



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

**GANADERÍA**

**CARACTERÍSTICAS DIGESTIVAS DEL HENO DE ALFALFA (*Medicago sativa*), PRODUCIDA EN EL VALLE DE MEXICALI DURANTE DOS EPOCAS DE CORTE**

**GERARDO NOÉ ROSALES MARTÍNEZ**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. MÉXICO.

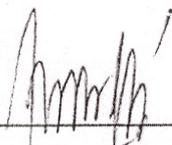
2008

La presente tesis titulada “**CARACTERÍSTICAS DIGESTIVAS DEL HENO DE ALFALFA (*Medicago sativa*), PRODUCIDA EN EL VALLE DE MEXICALI DURANTE DOS ÉPOCAS DE CORTE**”, realizada por el alumno: **Gerardo Noé Rosales Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GANADERÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

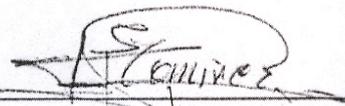
Consejero



---

Dr. Sergio S. González Muñoz

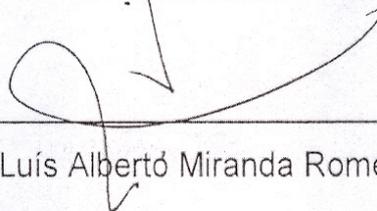
Asesor



---

Dr. Efrén Ramírez Bribiesca

Asesor



---

Dr. Luís Albertó Miranda Romero

Montecillo, Texcoco, México, Abril de 2008

## RESUMEN

### CARACTERISTICAS DIGESTIVAS DEL HENO DE ALFALFA (*Medicago sativa*), PRODUCIDA EN EL VALLE DE MEXICALI DURANTE DOS EPOCAS DE CORTE

Gerardo Noé Rosales Martínez, MC.  
Colegio de Postgraduados, 2008

El objetivo de este estudio fue evaluar las características de digestión ruminal y el flujo de nutrientes a duodeno e íleon del heno de alfalfa (*Medicago sativa*) de dos épocas de corte (verano e invierno) en novillos Holstein. Se usaron cuatro novillos Holstein ( $240 \pm \text{KgPV}$ ) con cánulas en rumen, duodeno e íleon. Los tratamientos fueron heno de alfalfa de verano (HAV) y heno de alfalfa de invierno (HAI), en un diseño cross over. Los datos se analizaron con PROC GLM de SAS y se usó la prueba de Tukey para comparar las medias. Se analizó la composición del heno y se midieron variables de digestión. El flujo a duodeno de MS, MO, FDN, FDA y NN, al igual que el flujo a íleon de MS, MO, FDN, y FDA fue mayor ( $P \leq 0.10$ ) para el HAV en comparación al HAI. La digestibilidad en rumen y digestibilidad total de MS, MO, FDN, FDA y NN fue más alta ( $P \leq 0.10$ ) en el HAI respecto al HAV. Entonces, el flujo de nutrientes presentó una relación inversa con la digestibilidad, así el heno que presentaba un mayor flujo tenía una menor digestibilidad.

**Palabras clave:** Heno de alfalfa, rumen, digestibilidad, flujo.

## ABSTRACT

### DIGESTIVE CHARACTERISTICS OF THE ALFALFA HAY (*Medicago sativa*), PRODUCED IN THE VALLEY OF MEXICALI CUT DURING TWO TIMES

Gerardo Noé Rosales Martínez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2008

The objective of this study was to evaluate the characteristics of ruminal digestion and nutrients flow to duodenum and ileum of alfalfa hay (*Medicago sativa*) cut in summer and winter. Four Holstein steers ( $240 \pm \text{KgBW}$ ) fitted with cannulas in rumen, duodenum and ileum were used in a cross over design with the following treatments: summer hay (SH) and winter hay (WH). Data were analyzed using PROC GLM (SAS) and means were compared using the Tukey test ( $p \leq 0.10$ ). Flow of DM, OM, NDF, ADF, and NN to duodenum, as well as flow of DM, OM, NDF and ADF in ileum was larger ( $p \leq 0.10$ ) for SH as compared to WH. Rumen and total digestibility of DM, OM, NDF, ADF and NN was higher ( $p \leq 0.10$ ) for WH than SH. Therefore, nutrients flow showed an inverse relationship with digestibility, since the hay with a larger flow showed a lower digestibility.

**Key words:** alfalfa hay, rumen, digestibility, flow.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al pueblo mexicano que mediante el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, apoyó económicamente mi estancia de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, programa de Ganadería y al Instituto de Ciencias agrícolas, UABC, por el apoyo para mi formación académica y el desarrollo del experimento.

Al Dr. Sergio S. González Muñoz, por brindarme todo su apoyo en mi formación y ofrecerme una nueva forma de ver la ciencia.

A la Dra. Adriana Morales Trejo y el Dr. Miguel Cervantes Ramírez por su amistad, el apoyo para la realización del experimento y la revisión de este documento.

Al Dr. J. Efrén Ramírez Bribiesca y el Dr. Luís A. Miranda Romero, por su acertada revisión de este escrito.

Al Dr. Alfonso B. Araiza Piña por su colaboración tan necesaria para la elaboración del experimento y su incuestionable amistad.

## DEDICADO A

Mis padres Juliana y Gerardo

Mis hermanos Lucerito, Rocio y Homero

Mis primos Carlos, David y Virgilio

Mis tíos Adelina, Leida, Constantino, Leoncio y Lorenzo

Mi abuelita Felicitas Alavez García. Te amo Abue.

Mis amigos formados en maestría Juan Manuel, Yosahandy, Angélica y Miguel

Mi familia: Marco, Mariana, Ángeles, Alicia, Carolina, Jovita y Luís

Juan Manuel, Paulino, Ismael, Israel, Mauricio, Germán, Landero, Edrei,  
Poncho,

Si es de méritos, sin ustedes no los habría

## Ciencia vs Tecnología

Una cosa científica debe ser, en primer lugar verdadera. El hecho de que sea útil es casi irrelevante. Una tecnología, en contraste, debe ser, en primer lugar útil. Que sea verdadera o no es casi irrelevante.

En ciencia, obtienes poder diciéndole a la gente lo que sabes. En ingeniería, obtienes poder evitando que la gente sepa lo que sabes.

Los seres humanos estamos diseñados para ser infelices si no comprenden las cosas. No podemos evitar querer saberlo todo. Está en nuestros genes. Sin embargo, saber todo es imposible, como cualquiera, pero si no te gusta ser inquisitivo, hazte amigo de las lagartijas.

Robert Laughlin  
Premio Nóbel de Física 1998

## Estado precientífico de la cultura

Se caracteriza no por la fe ciega en algo, sino por la falta de Fe más absoluta en lo que marcan los instrumentos, lo que piensan los científicos y lo que anuncian los periódicos.

Jorge Ibarguengoitia  
Escritor mexicano

## Modelo educativo

En la escuela se cree más de lo que se entiende; aquello que no entendemos lo mitificamos y nos bloqueamos.

Juan Jürguenson  
Escritor español

Es el olvidar, no el recordar la esencia de lo que nos hace humanos.

Jorge Luis Borges  
Escritor argentino

*-Todo es absolutamente relativo-*

## CONTENIDO

	Pág.
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<i>viii</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. JUSTIFICACION</b> .....	3
<b>3. OBJETIVO</b> .....	4
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	4
<b>5. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
5.1. Características de la alfalfa.....	5
5.2. Utilización de la alfalfa en la nutrición animal.....	5
5.3. Características del heno de alfalfa.....	7
5.4. Digestibilidad del heno de alfalfa.....	8
5.5. Importancia de la evaluación de alimentos.....	10
5.6. Materia seca.....	10
5.7. Materia orgánica.....	11
5.8. Pared celular de las plantas.....	11
5.8.1. Fibra detergente neutro.....	12
5.8.2. Fibra detergente ácida.....	12
5.8.3. Celulosa.....	13
5.8.4. Hemicelulosa.....	14
5.8.5. Lignina.....	15
5.8.6. Pectinas.....	15
5.9. Proteína.....	16
5.9.1. Degradación de la proteína en rumen.....	16
5.10. Reacción de Maillard.....	17

5.11. Método in vivo para medir la digestibilidad.....	18
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
6.1. Localización.....	20
6.2. Animales.....	20
6.3. Instalaciones.....	20
6.4. Metodología.....	21
6.5. Análisis de muestras.....	22
6.6. Medición de variables.....	22
6.7. Análisis estadístico.....	23
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>24</b>
7.1. Composición y consumo del heno de alfalfa.....	24
7.2. Digestión de Materia Seca.....	25
7.3. Digestión de Materia Orgánica.....	27
7.4. Digestión de Fibra.....	29
7.5. Digestión de nutrientes nitrogenados.....	32
7.6. Ácidos grasos volátiles.....	35
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>37</b>
<b>9. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>38</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Consumo y composición de los nutrientes del heno de alfalfa picada, según época del año, consumidos por becerros Holstein en el valle de Mexicali .....	24
Cuadro 2. Digestión de materia seca (MS) en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa picada de dos épocas de corte en el valle de Mexicali.....	25
Cuadro 3. Digestión de materia orgánica (MO) en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa picada de dos épocas de corte en el valle de Mexicali.....	28
Cuadro 4. Digestión de fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa picada de dos épocas de corte en el valle de Mexicali.....	29
Cuadro 5. Digestión de nutrientes nitrogenados en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa picada de dos épocas de corte en el valle de Mexicali .....	32
Cuadro 6. Valores de pH y ácidos grasos volátiles (AGV), en novillos Holstein alimentados con heno de alfalfa de dos épocas de corte en el valle de Mexicali .....	35

# 1. INTRODUCCIÓN

En México se cultiva alfalfa (*Medicago sativa*) en las regiones: áridas, semiáridas y templadas. El estado de Baja California, tenía hasta diciembre de 2004, una superficie de 28 545 ha de cultivo de alfalfa en condiciones de riego y temporal, con una producción de 15.16 t ha<sup>-1</sup>. Se calcula que la producción total anual es de 436, 334 t, con lo cual Baja California ocupa el cuarto lugar nacional en producción de alfalfa (SFA, 2007).

En el valle de Mexicali, Baja California, la alfalfa es el principal cultivo forrajero con una superficie cultivada de 27 480 ha en los cinco años recientes y una producción total de 402 806 t; el rendimiento promedio en la región es de 14.57 t ha<sup>-1</sup>. El 75% de la producción, aproximadamente 302 104.5 t, se usa para alimentar a 50 000 vacas lecheras y 15 000 bovinos para carne; el remanente de la producción se emplea para elaborar alimentos balanceados (SFA, 2007). La producción de alfalfa ocurre durante todo el año debido a las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua de riego. Habitualmente la alfalfa se proporciona a los animales en forma de heno, sin embargo, no se ha cuantificado experimentalmente la variación en el valor nutritivo de este forraje que pueda presentarse a lo largo de un año o un ciclo productivo. Por estas razones, se considera importante evaluar las características nutricionales y digestibilidad del heno de alfalfa producida en el Valle de Mexicali en dos épocas del año, verano e invierno.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Para entender la importancia de evaluar las características digestivas del heno de alfalfa, es importante visualizar el impacto económico y social que este forraje tiene en la región. En el valle de Mexicali se cultivan poco más de 28 000 ha de alfalfa cada año (SFA, 2007) y la mayor parte de este forraje es henificado, para facilitar su manejo comercial y productivo. Varios factores, como la variación del tipo de suelo, estado fenológico de la planta, factores ambientales, invasión de malezas y plagas, riego, fertilización, manejo agronómico y, principalmente, las variaciones en la temperatura ambiental, permiten inferir que la calidad y cantidad en la producción de alfalfa pueden variar significativamente en esta región.

La actividad ganadera en el valle de Mexicali se concentra en la engorda de bovinos en corrales y, en menor número, en la ganadería especializada en la producción de leche. Esta última se caracteriza por usar alfalfa como la fuente principal de alimento para el ganado. En los municipios Tecate, Tijuana y Ensenada, se encuentran los principales establos lecheros, con mayor especialización y alta tecnología, y con una producción anual superior a 130 millones L de leche, lo que corresponde a 85% de la producción total en el Estado de Baja California. En consecuencia, los establos lecheros de esa zona tienen una muy fuerte demanda por el forraje (alfalfa), producido en el valle de Mexicali o importado del Valle Imperial, en California, Estados Unidos (SFA, 2007).

En la literatura revisada se encontraron pocos estudios acerca de los cambios en el valor nutricional del forraje, en particular alfalfa, producida en diversos ciclos de producción en las condiciones del valle de Mexicali. El conocimiento de estos valores es esencial para que los ganaderos puedan integrar de manera eficiente el forraje en las dietas formuladas para satisfacer los requerimientos nutricionales de los bovinos. El desconocimiento de las características nutricionales del heno de alfalfa limita la eficiencia productiva, debido a una cantidad no óptima de ingredientes en las dietas. Esto significa una sobre o sub-alimentación de los animales al momento de usarla en las dietas, lo cual causa aumentos en los costos y reduce la eficiencia productiva, además de una mayor incidencia de trastornos fisiológicos en los bovinos.

En consecuencia, es necesario evaluar el valor nutricional de la alfalfa y validar la información correspondiente, para proporcionar información precisa y oportuna a los ganaderos, quienes podrán utilizarla para una mejor planeación del manejo alimenticio de sus explotaciones. Finalmente la determinación de variables de digestión *in vivo* en bovinos alimentados con alfalfa permitirá determinar algunas de las características nutricionales más importantes de este forraje.

### **3. OBJETIVO**

Evaluar en novillos Holstein las características de digestión ruminal y el flujo de nutrientes a duodeno e íleon del heno de alfalfa (*Medicago sativa*), producido en el Valle de Mexicali, durante dos épocas de corte.

### **4. HIPÓTESIS**

Las características de la digestión en rumen y flujo de nutrientes a intestino del heno de alfalfa (*Medicago sativa*), son distintos dependiendo de la época de corte.

## **5. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **5.1. Características de la alfalfa**

La alfalfa (*Medicago sativa*) es una leguminosa perenne, sus flores varían del color púrpura al amarillo dentro de racimos que se originan en las axilas de las hojas, en la cual se alojan las vainas que contienen 2 a 6 semillas. Los tallos de la alfalfa son erguidos y crecen 60 a 90 cm de altura y el rebrote de la planta ocurre desde la corona. La raíz es pivotante y puede estar a una gran profundidad (2 y 5 m), esta característica determina la capacidad de la planta para absorber agua a grandes profundidades. Las hojas trifoliadas se alternan en el tallo y la superficie de los folíolos aumenta conforme se acercan al ápice (USDA, 2002; Del Pozo, 1983; Hanson, 1973). Puede asimilar el nitrógeno libre atmosférico gracias a la simbiosis con ciertas bacterias radiculares (*Rhizobium*) que se encargan de transformarlo y ponerlo a disposición de la planta (Del Pozo, 1983).

### **5.2. Utilización de la alfalfa en la nutrición animal**

La alfalfa es un excelente alimento para bovinos y su utilización varía entre las diferentes especies pecuarias. Se pueden ofrecer al ganado en pastoreo, ensilado, henificado, deshidratado, o procesada en formas de gránulos (pellets) para elaborar suplementos (Holmes y Wilson, 1989). En la alimentación de aves y otros animales de granja se emplea en forma deshidratada para una mejor y fácil inclusión en dietas (USDA, 2002).

La alfalfa es uno de los principales forrajes usados para la alimentación de vacas lecheras y algunas veces alcanza el 100% de inclusión en la dieta; además para rumiantes estabulados se enriquece con suplementos alimenticios altos en proteína y energía (Church, 1993). En el Estado de Baja California, la alfalfa se emplea como alimento principal para vacas lecheras, lo cual permite mantener una producción promedio mensual de leche ligeramente superior a 8 millones L (SFA, 2007).

En sistemas de pastoreo la alfalfa se ha usado en asociaciones con gramíneas para bovinos y ovinos, y se ha encontrado una buena respuesta al emplear dos o más especies para obtener mejores rendimientos (Mendiola *et al.*, 2007). En estudios con heno de alfalfa se ha demostrado que su calidad depende del estado fenológico al cortar el forraje. Cozzi *et al.* (2005) evaluaron dietas basadas en heno de alfalfa con diferentes estados de madurez, al inicio y al final de floración, usadas para la alimentación de vacas lecheras; este trabajo demostró que el contenido de proteína cruda (PC) disminuyó en 5% y la fibra detergente neutro (FDN) aumentó 11% en el heno con floración total, mientras que la madurez de la planta no afectó el consumo, ni las variables de degradabilidad medida *in situ*. En otro experimento, Lagasse *et al.* (1990) encontraron una alta correlación entre la calidad del forraje consumido y el consumo, el heno de alfalfa tuvo una menor cantidad de FDN en comparación con pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) y ovillo (*Dactylis glomerata L.*), el consumo de forraje aumentó de 12 a 17% al sustituir 15 a 30% del Bermuda con heno de alfalfa, pero no hubo diferencia significativa al sustituir con pasto ovillo.

### **5.3. Características del heno de alfalfa**

El henificado es una opción de conservación de forrajes para regiones con elevada radiación, poca precipitación y altas temperaturas. Al final del proceso de henificado se obtiene un forraje con 8 a 15% de humedad; sin embargo, implica cambios físicos y químicos que producen alteraciones en la digestibilidad del forraje debido al manejo y almacenado del heno (Holmes y Wilson, 1989). Durante la cosecha, manipulación, transporte y almacenamiento, ocurren cambios en su composición y valor nutricional; por ende, las pérdidas de nutrientes suelen ser elevadas dependiendo de las condiciones climáticas. La pérdida principal se debe a la respiración de las plantas, proceso que continúa después que éstas han sido cortadas. Las hojas de leguminosas, como la alfalfa, se secan más rápido debido a que su relación superficie:volumen es mayor que en tallos. Esto se debe a que una capa de cutina cerosa en la superficie de los tallos actúa como una barrera natural para la humedad y reduce su tasa de secado (Rotz *et al*, 1989). Además, el proceso de henificado ocasiona pérdidas de hojas y por tal una proporción variable en la relación hoja:tallo, respecto a la planta original (Ferret, 2003).

La alfalfa se utiliza con otros ingredientes en dietas para rumiantes. Una característica importante relacionada con su valor nutritivo es su contenido de proteína degradable en rumen y proteína de escape a la acción ruminal, por tanto se combina con forrajes de menor contenido de proteína para balancear el contenido de nutrientes en la dieta; además, con un suplemento y heno de alfalfa se puede incrementar la cantidad de proteína microbiana que llega al

intestino delgado. Estos son efectos positivos de interacciones entre los ingredientes de algunas dietas (Merchen y Satter, 1983)

#### **5.4. Digestibilidad del heno de alfalfa**

La digestibilidad del heno de alfalfa puede ser afectada por diversos factores entre los que destaca una elevada temperatura durante el proceso y almacenado del heno. También se ha observado que el aumento en la temperatura ambiental provoca lignificación de la planta y, como consecuencia, disminuye su digestibilidad (Ferret, 2003).

El incremento de la temperatura ambiental aumenta la actividad metabólica en la planta, provocando una disminución de la concentración de metabolitos en contenido celular; entonces, los productos de la fotosíntesis son convertidos en componentes estructurales. Esto significa una disminución de nitrato, proteínas y carbohidratos solubles y un aumento en los componentes de las paredes celulares; también la actividad enzimática para la biosíntesis de lignina aumenta con el incremento de la temperatura. La pérdida de digestibilidad por temperatura ambiental en las hojas es mínima, porque no desempeñan funciones estructurales (Van Soest, 1982).

Estudios con rumiantes alimentados con heno de alfalfa muestran características positivas del forraje. Trater *et al.* (2001), en un experimento con 20 novillos Holstein alimentados con cascarilla de soya y alfalfa, encontraron que la soya presentaba mayor digestibilidad (67.5%) comparado con la alfalfa (56.2%); sin embargo, cuando adicionaron 30% de alfalfa a la soya, no mejoró la

digestibilidad ni la tasa de pasaje. Varel y Kreikemeier (1999) encontraron resultados similares en la digestibilidad de alfalfa.

El proceso de almacenamiento del heno de alfalfa también tiene un efecto sobre la calidad del mismo. En heno de alfalfa almacenado a la intemperie, o bajo techo de lamina, o bajo lona, o tratado 72 h a 50 °C, o en un cuarto a 25.5 °C, aumento la digestibilidad de la materia seca (MS) de 87.6 a 93.2% y disminuyó la de fibra detergente ácida (FDA) de 24.3% a 21.16%; los henos almacenados a la intemperie o bajo techo mostraron un mayor flujo a duodeno, en este último se redujo la digestibilidad total, probablemente debido al almacenaje (López, 2003)

Estudios en alimentación de bovinos con alfalfa muestran variaciones en su valor nutritivo dependiendo de su etapa fenológica de corte. Por ejemplo, en bovinos en praderas de gramíneas, un suplemento con heno de alfalfa de alta calidad (inicio de floración) y de baja calidad (fin de floración), aumentó el consumo de MS en 18 y 30% así como la digestibilidad en 56 y 54% (Weder *et al.*, 1999). Aunque, por otro lado, se han encontrado respuestas poco concluyentes, este es el caso de Flores *et al.* (2006) quienes alimentaron becerros con heno de alfalfa de distinta calidad desde los 7d de nacidos: regular (33% FDN, 25 % FDA), media (38% FDN, 30 % FDA) y mala (45% FDN, 34 % FDA); más enzimas fibrolíticas, un iniciador y leche en polvo. No hubo cambios en digestibilidad de MS, PC y FDN respecto al contenido de fibra en la alfalfa, ni efecto de los niveles de FDN y FDA ni de las enzimas fibrolíticas en la concentración de ácidos grasos volátiles en el rumen, pero este resultado

podiera estar enmascarado debido a que el consumo de forraje a esta edad fuera mínimo en relación al iniciador y a la leche en polvo.

### **5.5. Importancia de la evaluación de alimentos**

El valor potencial de los alimentos para aportar nutrientes para la reproducción, crecimiento y lactancia normal o el mantenimiento de procesos vitales puede evaluarse mediante el análisis químico (Church, *et al.*, 2004; Maynard *et al.*, 1981; Mc Donald *et al.*, 1993). En la evaluación de alimentos, es importante la determinación de entidades químicas específicas y de las características físicas; además, el objetivo práctico es tener los conocimientos para optimizar la eficiencia del alimento por el animal (France *et al.* 2000). Los principales nutrientes que se miden son: agua, MS, energía, carbohidratos, FDN y FDA, grasas, proteína (nitrógeno, aminoácidos), minerales. La forma en la que cada una de las fracciones es afectada por diversos factores se explica a continuación.

### **5.6. Materia seca**

La materia seca de un alimento es la cantidad total de sólidos menos la cantidad de humedad (agua) en el alimento. Esta fracción se mide para tener una base comparativa homogénea entre los ingredientes de una dieta, ya sean granos o forrajes; en estos últimos el contenido de agua entre plantas es muy variable (Church, *et al.*, 2004; Mc Donald *et al.*, 1993). El contenido de MS aumenta con la edad de la planta debido a la mayor proporción de componentes estructurales y una disminución paulatina de agua (Van Soest, 1982).

### **5.7. Materia orgánica**

El contenido total de materia de un alimento se divide en materia orgánica (MO) e inorgánica. Compuestos que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno son clasificados como orgánicos; los compuestos inorgánicos o minerales son el calcio, fósforo, cobre, etc. Cuando una muestra de alimento se coloca en un horno a 55 °C por 24 h la materia orgánica se quema y la materia restante es la parte mineral, llamada ceniza. La materia orgánica como componente es la diferencia entre el valor de la MS menos el valor de cenizas. (Church, *et al.*, 2004; Mc Donald *et al.*, 1993).

Según Lukas *et al.* (2005), la importancia de calcular la cantidad de MO se debe a una relación positiva entre la concentración de proteína excretada y la digestibilidad de la MO en bovinos, dado que una baja digestibilidad de proteína microbiana causa una disminución de la digestibilidad de MO. Además, la calidad de la dieta, particularmente el valor de la energía, es caracterizada por la digestibilidad de la MO (France *et al.*, 2000; Lukas *et al.*, 2005)

### **5.8. Pared celular de las plantas**

En las plantas su composición se afecta considerablemente por la etapa de crecimiento y la especie; generalmente su composición relativa de proteína es de moderada a baja y la de fibra de moderada a alta (Church *et al.*, 2004). Entre 35 y 80% de la materia orgánica de los tejidos vegetales está contenida en la pared celular, la cual proporciona la rigidez estructural y protección necesaria a las plantas; sin embargo, los rumiantes sólo pueden obtener 30 a 40% de la energía digestible consumida de la pared celular del forraje (Jung y Allen, 1995). Dependiendo del tipo de tejido y de la madurez fisiológica de la planta, ésta empieza a producir una pared secundaria con una notable composición de

constituyentes aromáticos (como lignina), afectando la digestibilidad (Himmelsbach, 1993). El contenido de las paredes celulares es una de las fuentes más importantes de nutrientes para los rumiantes, por lo que es importante conocer algunas características que limitan su digestibilidad en el animal.

#### **5.8.1. Fibra detergente neutro**

La FDN representa un residuo que se obtiene tras un lavado del ingrediente con una solución detergente neutro, generalmente lauril sulfato de sodio. Debido a dicho tratamiento el contenido celular de la planta se disuelve y al residuo se le denomina FDN, que representa la celulosa, hemicelulosa, y lignina (Church *et al.*, 2004).

Al comparar una gramínea y una leguminosa en igualdad de estadio vegetativo, se observó que la gramínea se digiere más lentamente que la leguminosa pero la degradación total resulta mayor en una gramínea; esto se puede explicar porque la gramínea es más rica en hemicelulosa y la leguminosa posee una mayor cantidad de lignina (Van Soest, 1982). Según Fahey y Berger (1988) una alta concentración de FDN se asocia con un menor consumo de alimento, debido a que la calidad del forraje disminuye conforme la FDN aumenta (Leonardi y Armentano 2003).

#### **5.8.2. Fibra detergente ácida**

La FDA es el término que nombra al residuo de fibra detergente neutro sometido a un lavado con detergente ácido, ácido sulfurico y bromuro de

acetiltrimetil amonio. En este proceso se extrae al componente hemicelulosa y de esta manera la FDA sólo queda constituida con celulosa y lignina (Church, *et al.*, 2004). La FDA tiene una correlación directa con la lignificación y por tanto con la digestibilidad del forraje; de esta manera, una alta concentración de FDA en forrajes se asocia con una baja digestibilidad ruminal (Fahey y Berger, 1988).

A continuación se describen los principales componentes de FDN y FDA.

### **5.8.3. Celulosa**

La celulosa es un componente importante de los vegetales, el mayor polisacárido en plantas leñosas y el más abundante polímero en la biosfera; está presente combinada con lignina que es una mezcla de polímeros de ácido fenólico no aprovechables biológicamente (Church, *et al.*, 2004). La celulosa tiene una estructura lineal no ramificada, está formada por unas 10,000 o 15,000 unidades de D-glucosa, pero los azúcares están unidos por enlaces  $\beta$  (1-4); se llegan a formar cadenas con más de 14,000 residuos (Mathews y Van Holde, 1996; Lehninger, 1994; Özköse *et al.*, 2001).

La celulosa puede existir como una cadena totalmente extendida, con cada residuo de glucosa a  $180^\circ$  con respecto al siguiente. En esta forma extendida las cadenas pueden formar cintas que se condensan lado a lado mediante enlaces de hidrogeno; este tipo de arreglo es característico de los enlaces  $\beta$  y dan a la celulosa una gran fuerza mecánica, pero una extensibilidad limitada (Mathews y Van Holde, 1996).

Los rumiantes pueden aprovechar la celulosa, debido a su población microbiana. *Ruminococcus albus*, *Fibrobacter succinogenes* y *Ruminococcus flavefaciens*, son las principales bacterias célulolíticas y son sensibles a pH

bajos. Actúan desarrollando una cápsula llamada glicocalix cuya función es identificar el sustrato y adherir las bacterias con las partículas del alimento. Las bacterias agregan un grupo hidroximetil al carbono 6 formando un compuesto más soluble e hidrolizable, metilcelulosa. Estos monómeros son fermentados produciendo AGV que el animal puede utilizar como moléculas de energía (Cheg *et al.*, 1980; McAllister *et al.*, 1994; Maynard *et al.*, 1981). La disponibilidad real de la celulosa varía desde su indigestibilidad, hasta su completa digestibilidad, dependiendo del grado de lignificación, silicificación y cutinización, entre otros factores (Van Soest, 1982).

#### **5.8.4. Hemicelulosa**

Es un polisacárido de la pared celular, soluble en álcalis y que está estrechamente relacionado con la celulosa. Estructuralmente las hemicelulosas están compuestas por moléculas de D- glucosa, D- galactosa, D- manosa, D- xilosa y L- arabinosa, en distintas combinaciones, y con diversos enlaces glucosídicos; también pueden contener ácidos urónicos. Las hemicelulosas de las gramíneas contienen una cadena principal de xilana, constituida por moléculas de xilosa con enlaces  $\beta$  (1-4), con cadenas laterales que incluyen ácido metilglucurónico y, frecuentemente, glucosa, galactosa y arabinosa (Mc Donald *et al.*, 1993).

La hemicelulosa es el principal componente de las paredes celulares, pero no el más abundante. Es menos resistente a la degradación química que la celulosa y las bacterias hemicelulolíticas son *Ruminococcus albus*, *Fibrobacter succinogenes* y *Ruminococcus flavefaciens*; sin embargo, la principal desventaja es su unión a lignina, polímero que evita la acción de microorganismos (McAllister *et al.*, 1994; Maynard *et al.*, 1981). La digestibilidad de hemicelulosa

está relacionada positivamente con la de celulosa y negativamente con lignina, debido a que se encuentra asociada con lignina mediante enlaces éster y posiblemente glicosídicos (Van Soest, 1982).

#### **5.8.5. Lignina**

La lignina no es un carbohidrato aunque está estrechamente relacionada con este grupo de compuestos, confiere resistencia química y biológica a la pared celular, y resistencia a las plantas. Es un polímero formado a partir de tres derivados de fenilpropano: alcohol coniferílico, alcohol sinapílico y alcohol cumarílico, agrupados en una compleja estructura entrecruzada. La incrustación física de las fibras vegetales de la lignina la hace inaccesible a enzimas que podrían digerirlas y liberar los aminoácidos fenilalanina y tirosina. La composición de la lignina y del ácido p-cumárico en la pared celular son los que probablemente afecten menos la digestibilidad (Mc Donald *et al.*, 1993; Mathews y Van Holde, 1996; Lehninger, 1994; Jung y Allen, 1995).

La lignina es el elemento más importante que limita la digestibilidad de la pared celular, debido a los puentes fenólicos formados entre lignina y los polisacáridos de la pared celular (Jung y Allen, 1995).

#### **5.8.6. Pectinas**

La pectina se encuentra en las paredes celulares primarias y en regiones intercelulares de las plantas superiores. Está formada por una cadena lineal de moléculas de ácido D-galacturónico, en la cual distintas proporciones de los grupos ácidos se encuentran como metil ésteres. Dentro de la cadena existe la inserción de moléculas de L-ramnosa y la ligadura de cadenas laterales de algunos azúcares como D-galactosa, D-arabinosa y D-xilosa. Las leguminosas

poseen una mayor concentración y debido a sus enlaces  $\alpha$  permiten una degradabilidad alta en rumen. A diferencia del almidón, la degradación de las pectinas no provoca una disminución del pH ruminal, porque las bacterias pectinolíticas son sensibles a pH ácidos (Mc Donald *et al.*, 1993; Lehninger, 1994).

## **5.9. Proteína**

Las proteínas son polímeros de aminoácidos y el estudio de su metabolismo se enfoca directamente a los aminoácidos, mismos que se disponen como un producto final de la hidrólisis de las proteínas (Maynard *et al*, 1981). Los aminoácidos son subunidades monoméricas relativamente sencillas, que proporcionan la clave de la estructura de miles de proteínas diferentes. Tanto si provienen de los linajes bacterianos más antiguos como de las formas más complejas de vida, están construidas a partir de un mismo grupo ubicuo de 20 aminoácidos, unidos de forma covalente en secuencias lineales características (Lehninger, 1994). Los aminoácidos son absorbidos y transportados a hígado, el cual se encarga de utilizarlos en una gran variedad de reacciones bioquímicas y de ahí a los distintos órganos en el animal (Maynard *et al*, 1981). El nivel de proteína de la planta varía con la edad, siendo sus concentraciones más altas en plantas jóvenes.

Debido a que el presente estudio se realizó en rumiantes, conviene entender el metabolismo de la proteína en rumen.

### **5.9.1. Degradación de la proteína en rumen**

La proteína proveniente del alimento llega a rumen y se degrada en cetoácidos y amoniaco, donde el amoniaco es la principal fuente de nitrógeno

(N) utilizado por las bacterias para su crecimiento; esto es importante debido al aporte de masa microbiana usada por el rumiante como fuente proteínica (Guada, 1993). La producción de proteína microbiana llega a suplir hasta 50% de la proteína necesaria por el animal (NRC, 1985). Los procesos de degradación de los componentes nitrogenados que llegan al rumen se deben a la acción de enzimas microbianas ruminales: la glutamina sintetasa (GS) y la glutamato deshidrogenasa (GDH), las cuales fijan el N del amoníaco. De esta manera el movimiento de nutrientes nitrogenados en el intestino delgado puede ser casi el doble del ingerido, lo cual significa un mayor efecto del metabolismo de dichos nutrientes en el rumiante. Entre 40 y 80% del N-urea sintetizada después en el hígado va al intestino por la vía sanguínea y en su mayor parte se ocupa como fuente de nitrógeno microbiano (Lapierre y Lobley 2001).

La proteína proveniente del forraje se utiliza para suministrar proteína degradable en rumen y proteína de escape a la acción enzimática de las bacterias y es aprovechada directamente en intestino (Broderick, 1995). Dentro de los forrajes con mejor contenido de proteína se encuentran las leguminosas y dentro de ellas, la alfalfa. Ahora es importante conocer la reacción de Maillard, debido a sus implicaciones sobre la digestibilidad de proteína.

#### **5.10. Reacción de Maillard**

Esta reacción es importante debido a los cambios en el sabor y la digestibilidad de un alimento, la exposición prolongada a elevadas temperaturas originan esta reacción; los carbohidratos susceptibles a la degradación térmica forman polímeros condensados con aminas y aminoácidos, lo que provoca la formación de una sustancia café la cual posee aproximadamente 11% de

nitrógeno y que es indigestible (Van Soest, 1982, Leonardi y Armentano 2003). La importancia de esta reacción es su parecido en las propiedades físicas de la lignina que la hacen indigestible. Los aminoácidos que intervienen son particularmente lisina, metionina y probablemente algunos aminoácidos aromáticos; que finalmente afectan la fermentación ruminal (Maynard *et al*, 1981; Lehninger, 1994; Van Soest, 1982, Leonardi y Armentano 2003).

### **5.11. Método *in vivo* para medir la digestibilidad**

Además de la composición química, se han desarrollado varios métodos para caracterizar los alimentos de acuerdo a su digestibilidad. Estos comprenden métodos *in vivo*, *in situ* e *in vitro* (Van Soest, 1982; Mc Donald *et al.*, 1993;). Las mediciones *in vivo* proporcionan valores de digestibilidad que representan la respuesta normal del animal respecto a la dieta. Este método varía desde la recolección de heces y orina hasta la fistulación de animales colocando cánulas en distintas partes del tubo digestivo (Robinson y Kennely, 1990). En este último se incluye el uso de indicadores de flujo digestivo, como el óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), que no se absorbe en el tubo digestivo (es indigestible). La opción de utilizar un indicador elimina la necesidad de una recolección total y es suficiente con un muestreo al azar en heces para determinar consumo, flujo y digestibilidad entre otros (González, 2006). Sin embargo, la aplicación de indicadores es discutible por su efectividad en el momento de medir diversas variables (flujo, digestibilidad, consumo), debido a su variación en la determinación de cada uno (Robinson y Kennely, 1990).

Según Harmon y Richards (1997), el primer paso y el más crítico, es la elección de los animales a fistular; éstos deben mostrar un temperamento dócil,

para que se pueda hacer la cantidad de muestreos necesarios durante el experimento. También mencionan como factor importante la recuperación de los animales después de la cirugía, los cuales deben permanecer en un lugar que limite el contacto con otros animales y las paredes del mismo deben ser sólidas para evitar daños en las áreas fistuladas.

La colocación de cánulas en las diferentes partes del tubo digestivo tienen su particularidad; por ejemplo para diferenciar la digestión ruminal de la postruminal deben ser colocadas en duodeno, debido a que reducen los problemas de las cánulas omasales o abomasales, además de incrementar la vida útil de éstas. La colocación de cánulas en íleon produce complicaciones postoperatorias, posiblemente por la motilidad del leon y ciego. La rigidez o flexibilidad de las cánulas afectan directamente su estabilidad, siendo las cánulas flexibles las que muestran mayor permanencia (Harmon y Richards, 1997). Sin embargo, al realizar el experimento puede también haber errores no esperados; por ejemplo, Ouellet *et al.* (2002) tuvieron que eliminar el primer periodo de muestreo debido a un bloqueo de la cánula íleal al día 23 del experimento, lo que origino pérdida de datos y por ende la pérdida de tiempo y dinero.

## **6. MATERIALES Y METÓDOS**

### **6.1. Localización**

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) de la Universidad Autónoma de Baja California, ubicado en el ejido Nuevo León, en Mexicali, Baja California Norte a 32° 24' de latitud norte y 115° 08' de longitud oeste. La característica de este sitio es su clima extremoso, con veranos prolongados y cálidos, mientras que los inviernos son cortos y fríos. La temperatura máxima es 50 °C y la mínima -1.5 °C con una media anual de 23.4 °C. Los meses más calurosos son julio, agosto y septiembre con temperaturas medias de 32 °C. El promedio de precipitación anual es 58.8 mm distribuido principalmente en diciembre y enero, aunque agosto es el mes más lluvioso con 11.5 mm (Ceballos, 1976; García, 1987).

### **6.2. Animales**

Se utilizaron cuatro becerros Holstein con peso vivo promedio de 240 kg. ( $\pm$  30 kg), canulados en rumen, duodeno e íleon. En cada novillo se colocaron cánulas tipo T en duodeno e íleon.

### **6.3. Instalaciones**

Se utilizó la unidad metabólica para rumiantes, en el ICA, donde los becerros se alojaron en corrales individuales (1.5 X 3 m), equipados con comederos, bebederos de bote y piso de cemento.

La limpieza de los corrales se realizó todos los días (08:00 h), recolectando las heces, lavando el piso y los becerros, dando especial importancia en áreas próximas a cánulas.

#### **6.4. Metodología**

En los cuatro becerros Holstein se colocaron cánulas tipo T en duodeno proximal (5 cm del esfínter pilórico) e íleon (8-10 cm de la válvula íleo-cecal) y cánula ruminal. La cirugía se realizó después de un periodo de ayuno (24 h) sin agua, ni alimento, siguiendo procedimientos humanitarios aprobados por el ICA y la Universidad Autónoma de Baja California. Los becerros tuvieron un periodo de recuperación de 15 d, durante los cuales el alimento fue una dieta exclusivamente con paja de avena. Se determinó el consumo diario de alimento de cada becerro y después se inició el experimento. Una vez que los becerros se recuperaron completamente de la cirugía, se pesaron un día antes de empezar el experimento.

La dieta de los becerros consistió exclusivamente de heno de alfalfa picada. Se evaluaron dos periodos experimentales de 15 d: 9 d para adaptación y 6 d para recolección de muestras de contenido intestinal, ruminal y heces. El forraje se ofreció, picado con una criba (1.5 pulgadas), a las 07:00 y 19:00 h (durante sólo 1 h) en cantidad igual a la consumida por el becerro con el consumo más bajo, al inicio de cada periodo, para obtener un consumo similar en todos los animales.

Los becerros fueron sujetos en el momento de realizar la extracción de muestras en rumen (200 mL), duodeno (500 mL), íleon (500 mL) y heces (200 g); después de cada muestreo se lavó el área cercana a la cánula. La recolección de muestras se realizó en el siguiente horario: heces d1 07:30, 10:30, 13:30 y 16:30; íleon d1 07:30 y 13:30, d2 9:30 y 15 :30, d3 11:30 y 17:30; duodeno d4 07:30 y 13:30, d5 09:30 y 15 :30, d6 11:30 y 17:30; rumen d6

12:00. La colección de muestras siguió el siguiente orden: ano, íleon, duodeno y rumen, para evitar interferencias en los flujos anteriores. En cada horario de recolección de contenido duodenal e íleal, las muestras fueron conservadas temporalmente en refrigeración (4 °C) hasta completar el muestreo en todos los becerros, después de lo cual las muestras se congelaron (-20 °C).

Las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado (55 °C), procesadas en un molino tipo Willey con una criba de 1 mm y conservadas hasta hacer los análisis de laboratorio respectivos.

### **6.5. Análisis de muestras**

Las muestras de forraje, contenido intestinal y heces se analizaron en el laboratorio de nutrición animal del Instituto de Ciencias Agrícolas para determinar: materia seca (MS)(105 °C), cenizas (combustión a 600 °C), materia orgánica (MO), proteína cruda (Kjeldhal), N amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) (AOAC, 1990); fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991). En el laboratorio de nutrición del Colegio de Postgraduados se realizaron los análisis de purinas (Zinn y Owens, 1986) y ácidos grasos volátiles (AGV). Las muestras de líquido ruminal se conservaron en congelación a -20 °C hasta su análisis; el contenido de AGV de las muestras se determinó por cromatografía de gases (Erwin *et al.*, 1961).

### **6.6. Medición de variables**

Para determinar la digestibilidad *in vivo* mediante recolección parcial de contenido duodenal, íleal y heces, se utilizó un indicador externo: óxido crómico (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) al 0.4% (Fenton y Fenton 1979), mezclado con el heno en cada ofrecimiento.

La digestibilidad se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad (\%)} = \frac{\text{Nutriente consumido(g)} - \text{Flujo de nutriente (g)}}{\text{Nutriente consumido(g)}} \times 100$$

El flujo de nutrientes se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Flujo de nutriente g/d} = \frac{\text{Nutriente consumido en base seca (g d}^{-1}\text{)}}{\text{Indicador (\%) en contenido intestinal o heces}} \times \frac{\text{Indicador (\%) en alimento}}{\text{Indicador (\%) en contenido intestinal o heces}}$$

(Bondi, 1987)

### 6.7. Análisis estadístico

El experimento se desarrolló de acuerdo a un diseño reversible simple (cross over), donde las fuentes de variación fueron: 1) efecto de tratamiento; 2) efecto de periodo; 3) efecto de animal; 4) error experimental. Se evaluaron dos tratamientos (época de corte): heno de verano (T1); heno de invierno (T2). Se hizo un análisis de varianza de los datos usando el procedimiento SAS 2000, y las medias de los tratamientos se compararon usando la prueba de Tukey ( $P \leq 0.10$ )

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + A_k + E_{ijk}$$

donde:

$Y_{ijkl}$  = variable respuesta

$\mu$  = media general

$T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$P_j$  = efecto del  $j$ -ésimo periodo

$A_k$  = efecto del  $k$ -ésimo animal

$E_{ijkl}$  = error experimental

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1. Composición y consumo del heno de alfalfa

La composición y consumo de nutrientes en base seca del heno de alfalfa se muestra en el Cuadro 1. El heno de alfalfa se analizó químicamente para medir MS, FDN, FDA, PC; la MO se calculó como la diferencia de MS con cenizas.

Cuadro 1. Consumo y composición de los nutrientes del heno de alfalfa picada, Según época del año, consumidos por becerros Holstein en el valle de Mexicali.

Variable	Heno de verano (T1)		Heno de invierno (T2)	
	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 1	Periodo 2
Composición de nutrientes (%)				
MS	92.55		90.22	
Cenizas	5.92		8.01	
MO	86.63		82.21	
FDN	32.58		27.08	
FDA	24.30		17.81	
NN	16.68		17.82	
Consumo de nutrientes (g d <sup>-1</sup> )				
Ofrecido g d <sup>-1</sup>	4200.00	4600.00	4200.00	4600.00
MS	3887.10	4257.30	3789.24	4150.12
MO	3638.46	3984.98	3452.82	3781.66
FDN	1368.36	1498.68	1137.36	1245.68
FDA	1020.60	1117.80	748.02	819.26
NN	700.56	767.28	748.44	819.72

MS=materia seca; MO=materia orgánica; FDN=fibra detergente neutro; FDA=fibra detergente ácida; NN=nutriente nitrogenado; T1=henos de verano; T2=henos de invierno.

Se midió el consumo de todos los animales tal como se ofreció, y al inicio de cada periodo se ajustó la cantidad igual al animal con menor consumo. Para el segundo periodo también se midió el consumo previo al periodo y se ajustó. La variación de cantidades fue causada por la diferente composición en cada heno.

## 7.2. Digestión de Materia Seca

Los resultados de la digestión de la MS en becerros alimentados con heno de alfalfa se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Digestión de materia seca (MS) en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa picada de dos épocas de corte en el valle de Mexicali.

Variable	Heno de alfalfa		EE	P =
	Verano	Invierno		
Flujo a duodeno, g d <sup>-1</sup>	1895.33 <sup>a</sup>	1539.73 <sup>b</sup>	42.82	0.028
Flujo a íleon, g d <sup>-1</sup>	1506.39 <sup>a</sup>	1327.28 <sup>b</sup>	32.36	0.059
Excreción, g d <sup>-1</sup>	1330.65 <sup>a</sup>	1017.57 <sup>b</sup>	47.36	0.043
Digestibilidad ruminal, %	53.33 <sup>a</sup>	61.27 <sup>b</sup>	1.04	0.033
Digestibilidad rumen-íleon, %	63.00 <sup>a</sup>	66.78 <sup>b</sup>	0.76	0.072
Digestibilidad total %	67.29 <sup>a</sup>	74.50 <sup>b</sup>	74.50	0.045

a, b=medias con diferente literal en una hilera son diferentes (P≤0.10).  
EE=error estándar.

El consumo de materia seca no fue diferente entre tratamientos, aunque la composición fisicoquímica del forraje fue diversa al momento de ofrecerlo dado que el heno de verano (HAV) tiene 2.35 (%) más de MS, en comparación con el heno de invierno (HA<sub>I</sub>). Los valores de consumo fueron 3887.1 g en HAV y 3789.24 g en HA<sub>I</sub> durante el primer periodo y para el segundo fue de 4257.3 y 4150.12, lo cual se muestra en el cuadro 1. Esta respuesta en consumo de MS fue similar para las demás fracciones celulares.

El flujo de MS (g d<sup>-1</sup>) hacia duodeno de becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa fue diferente (P≤0.028) entre los henos provenientes de dos épocas de corte distintas (Cuadro 2): el HAV tuvo un flujo mayor que el HA<sub>I</sub> (1895.33 vs 1539.73 g), lo cual significa una diferencia de 18.8%. El flujo de MS a íleon fue diferente (P≤ 0.059) ya que el flujo de HAV fue mayor que el HA<sub>I</sub> (12

%), esto significa que el HAV estuvo menos tiempo en intestino delgado debido a una mayor velocidad de paso. La excreción de MS mostró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.043$ ): 1330.65 g para el HAV contra 1017.57 g del HAI, es decir, una diferencia de 23.57 %. Las diferencias estadísticas entre ambos henos fueron constantes en las distintas partes del tubo digestivo (19, 11 y 24 %), lo cual permite inferir que había una menor disponibilidad para ser absorbidos y, por tanto, aumentaba la excreción en becerros alimentados con HAV.

El mayor flujo de MS para HAV en duodeno, íleon y excreta, está relacionado con la digestibilidad del heno y, como se observa en el Cuadro 2, existe una relación inversa entre el flujo y la digestibilidad de la MS. Así el HAI posee una digestibilidad mayor y por tanto menor flujo de MS; además, una desaparición mayor para HAI, muestra una mayor actividad previa al intestino delgado, ocasionado por una mejor fermentación. De esta manera el flujo de nutrientes ocurre en menor cantidad en las partes posteriores del tubo digestivo. Diversos investigadores (Cecava *et al.* 1990, Petit y Flipot 1990, Aldrich *et al.* 1993, Holden *et al.* 1994, Cervantes-Ramírez *et al.* 2000) observaron que el flujo de nutrientes fue menor cuando la calidad del forraje era mejor. Entonces, el flujo de MS se incrementa con la madurez del forraje debido a los cambios fisicoquímicos que originan una menor digestibilidad y, por tanto se reduce la absorción y el tiempo de retención en el tubo digestivo.

La digestibilidad ruminal mostró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.033$ ), dado que el HAV tuvo un 7% de menor digestibilidad respecto al HAI. La digestibilidad ruminal-ileal fue diferente ( $P \leq 0.072$ ) entre henos, ya que mostró una

digestibilidad 3.78% superior, respecto al HAV, por lo que la calidad del HAI es mejor. La digestibilidad total de MS en tubo digestivo total fue estadísticamente diferente ( $P < 0.045$ ) porque HAI tuvo una digestibilidad 7.31% mayor que la del HAV. Los valores reportados para digestibilidades por Aldrich *et al.* (1993), Holden *et al.* (1994), Danelon (2001), Doreau y Diawara (2002), Dorigo *et al.* (2005), Bani *et al.* (2007) muestran que la digestibilidad disminuye principalmente con la edad y características del forraje. En el presente experimento el HAV estuvo almacenado al menos siete meses en la intemperie, en comparación con el HAI que fue cortado dos meses antes del experimento y se almacenó bajo techo. En consecuencia las diferencias en digestibilidad se pueden atribuir al tiempo de almacenaje del HAV en el cual ocurrieron cambios fisicoquímicos que afectaron principalmente la digestibilidad.

La época durante la cual el HAV estuvo almacenado la temperatura ambiental fue mayor a 50 °C algunos días. Este factor debe haber originado cambios que redujeron el proceso de fermentación y de digestión del heno de alfalfa efectuado por los microorganismos ruminales.

### **7.3. Digestión de Materia Orgánica**

Los datos de digestión de la MO, de becerros alimentados con heno de alfalfa se muestran en el Cuadro 3. El flujo de MO a duodeno presentó diferencias estadísticas ( $P \leq 0.032$ ) de 359.30 g, lo que equivale a 24%, favoreciendo el flujo al HAV en comparación con el HAI. El flujo de MO a íleon mostró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.049$ ) ya que el HAV tuvo un flujo mayor (15%) que HAI. La excreción de MO en el HAV con 1110.94 g fue mayor en comparación con el HAI (750.41 g), una diferencia estadísticamente significativa

( $P \leq 0.029$ ), lo cual permite inferir que el HAV al ser menos digestible tiene una menor permanencia en tubo digestivo.

Cuadro 3. Digestión de materia orgánica (MO) en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa picada de dos épocas de corte en el valle de Mexicali.

Variable	Heno de alfalfa		EE	P =
	Verano	Invierno		
Flujo de MO a duodeno, $g d^{-1}$	1469.13 <sup>a</sup>	1109.83 <sup>b</sup>	46.85	0.032
Flujo de MO a íleon, $g d^{-1}$	1115.14 <sup>a</sup>	946.80 <sup>b</sup>	27.51	0.049
Excreción de MO, $g d^{-1}$	1110.94 <sup>a</sup>	750.41 <sup>b</sup>	44.69	0.029
Digestibilidad ruminal, %	61.35 <sup>a</sup>	71.00 <sup>b</sup>	1.23	0.031
Digestibilidad rumen-íleon, %	70.74 <sup>a</sup>	75.28 <sup>b</sup>	0.69	0.043
Digestibilidad total, %	70.82 <sup>a</sup>	79.36 <sup>b</sup>	1.14	0.034

a, b=medias con diferente literal en una hilera son diferentes ( $P \leq 0.10$ ).  
EE=error estándar.

Merchen y Satter (1983) encontraron que los borregos alimentados con heno donde el contenido de MO era mayor, mostraron un mayor flujo en la digesta. Adicionalmente, Aldrich *et al.* (1993), Holden *et al.* (1994), Cervantes-Ramírez *et al.* (2000) encontraron aumentos significativos del flujo de MO con el tiempo de corte. Así, la degradabilidad de la MO se reduce conforme los cortes son más tardíos, disminuyendo por tanto la digestibilidad.

La digestibilidad ruminal de la MO en el HAV fue menor ( $P \leq 0.031$ ) que el HAI en casi 10%, mientras que la digestibilidad rumen-íleon vuelve a ser mejor para HAI con al menos 5% de diferencia ( $P \leq 0.043$ ). La digestibilidad del tubo digestivo total en MO mostró diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.034$ ), con 79.36% para el HAI y 70.82% para el HAV.

Al respecto Cecava *et al.* (1990), Forster *et al.* (1993) y Trater *et al.* (2001) reportaron digestibilidades aparentes totales de MO con valores de 55%

a 75%, lo que coincide con las encontradas en el presente experimento donde la digestibilidad ruminal fue 61 y 71% para HAV y HAI, lo cual es característico de la alfalfa, cuya digestibilidad es alta. La digestibilidad total fue 70.82% (HAV) y 79.36% (HAI), valores que reflejan la calidad digestiva asociada a las distintas etapas previo y posterior a la cosecha del forraje.

#### 7.4. Digestión de Fibra

Los datos de digestión de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, de becerros alimentados con heno de alfalfa se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Digestión de fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa picada de dos épocas de corte en el valle de Mexicali.

Variable	Heno de alfalfa		EE	P =
	Verano	Invierno		
Flujo a duodeno, g d <sup>-1</sup>				
FDN	747.76 <sup>a</sup>	468.31 <sup>b</sup>	61.98	0.086
FDA	607.14 <sup>a</sup>	355.20 <sup>b</sup>	32.75	0.032
Flujo a íleon, g d <sup>-1</sup>				
FDN	665.31 <sup>a</sup>	511.64 <sup>b</sup>	23.62	0.044
FDA	600.43 <sup>a</sup>	399.13 <sup>b</sup>	28.145	0.037
Excreción, g d <sup>-1</sup>				
FDN	754.41 <sup>a</sup>	362.23 <sup>b</sup>	29.66	0.014
FDA	635.36 <sup>a</sup>	143.70 <sup>b</sup>	16.19	0.007
Digestibilidad en rumen, %				
FDN	47.48 <sup>a</sup>	60.79 <sup>b</sup>	4.36	0.074
FDA	42.83 <sup>a</sup>	54.79 <sup>b</sup>	4.17	0.089
Digestibilidad rumen-íleon, %				
FDN	53.41	57.38	1.71	0.242
FDA	43.72	49.38	2.92	0.304
Digestibilidad total, %				
FDN	47.21 <sup>a</sup>	66.63 <sup>b</sup>	1.97	0.020
FDA	40.59 <sup>a</sup>	54.13 <sup>b</sup>	1.39	0.021

a, b=medias con diferente literal en una hilera son diferentes (P≤0.10).  
EE=error estándar.

El flujo de FDN a duodeno fue diferente ( $P \leq 0.086$ ), con 747.76 g para HAV y 468.31 g para HAI; lo mismo ocurrió para el flujo de la FDA a duodeno el cual fue mayor en 259.94 g para HAV ( $P \leq 0.032$ ). El flujo de FDN en íleon de HAV con 665.31 g superó al HAI con 511.64 g, una diferencia de 153.67 g ( $P \leq 0.044$ ), mientras que el flujo de FDA a íleon fue mayor ( $P \leq 0.037$ ) para HAV con 600.43 g vs 399.13 g del HAI (33% más).

La excreción de FDN fue mayor ( $P \leq 0.014$ ) para el HAV respecto al HAI (754.41 g vs 400.44 g) y la excreción de FDA muestra también diferencias estadísticas ( $P \leq 0.007$ ), ya que los novillos alimentados con HAV excretaron 635.36 g y con HAI sólo 362.23 g, lo que equivale a 273 g de diferencia. Como se muestra en el Cuadro 4, el HAV contenía mayor cantidad de FDN y FDA al momento del ofrecimiento; para la fracción FDN esta diferencia fue  $242 \text{ g d}^{-1}$  y para FDA  $286 \text{ g d}^{-1}$ . El contenido inicial de fibra en el HAV se reflejó en la proporción de flujo en los distintos sitios del tubo digestivo resultando diferencias estadísticas entre el HAV y el HAI, lo cual se debe a la naturaleza del heno. El HAV mostró valores altos de fibra lo que se puede explicar por un corte más tardío o por el tiempo de almacenado y las altas temperaturas durante los meses en los cuales estuvo almacenado, todo lo cual provocó cambios irreversibles en estos compuestos. Al respecto, Aldrich *et al.* (1993) y Holden *et al.* (1994) coinciden en un aumento la concentración de FDN y FDA del heno a medida que se incrementa la edad para corte.

La digestibilidad de FDN en rumen fue diferente ( $P \leq 0.074$ ) con 53.41% para HAV y 57.38% el HAI; de manera similar, la digestibilidad de FDA en

rumen fue diferente ( $P \leq 0.089$ ), con 11% más para HAI. Esto se debe principalmente a que las características ya mencionadas del HAV causan diferencias en su digestión en rumen, respecto al HAI. La digestibilidad de FDN y FDA rumen-íleon no presentó diferencias estadísticas ( $P > 0.10$ ), lo cual parece relacionarse con el hecho de que el HAV es más digestible en abomaso y menos en rumen, pero lo contrario para HAI; por tanto, la digestibilidad en el segmento rumen-íleon es similar.

La digestibilidad total de FDN mostró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.020$ ), con una diferencia de 19% mayor para el HAI (66.63%) respecto al HAV (47.21%), mientras que para la digestibilidad de FDA hubo una diferencia porcentual cercana al 14% ( $P \leq 0.021$ ), favoreciendo al HAI. Cecava *et al.* (1990), Petit y Flipot (1990) y Cervantes-Ramírez *et al.* (2000) concuerdan que la digestibilidad de la fibra del forraje esta inversamente relacionada con la edad, y por tanto forrajes más jóvenes son digeridos en mayor porcentaje debido a que la estructura de sus paredes celulares permite mejores condiciones para el crecimiento microbiano.

Merchen y Satter (1983) observaron en un heno de alfalfa (87% de MS) que su contenido de FDN fue 50% y de FDA 40%. Al respecto, los henos utilizados en el presente experimento presentaron menor contenido de fibra, aunque el HAV tuvo un mayor porcentaje, lo cual se explica por el tiempo de almacenado que ocasiona una mayor formación de paredes celulares y una pérdida de contenido celular.

## 7.5. Digestión de nutrientes nitrogenados

La digestión de nutrientes nitrogenados (NN) en becerros alimentados con dos tipos de heno de alfalfa se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Digestión de nutrientes nitrogenados en becerros Holstein alimentados con heno de alfalfa picada de dos épocas de corte en el valle de Mexicali.

Variable	Heno de alfalfa		EE	P =
	Verano	Invierno		
Flujo a duodeno				
NN, g d <sup>-1</sup>	74.74 <sup>a</sup>	69.34 <sup>b</sup>	0.83	0.045
NM, g d <sup>-1</sup>	25.84	27.67	0.65	0.186
NH <sub>3</sub> , g d <sup>-1</sup>	15.98	13.38	0.67	0.113
N forraje, g d <sup>-1</sup>	32.91 <sup>a</sup>	28.29 <sup>b</sup>	0.52	0.025
NNM g d <sup>-1</sup>	48.89 <sup>a</sup>	41.67 <sup>b</sup>	0.18	0.001
NNM %	65.13 <sup>a</sup>	59.81 <sup>b</sup>	0.45	0.014
Flujo de NN a íleon, g d <sup>-1</sup>	27.35	29.20	0.80	0.245
Excreción de NN, g d <sup>-1</sup>	23.39	22.99	0.30	0.451
Digestibilidad en rumen de NN, %	31.26 <sup>a</sup>	38.89 <sup>b</sup>	1.00	0.033
Digestibilidad rumen-íleon NN, %	47.39 <sup>a</sup>	40.14 <sup>b</sup>	1.63	0.088
Digestibilidad total de NN, %	85.28 <sup>a</sup>	90.19 <sup>b</sup>	0.30	0.008

a, b=medias con diferente literal en una hilera son diferentes (P≤0.10).

NH<sub>3</sub>=nitrógeno amoniacal; NM=nitrógeno microbiano; NNM=nitrógeno no microbiano.

EE=error estándar

La cantidad total de nutrientes nitrogenados que llegan a duodeno presentó diferencias estadísticas significativas (P≤0.045) entre el HAV y el HAI (Cuadro 5). Este resultado concuerda con lo reportado por Merchen y Satter (1983) y Cecava *et al.* (1990), quienes encontraron que el flujo a duodeno cambió de acuerdo con la calidad del heno. Entonces, en el presente experimento los resultados del flujo a duodeno se explicarían por la diferencia del contenido inicial de NN en ambos henos.

El nitrógeno microbiano que llegó a duodeno (Cuadro 5) no muestra diferencias estadísticas significativas ( $P>0.10$ ). Este resultado no concuerda con los reportados por Timmermans *et al.* (1983) y Amos *et al.* (1984), quienes sí encontraron respuestas similares en becerros.

El nitrógeno amoniacal en duodeno no fue diferente ( $P>0.10$ ) entre el HAV y el HAI aunque el nitrógeno del forraje mostró diferencias estadísticas ( $P\leq 0.025$ ) ya que el HAV tuvo un contenido de 32.91 g contra 28.29 g del HAI. El nitrógeno no microbiano en duodeno (NNM) tuvo un mayor flujo con 48.89 g en HAV y 41.67 g en HAI, es decir, 6% de diferencia. Así el HAV tiene menor aporte de NM en duodeno y una cantidad mayor de N proveniente del forraje. Es probable que tal diferencia se deba a la formación de productos de Maillard, por las condiciones ya mencionadas de almacenamiento del heno, lo cual favorece una inhibición del ataque enzimático microbiano (Maynard *et al.*, 1981; Lehninger, 1994; Van Soest, 1982). En consecuencia la cantidad de N que fluye a intestino aumenta, aunque se debe considerar que también puede haber cambios irreversibles que al final originen el N no disponible para el animal.

El contenido de N amoniacal, el flujo de NN a íleon y la excreción de NN (Cuadro 5) no muestran diferencias estadísticas ( $P>0.10$ ); los datos anteriores significan que en el tubo digestivo la cantidad de NN permaneció constante. Cecava *et al.* (1990) reportaron que el flujo de NN en íleon tiene una relación directa con el flujo en duodeno y la excreción final, sin embargo en este experimento el flujo a duodeno sí fue diferente ( $P\leq 0.045$ ).

La digestibilidad de NN en rumen (Cuadro 5) fue diferente ( $P \leq 0.033$ ) con 31.26% el HAV y 38.89% el HAI, lo cual reafirma la hipótesis de que el HAV presentó cambios fisicoquímicos que inhibieron o evitaron la actividad enzimática microbiana. La digestibilidad en rumen-íleon mostró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.088$ ) entre el HAV y el HAI (7% más). Lo anterior se explicaría por un cambio en las características del HAV originadas a partir del almacenado, provocando baja digestibilidad en rumen; sin embargo, en el intestino delgado su valor aumentó, como consecuencia de los productos formados.

La digestibilidad de NN en el tubo digestivo total (Cuadro 5) fue diferente estadísticamente ( $P \leq 0.008$ ): 85.28% para el HAV y 90.17% en HAI. Esto muestra que el HAI tuvo un mejor comportamiento en rumen y a pesar de una menor digestibilidad en el intestino delgado, la respuesta en el rumen originó una mayor digestibilidad total del tubo digestivo en HAI.

Los valores de digestibilidad total de NN en el presente experimento no fueron similares a los reportados por Cecava *et al.* (1990), Petit y Flipot (1990), Hristov y Broderick (1996) quienes encontraron un intervalo entre 70 y 80%. El valor de 90% en el HAI resulta elevado comparado con los reportados por los autores anteriores; sin embargo, Erasmus *et al.* (1992), encontró una digestibilidad de 82%, que tiende a ser similar al del HAV del presente experimento. Estas variaciones en resultados podrían explicarse por limitaciones en el consumo del heno, debido al ajuste hecho para los novillos, lo cual causaría un mayor aprovechamiento. Otro factor pudo ser que en el presente

experimento el heno se ofreció sin ningún otro ingrediente. Esto sitúa al HAI con un mejor contenido de NN para el animal.

## 7.6. Ácidos grasos volátiles

Los datos de pH y ácidos grasos volátiles (AGV), en novillos Holstein alimentados con heno de alfalfa se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Valores de pH y ácidos grasos volátiles (AGV), en novillos Holstein alimentados con heno de alfalfa de dos épocas de corte en el valle de Mexicali

Variable	Heno de alfalfa		EE	P =
	Verano	Invierno		
pH	6.58 <sup>a</sup>	6.78 <sup>b</sup>	0.05	0.094
Ácidos grasos volátiles (m/mols)				
Acético	68.14	68.31	0.434	0.801
Propionico	20.07	19.75	0.428	0.650
Butírico	11.78	11.92	0.049	0.177
Acético:Propionico	3.40	3.483	0.085	0.585

a, b=medias con diferente literal en una hilera son diferentes ( $P \leq 0.10$ ).

pH=potencial de hidrogeno.

EE=error estándar.

Los valores de pH (Cuadro 6) fueron diferentes ( $P \leq 0.094$ ), 6.58 para HAV y 6.78 para el HAI, entonces, en novillos alimentados con HAI podría haber condiciones en rumen ligeramente mejores para la digestión de fibra y NN. Al respecto, Merchen y Setter (1983) indican que un forraje con mayor cantidad de cenizas presenta un mayor pH, debido a una mayor actividad amortiguadora; en el presente experimento el HAI tuvo 2% más de cenizas y su pH fue más alto. Además, Klita *et al.* (1996) y Danelon (2001) explican que en un forraje al aumentar la edad se incrementa el pH debido a diversos factores como la concentración de saponinas en el forraje; así, obtuvieron datos de que el pH pasaba de 6.2 a 6.3 cuando se daba un tiempo de deshidratación al forraje. Esto

es similar a los resultados del presente experimento, en el cual el HAV tuvo más tiempo de almacenado y presenta un pH mayor a HAI, de 6.58 a 6.78.

No existieron diferencias estadísticas ( $P > 0.10$ ) entre las concentraciones ruminales de acético, propionico y butírico a nivel de rumen entre el HAI y el HAV (Cuadro 6). Holden *et al.* (1994) encontraron que los AGV fueron más elevados cuando las vacas consumieron el forraje directo en pastoreo que cuando fue consumido en forma de heno o ensilado; la concentración de AGV en el heno de gramínea fue 73.2, 18.0, 6.4 y 4.06 mol 100 mol<sup>-1</sup> para acético, propionico, butírico y acético:propionico. Esto difiere con nuestros valores, 68 para acético, 20 para propionico y 11 para butírico (mol 100 mol<sup>-1</sup>), lo que finalmente ocasiono una relación menor de acético:propionico (3.4) (Cuadro 6),

## **8. CONCLUSIONES**

En las condiciones del presente experimento se encontraron diferencias en las características digestivas entre el heno de alfalfa de verano y el heno de alfalfa de invierno en la alimentación de novillos Holstein.

Los flujos de nutrientes del heno de alfalfa de verano fueron mayores que para el heno de invierno; sin embargo, las digestibilidades de los nutrientes fueron mayores en el heno de invierno. Por tanto hubo una relación inversa, donde el forraje con un mayor flujo poseía menor digestibilidad y viceversa.

El heno de verano puede ser utilizado en la época de carestía (invierno) a pesar del tiempo de almacenaje; sin embargo, sus características digestivas serían menos deseables en la alimentación de vacas lecheras altas productoras debido a los requerimientos de esos bovinos.

## 9. LITERATURA CITADA

- Amos, E.H., W.R. Windham and J.J. Evans. 1984. Nitrogen metabolism of steers fed suncured hay and drum dehydrated alfalfa and coastal bermuda grass. *J. Anim. Sci.*, 58 (4) 987-995
- Aldrich, J.M., L.D. Muller, and G. A. Varga, 1993. Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows. *J Dairy Sci* 76:1091-1105
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15<sup>th</sup> Ed. Association of official analytical chemist. Washington, D. C. 1298 p.
- Bani P, A. Minuti, A. Obonyo Luraschi, M. Ligabue and F. Ruoizzi 2007. Genetic and environmental influences on *in vitro* digestibility of alfalfa. *Ital. J. Anim. Sci.* 6 (1), 251-253.
- Bondi, A. A. 1987. Animal nutrition. Wiley-interscience Publication. New York. 540 pp.
- Broderick, G.A. 1995. Desirable characteristics of forage legumes for improving protein utilization in ruminant. *J. Anim. Sci.* 73:2760-2773
- Ceballos H., C. 1976. Municipio de Mexicali Baja California Norte. Centro de estudios políticos, económicos y sociales del estado de Baja California. 30 p.
- Cecava. M. J., N. R. Merchen, L. L. Berger and D.R. Nelson. 1990. Effect of energy level and feeding frequency on site of digestion and postruminal nutrient flows in Steers. *J. Dairy Sci.* 73: 2470-2479.
- Cervantes-Ramírez, M., E. Alvarez-Covarrubias, N. Torrentera-Olivera, G.D. Mendoza-Martínez, S. Espinoza-Santana, A. Velderrain-Figueroa y S.S.

- González-Muñoz. 2000. Época de corte y composición nutricional, sitio y grado de digestión de ballico anual (*lolium multiflorum*) en novillos. *Agrociencia* 34: 413-422.
- Cheng, K.J., J. P. Fay, R. E. Howarth, and J. W. Costerton. 1980. Sequence of events in the digestion of fresh legume leaves by rumen bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 40:613.
- Church, D.C. 1993. El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición. 1a edición. Acribia. Zaragoza, España. 641 p.
- Church, D. C., K. R. Pond, W. G. y Pond. 2004. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2ª Edición. Limusa. México, D.F. 635 p.
- Cozzi, G., M. Dorigo, F. Gottardo, P. Berzaghi and I. Andrighetto, 2005. Effects of alfalfa germplasm and stage of maturity on digestive process and productive response of dairy cows fed alfalfa hay-based diets. *Ital. J. Anim. Sci.* 4: 211-221.
- Danelon J.L., M.L. Locatelli, M. Gallardoc and S. Guaita. 2001. Herbage intake and ruminal digestion of alfalfa: a comparison between strip and zero grazed dairy cows. *Livestock Prod. Sci.* 74:79–91
- Del Pozo I. M. 1983. La Alfalfa. Su Cultivo y Aprovechamiento. 3 Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 380 p.
- Doreau M. and A. Diawara. 2002. Effect of level of intake on digestion in cows: influence of animal genotype and nature of hay. *Livestock Prod. Sci.* 81: 35–45
- Dorigo, M., F. Gottardo, P. Berzaghi, and G. Cozzi. 2005. Effect of plant maturity and germplasm on *in situ* rumen degradability and rate of passage of alfalfa hay. *Vet. Res. Communications*, 29(2): 363–365

- Erasmus L. J., P. M. Botha y A. Kistner. 1992. Effect of yeast culture supplement on production, rumen fermentation, and duodenal nitrogen flow in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75: 3056-3065
- Erwin, E. S., G. J. Marco, and E. Emery. 1961. Volatile fatty acids analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.* 44: 1768-1771.
- Fahey, G.C. y L.L. Berger. 1988. Carbohydrate nutrition in ruminants. In D.C. Church, ed., *The Ruminant Animal, Digestive Physiology and Nutrition*. Prentice Hall, N.J. pp : 269-297.
- Fenton, T.W. and M. Fenton. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and feces. *Can. J. Animal Sci.* 59:631-638.
- Ferret, A. 2003. Control de calidad de forrajes. Universidad autónoma de Barcelona. XIX curso de especialización FEDNA. Madrid 23 y 24 de Octubre. [http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/03CAP\\_VII.pdf](http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/03CAP_VII.pdf)  
(Consultado en junio de 2007)
- Flores, B. M. J., L. F. J. Ruiz, C. M. J. Guerrero y M. J. L. Romano. 2006. Respuesta productiva de becerros Holstein alimentados con alfalfa de diferente calidad y enzimas fibrolíticas en la etapa pre y pos destete. *Téc. Pecu. Méx.* 44(3):313-328
- Forster, L. A., A. L. Goetsch, D. L. Galloway, and Z. B. John. 1993. Feed intake, digestibility, and live weight gain by cattle consuming forage supplemented with rice bran and(or) corn. *J. Anim. Sci.* 71:3105-3114
- France, J., Theodorou M. K., Lowman, R.S. and Beever, D. E. 2000. Theodorou M., France (eds). *Feeding systems and feed evaluation models*. CAB International, England. pp: 1-10

- García, E. 1987. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta edición. Instituto de Geografía UNAM. México. 217 p.
- González, C. J. 2006. Aprovechamiento intestinal de la proteína de los alimentos en rumiantes. XXII curso de especialización. FEDNA. Barcelona, España. pp: 203-215
- Guada, J. A. 1993. Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de proteína y almidón. IX Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España.
- Hanson, C. H. 1973. Alfalfa Science and Technology. American Society of Agronomy. No. 15 in the series Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
- Harmon, D.L. and C.J. Richards 1997. Considerations for gastrointestinal cannulations in ruminants. J. Anim. Sci. 75:2248–2255
- Himmelsbach, D.S. 1993. Structure of Forage Cell Walls. Ed. Forage cell walls structure and digestibility. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. pp: 271-280
- Holden, L.A., L.D. Muller, G. A. Varga, and P.J. Hillard. 1994. Ruminant digestion and duodenal nutrient flows in dairy cows consuming grass as pasture, hay, or silage. J Dairy Sci 77:3034-3042
- Holmes C. W. y G. F. Wilson. 1989. Producción de Leche en Praderas. Ed. Acribia. Barcelona, España. pp: 446
- Hristov, A. N. and G.A. Broderick. 1996. Synthesis of microbial protein fed alfalfa silage, alfalfa hay, in ruminally cannulated cows or corn silage. J Dairy Sci 79:1627-1637
- Jung, H.G. and M. S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. J. Anim. Sci. 73:2774-2790.

- Klita P.T., G.W. Mathison, T. Fenton and R.T. Jardin. 1996. Effects of alfalfa root saponins on digestive function in sheep. *J. Anim. Sci.* 74:1144-1156
- Lapierre H. and G. E Lobley. 2001. Nitrogen recycling in the ruminant: a review. *J. Dairy Sci.* 84:E223-E236.
- Lagasse M. P., A.L Goetsch, K. M. Landis, and L. A. Forster. 1990. Effects of supplemental alfalfa hay on feed intake and digestion by Holstein steers or orchardgrass hay consuming high-quality bermudagrass. *J. Anim. Sci.* 68:2839-2847
- Lehninger, A. L. 1994. Bioquímica. Las bases fundamentales de la estructura y función celular. 2ª edición. Omega. Barcelona, España. pp: 1013
- Leonardi C. and L. E. Armentano. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:557–564
- López, G.M.I. 2003. Efecto de diferentes sistemas de almacenaje sobre la composición química del heno de alfalfa (*Medicago sativa*). Tesis. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California, México.
- Lukas M., K.-H. Südekum, G. Rave, K. Friedel, and A. Susenbeth. 2005. Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle. *J. Anim. Sci.* 83:1332–1344
- McAllister, Bae H. D., G. A. Jones, and K.J. Cheng. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *J. Anim. Sci.* 72:3004-3018
- Mathews, C. K., and K. E. Van Holde. 1996. Biochemistry. The Benjamin/Cummings Pub. USA. pp: 1159.

- Maynard, L. A., J.K. Loosli, H. F. Hintz y R.G. Warner. 1981. Nutrición Animal. 4<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill. Naucalpan, Estado de México. pp: 605.
- Mc Donald P., R. A Edwards, y J. F. D. Greenhgh. 1993. Nutrición Animal. 4<sup>a</sup> ed. Acribia. Zaragoza, España. 555 p.
- Mendiola-González, A., P.A. Martínez-Hernández, E. Cortés-Díaz y C. Sánchez-del Real 2007. Efecto del pastoreo mixto y monoespecífico en una pradera de alfalfa-ovillo. *Agrociencia* 41: 395-403.
- Merchen, N. R. and L. D. Satter. 1983. Digestion of nitrogen by lambs fed alfalfa conserved as baled hay or low moisture silage. *J. Anim. Sci.* 56: 943-951.
- NRC. 1985b. Ruminant nitrogen usage. National Academy Press, Washington, DC.
- Özköse E., M. S. Ekinici and N. Özcan. 2001. Physiological studies on the plant cell wall degrading enzymes of the rumen bacterium *Ruminococcus flavefaciens*. *Turk. J. Biol.* 25: 113-122.
- Ouellet, D.R., M. Demers, G. Zuur, G.E. Lobley, J.R. Seoane, J.V. Nolan,. and H. Lapierre. 2002. Effect of dietary fiber on endogenous nitrogen flows in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 3013-3025
- Petit, H.V. and P.M. Flipot 1990. Intake, duodenal flow, and ruminal characteristics of long or short chopped alfalfa-timothy silage with or without inoculant. *J Dairy Sci* 73:3165-3171
- Robinson, P.H. and Kennely, J. J.1990. Evaluation of a duodenal canula for dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 73:3146-3157.
- Rotz, C., D.R. Buckmaster, D.R. Mertens, and J.R. Black. 1989. Dafosim: A dairy forage system model for evaluating alternatives in forage conservation. *J. Dairy Sci.* 72:3050-3063.

- SAS .2000. SAS/STAT Guide for personal computer. Vers. 8. SAS Institute. Cary, NC, USA. 1028 p.
- SFA, 2007. Secretaria de fomento agropecuario. Baja California, México.
- Timmersman, S.J., L.M. Johnson, J. H Harrison. and D. Davison 2000. Estimation of the flow of microbial nitrogen to the duodenum using milk uric acid or allantoin. *J Dairy Sci* 83:1286–1299
- Trater, A. M., E. C. Titgemeyer, C. A. Löest, and B. D. Lambert. 2001. Effects of supplemental alfalfa hay on the digestion of soybean hull-based diets by cattle. *J. Anim. Sci.* 79:1346–1351
- USDA NRCS 2002. Plant Fact Sheet. Plant materials program The U.S. Department of Agriculture
- Van Soest, P. J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. 2a Ed. O&B Books, Inc. Oregon. USA. 374 p.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74 (10): 3583-3597
- Varel, V. H., and K. K. Kreikemeier. 1999. Low- and high-quality forage utilization by heifers and mature beef cows. *J. Anim. Sci.* 77:2774–2780.
- Weder C. E., T. DelCurto, T.Svejcar, J. R. Jaeger and R. K. Bailey. 1999. Influence of supplemental alfalfa quality on the intake, use, and subsequent performance of beef cattle consuming low-quality roughages. *J. Anim. Sci.* 77: 1266 - 1276
- Zinn, R. A. and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 66: 157-166.