereados a distintos tamaños. Los tres cajones se colocan uno arriba del otro, teniendo el de arriba 19 mm de diámetro en sus agujeros, el del medio 8 mm y el de abajo no posee agujeros. La muestra a analizar es pesada en una balanza y colocada en el cajón de arriba. Los cajones deben agitarse manualmente al menos veinte veces, rotándolos un cuarto de vuelta cada cinco agitaciones. Al finalizar la agitación se pesan los residuos que se encuentran en cada cajón. El porcentaje de fibra efectiva se obtiene obteniendo los porcentajes de muestra que quedaron retenidos en los cajones. Se suman los porcentajes que quedaron en los cajones 1 y 2 y se calcula el porcentaje que éstos representan del total (Lammers et al., 1996).

2.13. FDN físicamente efectiva (FDNfe).

Estos dos conceptos están relacionados, como la eficacia de la fibra en el mantenimiento de porcentaje de grasa en la leche es diferente de la eficacia de la fibra en el fomento de mascar (Armentano & Pereira, 1997).

La aplicación efectiva de FDN se relaciona con la capacidad global de los alimentos a un menor de fibra forma que el porcentaje de grasa en la leche no se ve afectada. La física es efectiva FDN están relacionados con las propiedades físicas de la fibra (especialmente tamaño de las partículas) que masticar estimula la actividad y establece una estratificación en dos fases de contenidos rumen (una capa flotante de partículas de grandes en un baño líquido con pequeñas partículas). La física efectiva FDN siempre será menor que el FDN, pero el FDN efectiva puede ser inferior o superior a la FDN en un alimento. El concepto de fibra físicamente efectiva fue acuñado para relacionar las características físicas del alimento con el pH del rumen a través de la medición del tamaño de partícula del forraje o la actividad de masticación. Para aclarar estos conceptos dos términos se han desarrollado: a partir del FDN (eFDN) que se relaciona con la capacidad general de un alimento para reemplazar el césped para que el porcentaje de grasa de la leche se mantiene y físicamente efectiva FDN (peFDN) que son relacionados con las propiedades físicas de la fibra (especialmente tamaño de las partículas) que estimula la actividad de mascar y establece una estratificación en dos fases de contenido ruminal. (Mertens, 1997).

El peFDN siempre debe ser menor que el FDN, mientras que eFDN puede ser inferior o superior a la FDN en un alimento. Conceptualmente, se relaciona con peFDN característica del índice de fibrosis, valor forrajero, la estructura física y el contenido fibrosidad porque están todos relacionados con la actividad masticatoria. (Mertens 2001).

Pero peFDN difiere de estos conceptos, ya que es un atributo de los alimentos que se basa en una escala de valores de referencia (idéntico al concepto propuesto por Mertens UVF en 1986, en lugar de ser sólo una respuesta biológica (minutos de la masticación / kg MS), que varía con las condiciones sobre las sobre cuales

se tomaron las medidas. El peFDN proporciona una medida más consistentemente eficaz que la actividad de masticar, porque se basa en dos propiedades fundamentales de los alimentos: la fibra y el tamaño de las partículas, y la independencia de factores de origen animal. El concepto de eFDN puede representar todas las características de los alimentos ayuda a mantener la síntesis de grasa de la leche. Cuando es bajo de porcentaje en grasa en la leche es un indicador de dietas inadecuadas, sugiere que la depresión en la grasa láctea no es el mejor indicador de la función ruminal o de la salud de los animales. (Morales, et al., 1989).

Así eFDN puede ser un indicador menos sensible de la eficacia de que la fibra peFDN prevención de la depresión del consumo, la acidosis, laminitis y desplazamiento de abomaso en vacas lecheras. Una reducción en el nivel de fibra efectiva en la dieta se producen una cascada, por el animal, la secreción de saliva menor el aumento de la producción de ácidos grasos volátiles, la disminución del pH del rumen, en cambio la población microbiana, reduce el acetato: propionato (A: P), la depresión de la grasa de la leche y "desviación" de nutrientes para el engorde. (Mertens 2001).

Los métodos de determinación de la fibra detergente neutro es la mejor medida del contenido total de fibra de los alimentos, que sirve como base para determinar la fibra efectiva. Se llegó a la conclusión de que dos variables (consumo de FND y la forma física) fueron las principales características de los alimentos que afectan a la actividad de masticar. (Mertens, et al. 1968).

2.14. Digestión de la fibra.

La fibra puede ser degradada únicamente en el rumen y el grado de lignificación de la pared celular es una de las principales limitantes a la digestión. La estructura física de la pared celular y cómo se relacionan la lignina con la celulosa y la hemicelulosa también afecta la degradación ruminal de la fibra. Por lo tanto, a pesar que las leguminosas poseen un mayor contenido de lignina que las gramíneas, estas últimas poseen una menor tasa de digestión de la pared celular a causa de la forma en que la lignina se relaciona con la celulosa y la hemicelulosa, provocando un mayor llenado ruminal y en consecuencia un menor consumo. (Van Soest, P.J. y Wine, R.H.1968).

2.15. Digestibilidad de fibra

Técnicamente, la digestibilidad de la fibra también ha sido definida como la proporción de fibra ingerida de fibra que se excreta en las heces. La fibra a su vez tiene una fracción indigestible y otros potencialmente digeribles. El proceso de la digestión de fibra consiste en la hidrólisis de los polisacáridos y la conversión de monosacáridos resultando ácidos grasos volátiles (AGV), el gas de fermentación y el calor. Muchos factores, como la FDN indigerible, la interacción y el límite de la tasa de consumo la fermentación de hidratos de carbono son importantes a este proceso. El tipo al que la FDN se fermenta potencialmente es otro factor importante que afecta a la utilización de la fibra. La interferencia de carbohidratos no estructurales (CNE) en la digestión de la fibra está conectada principalmente a cuestiones como la reducción del pH y un efecto negativo en la digestión fibra, que puede ser inhibido por los (CNE) o los productos de su digestión. (Hoover, 1996).

2.16. Factores que afectan la digestibilidad de la fibra.

2.16.1. Factores ligados al animal.

- ❖ Especie.
- ❖ Diferente estructura anatómica y funcional
- ❖ Diferente capacidad de digestión y utilización de alimentos fibra (rumiantes)
- ❖ Raza: escasas diferencias
- ❖ Individuos: causas patológicas, defectos de dentadura, parasitismo intestinal, nerviosismo.
- ❖ Edad: mejor digestibilidad en animales jóvenes.

2.16.2. Factores ligados al alimento.

- ❖ Nivel de alimentación.
- ❖ Por menor cantidad relativa de enzimas digestivas y aumento de la velocidad de tránsito.
- ❖ Aumento del nivel disminuye la digestibilidad energética.

- ❖ Alimentación forrajera: la calidad del forraje aumenta el nivel de alimentación pero disminuye el coeficiente de digestibilidad (C.D.)
- ❖ La disminución del coeficiente de digestibilidad es tanto mayor cuanto más indigestible sea la sustancia.

2.17. Respuestas fisiológicas de la fibra.

El análisis de los efectos fisiológicos de la forma de digestión de la fibra y la función del rumen es donde encontramos la mayor variación, mientras que la forma física se ve afectada por el método de coheita, ensilado, extrusión, granulación, mezcla o cualquier otro método de tratamiento al que se somete el alimento. La forma física se asocia con eficacia de los alimentos fibrosos para estimular la rumia y la motilidad del rumen. En el caso de concentrado, la forma física también influye en la digestión. Por ejemplo, el maíz, el tamaño de partícula, el tratamiento, la hidratación, la integridad del pericarpio, (acceso a la proteína de la matriz) afectará a su digestibilidad. (Hall et al., 1999).

Los factores físicos que afectan a las tasas de la digestión, bueno como las tasas de pasaje, que determinan dónde y en qué medida los materiales serán digeridos. Los métodos actuales de estimación de la digestión in vitro o en vivo vinculados a la elaboración de alimentos, que en gran medida puede eliminar los efectos de la forma física. Los métodos para evaluar los efectos de la forma física en la digestión de la tasa de componentes de los alimentos son necesarios. Si hay menos forraje y fibras en las dietas, el animal responde de una manera que disminuye el pH y altera la fermentación ruminal. Cuando la fibra se reduce al mínimo (<10% FDN) y hay cambios bruscos en la dieta (de la manipulación del

animal o respuestas al estrés) se puede producir acidosis láctica que resulta en una laminitis aguda y tal vez incluso la muerte. Sin embargo, una acidosis subaguda es siempre debido a los prolongados problemas de salud, como abscesos en el rumen y en el hígado y la posibilidad de desplazamiento abomaso. Debido a que estas enfermedades son raras, pueden ser diagnosticados fácilmente mediante medidas correctivas. Las respuestas digestivas y metabólicas del ganado asociado con una frontera cerca de la acidosis es mucho más difícil de detectar. Cómo fibra efectiva en la dieta es reducida, la cascada de acontecimientos que se produce normalmente. Dado que los animales secretan más saliva durante la masticación de dormirse, menor resultado de mascar en la salivación y menos efecto amortiguador en el rumen. Disminución de la salivación, combinada con una mayor producción de AGVs, lo que resulta en la disminución del pH del rumen. (Hall, 2000).

El producto final de la fermentación en relación a acetato: propionato se reduce. La reducción de la presente proporción se asocia con la depresión de la grasa láctea desvía los nutrientes a la engorde. Por lo tanto, reduciendo la producción de saliva puede ser un factor importante en la reducción del pH del rumen, hay cambios concomitantes en la dieta cuando la fibra se reduce resultado en el incremento de AGV. En general, la proporción de P+L, y la ceniza es relativamente constante en las raciones para vacas lecheras. (Prosky, 1984).

2.18. Consumo de fibra.

El papel de la fibra en la regulación del consumo no ha sido bien aceptado. Esto ocurre debido a la falta de conocimiento de la complejidad y la interacción que se producen cuando la indemnización determina el consumo de un determinado grupo de animales alimentados con una dieta específico. Si la densidad de la dieta es alta en energía (baja en fibra) en relación con los requisitos del animal, el consumo está limitado por las demandas de energía del animal y la voluntad del rumen lleno. Sin embargo, parece bastante lógico que si la dieta formulada para una densidad baja de energía (alto contenido de fibra) en relación con los requisitos del animal, el consumo se limita el efecto de llenado de los alimentos. Si la disponibilidad de alimentos es limitada, ni llenado, o la demanda de energía sería importante para la predicción del consumo. (Hall et al., 2000).

Otro punto que merece ser considerado en la predicción de consumo es que el enfoque utilizado para desarrollar un sistema de información conocida y las razones de predicción de estos puede ser: para alimentar a la formulación, o predecir rendimiento, o bien para estimar la demanda de alimentos o requisitos. Por lo tanto, mientras que los animales obedecen a las leyes de conservación de la masa y la energía, la predicción consumo en el tercer caso es relativamente fácil porque tanto la dieta en el ganado es de conocimiento general. Hay muchos tipos de fibras en la mayoría de los forrajes. La lignina, que es digerible, es inversamente proporcional a la digestibilidad, pero no existe una relación coherente con su consumo voluntario. Fue pionero en el fraccionamiento de los forrajes, medido por el método de FDN para predecir la física llenado creado por los alimentos en el rumen.

Para gran variedad de plantas forrajeras, incluyendo muchas especies tropicales, se encontró grandes al igual que en el consumo constante de FDN, según la fórmula: Van Soest (1968)

$$I = 110 - 1716 / (100 - \text{CWC})$$

Donde I es la ingesta (g MS / kg PV 0,75), la CWC es el componente de la pared celular (%). En los animales, la reducción en la digestibilidad de la inclusión de más de 30% de paja en la composición de alimentos para el crecimiento puede ser compensado por un aumento en el consumo, pero no es siempre suficiente para mantener el misma tasa de crecimiento. (Forbes, 1988).

2.19. Fuentes de fibra.

Las fibras de los rumiantes podrían proceder de la fibra forrajera, que son los más comúnmente identificados y no por las fibras de forraje, que son menos populares y se han conocidos en los últimos años. El contenido de fibra y su grado de lignificación son los dos factores que determinan el valor nutritivo de los forrajes. A medida que la planta avanza en su ciclo aumenta el porcentaje de fibra o pared celular en la misma y generalmente su valor nutritivo disminuye debido a su creciente lignificación. La rápida de maduración está particularmente influenciada por la temperatura ambiental. Así vemos que las altas temperaturas del verano llevan a una menor digestibilidad de los forrajes. Esto se debe a que los productos resultantes de la fotosíntesis son más rápidamente convertidos en componentes estructurales (fibra o pared celular) y a la creciente lignificación de esa fibra. En el caso de las gramíneas, este efecto negativo ocurre tanto en tallo como en hojas, en cambio en las leguminosas como la alfalfa, en lo cual las hojas no cumplen una

función estructural, la caída de la digestibilidad sólo adquiere importancia en los tallos. Al aumentar la proporción de fibra durante el verano y al tener la misma una menor digestibilidad, el forraje permanece por más tiempo en el rumen lo que lleva a un menor consumo y producción. Las especies pastoreadas, su estado vegetativo, los niveles de fibra y la composición de la misma (relación e interrelación celulosa-hemicelulosa- lignina) son entre otros factores los que definirán en gran medida el consumo, producción y porcentaje de grasa de la leche en esta época del año. Lo contrario ocurre durante los meses de otoño-invierno donde nos encontramos con forrajes ricos en agua y pobres en fibra, lo que obliga recurrir a suplir sus deficiencias con heno y/o silo, para estimular el consumo y mantener niveles normales de grasa en leche. (REIS, R.A. 1993).

Henos. Los principales factores que afectan la calidad del heno son las especies henificadas, la fecha de corte y el grado de conservación de nutrientes. Con respecto a la fibra que aportan, los primeros cortes son más bajos en fibra y la misma está poco lignificada. Los henos de alfalfa y otras leguminosas presentan menores porcentajes de fibra que los henos de gramíneas pero esa fibra está más lignificada. Por esta razón que los henos de gramíneas tienden a presentar una mayor digestibilidad de la fibra que los henos de leguminosas. (Theander,O. y E.A. Westeylund. 1986.).

Silos. El porcentaje de fibra y el grado de lignificación de la misma dependerá también de la fecha de corte, pero en este caso la confección del silo podrá determinar cambios en las proporciones de fibra-contenidos celulares. Así por ejemplo, la fermentación aeróbica puede enriquecer el contenido de fibra como consecuencia de una pérdida desproporcionada de los componentes no fibrosos por una mala compactación. Además, en silos con altos porcentajes de materia seca, los efectos de la alta temperatura de la masa pueden dar lugar a la síntesis

de "lignina artificial" a partir de proteínas y carbohidratos a través de la reacción Maillard. (Theander, O. y E.A. Westeylund. 1986.).

Otro factor a tener en cuenta en el caso de los silos es el tamaño de picado. A pesar lo que se busca es el picado fino para facilitar la compactación y por lo tanto la mayor exclusión de oxígeno, en tamaño muy pequeño de corte puede anular el efecto de esa fibra y llevar a caídas del porcentaje de grasa en leche. (Van Soest, PJ 1982).

Concentrados y subproductos. La fibra de los granos es diferente a los tallos de las plantas dónde se requiere celulosa para darles resistencia, y lignina para aportar rigidez y fuerza estructural. Lo que los granos necesitan es una cubierta resistente a la infestación de microorganismos. Por esta razón que en la fibra de los granos hay una mayor concentración de cutina, material que cumple con esta función de protección. (Van Soest, PJ 1982).

Los porcentajes de cutina y lignina (ambas totalmente indigestibles) en la fibra de concentrados y subproductos es variable según el material considerado. Así por ejemplo, las cáscaras de soja y el afrechillo de maíz contienen poca lignina y son altamente digestibles mientras que las cáscaras de semilla de algodón, de avena y de arroz son muy altas en lignina y cutina. La cáscara de arroz además, tiene una alta proporción de sílice el cual deprime aún más la digestibilidad de ese material fibroso. (Backes, AA. Et al 2000).

2.20. Efectos de consumo de fibra.

Los alimentos con alto contenido de fibra suelen disminuir la ingesta de materia seca por su baja digestibilidad. Esto puede ser una consecuencia de los materiales no digeribles, que podrá ser que tienen lugar en la capacidad física del rumen. Los alimentos consumidos deberían ser retirados de fermentación ruminal y el paso a través para hacer espacio para la entrada de consumo de los adicionales. (Mertens et al., 2001).

Sin embargo, algunas fibras no forrajeras tales como semilla de algodón (CAL), por ejemplo, no influyen en el consumo de la misma manera que otros ricos en fibra relativamente indigeribles. El consumo tiende a aumentar con la adición de CAL en la dieta del ganado lechero y becerros. El consumo aumenta con el nivel de la dieta de la CAL, Sin embargo, el aumento entre los estudios no son uniformes. (Morales et al, 1989).

Los cambios relativos en consumo de materia seca se ven igualmente afectados por el paso de las interacciones de los animales entre los alimentos y las dietas, el consumo aumenta la curvilínea cal se sustituye por el sorgo ensilado en dietas de vacas. Sugiere que la ingesta máxima recomendada de FDN, si hay una reducción en la producción de leche en el ganado es de aproximadamente 1,2% del peso corporal por días. Se estima para proporcionar un suministro adecuado de concentrado y evitar problemas ruminales. Mertens, et al. (2000).

3. Conclusiones

La fibra es importante no sólo como precursora de la grasa de la leche, sino que de ella depende en gran medida el normal funcionamiento del rumen. Promover la motilidad ruminal, mantener el pH ruminal por su capacidad de intercambio catiónico y estimular la rumia son otras importantes funciones que cumple. El consumo de fibra es de importancia especial bajo condiciones de factores asociados y por la complejidad en su determinación y no se debe dejar de considerar la posibilidad de sinergismo o aditividad de estos factores. El consumo de fibra responde principalmente a la capacidad física digestiva del animal, a la composición química de los forrajes y a la demanda de energía de los animales.

Es muy diversa la metodología que se puede utilizar para determinar la fibra para su importancia. El consumo correcto de la fibra requiere la toma de muestras y valoración correcta de los forrajes y la formulación correcta de la FDN considerando conceptos de FDN procedente de forrajes, el tamaño de partícula y la fibra efectiva. Además, es necesario realizar una valoración crítica de los resultados productivos en función de la ingestión, la producción y composición de la leche, la condición corporal, y la incidencia de síndromes patológicos.

4. BIBLIOGRAFIA.

A.O.A.C. (Asociación Oficial de Químicos Agrícolas). Métodos Oficiales de la Asociación de los químicos agrícolas. 15. ed. Washington, 1990. V.2.

Armentano, L., Pereira, M. Medición de la eficacia de la fibra por los ensayos de respuesta de los animales. En: Simposio: frente a los requerimientos de fibra de vacas lecheras. J Dairy Sci, 80:1416 - 1425, 1997.

Backes, AA, Sánchez, LMB, GONCALVES, MBF, viejo, JP Determinación de las fracciones proteínas y los hidratos de carbono como algunos CNCPS método. En: REUNION INFORME DE LA SOCIEDAD BRASILEÑA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. Anais ... Viçosa: SBZ, 2000. p.913-915.

Calsamiglia, S. Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas para rumiantes.1997 XV

Cañas, C.R. (1995). Alimentación y nutrición animal. PUC. Santiago, Chile.

Church, D.C. (1989) the Ruminant Animal. O&B Books, NJ. Clin. Nutr. 25, 926-932.

Church, D.C. y Pond, W.G. (1992). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Limusa. México.

Church, D.C." El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición". Editorial Acribia. 1993 (original en inglé, 1988).641p.

Cummings, J. (1981). Fibra dietética. Br. Med. Bull. 37, 65-70.

FORBES, JM ingesta voluntaria de alimentos y la selección de la dieta en animales de granja.

GUTMANN, me WAHLEFELD y, A.W. (1974) En: Métodos de análisis enzimático. Vol. 3, pp.1464-68. H.U. Bergmeyer (Ed.) 2ª edición, Academic Press, Londres.

HALL, M.B. solubles neutro detergente de carbohidratos: importancia nutricional y análisis, un manual de laboratorio. Universidad de Florida. (Boletín de la Extensión, 339), abril del 2000.

HALL, M.B, Hoover, WH, Jennings, JP, Miller, los conocimientos tradicionales; Webster. Un método para detergente neutro partición carbohidratos solubles. Science Journal Agricultura y la Alimentación, v.79, p.2079, 1999.

HALL, MB; adv recientes equilibrada en hidratos de carbono no FDN para la nutrición de las vacas lactantes, en: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE VACUNO DE LECHE, 2., 2001, Lavras. Anais ... Lavras: UFLAFAEPE, 2001. p.139-148.

HOOVER, W., MILLER, T. Alimentación para rumen máxima función. Mid-South Proceedings Rumiantes Nutrición de la Conferencia, Ed. Eller R. Jordán. P. 33-46, 1996.

HOOVER, W.H. factores químicos involucrados en ruminal de la fibra digestion.v.69, p.2755, 1986.

Jhonston, J. 2000. La Fibra Detergente Neutro. Los tiempos de alimentación Magazine.4 (2):20

JUNG, H.J. Análisis de fibra forraje y paredes de las células en la alimentación de los rumiantes. Am soc. for Nutr. Sci., 810, 1997.

LAMMERS, B.P., BUCKMASTER, D.R., HEINRICHS, A.J. (1996) J. Dairy Sci. 79, 922.

Machado. O. Valor nutricional de los alimentos - Elementos de Evaluación y Factores de Calidad. 1ª ed. Medellín: Universidad de Antioquia; 1997.

MERTENS, D.R. (1987) J. Anim. Sci. 64, 1548.

MERTENS, D.R. (2002) Journal of AOAC International 85: 1217-1240.

MERTENS, D.R. Física efectiva FDN y su uso en la formulación de raciones para vacas lecheras. En simposio internacional en bovinos, 2., 2001 Lavras. Anais... Lavras: UFLA-FAEPE de 2001. P.25-36.

Morales, JL, Van Horn,HH, Moore, JE interacción dietética de la melaza de caña con fibra o fuente: el consumo y los efectos de la lactancia. J. Dairy Sci. 72:2331-2338, 1989.

Prosky, L., ASP, N.G., FURDA, I.A. et al. Determinación de fibra dietética total en alimentos, productos alimenticios y dietas en total: estudio interlaboratorio. J. Assoc. Anal. Chem., 67, 1044, 1984.

REIS, R.A.; RODRIGUES, L.R.A. Valor nutritivo de plantas forrajeras Jaboticabal, 1993, 26 p.

Theander, O. (1983). Avances en la caracterización y determinación analítica de los componentes de la fibra dietética. En: Fibra dietética (G. G. Birch y J. K.

Theander, O. y P. Aman (1979). La química, morfología, y el análisis de los componentes de la fibra dietética. En: Las fibras dietéticas: Química y Nutrición.

Trowell, H. G., et al. (1976). Fibra dietética redefinido. The Lancet, 967.

Valadares, RFD, Broderick, GA, Valadares Filho, SC, et al. Efecto de la sustitución de ensilaje de alfalfa con maíz de alta humedad en la síntesis de proteína ruminal estimado a partir de la excreción de las purinas total. Journal of Dairy. Science, v. 82, n. 12, p. 2686 - 2696, 1999.

VAN SOEST, PJ, vino, Determinación de humedad de la lignina y celulosa en la fibra detergente ácido con permanganato. Revista de la Asociación de Química Agrícola, Washington, V.51, p.780-85, 1968.

VAN SOEST, PJ, ROBERTSON JB, LEWIS, BA Métodos de fibra dietética, detergente neutro, de fibra, y los polisacáridos sin almidón en relación a la alimentación animal. Journal of Dairy Ciencia, v.74, n.10. p.3583-3597, 1991.

Van Soest, PJ (1982) Ecología nutricional de los rumiantes.C.U.P., Ithaca, NY.

Van Soest, P.J. y el Vino, R.H. de 1967. El uso de detergentes en el análisis de alimentos fibrosos. IV Determinación de la pared celular vegetal-mandantes. J. Assoc. off. Anal. Chem., 50: 50-55.

Van Soest PJ, RH Vino. Determinación de lignina y celulosa.

Van Soest, P.J. (1963). El uso de detergentes en el análisis de fibra.

Van Soest, P.J. y Wine, R.H.(1968).J.AOAC.50-55

VITTORI A, SILVA, JFC; VASQUEZ, HM; Morenz, MJF; AROEIRA, LJM; GAMA, FVR Fracciones de hidratos de carbono de las gramíneas tropicales en diferentes edades de corte. En: REUNION INFORME DE LA SOCIEDAD BRASILEÑA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. Anais ... Viçosa: SBZ, 2000. p.569-571.

Theander,O. y E.A. Westeylund. 1986. Los estudios sobre la fibra dietética. 3.

Englyst, HN y Hudson, GJ, 1987. Calorimétricos método de medición rutinaria de la fibra dietética como polisacáridos no amiláceos. Una comparación con la cromatografía de gas-líquido. Food Chem..., 24: 63-76.

WEISS, W. P. Ecuaciones de predicción de la Energía para la alimentación de rumiantes. En: Cornell NUTRICIÓN CONFERENCIA PARA fabricantes de piensos, 61., 1999, Actas..., Ithaca, Cornell Universidad, 1999. p. 176-185