

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**“ENSILADO DE SORGO EN SUSTITUCIÓN DE ALFALFA EN DIETAS PARA GANADO LECHERO”**

TESIS  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**PRESENTA:**

OSCAR MANUEL LÓPEZ BAZÁN

**DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. ENRIQUE GILBERTO ÁLVAREZ ALMORA

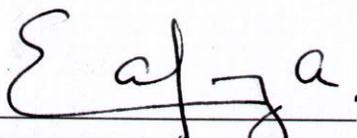
MEXICALI, B. C. MÉXICO

SEPTIEMBRE, 2017.

La presente tesis titulada "ENSILADO DE SORGO EN SUSTITUCIÓN DE ALFALFA EN DIETAS PARA GANADO LECHERO" realizada por el C. Oscar Manuel López Bazán, fue dirigida por el Dr. Enrique Gilberto Álvarez Almora, siendo aceptada, revisada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

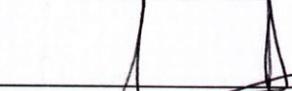
**Maestro en Ciencias en Sistemas de Producción Animal**

Consejo particular



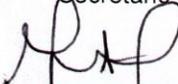
Dr. Enrique Gilberto Álvarez Almora

Director de Tesis



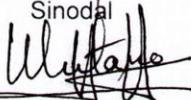
Dra. Noemí Guadalupe Torrentera Olivera

Secretario



M.C. Miguel Ángel Vega Cazares

Sinodal



Dr. Martin Francisco Montaña Gómez

Sinodal

## **AGRADECIMIENTOS**

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por la oportunidad económica brindada para lograr este posgrado.

Al **Instituto de Ciencias Agrícolas** de la **Universidad Autónoma de Baja California** por permitirme desarrollar en ella un paso muy importante en mi vida profesional.

Al **Dr. Enrique Gilberto Álvarez Almora**, quien en todo momento mostró su disposición e interés por mantenerme firme en mi meta. Agradezco su confianza y conocimientos que han contribuido a mi formación académica, personal y profesional.

A los integrantes del consejo particular del presente trabajo, **Dra. Noemí Guadalupe Torrentera Olivera**, **M.C. Miguel Ángel Vega Cazares** y **Dr. Martin Francisco Montaña Gómez**, por su aportación para concluir satisfactoriamente este proceso.

Gracias.

# CONTENIDO

|         |  |    |
|---------|--|----|
| I.      | LISTA DE CUADROS .....   | 1  |
| II.     | RESUMEN .....  | 2  |
| III.    | SUMMARY .....  | 3  |
| IV.     | INTRODUCCIÓN .....   | 4  |
| V.      | HIPÓTESIS .....  | 5  |
| VI.     | OBJETIVOS .....  | 5  |
| VII.    | REVISIÓN DE LITERATURA .....   | 5  |
| 4.1     | VALOR NUTRICIONAL DE LOS ENSILAJES .....                                   | 5  |
| 4.2     | VALORES DE COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE GRAMÍNEAS ENSILADAS .....            | 6  |
| 4.3     | FACTORES QUE INCIDEN EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS GRAMÍNEAS .....      | 8  |
| 4.4     | INFLUENCIA DEL NIVEL DE CONSUMO SOBRE LOS PARÁMETROS DIGESTIVOS .....      | 10 |
| 4.5     | FACTORES QUE MODIFICAN EL NIVEL DE CONSUMO .....                           | 11 |
| 4.5.1   | <i>Velocidad de paso y tasa de digestión.</i> .....                        | 11 |
| 4.6     | DIGESTIÓN DE LAS FRACCIONES DE LAS GRAMÍNEAS ENSILADAS O HENIFICADAS ..... | 12 |
| 4.6.1   | <i>Digestión en rumen.</i> .....   | 12 |
| 4.6.2   | <i>Digestión post-ruminal.</i> .....                                       | 13 |
| 4.6.3   | <i>Digestión total.</i> .....  | 13 |
| 4.7     | PARÁMETROS DE FERMENTACIÓN EN RUMEN EN ANIMALES RECIBIENDO ENSILADO .....  | 14 |
| 4.7.1   | <i>Cambios en pH.</i> .....  | 14 |
| VIII.   | MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 15 |
| 5.1     | UBICACIÓN DEL ESTUDIO.....   | 15 |
| 5.2     | EXPERIMENTO 1. METABOLISMO Y DIGESTIÓN.....                                | 15 |
| 5.2.1   | <i>Unidades experimentales.</i> .....                                      | 16 |
| 5.2.2   | <i>Duración del estudio.</i> .....   | 16 |
| 5.2.3   | <i>Descripción de los tratamientos.</i> .....                              | 16 |
| 5.2.4   | <i>Colección de muestras.</i> .....  | 17 |
| 5.2.5   | <i>Análisis de laboratorio.</i> .....                                      | 18 |
| 5.2.5.1 | Concentrados y dieta basal.....  | 18 |
| 5.2.5.2 | Quimo duodenal y heces .....   | 18 |
| 5.2.6   | <i>Variables de respuesta.</i> .....                                       | 19 |
| 5.2.7   | <i>Diseño experimental y Análisis estadístico.</i> .....                   | 19 |
| 5.3     | EXPERIMENTO 2. PRUEBA DE COMPORTAMIENTO.....                               | 20 |
| 5.3.1   | <i>Unidades experimentales.</i> .....                                      | 20 |
| 5.3.2   | <i>Duración del estudio.</i> .....   | 21 |
| 5.3.3   | <i>Descripción de los tratamientos.</i> .....                              | 21 |
| 5.3.4   | <i>Colección de muestras.</i> .....  | 21 |
| 5.3.5   | <i>Análisis de laboratorio.</i> .....                                      | 21 |
| 5.3.6   | <i>Variables de respuesta.</i> .....                                       | 22 |
| 5.3.7   | <i>Diseño experimental y Análisis estadístico.</i> .....                   | 22 |
| IX.     | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....   | 23 |
| 6.1     | CONSUMO DE NUTRIENTES Y FLUJO HACIA DUODENO.....                           | 23 |
| X.      | CONCLUSIÓN.....  | 28 |
| XI.     | LITERATURA CITADA .....  | 29 |

## I. LISTA DE CUADROS

| Cuadro |   | Pág. |
|--------|---|------|
| 1      | Consumo de nutrientes por bovinos alimentados con ensilajes de gramíneas.....   | 11   |
| 2      | Composición de la dieta en los diferentes tratamientos.....   | 17   |
| 3      | Protocolo de secado del ensilaje en horno de microondas.....  | 20   |
| 4      | Consumo total de nutrientes al sustituir heno de alfalfa por ensilado de sorgo-sudán de nevadura café en una dieta para ganado lechero ofrecida a novillos Holstein.....                                | 25   |
| 5      | Digestión ruminal, síntesis microbiana y uso del nitrógeno al sustituir heno de alfalfa por ensilado de sorgo-sudán de nevadura café en una dieta para ganado lechero ofrecida a novillos Holstein..... | 26   |
| 6      | Digestión postruminal y total de nutrientes a al sustituir heno de alfalfa por ensilado de sorgo de nevadura café en una dieta para ganado lechero ofrecida a novillos Holstein.....                    | 27   |
| 7      | Producción y composición de la leche en vacas Holstein, con 180±33 días en lactancia, al sustituir heno de alfalfa por ensilado de sorgo de nevadura café en una dieta típica para ganado lechero.....  | 27   |

## II. RESUMEN

Para evaluar la sustitución de hasta 50% de alfalfa por ensilado de sorgo-sudán de nervadura café (**ESS**) en una dieta para ganado lechero se realizaron dos experimentos. En el experimento 1 se utilizaron seis novillos Holstein fistulados de rumen y duodeno, en un diseño en Cuadro Latino 3x3 repetido con los tratamientos: **ESS00**, ración convencional (2.16 Mcal EN<sub>L</sub>/kg, 13.5% PC y 18.9% de FDN) a base de alfalfa + concentrado; **ESS25**, sustitución de 25% de alfalfa por **ESS**; y **ESS50**, sustitución de 50% de alfalfa por **ESS**. El experimento se realizó en tres periodos experimentales de 14 d, 10 d para adaptación y 4 d para colección de muestras. Los tratamientos fueron evaluados mediante polinomios ortogonales para componentes lineal y cuadrático. En el experimento 2 se utilizaron seis vacas Holstein distribuidas en un diseño cuadro latino repetido 3 x 3, en tres periodos de 18 d y alimentadas ad libitum. En los días 16 a 18 de cada periodo experimental se estimó la producción láctea y el contenido de proteína, grasa y lactosa. El experimento fue analizado estadísticamente como el Experimento 1. La sustitución de alfalfa por ESS no causó diferencias ( $P > 0.05$ ) sobre la digestión en rumen, eficiencia microbial, del N y de la digestión total en el experimento 1. No existió influencia ( $P > 0.05$ ) de los tratamientos sobre la producción de leche ni en su composición por efecto de la sustitución de alfalfa por ensilado. Solo se observó una tendencia ( $P > 0.20$ ) a incrementar el porcentaje de grasa en leche cuando se sustituyó 50% de la alfalfa. Es posible que esta tendencia haya sido motivada por la mayor función fibra del ensilado, frente a la alfalfa que aunque posee un alto contenido proteico, su fracción fibra es deficiente en motivar la función ruminal.

### III. SUMMARY

To evaluate up to 50% of alfalfa substitution for brown midrib sorghum-sudangrass silage (**ESS**) in a dairy cattle diet two experiments were conducted. In experiment 1 six holstein steers fistulated of rumen and duodenum, in a design on repeated Latin square 3x3 with the treatments: **ESS00**, conventional ration (2.16 Mcal NE<sub>L</sub>/kg, 13.5% CP y 18.9% de NDF) based on alfalfa + concentrate; **ESS25**, substitution of 25% of alfalfa by **ESS**; and **ESS50**, 50% substitution of alfalfa by **ESS**. Three 14-day experimental periods were used, 10 d for adaptation and 4 d for sample collection. The treatments were evaluated for linear and quadratic components using orthogonal polynomials. In experiment 2, six Holstein cows distributed in a 3x3 repeated Latin square design were used, in three 18-day periods and fed ad libitum. On days 16 to 18 of each experimental period, milk production and protein, fat and lactose content were estimated. The experiment was statistically analyzed as Experiment 1. The substitution of alfalfa for **ESS** caused no differences ( $P > 0.05$ ) on rumen digestion, microbial efficiency, and N and total digestion in experiment 1. It did not exist ( $P > 0.05$ ) influence of treatments on milk production and its composition due to the substitution of alfalfa by silage. There is only one trend ( $P > 0.20$ ) to increase in milk fat percentage when 50% of alfalfa is replaced. It is possible that this tendency has been motivated by the higher fiber function of silage, compared to alfalfa that although it has a high protein content, its fiber fraction is deficient in motivating ruminal function.

#### IV. INTRODUCCIÓN

En el Valle de Mexicali, se siembran aproximadamente 29,192 ha de alfalfa con una producción anual alrededor de 2 millones, 400 mil toneladas. Sin embargo, un factor que limita su utilización es su elevado requerimiento de agua, con frecuencia es necesaria una lámina de riego de hasta 197 cm, en una región en la que cada día es un recurso más limitado, por lo que los productores deben habilitarse de volúmenes adicionales, elevándose con ello el costo de producción (SIAP, 2015). Una opción viable para reducir la dependencia a la alfalfa henificada en las explotaciones lecheras de la región es incluir otras fuentes de fibra casi igualmente digestibles, como el ensilaje de sorgo-sudan, porque tiene mayor rendimiento de materia seca por hectárea, requiere menor cantidad de agua y posee un considerable valor nutritivo al contener fibra altamente digestible, cuando es cosechado en el momento óptimo. En los rumiantes la fracción fibrosa tanto de gramíneas como de leguminosas tiene tres aspectos característicos, influidos principalmente por su constitución química, la digestibilidad y su valor energético, el equilibrio del ambiente en rumen y la regulación del consumo (Mertens, 1992). Aunque se conoce que las gramíneas tienen una tasa de digestión más lenta que las leguminosas debido a su mayor porcentaje de hemicelulosa y proliferación de enlaces covalentes de esta con la lignina, comparativamente el ensilaje de sorgo-sudan tiene un mayor aporte de fibra detergente neutro efectivo (eFDN), que es la fracción de mayor influencia sobre la estabilidad de la fermentación en rumen. Por el contrario, la alfalfa, aunque tiene una mayor digestión en rumen, la efectividad de su componente fibroso sobre la regulación del pasaje y estabilidad funcional del rumen es menor. Estudios como el de Álvarez et al. (2004) y Zinn y Ware (2007) permiten esperar que por el mayor contenido de FDN efectiva en gramíneas como sorgo o sudan, comparado con alfalfa, la sustitución de esta última es factible creándose así “espacio” en la formulación para otros ingredientes, fundamentalmente energéticos.

## V. HIPÓTESIS

En una dieta típica para ganado lechero, debido a la mayor funcionalidad de la fibra en el rumen, la sustitución de heno de alfalfa por ensilaje de sorgo-sudan tiene influencia sobre la digestión y fermentación en rumen.

## VI. OBJETIVOS

El objetivo del presente experimento fue evaluar, con la sustitución de hasta 50% de alfalfa por ensilado de sorgo-sudan de nervadura café en una dieta para ganado lechero, la influencia sobre la función digestiva y la producción y composición de la de la leche.

## VII. REVISIÓN DE LITERATURA

### **4.1 Valor nutricional de los ensilajes.**

El ensilaje es un tipo de forraje conservado que se obtiene por fermentación parcial de carbohidratos solubles presentes en vegetales ricos en humedad, en los cuales se desea producir una disminución de pH para lograr su estabilización y conservación en el tiempo. Las condiciones anaeróbicas son fundamentales para un adecuado desarrollo del proceso fermentativo (McDonald, 1981; Merry *et al.*, 2000). La obtención de ensilajes de alto valor nutritivo se condiciona por una compleja interacción de factores. El resultado final del proceso conservativo se puede evaluar a través de análisis químicos, los cuales entregan información de los distintos parámetros

composicionales y de calidad fermentativa involucrados (Barber *et al.*, 1996; Cherney, 2000). El valor nutricional de un ensilaje está determinado principalmente por la composición del forraje al momento de la cosecha y por las modificaciones químicas ocurridas durante el proceso de ensilado. La calidad del ensilaje como alimento siempre será inferior a la del forraje fresco que le dio origen, siendo la magnitud de ésta disminución dependiente de las medidas que se adopten para conducir el proceso de conservación técnicamente en la forma más adecuada (Elizalde, 1994 y Ruíz, 1996).

#### **4.2 Valores de composición nutricional de gramíneas ensiladas.**

La calidad nutricional de las plantas es definida por diversos factores: humedad, temperatura, etapa fenológica, especie, así como la especie que la consume.

La concentración de nutrientes en las gramíneas es afectada por la cantidad de celulosa y hemicelulosa contenida en la pared celular de los forrajes ya que son una fuente de energía para los rumiantes, al degradarla en oligo y polisacáridos. La disponibilidad de la celulosa como fuente de energía va a depender de su estructura general y la interacción de las propiedades de la pared celular (que a menudo varía entre especies), genotipos, el tejido y la interacción entre estos tres factores. (Wolf *et al.*, 1993); un ejemplo de esto son las variedades de plantas mutantes de nervadura café en especies de Maíz (*Zea mays L.*), sorgo [*Sorghum bicolor (L.) Moench*] y Sorgo x Sudan las cuales muestran una mayor digestibilidad de MS, en comparación a las plantas normales de estas especies, porque tienen menor y diferente tipo de lignina, así como una menor concentración de paredes celulares (Porter *et al.*, 1978). Esto porque la lignina es menos polimerizada, conteniendo menos residuos fenólicos que son los que interfieren su degradación en rumen (Jung y Fahey, 1983).

Los ensilados de gramíneas muestran un bajo contenido de PC, debido a la proteólisis que ocurre durante la fermentación del forraje, esta sucede en el tiempo que tarde en descender el pH de 6 hasta alcanzar un equilibrio ácido (3.4 a 4.2) que es cuando actúan las bacterias acidolácticas, este proceso se debe a la acción combinada de la planta y enzimas microbianas del ensilado que pueden reducir hasta un 80% la

proteína verdadera, durante la conservación del forraje (Winters et al., 2000). La presencia de N soluble en el ensilado es un indicador de la actividad proteolítica ya que su presencia es resultado de la destrucción e hidrólisis de la proteína de alto valor biológico. La consecuencia de esta fermentación indeseada es la deficiente utilización del N por los rumiantes, teniendo después que suplementar con un concentrado proteico al animal (Broderick et al., 1995). Se ha observado que a mayor contenido de materia seca del ensilado más altos son los contenidos de NNP durante el almacenamiento (Muck et al., 2004). El contenido de proteína cruda regularmente es mayor en híbridos de sorgo convencionales que en sorgos de nervadura café (Oliver et al., 2005). Al comparar especies de maíz y sorgo se observa un mayor contenido de PC en variedades de maíz sin embargo hay estudios que contrastan y muestran una tendencia de superioridad del sorgo en este sentido (Abdelhadi y Santini, 2006). Estos cambios en composiciones son definidos por diferentes variables mencionadas anteriormente, que afectan a la planta durante su crecimiento y en el almacenamiento para su conservación.

El contenido de FDN en el material ensilado es de los factores que más deben considerarse al determinar la calidad de un ensilado ya que tiene un efecto directo sobre el consumo y el llenado del rumen (Waldo et al., 1986). Estudios de digestión *in vitro* e *in situ* demuestran que híbridos de sorgos y Sorgos x Sudan de nervadura café tienen un alto grado de digestibilidad de FDN en comparación con los híbridos normales (Fritz et al., 1990), aun cuando el contenido de FDN de sorgos convencionales es más alto que en sorgos de nervadura café (bmr-6 y bmr-18) y es muy similar comparada entre ellos (Oliver et al., 2004). Aydin et al. (1999) y Cherney et al. (1991) encontraron que existe una variación considerable entre estas especies forrajeras en cuanto a la composición de la fibra; sin embargo otros estudios no han mostrado diferencias en estas concentraciones (Ruiz et al., 1995). Dann et al. (2008) mencionan que es una estrategia el obtener la energía de la FDN digestible en lugar de excesivas cantidades de almidón, con esto obteniendo mejores condiciones ruminales repercutiendo en una buena producción.

### 4.3 Factores que inciden en la composición química de las gramíneas

La calidad del forraje es altamente variable y esto es influenciada por distintos factores como lo son especie, variedad, fertilización, clima, edad al corte, manejo después del corte y el método de preservación que se utilice. De estos elementos mencionados anteriormente, algunos de ellos pueden ser controlados para lograr una mejor calidad del forraje.

Como otros nutrientes el nitrógeno es esencial para el desarrollo y crecimiento de los forrajes, por las respuestas positivas en el rendimiento de materia seca. Sin embargo se ha visto que el exceder la dosis de nitrógeno requerida por la planta no muestra aumento significativo en la producción de MS (Sheaffer et al., 2006). Como es de esperarse al incrementar los niveles de N también aumenta la concentración de proteína cruda y la digestibilidad in vitro en toda la planta, pero esta tendencia no es tan consistente como los cambios en la concentración de FDN (Cox y Cherney 2001). Resultados similares reporta Sheaffer et al., (2006) en plantas de maíz donde al incrementar los niveles de nitrógeno no encuentra efectos significativos en las variables antes mencionadas excepto en el contenido de PC.

La edad de corte de la planta para cualquier método de conservación es crítica, ya que determina el rendimiento de MS y la calidad nutritiva del material ensilado. El contenido de humedad no se puede determinar exactamente usando la línea de la leche del grano, debido a la variación del tiempo y los híbridos. Es recomendable que el contenido de humedad se mida en lugar de ser estimado. Sin embargo es muy común que se estime observando la línea de leche del grano. En el caso de maíz para ensilar, estudios agronómicos han demostrado que cosechar cuando el grano del elote se encuentra en 2/3 de la línea de leche aumenta la producción de MS (Ganoë y Roth, 1992), algunos autores aseguran que este rendimiento aumenta cuando los cortes se efectúan en un estado de madurez avanzado. La digestibilidad de la materia seca, proteína cruda y fibra disminuye considerablemente cuando las plantas son cosechadas a una edad madura. Al cosechar el forraje a una temprana edad este posee altas concentraciones de fibra lo que disminuye la cantidad de energía (Hunt et

al., 1989) pero también al cosechar en un estado de madurez avanzado baja la digestibilidad de hoja y tallo debido al incremento en el contenido de lignina de 4.4 a 18.0% al cambiar de estado vegetativo a grano lechoso – masoso (Farías *et al.*, 1987). Flores *et al.* (2004) detectaron diferencias significativas entre semanas, para la variable de PC, siendo ésta menor en la última fecha de corte que se realizó en el experimento, lo que indica un incremento de la proteólisis durante el ensilado en los cortes más tardíos, además de que en cortes tempranos se maximiza la producción de materia orgánica digestible por hectárea.

El desarrollo de variedades que mantengan un alto nivel de rendimiento y contenido nutricional, constituye una de las metas más importantes en la mayoría de los programas de mejoramiento. Cada variedad tiene ventajas sobre otras así como desventajas, estas se comportan según para las condiciones medioambientales para las que son desarrolladas y su tipo de producción (grano, forraje, mixto). Experimentos de mutagénesis con sorgo dieron como resultado variedades de nervadura café (BMR) mutantes (Porter *et al.*, 1978) que se asemejan a las características nutricionales del maíz. En un estudio realizado por Núñez y Cantú (2000) en el cual midieron el rendimiento de MS por hectárea entre variedades forrajeras de sorgo encontraron que el Sorgo Sudan convencional tiene una producción superior de MS por hectárea (12.5 – 13.6 %) que el Sorgo de Nervadura Café, esto se atribuye a una posible asociación entre la síntesis de lignina y una reducción de asimilados en la fotosíntesis de este tipo de plantas (Hoon *et al.*, 1984). La variedad a sembrar para una buena cosecha de forraje la debe determinar las características de la región.

Se han realizado varios estudios para evaluar qué ventajas o desventajas se obtienen al incrementar la altura de corte de la planta al momento de ensilar. Wu y Roth (2005) reportan que una altura de corte alta (50cm) eleva la concentración de nutrientes en plantas de maíz al momento de ensilar y la digestión de FDN, en comparación a una altura baja de corte (17cm). En un trabajo similar Neylon y Kung (2003) encontraron que el aumentar la altura de corte de la planta incrementa su valor nutritivo por la disminución de hasta un 13 y 8 % respectivamente en las concentraciones de FDN y

FDA además de que aumentan las cantidades de almidón (6%); pero contrario a lo que encontraron Wu y Roth (2005) no observaron diferencias en cuanto a la digestibilidad de FDN. Lewis et al. (2004) mencionan que jugar con la altura de corte al momento del ensilado puede ser una buena práctica de manejo en híbridos forrajeros pero no aplica en híbridos de nevadura café porque la altura de corte mejora poco la calidad, pero afecta la producción de materia seca.

#### **4.4 Influencia del nivel de consumo sobre los parámetros digestivos**

El consumo de forraje es influenciado por varios factores como los son el estado fisiológico, factores medio-ambientales y la calidad del forraje. Respecto a las relaciones entre los componentes de las paredes celulares y la digestibilidad *in vitro* Núñez y Cantú (2000) consideran que el contenido de FDN se relaciona más con el consumo de los rumiantes que con la digestibilidad de los forrajes, sobre todo cuando se comparan diferentes especies de forrajes (Van Soest, 1996), en trabajos realizados por Kliem et al. (2008) y Greenfield et al. (2001) concuerdan que rumiantes alimentados con forrajes provenientes de plantas de nevadura café manifiestan un mayor consumo de MS. En contraste, Oliver et al. (2004) al comparar sorgos de nevadura café contra sorgos convencionales no encontraron diferencias en cuanto al consumo de materia seca, pero sí en el consumo de FDN (Cuadro 1); Castro et al. (2010) menciona que las variedades de nevadura café sí aumentan el consumo de MS pero no necesariamente la producción de leche. Tjardes et al. (2000) reportan resultados muy similares en cuanto al consumo de MS, ellos concluyen que este incremento puede estar dado por la baja concentración de FDN y la alta digestibilidad de la misma en los ensilados de nevadura café. Lo que concuerda con los resultados de Qiu et al. (2003), quienes elevaron los niveles de forraje de la dieta, y notaron que al incrementar el ensilaje de maíz convencional el consumo de MS disminuía, no siendo así para los animales alimentados con ensilaje de maíz de nevadura café.

**Cuadro 1. Consumo de nutrientes por bovinos alimentados con ensilajes de gramíneas.**

|          | Consumo % de peso vivo |      |      |     |     |         | Autores                 |
|----------|------------------------|------|------|-----|-----|---------|-------------------------|
|          | MS                     | MO   | FDN  | FDA | N   | Almidón |                         |
| Sorgo    | 3.67                   | -    | 1.62 | -   | -   | -       | Oliver et al. 2004      |
| Sorgo NC | 3.79                   | -    | 1.43 | -   | -   | -       | Oliver et al., 2004     |
|          | 3.46                   | 3.17 | 1.01 | .52 | .09 | .93     | Greenfield et al., 2001 |
| Maíz     | 3.81                   | -    | 1.42 | -   | -   | -       | Oliver et al., 2004     |
|          | 3.24                   | 2.97 | 1.04 | .55 | .09 | .81     | Greenfield et al., 2001 |

MS: materia seca, MO: materia orgánica, FDN: fibra detergente neutro, N: nitrógeno, NC: nevadura café

## 4.5 Factores que modifican el nivel de consumo

### 4.5.1 Velocidad de paso y tasa de digestión.

El análisis del contenido de los forrajes como; fibra cruda, fibra neutro detergente (FDN), lignina, digestibilidad, nutrientes digestibles totales (NDT) y otros, representan un esfuerzo para conocer su valor como forraje. Sin embargo algunos de estos valores tienen mayor influencia, por su efecto sobre la producción de leche y sus contenidos, como en el caso de la FDN y su digestibilidad, que al mismo tiempo tiene efecto sobre el consumo de alimento. Oba y Allen (1999) reportan un incremento del 9% en la ingesta de MS en vacas productoras de leche recibiendo ensilaje de maíz de nevadura café con respecto a vacas que fueron alimentadas con ensilaje de maíz convencional, atribuyen este incremento a que el silo de nevadura café es digerido con mayor rapidez en el rumen y por consecuencia aumenta la velocidad de paso. La tasa de pasaje puede ser frenada por la reducción del tamaño de partícula (Hoffman et al., 1998). Un alto flujo de FDN hacia duodeno impide un rápido llenado ruminal lo que

permite un mayor consumo de MS en vacas alimentadas con silo de nervadura café. La elevada tasa de pasaje (3.42 %/h) de la fracción de FDN indigestible de estos ensilajes muestra que la gran fragilidad de las paredes celulares de estas plantas ayuda en la reducción del tamaño de partícula y por lo tanto una mayor velocidad de paso a través del rumen (Oba y Allen, 2000). Fritz et al. (1988) no encontraron diferencias en la tasa de pasaje entre los ensilajes de sorgo convencional y el de sorgo de nervadura café. Similar a estos resultados Aydin et al. (1999) no encontraron diferencias entre estas dos variedades con una tasa de pasaje promedio de  $0.038 \text{ h}^{-1}$ . En contraste Grant et al. (1995) reportan una mayor tasa de pasaje en ensilajes de maíz y de Sorgo de NC en comparación al ensilaje de sorgo normal, los autores atribuyen esta diferencia al alto consumo de MS para ambos ensilados. En cuanto a la tasa de digestión los resultados de Aydin et al. (1999) muestran 3.3 % más alta la tasa de digestibilidad para el ensilaje de sorgo de NC comparado con los de maíz y sorgo normal.

#### **4.6 Digestión de las fracciones de las gramíneas ensiladas o henificadas**

##### **4.6.1 Digestión en rumen.**

El concepto de digestibilidad, está relacionado al paso del forraje por el rumen, a una mayor digestibilidad se aumenta la tasa de paso por el rumen, y en consecuencia se aumenta el consumo. El rumiante necesita de la fibra de la ración, tanto de su calidad como de cantidad, esta calidad está dada en parte por su grado de digestibilidad, a nivel ruminal. La digestión ruminal de la MS es mayor en variedades de nervadura café cuando es comparada con convencionales (Ballard et al., 2001; Cox y Cherney, 2001), como lo demuestra Greenfield et al. (2001) en un estudio donde la digestibilidad ruminal para el ensilaje de sorgo de NC es 7 puntos porcentuales más alta que para el de maíz convencional. Taylor y Allen (2005) reportan una mayor digestibilidad ruminal de la MO para ensilajes de maíz de NC comparado con ensilaje de maíz convencional.

Estos cambios se pueden atribuir a factores como contenido de MS del ensilaje y el tamaño de partícula que tienen la mayor influencia. La digestión ruminal de la FDN

alcanza rangos de 25 a 75% según los diferentes forrajes (NRC, 2001). Oba y Allen (2000) no muestran diferencias en la digestibilidad de la FDN entre ensilajes de NC y convencionales pero otros autores (Taylor y Allen., 2005; Greenfield et al., 2001) muestran que es mayor en ensilajes de maíz y sorgo de NC.

#### **4.6.2 Digestión post-ruminal.**

Algunos autores coinciden al mencionar que la digestión post-ruminal puede tener efectos compensatorios de la digestión ruminal (Aydin et al., 1999; Oba y Allen, 2000), donde han encontrado que cuando la digestión ruminal es baja la post-ruminal aumenta y viceversa. Los resultados arrojados por trabajos de investigación muestran que la digestibilidad post-ruminal de la materia orgánica es 3 % más alta en ensilajes de maíz de nervadura café al compararlos a ensilajes de maíz convencional (Oba y Allen, 2000; Qiu et al., 2003), la digestibilidad de la FDN fue similar entre estos. En cuanto a la digestibilidad del N algunos autores coinciden al no encontrar una variación significativa entre variedades. Qiu et al. (2003) en un trabajo donde compararon ensilajes de variedades de maíz normal y nervadura café encontraron una mayor digestibilidad post-ruminal del almidón en los ensilajes de nervadura café (13.4 vs 20.9). Algo muy similar encontraron Oba y Allen (2000) donde muestra que la digestibilidad del almidón en las variedades de maíz de nervadura café fue 11.6 % mayor que su contraparte.

#### **4.6.3 Digestión total.**

Como se ha mencionado anteriormente los híbridos de nervadura café tienen la característica de presentar menor concentración de lignina en la pared celular, consecuentemente esto propicia mayor digestibilidad de la fibra. Pero al comparar la digestibilidad total de la FDN de forrajes de nervadura café con híbridos convencionales no siempre se confirma esta ya que existe gran variación entre ellos. Grant et al. (1995) evaluaron forrajes de maíz y sorgo de nervadura café y NNC, encontrando que los ensilados de nervadura café muestran una superioridad hasta del 7.4% en cuanto a la

digestibilidad total de la FDN, sin embargo otros estudios (Rook et al., 1977; Wedig et al., 1988) reportan que la digestibilidad total de la FDN no fue mejorada por los forrajes de nervadura café. Esto se puede atribuir al elevado consumo de MS que se da con los forrajes de nervadura café, ya que la digestibilidad total disminuye cuando el consumo aumenta (Tyrell y Moe, 1975). El aumento en el consumo de materia seca dado por los forrajes de nervadura café puede ser asociado con una alta tasa de pasaje, disminuyendo la digestibilidad. Varios autores reportan valores de digestión total de MS y MO en donde el maíz convencional es el más alto dentro de los forrajes, sin embargo, Tjardes et al. (2000) muestran valores de digestibilidad de MS donde el maíz de nervadura café es superior en comparación a variedades de sorgos y maíces convencionales.

#### **4.7 Parámetros de fermentación en rumen en animales recibiendo ensilado**

##### **4.7.1 Cambios en pH.**

El pH es uno de los factores más variables del ambiente ruminal, es afectado por la naturaleza del alimento, forma física del mismo, frecuencia de la ingesta, etc. (Church 1993). Sobre esto operan los mecanismos fisiológicos que regulan el pH, siempre y cuando no se excedan los límites fisiológicos, como la rumia, que genera una gran cantidad de saliva que actúa con un efecto tampón, la rápida absorción de los AGV's y el eructo. Varios estudios han demostrado que la efectividad del crecimiento de las bacterias predominantes en el rumen varía considerablemente con el pH. Las bacterias celulolíticas y las metanogénicas son afectadas una vez que el pH del rumen desciende por debajo de 6.0. Como también son afectados los protozoarios por el descenso de pH determinado por un consumo excesivo de concentrados en la dieta (Forsberg et al., 1984). En trabajos de investigación realizados con ensilajes de gramíneas de diferentes especies muestran que los silos de maíz tienden a disminuir el pH ruminal (Aydin et al., 1999; Dann et al., 2008). Esto propiciado tal vez por la proporción de grano en la planta y la madurez de la misma al momento del ensilado, que resultaría en un mayor

contenido de almidón. No siendo así en ensilajes de maíz de nervadura café donde los valores de pH ruminal se mantuvieron por encima de 6.6 (Castro et al., 2010).

## VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio fue integrado por dos experimentos. El experimento 1 consistió en una prueba de metabolismo y digestión con seis animales canulados en rumen y duodeno que recibieron de manera individual las dietas experimentales para evaluar las características de la digestión y la función digestiva. El experimento 2 fue una prueba de comportamiento en la que seis vacas intactas y en lactancia recibieron las mismas dietas que en los animales de la Fase 1 y en la que se evaluó la producción y composición de la leche.

### 5.1 Ubicación del estudio

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Metabolismo y Digestión de Rumiantes del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) de la Universidad Autónoma de Baja California, a 50 km al sur de Mexicali, Baja California, México. Las coordenadas geográficas del lugar son 32°24'44,16"N, 115°11'56,87"O, con una altitud de 12 metros sobre el nivel del mar (msnm) y temperatura y precipitación media anual de 22°C y 75.9 mm, respectivamente, (SMN, 2010). El clima es de tipo desértico, donde el mes más frío es Enero, con promedio de temperatura mínima de -1.7 °C y 13.0 °C de temperatura media. Es Julio el mes más cálido con una temperatura promedio, máxima y mínima de 33, 51 y 20 °C, respectivamente.

### 5.2 Experimento 1. Metabolismo y Digestión.

### 5.2.1 Unidades experimentales.

Se utilizaron seis novillos Holstein con un peso vivo aproximado de 350 kg, fistulados de rumen y duodeno, distribuidos en un diseño en Cuadro Latino 3x3 repetido. Los novillos se alojaron en corraletas de 3.2 m<sup>2</sup>, habilitados con bebederos automáticos y comederos individuales, sujetos a la corraleta con un bozal y cadena permanentemente para evitar el desperdicio de alimento y que el exceso de movimiento dificultara los muestreos.

### 5.2.2 Duración del estudio.

Se dividió en tres periodos experimentales de catorce días cada uno, donde los diez primeros fueron de adaptación a la dieta y los cuatro restantes para la colección de muestras. Los novillos se pesaron al inicio y al final de cada periodo.

### 5.2.3 Descripción de los tratamientos.

Para evaluar la sustitución de heno de alfalfa por cantidades crecientes (0, 25 y 50%) de ensilado de sorgo–sudán de nevadura café (**ESS**), se distribuyeron los siguientes tratamientos (Cuadro 2): **ESS00**, dieta convencional (2.16 Mcal EN<sub>L</sub>/kg, 13.5% PC y 18.9% de FDN) a base de alfalfa + concentrado; **ESS25**, sustitución de 25% de la alfalfa por ESS; y **ESS50**, sustitución de 50% de la alfalfa por ESS. El estudio consistió de tres periodos experimentales de 14 días. Cada periodo se compuso de 10 días de adaptación y 4 días para colección de muestras. Para asegurar homogeneidad y disponibilidad del ensilado, de un silo de aproximadamente 500 toneladas se tomó y almacenó en 3 contenedores metálicos la cantidad suficiente para cubrir las necesidades de los 3 periodos experimentales. El contenido de cada contenedor fue suficientemente compactado y cerrado herméticamente. Cada novillo recibió diariamente (repartido a las 07:00 y 19:00 h) el 2.4% de su PV en BS de alimento. Como marcador externo de la digesta se utilizó óxido crómico al 0.4% del total de la

materia seca. Con el objetivo de mantener constante la concentración de cromo debido a la frecuente variabilidad que comúnmente existe en el contenido de MS en los ensilados, diariamente se estimó la MS parcial del ensilaje de sorgo con un horno de microondas en base al protocolo de secado descrito en el Cuadro 3. Para obtener la muestra representativa del alimento consumido de cada periodo de muestreo, se tomó una alícuota de aproximadamente 100 g de lo ofrecido en cada horario de alimentación, tanto los concentrados como de la dieta basal. Estas fueron secadas, reducidas a 2 mm en un molino Wiley (Thomas-Wiley, Philadelphia, PA, USA) y envasadas en frascos de plástico para su posterior análisis.

Cuadro 2. Composición de la dieta en los diferentes tratamientos.

|                         | DM     | BS, %         |               |               |
|-------------------------|--------|---------------|---------------|---------------|
|                         |        | T1            | T2            | T3            |
| Alfalfa                 | 91.00  | 40.00         | 30.00         | 20.00         |
| Ensilado de Sorgo-Sudán | 28.00  | 0.00          | 10.00         | 20.00         |
| Maíz rolado             | 86.00  | 35.55         | 35.35         | 34.70         |
| Fosfato Dicálcico       | 97.00  | 0.35          | 0.35          | 0.35          |
| Grano seco de dest.     | 91.00  | 15.00         | 15.00         | 15.00         |
| Grasa                   | 99.00  | 2.00          | 2.00          | 2.00          |
| Piedra caliza           | 100.00 | 0.40          | 0.60          | 0.90          |
| Oxido de Magnesio       | 98.00  | 0.20          | 0.20          | 0.20          |
| Melaza de caña          | 74.30  | 5.70          | 5.70          | 5.70          |
| Sal                     | 100.00 | 0.50          | 0.50          | 0.50          |
| Oxido de cromo          | 100.00 | 0.30          | 0.30          | 0.30          |
| Urea                    | 88.00  | 0.00          | 0.00          | 0.35          |
| <b>TOTAL</b>            |        | <b>100.00</b> | <b>100.00</b> | <b>100.00</b> |

#### 5.2.4 Colección de muestras.

La colección de muestras de quimo duodenal y heces se obtuvieron los últimos cuatro días de cada periodo con el siguiente horario: día 1, 0930 y 1530, día 2, 0800 y 1400,

día 3, 0630 y 1230 y día 4, 0500 y 1100 h, de tal forma que se cumplan 12 h, el intervalo entre muestras fue de 90 minutos. En cada colección se obtuvieron aproximadamente 700 ml de quimo duodenal, que se mezcló y almacenó en un recipiente de plástico de 5 L a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Al finalizar cada periodo se descongeló el quimo duodenal y después de homogeneizar del total se extrajo una alícuota de aproximadamente 25% del volumen total colectado, se secó a  $55^{\circ}\text{C}$  durante 96 h en una estufa de ventilación forzada. Simultáneo a la colección del quimo duodenal, se colectaron aproximadamente 200 g de las heces defecadas recientemente por cada novillo, las muestras de los cuatro días se almacenaron a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Al final de cada periodo se descongelaron a temperatura ambiente se homogenizaron manualmente y tomó una alícuota de 20% del total de heces colectado, para secarse a  $55^{\circ}\text{C}$  sobre papel aluminio durante 72 h. Posteriormente las muestras de quimo duodenal y heces fueron trituradas y molidas en una licuadora convencional hasta obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 2mm, luego se almacenaron en envases de plástico para su posterior análisis. Al finalizar la última colección de cada periodo con una bomba manual de succión se tomó una muestra de líquido ruminal, que se filtró con cuatro capas de gasa quirúrgica e inmediatamente se le registró el pH con un potenciómetro equipado con electrodo de vidrio (Oakton<sup>®</sup> pHTestr 10BNC; [www.4oakton.com](http://www.4oakton.com), Singapore).

### **5.2.5 Análisis de laboratorio.**

#### 5.2.5.1 Concentrados y dieta basal.

En las muestras de ESS y la dieta basal se analizaron: materia seca total, cenizas, extracto etéreo y nitrógeno (N) Kjeldahl (AOAC, 2000). Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) lignina y celulosa fueron cuantificadas con el procedimiento de Van Soest *et al.* (1994) usando el analizador de fibra ANKOM (Ankom-Technology, Fairport, NY). La concentración de óxido de cromo en la dieta basal se estimó mediante la técnica de Hill y Anderson (1958).

#### 5.2.5.2 Quimo duodenal y heces

En las muestras de quimo duodenal se analizó MS, cenizas, extracto etéreo, N amoniacal y N Kjeldahl (AOAC, 2000), FDN, FDA, celulosa, lignina (Van Soest *et al.*, 1994), almidón (Zinn, 1990) y cromo (Hill y Anderson, 1958). Mediante la estimación de purinas como marcador del N microbiano (Zinn y Owens (1986), se calculó la materia orgánica microbiana (MOM) y el N microbiano (NM) que llega a duodeno.

En las muestras de heces se analizaron MS, cenizas, N Kjeldahl (AOAC, 2000), FDN (Van Soest *et al.*, 1994), almidón (Zinn, 1990) y cromo (Hill y Anderson, 1958).

### 5.2.6 Variables de respuesta.

Las variables de respuesta estimadas a partir de los análisis de laboratorio fueron: flujo hacia duodeno, en gramos por día, de MO, FDN, N total, N no amoniacal, N microbiano, N de sobrepaso y MO microbiano. Así como también los porcentajes de digestión en rumen, post-ruminal y total de la MO, N total y FDN. Adicionalmente se estimó la producción de N microbiano, eficiencia microbiana (g de N microbiano / kg de MO fermentada) y eficiencia de uso del N.

### 5.2.7 Diseño experimental y Análisis estadístico.

Los datos fueron analizados mediante un diseño en Cuadro Latino 3x3 repetido, de acuerdo al modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij(k)} = \mu + R_i + T_j + \rho_k(R)_i + K_l(R)_i + \epsilon_{ijkl}$$

**Donde:**

$\mu$  = Valor de la media poblacional

$R_i$  = Efecto de la *i*-ésima repetición

$T_j$  = Efecto del *j*-ésimo tratamiento

$\rho_k$  = Efecto del *k*-ésimo periodo dentro de la *i*-ésima repetición

$K_l$  = Efecto del *l*-ésimo animal dentro de la *i*-ésima repetición

$\epsilon_{ijkl}$  = Error aleatorio  $\sim NI(0, \sigma^2)$ .

Los datos fueron analizados con el procedimiento Mixed del programa SAS versión 9.2 (2002). La aceptación de diferencias entre medias o la significancia de contrastes se fijó a una probabilidad  $< 0.05$ . Probabilidades mayores de 0.05 fueron consideradas únicamente como tendencias. La existencia de cualquier componente lineal o cuadrático en las distintas variables dependientes se estimó mediante polinomios ortogonales (Steel et al., 1996).

**Cuadro 3.** Protocolo<sup>1</sup> de secado del ensilaje en horno de microondas

| <b>Ciclo de secado</b> | <b>Duración</b> |
|------------------------|-----------------|
| 1                      | 3 min.          |
| 2                      | 2:30 min.       |
| 3                      | 1:30 min.       |
| 4                      | 50 seg.         |
| 5                      | 40 seg.         |
| 6                      | 40 seg.         |
| 7                      | 40 seg.         |
| 8                      | 30 seg.         |
| 9                      | 30 seg.         |
| 10                     | 30 seg.         |
| 11                     | 25 seg.         |
| 12                     | 20 seg.         |
| 13                     | 20 seg.         |
| 14                     | 15 seg.         |
| 15                     | 15 seg.         |
| 16                     | 15 seg.         |
| 17                     | 15 seg.         |
| 18                     | 15 seg.         |

<sup>1</sup> En un horno de microondas se colocaron dos recipientes de vidrio, uno con 50 g de ensilaje y otro con 200 ml de agua. El agua se renueva y la muestra se pesa después de cada ciclo de secado hasta que los pesos consecutivos no cambien.

### 5.3 Experimento 2. Prueba de comportamiento.

#### 5.3.1 Unidades experimentales.

Se utilizaron seis vacas Holstein (PV ~650 kg PV; 120 DL) multíparas e intactas, distribuidas en un diseño cuadro latino repetido 3 x 3. Se alojaron en corraletas de 3.2 m<sup>2</sup>, habilitados con bebederos automáticos y comederos individuales.

### **5.3.2 Duración del estudio.**

Se dividió en tres periodos de 18 días (16 para la adaptación a la dieta y cinco para la evaluar la producción y composición láctea).

### **5.3.3 Descripción de los tratamientos.**

Como en el experimento 1 las dietas fueron calculadas para tener igual contenido de proteína cruda, proteína no degradable en rumen y fibra detergente neutro aportada por el forraje, pero en todas ellas se excluyo Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Las vacas fueron alimentadas ad libitum, sobre una base inicial de 3.5% del PV, en cantidades iguales por la mañana (0700) y la tarde (1700).

### **5.3.4 Colección de muestras.**

Al finalizar cada periodo, los días 16, 17 y 18, por la mañana y tarde, se tomó una alícuota de ~100 ml de leche en cada vaca para integrar la mezcla para analizar y estimar el contenido de proteína, grasa y lactosa en la leche de cada animal por periodo de colección.

### **5.3.5 Análisis de laboratorio.**

En las muestras de leche se analizó MS, extracto etéreo y N Kjeldahl (AOAC, 2000), Se estimó el contenido de proteína, grasa y lactosa en la leche de cada animal por periodo de colección en un medidor semi portátil LactoLab<sup>®</sup>.

### 5.3.6 Variables de respuesta.

Las variables de respuesta calculadas a partir de los distintos análisis de laboratorio de las alícuotas tomadas en los muestreos realizados durante cada uno de los periodos del experimento fueron porcentaje de grasa, proteína y lactosa.

### 5.3.7 Diseño experimental y Análisis estadístico.

El experimento se analizó como un cuadro latino 3 X 3 repetido de acuerdo al mismo modelo estadístico utilizado en el experimento 1 (Steel y Torrie, 2001).

$$Y_{ij(k)} = \mu + R_i + T_j + \rho_k(R)_i + K_l(R)_i + \epsilon_{ijkl}$$

**Donde:**

$\mu$  = Valor de la media poblacional

$R_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima repetición

$T_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo tratamiento

$\rho_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo periodo dentro de la  $i$ -ésima repetición

$K_l$  = Efecto del  $l$ -ésimo animal dentro de la  $i$ -ésima repetición

$\epsilon_{ijkl}$  = Error aleatorio  $\sim NI(0, \sigma^2)$ .

Los datos fueron analizados con el procedimiento Mixed del programa SAS versión 9.2 (2002). La aceptación de diferencias entre medias o la significancia de contrastes se fijó a una probabilidad  $< 0.05$ . Probabilidades mayores de 0.05 fueron consideradas únicamente como tendencias. La existencia de cualquier componente lineal o cuadrático en las distintas variables dependientes se estimó mediante polinomios ortogonales (Steel et al., 1996).

## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Consumo de nutrientes y flujo hacia duodeno.

En el Cuadro 4 se presenta el total de los nutrientes consumidos en cada uno de los tratamientos. A causa de que durante el experimento en todos los tratamientos el consumo diario de MS fue fijado a un nivel de 2.4% del peso vivo vacío ( $PVV = PV \cdot 0.96$ ), las diferencias obedecen al diferencial en la composición de los ingredientes asignados como suplemento al ESS, antes que a un efecto causal de la aplicación de los tratamientos. Sin embargo, fue notable el incremento 61% en el contenido de FDN con la mayor sustitución de heno de alfalfa por ESS, por el contrario esto mismo resulto en una disminución de 13% en el consumo total de N.

En el Cuadro 5 se observa la influencia de los tratamientos sobre la digestión en rumen de la MO, FDN y N, eficiencia microbiana y del N y la digestión total. En las condiciones del presente estudio, la sustitución de ensilado de sorgo-sudán por alfalfa no se detectó influencia ( $P > 0.05$ ) de componentes cuadráticos o cúbicos sobre ninguna de las variables de respuesta estimadas. Esto significa que aún al reducir hasta un 50% la cantidad de alfalfa en la dieta típica para ganado lechero utilizada en el este experimento, permaneció sin cambios la digestión de la MO, FDN y el N en el retículo-rumen. Esto mismo sucedió con la cantidad estimada de materia orgánica microbiana (**MOM**), la síntesis microbiana por unidad de MO fermentada, calculada como eficiencia microbiana (**EfM**) y la cantidad de N no amoniacal que llega a duodeno en relación al N total consumido (Eficiencia del N, **EfN**). Estudios como los de Greenfield *et al.* (2001) y Taylor y Allen (2005) al ofrecer dietas a base de híbridos de ensilaje de maíz reportaron resultados similares al presente estudio en la digestión en rumen de la MO, N. Oba y Allen (2000) consideran que factores como el contenido de MS, estado de madurez al

momento del corte y el tamaño de partícula de los ensilajes son los de mayor influencia y enmascaran inclusive diferencias causadas por la especie vegetal.

El efecto de los tratamientos sobre la digestión postruminal de los nutrientes se presenta en el Cuadro 6. No se detectó ( $P > 0.05$ ) que algún componente lineal o cuadrático influyera en la respuesta de la digestión postruminal de la MO, FDN y N. Comparado con la dieta que contenía heno de alfalfa como fuente única de forraje, los tratamientos que incluyeron ESS presentaron similar ( $P > 0.05$ ) digestión postruminal de la MO y el N. En esta porción del tracto la respuesta con la FDN se ha observado inconsistente como en la mayoría de estudios previos, esto ha sido atribuible a la inexactitud del óxido de cromo como marcador de la fracción fibrosa, esencialmente cuando se examina su dinámica en el tracto bajo.

La influencia de los tratamientos sobre la digestión total de nutrientes se observa en el mismo Cuadro 6. En conjunto no se detectó ( $P > 0.05$ ) respuesta de componentes lineales o cuadráticos por la creciente sustitución de heno de alfalfa por ESS sobre la digestión total de la MO, FDN, N, e inclusive en los valores de pH ruminal. En contraste a estas observaciones, Kowsar *et al.* (2008) reportaron que al sustituir heno de alfalfa por ensilaje de maíz tendieron a disminuir linealmente los coeficientes de digestibilidad total de la MO y FDA, pero similar a lo ocurrido en el presente estudio, la sustitución no afectó la digestibilidad total de la PC y FDN. Oba y Allen (1999) encontraron una mayor digestibilidad de la FDN en las leguminosas debido al menor tiempo de permanencia y el efecto de llenado del rumen en comparación con las gramíneas.

En el Cuadro 7 se presenta la influencia de las mismas dietas utilizadas en el experimento 1, pero aplicadas en el estudio con vacas intactas en lactación, sobre los promedios de producción de leche, contenido porcentual de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos. Es prudente destacar que no existió influencia ( $P > 0.05$ ) de los tratamientos sobre ninguna de las variables evaluadas, únicamente tendencias que en general fueron consistentes con estudios previos. El nivel mayor de sustitución de la alfalfa por el ensilado de maíz solo presentó tendencias como la elevación de hasta 7%

en los kilogramos de leche producidos diariamente y de 17% en el porcentaje de grasa, respecto a la dieta con alfalfa como fuente única de forraje. Esta tendencia en la composición grasa está acorde con la respuesta esperada cuando la fracción fibra es dotada de un mayor contenido de fibra detergente neutro físicamente efectiva ( $FDN_{fe}$ ) (Alvarez et al., 2000), como es el caso del ESS comparado con la menor  $FDN_{fe}$  en la alfalfa. Aunque no se alcanzó a observar significancia estadística, este incremento en el porcentaje de grasa es una respuesta consistente al reemplazar alfalfa con gramíneas con los trabajos de Beauchemin et al. (1997) y Cherney (2000). Con el reemplazo de la alfalfa por el ESS en la dieta de las vacas lactantes ocurrió una caída de casi 6% en el porcentaje de proteína. Esta disminución es de esperarse por la también reducción gradual en el consumo de proteína cruda.

Cuadro 4. Consumo total de nutrientes al sustituir heno de alfalfa por ensilado de sorgo-sudán de nervadura café en una dieta para ganado lechero ofrecida a novillos Holstein.

| Nutriente <sup>a</sup> | Tratamientos <sup>b</sup> |       |       | *EE | Efectos |            |
|------------------------|---------------------------|-------|-------|-----|---------|------------|
|                        | ESS0                      | ESS25 | ESS50 |     | Lineal  | Cuadrático |
|                        | Consumo, g/día            |       |       |     |         |            |
| MS                     | 7137                      | 7135  | 6911  | 83  | 0.060   | 0.257      |
| MO                     | 6635                      | 6610  | 6356  | 76  | 0.032   | 0.215      |
| FDN                    | 1779                      | 1755  | 1904  | 38  | 0.026   | 0.055      |
| N                      | 157                       | 145   | 136   | 3   | 0.0009  | 0.751      |

<sup>a</sup> MO: materia orgánica, N: nitrógeno, MS: materia seca, FDN: fibra detergente neutro.

<sup>b</sup> Tratamientos: ESS0: heno de alfalfa + concentrado, ESS25: sustitución del 25% de heno de alfalfa por ESS, ESS50: sustitución del 50% de heno de alfalfa por ESS.

\*EE: Error Estándar

Cuadro 5. Digestión ruminal, síntesis microbiana y uso del nitrógeno al sustituir heno de alfalfa por ensilado de sorgo-sudán de nervadura café en una dieta para ganado lechero ofrecida a novillos Holstein.

| Variable <sup>a</sup> | Tratamientos <sup>b</sup> |       |       | *EE  | P<F   | Efectos <sup>c</sup> |        |
|-----------------------|---------------------------|-------|-------|------|-------|----------------------|--------|
|                       | ESS0                      | ESS25 | ESS50 |      |       | L                    | C      |
| Digestión ruminal,%   |                           |       |       |      |       |                      |        |
| MO                    | 70.3                      | 69.0  | 71.7  | 1.1  | 0.240 | 0.396                | 0.1441 |
| FDN                   | 63.9                      | 62.6  | 69.5  | 3.0  | 0.202 | 0.167                | 0.231  |
| N                     | 66.7                      | 60.3  | 68.6  | 3.6  | 0.257 | 0.706                | 0.113  |
| MOM <sup>d</sup>      | 607                       | 563   | 553   | 61.7 | 0.766 | 0.504                | 0.802  |
| EfM <sup>e</sup>      | 13.18                     | 12.32 | 12.07 | 2.0  | 0.825 | 0.563                | 0.852  |
| EfN <sup>f</sup>      | 0.72                      | 0.79  | 0.72  | 0.03 | 0.211 | 0.963                | 0.085  |

<sup>a</sup>variable: MO: materia orgánica, FDN: fibra detergente neutro, N: nitrógeno.

<sup>b</sup>Tratamientos: ESS0: heno de alfalfa + concentrado, ESS25: sustitución del 25% de heno de alfalfa por ESS, ESS50: sustitución del 50% de heno de alfalfa por ESS.

<sup>c</sup> Efectos: L: Lineal, C: Cuadrático.

\*EE: Error Estándar

<sup>d</sup>MOM: materia orgánica microbiana.

<sup>e</sup>EfM: eficiencia microbiana, g/kg de MO fermentada.

<sup>f</sup>EfN: eficiencia de nitrógeno, nitrógeno no amoniacal (NNA)/(N) nitrógeno consumido

Cuadro 6. Digestión postruminal y total de nutrientes<sup>a</sup> al sustituir heno de alfalfa por ensilado de sorgo de nevadura café en una dieta para ganado lechero ofrecida a novillos Holstein.

| Variable                | Tratamientos <sup>b</sup> |       |       | *EE  | P<F   | Efectos <sup>c</sup> |       |
|-------------------------|---------------------------|-------|-------|------|-------|----------------------|-------|
|                         | ESS0                      | ESS25 | ESS50 |      |       | L                    | C     |
| Digestión postruminal,% |                           |       |       |      |       |                      |       |
| MO                      | 54.9                      | 57.2  | 54.8  | 2.8  | 0.785 | 0.978                | 0.494 |
| FDN                     | 0.89                      | 6.62  | -1.9  | 14.4 | 0.729 | 0.800                | 0.462 |
| N                       | 69.3                      | 72.3  | 71.1  | 1.9  | 0.538 | 0.505                | 0.378 |
| Digestión total %       |                           |       |       |      |       |                      |       |
| MO                      | 82.2                      | 83.1  | 83.3  | 1.7  | 0.886 | 0.657                | 0.845 |
| FDN                     | 65.0                      | 65.7  | 69.0  | 3.4  | 0.686 | 0.423                | 0.764 |
| N                       | 76.9                      | 77.3  | 78.4  | 1.8  | 0.821 | 0.552                | 0.867 |
| pH                      | 6.36                      | 6.34  | 6.37  | 0.18 | 0.986 | 0.9457               | 0.885 |

<sup>a</sup>nutrientes: MO: materia orgánica, N: nitrógeno, MS: materia seca, FDN: fibra detergente neutro.

<sup>b</sup>Tratamientos: ESS0: heno de alfalfa + concentrado, ESS25: sustitución del 25% de heno de alfalfa por ESS, ESS50: sustitución del 50% de heno de alfalfa por ESS.

<sup>c</sup> Efectos: L: Lineal, C: Cuadrático.

\*EE: Error Estándar

## X. CONCLUSIONES

Cuadro 7. Producción y composición de la leche en vacas Holstein, con 180±33 días en lactancia, al sustituir heno de alfalfa por ensilado de sorgo de nevadura café en una dieta típica para ganado lechero.

| Variable <sup>a</sup> | Tratamientos <sup>b</sup> |       |       | *EE  | P<F   | Efectos <sup>c</sup> |       |
|-----------------------|---------------------------|-------|-------|------|-------|----------------------|-------|
|                       | ESS0                      | ESS25 | ESS50 |      |       | L                    | C     |
| PL, kg/d              | 19.04                     | 20.00 | 20.39 | 1.26 | 0.676 | 0.412                | 0.834 |
| Grasa, %              | 2.62                      | 2.51  | 3.07  | 0.35 | 0.289 | 0.235                | 0.296 |
| Proteína, %           | 3.77                      | 3.68  | 3.55  | 0.11 | 0.245 | 0.103                | 0.877 |
| Lactosa, %            | 4.88                      | 4.95  | 4.88  | 0.10 | 0.521 | 0.960                | 0.266 |
| SNG                   | 9.54                      | 9.61  | 9.35  | 0.17 | 0.297 | 0.268                | 0.270 |

<sup>a</sup>variable: PL: Producción diaria de leche, SNG: Sólidos no grasos fibra detergente neutro, N: nitrógeno.

<sup>b</sup>Tratamientos: ESS0: heno de alfalfa + concentrado, ESS25: sustitución del 25% de heno de alfalfa por ESS, ESS50: sustitución del 50% de heno de alfalfa por ESS.

<sup>c</sup> Efectos: L: Lineal, C: Cuadrático.

\*EE: Error Estándar

Bajo las condiciones experimentales en que se realizó el presente proyecto se concluye que es posible sustituir hasta un 50% de la alfalfa por ensilado de sorgo sudan de nervadura café en una dieta típica para ganado lechero sin detrimento en su utilización en el tracto digestivo ni diferencias en el nivel de producción ni en la composición de la leche.

## XI. LITERATURA CITADA

- Abdelhadi, L.O., Santini, F.J., 2006. Corn silage versus grain sorghum silage as a supplement to growing steers grazing high quality pastures: Effects on performance and ruminal fermentation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 127, 33–43.
- Alvarez E.G., R. A. Zinn, J. F. Calderón, M. F. Montaña, & J. Salinas. (2004). Influence of Dietary Forage Level on Digestive Function and Growth Performance in Cattle Fed Steam flaked Corn based Growing finishing Diets. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 3(8)506-512.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis (17 th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA. 2200 pp
- Aydin G, Grant R.J, O'rear J.1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J Dairy Sci*;(82):2127-2135.
- Ballard C.S, Thomas E.D, Tsang D.S, Mandebvu P, Sniffen C.J, Endres M.I, Carter M.P. 2001. Effect of corn silage hybrid on dry matter yield, nutrient composition, In vitro digestion, intake by dairy heifers, and milk production by dairy cows. *J Dairy Sci*;(84):442-452.
- Barber, G. D., Offer, N. W., & Givens, D. I. (1996). Predicting the nutritive value of silage. En Garnsworthy, P. C., & Cole, D. J. A., *Recent developments in ruminant nutrition III* (págs. 95-112). Nottingham, UK: Nottingham University Press.
- Beauchemin, K.A., W.Z. Yang, and L.M. Rode. 1999. Effects of grain source and enzyme additive on site and extent of nutrient digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:378.
- Broderick, G. A. 1995. Performance of lactating dairy cows fed either alfalfa silage or alfalfa hay as the sole forage. *J. Dairy Sci.* 78:320–329.
- Castro J. J., J. K. Bernard, N. A. Mullis, and R. B. Eggleston. 2010. Brown midrib corn silage and Tifton 85 bermudagrass in rations for early-lactation cows. *J. Dairy Sci.* 93:2143–2152
- Cherney J.H., D.J.R. Cherney, D.E. Akin, J.D.1991. Axtell, Potential of brown-midrib, low lignin mutants for improving forage quality, *Adv. Agron.* 46 , 157–198.

- Cherney, D. J. R. (2000). Characterization of forages by chemical analysis. En Givens, D. I., Owen, E., Axford, R. F. E., & Omed, H. M., *Forage evaluation in ruminant nutrition* (págs. 281-300). Wallingford, UK: Cab International.
- Church, D.C. 1993. Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Ed. Acribia, Zaragoza.
- Cox W.J and Cherney D.L. 2001. Influence of brown midrib, leafy, and transgenic hybrids on corn forage production. *Agron. J.* 93:790-796.
- Dann H.M, Grant K.W, Cotanch E.D, Thomas C.S, Ballard R. 2008. Rice. Comparison of brown midrib sorghum-sudangrass with corn silage on lactational performance and nutrient digestibility in Holstein dairy cows *J. Dairy Sci.* 91: 663 - 672.
- Elizalde, H. (1994). El valor nutritivo de los ensilajes. En González, M., & Bortolameolli, G. (Ed.), *II Seminario "Producción y utilización de ensilajes de pradera para agricultores de la zona sur"*. No. 52, págs. 39-60. Estación Experimental Remehue, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Farias J.M, Winch J.E.1987. Effect of planting date and harvest stage upon yield, yield distribution and quality of sorghum sudangrass in northern Mexico. *Trop Agric;*(64):87-90.
- Flores, C. G. 2004. Factores que afectan a la calidad del ensilaje de hierba y a la planta de maíz forrajero en Galicia y evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de estos forrajes ensilados. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. 353p.
- Forsberg C. W., Lovelock LKA, Krumholz L, Buchanan-Smith JG (1984). Protease activities of rumen protozoa. *Appl Environ Microbiol* 47: 101-110
- Fritz, J. O., K. J. Moore, and E. H. Jaster. 1988. In Situ Digestion Kinetics and Ruminal Turnover Rates of Normal and Brown Midrib Mutant Sorghum x Sudangrass Hays Fed to Nonlactating Holstein Cows 1. *J Dairy Sci* 71:3345-3351
- Fritz, J. O., K. J. Moore, and E. H. Jaster. 1990. Digestion kinetics and cell wall composition of brown midrib sorghum x sudangrass morphological components. *Crop Sci.* 30:213-219.

- Ganoe, K.H., and G.W. Roth. 1992. Kernel milk line as a harvest indicator of corn silage in Pennsylvania. *J. Prod. Agric.* 5:519–523.
- Grant, R. J., S. G. Haddad, K. J. Moore, and J. F. Pedersen. 1995. Brown midrib sorghum silage for midlactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:1970–1980.
- Greenfield, T. L., R. L. V. Baldwin, R. A. Erdman, and K. R. McLeod. 2001. Ruminal fermentation and intestinal flow of nutrients by lactating cows consuming brown midrib corn silages. *J. Dairy Sci.* 84:2469–2477.
- Hill FN and Anderson DL (1958) Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-603.
- Hoffman P.C., Combs D.K. and Casler M.D. (1998). Performance of lactating dairy cows fed alfalfa silage or perennial ryegrass silage. *Journal of Dairy Science*, 81, 162–168.
- Hoon M.L, Brewaker J.L.1984. Effects of brown midrib-3 on yield and yield components of maize. *Crop Sci*;(24):105-108.
- Hunt C W, W Kezar, R Vinande. 1989. Yield, chemical composition and ruminal fermentability of corn whole plant, ear, and stover as affected by maturity. *J. Prod. Agric.* 2:357-361.
- Jung, H. G., and G. C. Fahey, Jr. 1983. Nutritional implications of phenolic monomers and lignin: a review. *J. Anim. Sci.* 57:206.
- Kliem, K. E., Morgan, R., Humphries, D. J., Shingfield, K. J., Givens, D. I. 2008. Effect of replacing grass silage with maize silage in the diet on bovine milk fatty acid composition. *Animal* 2: 1850-1858.
- Kowsar, R., Ghorbani, G. R., Alikhani, M., Khorvash, M. and Nikkhah, A. 2008. Corn Silage Partially Replacing Short Alfalfa Hay to Optimize Forage Use in Total Mixed Rations for Lactating Cows. *Journal Dairy Science* 91 (12): 4755 – 4764.
- Lewis, A. L., W. J. Cox, and J. H. Cherney. 2004. Hybrid, maturity, and cutting height interactions on corn forage, yield and quality. *Agron. J.* 96:267–274.
- McDonald, P. (1981). *The Biochemistry of Silage*. Chichester, England: John Wiley and Sons.

- Merry, R. J., Winters, A. L., Cockburn J. E., & Dhanoa M. S. (2000). Effects of lactic acid bacteria in inoculants on changes in amino acid composition during ensilage of sterile and non-sterile ryegrass. *J. Appl. Microbiol.*, 89:442–451.
- Mertens, D. R. (1992). Nonstructural and Structural Carbohydrates. En Wilcox, C. J. and Van Horn, H. H., *Large Dairy Herd Management*. Champaign, Il., USA: American Dairy Science Association.
- Muck R. E. 2004. Effects of corn silage inoculants on aerobic stability .*ASAE* 47(4): 1011–1016
- Neylon, J. M., and L. Kung, Jr. 2003. Effects of cutting height and maturity on the nutritive value of corn silage for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 86:2163-2169.
- Nuñez H.G., and Cantu B.J.E. 2000. Producción, composición química y digestibilidad del forraje de sorgo x sudan de nervadura café en la región norte de México. *Tec Pecu Mex.* 38:177-187.
- National Research Council – NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7. rev. ed. Washinton, D.C.: 381p.
- Oba, M., and M. S. Allen. 1999. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on dry matter intake and productivity of high yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:135–142.
- Oba, M., and M. S. Allen. 2000. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization. *J. Dairy Sci.* 83:1333–1341
- Oliver A.L, Grant R.J, Pedersen J.F, O’Rear J. 2004. Comparison of brown midrib 6 and 18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating cows. *J. Dairy. Sci.* 87: 637-644.
- Oliver A.L, Pedersen J. F, Grant R.J, Klopfenstein T.J. 2005. Comparative Effects of the Sorghum bmr-6 and bmr-12 Genes: I. Forage Sorghum Yield and Quality. *Crop Sci.* 45: 2234-2239.
- Porter, K. S., J. D. Axtell, V. L. Lechtenberg, and V. F. Colenbrander. 1978. Phenotype, fiber composition and in vitro dry matter disappearance of chemically induced brown midrib mutants of sorghum. *Crop Sci.* 18:205.

- Qiu, X., M. L. Eastridge, and Z. Wang. 2003. Effects of corn silage hybrid and dietary concentration of forage NDF on digestibility and performance by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:3667–3674.
- Rook, J. A., L.D.Muller, and D. B. Shank. 1977. Intake and digestibility of brown-midrib corn silage by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 60:1894–1904.
- Ruiz, T. M., E. Bernal, C. R. Staples, L. E. Sollenberger, and R. N. Gallaher. 1995. Effect of dietary neutral detergent fiber concentration and forage source on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 78:305–319.
- Ruiz, I. (1996). La pradera como alimento para el ganado. En Ruiz, I., *Praderas para Chile* (2da ed., págs. 17-25). Santiago, Chile.: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- SAS, 2002. Users guide: Statics, version 6.4<sup>th</sup> edition. SAS Int., Inc., Cary, NC.
- Sheaffer C.C.,J.L.Halgerson, and H.G.Jung.2006. Hybrid and N fertilization affect corn silage yield and quality. *Crop Sci.* 192:278-283.
- SIAP. (2015). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado el 15 de julio de 2017, de [http://nube.siap.gob.mx/cierre\\_agricola/](http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/)
- SMN (2010). Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=bc>
- Steel, R. G. D., J. H. Torrie and D. A. Dinkey, 1996. Principles and Procedures of Statistics, 2nd Ed., McGraw Hill Book Co., Singapore.
- Taylor, C. C. and Allen, M. S. 2005. Corn Grain Endosperm Type and Brown Midrib 3 Corn Silage: Site of Digestion and Ruminant Digestion Kinetics in Lactating Cows. *Journal Dairy Science* 88 (4): 1413 – 1424.
- Tjardes, K. E., D. D. Buskirk, M. S. Allen, N. K. Ames, L. D. Bourquin, and S. R. Rust. 2000. Brown midrib-3 corn silage improves digestion but not performance of growing beef steers. *J. Anim. Sci.* 78:2957–2965.
- Tyrrell and Moe P. W. 1975. Effect of intake on digestive efficiency. *J. Dairy Sci.* Vol 58, Issue 8, 1151-1163
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Second Ed. Cornell University Press. Ithaca, N.Y

- Van Soest, P.J. 1996. Environmental and forage quality. Proceedings.Cornell Nutrition Conferences for Feed Manufacturers.58Th Meeting. Rochester, NY. Ithaca, NY. Cornell University: 1-6.
- Waldo, D. R. 1986. Symposium: Forage utilization by the lactating cow. Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. J. Dairy Sci. 69:617–632.
- Wedig, C.L. 1988. Effect of Brown Midrib and Normal Genotypes of Sorghum x Sudangrass on Ruminal Fluid and Particulate Rate of Passage from the Rumen and Extent of Digestion at Various Sites Along the Gastrointestinal Tract in Sheep. J. Anim. Sci. 66:559-565.
- Winters, A. L., J. E. Cockburn, M. S. Dhanoa, and R. J. Merry. 2000. Effects of lactic acid bacteria in inoculants on changes in amino acid composition during ensilage of sterile and non-sterile ryegrass. J. Appl. Microbiol. 89:442–451.
- Wolf D.P, Coors J.G, Albrecht K.A, Undersander D.J, Carter P.R. 1993. Forage quality of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. Crop Sci. 33: 1353-1359.
- Wu Z., Roth G. 2005. Considerations in managing cutting height of corn silage. Extension publication DAS 03-72.The Pennsylvania State University, University Park.7 p.
- Zinn RA and Owens FN (1986). A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. Can. J. Anim. Sci. 66:157-166.
- Zinn RA 1990. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in steers. J. Anim. Sci. 68:776–781
- Zinn, R.A., and Ware, R.A. (2007). Forage quality: digestive limitations and their relationships to performance of beef and dairy cattle. *22nd Annual Southwest Nutrition and Management Conference.*, (págs. 49-54). Tempe, AZ, U.S.A.