

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



**“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE LA SEMILLA ENTERA DE
ALGODÓN Y GRANOS SECOS DE DESTILERÍA A DIETAS
EN BASE A ENSILADO DE SORGO SOBRE LA FUNCIÓN
DIGESTIVA DE NOVILLOS HOLSTEIN”**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA

SANDRA AZUCENA NAVA ARNULFO

DIRECTOR DE TESIS

Dr. ENRIQUE GILBERTO ÁLVAREZ ALMORA

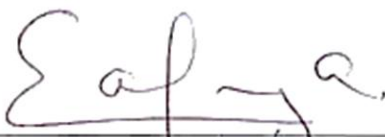
MEXICALI, B.C. MÉXICO

JUNIO, 2016

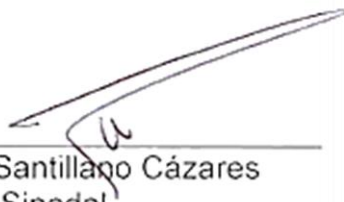
La presente tesis **“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE SEMILLA ENTERA DE ALGODÓN Y GRANOS SECOS DE DESTILERÍA CON SOLUBLES A DIETAS EN BASE A ENSILADO DE SORGO SOBRE LA FUNCIÓN DIGESTIVA DE NOVILLOS HOLSTEIN”** realizada por la **C. Sandra Azucena Nava Arnulfo**, dirigida por el **Dr. Enrique Gilberto Álvarez Almora**, ha sido evaluada 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 Gpe. Torrentera Olivera
Secretario


Dr. Jesús Santillano Cázares
Sinodal


Dr. David Calderón Mendoza
Sinodal



Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites sonreír ante todos mis logros. Gracias por permitirme tener a **mi familia**, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACyT) por el apoyo financiero otorgado para culminar el presente posgrado.

A la **Universidad Autónoma de Baja California - Instituto de Ciencias Agrícolas**, por haberme proporcionado la oportunidad de seguir creciendo, tanto en el ámbito académico como personal, por el conocimiento adquirido durante mi formación.

A mi asesor, el **Dr. Enrique G. Álvarez Almora** por permitirme formar parte de sus asesorados, por su confianza, amistad y conocimientos brindados en la valiosa asesoría para la realización del presente trabajo. Ha sido capaz de ganarse mi lealtad y admiración.

Agradezco a mis formadores, **profesores del Instituto**, personas de gran sabiduría que contribuyeron en mi formación durante este periodo de estudios y a quienes contribuyeron en la revisión de esta tesis Dr. Enrique Gilberto Álvarez Almora, Dra. Noemí Gpe. Torrentera Olivera, Dr. Jesús Santillano Cázares y el Dr. David Calderón Mendoza, a ellos muchas gracias.

De manera muy especial a **Ana Silvia Abarca, Juan Topete e hijos Juan y Jimmy** por haberme tratado como parte de su familia. Mil gracias por todo el tiempo compartido a lo largo de la carrera, por su comprensión, paciencia, ayuda, consejos y sobre todo valiosa amistad.



A DIOS creador de todas las cosas, quien me da fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello dedico el presente trabajo a Él, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar.

Mi hermosa madre *Albina Arnulfo Liborio* mi amiga, que ha estado siempre cuidándome y ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi padre *Fidel Nava Hernández*, por brindarme tus consejos para hacer de mí una mejor persona, por darme cariño y el empeño que uno dedique a esas cosas importantes que uno se traza; como proyectos en la vida.

Sus esfuerzos son impresionantes y su amor es para mí invaluable. Corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos, los amo.

A mis hermanos *Betsy, Osbaldo, Armando y Fidel*, "Parece como si nunca hubiéramos estado en paz, siempre batallando por cualquier cuestión, sin embargo siempre llegaron los momentos en los que nuestra lucha cesó e hicimos una tregua para lograr metas conjuntas" les agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes lotes de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Una verdadera amiga es quien te conoce tal como eres, te acompaña en tus logros y fracasos, celebra tus alegrías, comparte tu dolor y jamás te juzga por tus errores. A mi amiga *Nancy O. Muniez* gracias por tu apoyo incondicional y tu gentileza. Planté una semilla de amistad y recogí un ramo de felicidad al conocerte.

CONTENIDO

	Pag.
LISTA DE CUADROS.....	i
ACRÓNIMOS.....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
I. INTRODUCCIÓN.....	4
II. HIPÓTESIS.....	6
III. OBJETIVOS.....	6
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1 Valor alimenticio y función del forraje.....	7
4.2 Requerimiento y caracterización de la fibra.....	10
4.3 Valor nutricional del ensilaje del sorgo.....	10
4.4 Producción y uso de los residuos secos de destilería con solubles (DDGS).....	11
4.4.1 Valor nutricional de los DDGS.....	12
4.5 Producción y uso de semilla de algodón (SEA).....	13
4.5.1 Valor nutricional de la semilla de algodón.....	14
4.6 Composición nutricional comparativa de DDGS y SEA.....	15
4.7 Relación de la fibra con otros componentes.....	19
a) Digestión diferencial de las fracciones fibrosas.....	19
b) Interacción fibra-proteína.....	20
c) Aporte de nitrógeno (N) y proteína microbial.....	22
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
5.1 Ubicación del experimento.....	24
5.2 Unidades experimentales.....	24
5.3 Duración del experimento.....	24
5.3.1 Descripción de los tratamientos.....	24
5.4 Colección de muestras.....	25
5.5 Análisis de laboratorio.....	27
5.6 Variables de respuesta.....	27
5.7 Diseño experimental y análisis estadístico.....	28
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
6.1 Composición nutricional de los ingredientes utilizados en el experimento.....	29
6.2 Consumo de nutrientes y flujo hacia duodeno.....	30
6.3 Digestión en rumen y producción microbial.....	35
6.4 Digestión Post ruminal y total.....	37
VII. CONCLUSIONES.....	41
VIII. LITERATURA CITADA.....	42

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Pag.
1 Composición química en ensilajes de sorgo.....	11
2 Composición nutricional de la Semilla entera de algodón.....	18
3 Composición nutricional de los DDGS.....	19
4 Fracción fibrosa de la SEA.....	19
5 Fracción fibrosa de los DDGS.....	19
6 Protocolo de secado del ensilaje en horno de microondas.....	26
7 Composición nutricional del ensilaje de sorgo, DDGS y SEA.....	30
8 Consumo total de nutrientes por novillos Holstein alimentados a base de ensilado de sorgo y suplementos con DDGS o con SEA.....	31
9 Flujo de nutrientes hacia duodeno en novillos alimentados a base de ensilado de sorgo y suplementados con DDGS o con SEA.....	34
10 Digestión ruminal, síntesis microbial y eficiencia de uso del nitrógeno en novillos alimentados a base de ensilado de sorgo y suplementados con DDGS o con SEA.....	36
11 Digestión post-ruminal en novillos alimentados a base de ensilado de sorgo con DDGS o con SEA.....	38
12 Digestión total en novillos alimentados a base de ensilado de sorgo con DDGS o con SEA.....	40

ACRÓNIMOS

AGV	Ácidos Grasos Volátiles
ALM	Almidón
BS	Base seca
CEL	Celulosa
CEN	Cenizas
CMS	Consumo de Materia Seca
CV	Coeficiente de variación
DDGS	Granos Secos de Destilería con Solubles, por si siglas en ingles
EE	Error Estándar
EEt	Extracto Etéreo
EfN	Eficiencia del Nitrógeno
EfNM	Eficiencia del Nitrógeno Microbial
EN	Energía Neta
ENm	Energía Neta de mantenimiento
FDA	Fibra Detergente Neutro
FDN	Fibra Detergente Ácido
FDNe	Fibra Detergente Neutro efectiva
HEM	Hemicelulosa
Kd	Tasa de degradación
Kp	Tasa de pasaje
LIG	Lignina
MO	Materia Orgánica
MOM	Materia Orgánica Microbial
MS	Materia Seca
MSP	Materia Seca Parcial
N	Nitrógeno
NA	Nitrógeno Amoniacal
NM	Nitrógeno Microbial
NNA	Nitrógeno No Amoniacal
NNDR	Nitrógeno del alimento no degradado en el rumen
NNP	Nitrógeno No Proteico
PC	Proteína Cruda
PDR	Proteína Degradable en Rumen
PI	Peso inicial
PV	Peso Vivo
PVI	Peso vivo inicial
RELCMS	Consumo de materia seca como porcentaje de la capacidad máxima
SEA	Semilla entera de algodón
TND	Total de Nutrientes Digestibles
TTG	Testigo

RESUMEN

Para evaluar la influencia de la adición de la semilla entera de algodón (**SEA**) y Granos Secos de Destilería con Solubles (**DDGS**, por sus siglas en inglés) en una dieta a base de ensilado de sorgo (**ES**) sobre la utilización de nutrientes y función digestiva. Se distribuyeron cinco novillos Holstein (400 kg) con cánulas en rumen y duodeno proximal en un cuadro latino 5 x 5, en los tratamientos: 1) 100% ES (**TTG**), 2) 87.5% ES + 12.5% DDGS (**DDGS1**), 3) 75% ES + 25% DDGS (**DDGS2**), 4) 87.5% ES + 12.5% SEA (**SEA1**) y 5) 75% ES + 25% SEA (**SEA2**). El consumo diario fue restringido a 1.8% del peso vivo (PV). Se utilizó óxido de cromo (0.3% del consumo diario en BS) como marcador de la digesta. No existió ($P > 0.05$) influencia de los tratamientos sobre la digestión en rumen de la MO, FDN, FDA y LIG. Comparado con SEA, al adicionar DDGS la digestión en rumen de la CEL tendió a ser mayor ($P = 0.062$) y menor ($P = 0.057$) la del N total. No existió influencia de ninguno de los suplementos sobre la generación de MOM, eficiencia microbial y eficiencia del N ($P > 0.05$). La adición de los suplementos incrementó la digestión post ruminal de la MO ($P < 0.01$) y el N ($P < 0.05$). La adición de DDGS provocó un mayor incremento sobre la digestión total de la MO ($P = 0.002$), FDN ($P = 0.013$) y del N ($P < 0.01$). En general, fue la adición de DDGS, antes que la adición de la SEA, que mejoró la digestión total del N y una relación directamente proporcional con la generación de MOM y la eficiencia microbial.

ABSTRACT

To evaluate the influence of the addition of the Whole Cotton Seed (**WCS**) and Distilled Dried Grains with Solubles (**DDGS**, For its acronym in English) on a Sorghum Silage (**SS**) basal diet on the utilization of nutrients and digestive function, five (400 kg BW) Holstein steers with cannulas in rumen and proximal duodenum were distributed in a Latin Square 5 x 5 into the treatments: 1) 100% SS (**TTG**), 2) 87.5% SS + 12.5% DDGS (**DDGS1**), 3) 75% + 25% DDGS (**DDGS2**), 4) 87.5% + 12.5% WCS (**WCS1**) and 5) 75% + 25% WCS (**WCS2**). Daily consumption was restricted to 1.8% of BW as DM basis. Chromium Oxide (0.3% of the daily consumption in BS) was used as digesta marker. There was no ($P > 0.05$) influence of treatments on the rumen digestion of the OM, NDF, ADF and LIG. Adding DDGS the rumen digestion of the CEL tended to be greater ($P = 0.062$) and total N lower ($P = 0.057$), as compared with WCS. There was not ($P > 0.05$) the influence of none of the supplements on the generation of MOM, microbial efficiency and N efficiency. The addition of supplements increased the post ruminal OM ($P < 0.01$) and N ($P < 0.05$) digestion. DDGS caused a further increase on the total digestion of the MO ($P = 0.002$), NDF ($P = 0.013$) and N ($P < 0.01$). In general, was DDGS addition, instead the WCS, which improved the total digestion of N and a directly proportional relationship with the generation of MOM and microbial efficiency.

I. INTRODUCCIÓN

En el valle de Mexicali en los últimos años se ha adoptado la práctica de ensilar variedades de sorgo-sudan debido a su menor costo por tonelada de materia seca, producción más estable entre años, resistencia del cultivo a la sequía y posibilidad de mejorar sustancialmente su calidad con la adición de aditivos durante su elaboración (Parsi *et. al.* 2001). Cuando este ensilado es usado como dieta basal en las etapas de crecimiento o desarrollo en bovinos, con frecuencia existe dificultad para cubrir los requerimientos de energía y proteína, por lo que normalmente es necesaria la adición de subproductos con elevado aporte energético y proteico (De León y Simondi, 2006). Dos opciones por su alta disponibilidad en la región, son la semilla entera de algodón (SEA) y los granos secos de destilería con solubles (DDGS, por su siglas en ingles). Ambos poseen considerable cantidad de proteína y energía, pero con diferencias en disponibilidad de aprovechamiento de nutrientes para los rumiantes, a causa de que en la primera se da un encapsulamiento natural de estos dos nutrientes y se ofrece intacta a los animales en corral o pastoreo. La segunda es un residuo de la agroindustria del etanol derivado de la fermentación del almidón de cereales como maíz, cebada, trigo, centeno, entre otros, lo que resulta finalmente en un concentrado de carbohidratos y proteínas residuales; cada uno de estos con diferente nivel de solubilidad (Schroeder, 2010).

Aunque es predecible que la disponibilidad de los nutrientes de estos ingredientes estará determinada por su contenido de fibra, la dinámica de utilización de su fracción fibrosa es diferente en ambos, mientras que la FDN de la SEA es retenida en el rumen hasta alcanzar el tamaño y densidad adecuados para migrar hacia omaso, su tiempo de degradación vendría a ser suficiente para que la proteína contenida active la actividad microbiana fermentativa (Estrada, *et. al.*, 2011). En los DDGS la fibra está compuesta por un tamaño de partícula pequeño, considerándose que contribuye en menos de un 15% a la fibra físicamente efectiva de la dieta y en desventaja frente a la fibra del forraje, en consecuencia se ha observado que al

elevarse su inclusión en la dieta ocurre una disminución en la producción de proteína microbial (Arnold *et. al.* 2012).

Aunque la SEA y los DDGS tienen similar contenido de su fracción FDN, en la SEA se ha observado un mayor tiempo de permanencia en el rumen, eficiencia microbial y degradabilidad de la materia seca (Dado y Allen, 1995; Oba y Allen, 2000; Shabestar *et. al.* 2012). Por el contrario los DDGS, aunque se espera que presenten mayor digestión en rumen, la efectividad de su componente fibroso sobre la regulación del pasaje y estabilidad funcional del rumen es menor. Por lo anterior, se espera identificar un efecto diferenciado por el tipo de fibra sobre la digestión y fermentación en el rumen. Por otro lado, la proteína degradable en el rumen (PDR) de la SEA es alrededor de 70%, mientras en los DDGS es cercana a 50% (NRC, 2000). En el primer caso debido al también mayor tiempo de permanencia en el rumen, es posible que la producción de proteína microbial sea favorecida. En el caso de los DDGS, Van Soest y Mason (1991) y Waters *et al.* (1992) coinciden en señalar que el procesado por calentamiento aumenta la indegradabilidad del N en el rumen; pero se desconoce si existen diferencias entre DDGS y SEA en la producción, síntesis microbial y uso del N, a lo largo del tracto gastro intestinal.

II. HIPOTESIS

La adición de la semilla entera de algodón a una dieta a base de ensilado de sorgo tiene mayor influencia que los granos secos de destilería con solubles sobre la utilización de nutrientes y función digestiva debido a una mayor funcionalidad de la fibra en el rumen.

III. OBJETIVO

Evaluar la influencia de la adición de semilla entera de algodón y granos secos de destilería con solubles, sobre la digestión en rumen y total de las fracciones fibrosas y nitrogenadas en novillos Holstein alimentados a base de ensilado de sorgo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Valor alimenticio y función del forraje

Los forrajes, al igual que la mayoría de las plantas están integradas por contenido celular y paredes celulares. Se asume que los primeros son 100% digeribles, aunque conforme la planta madura la composición química de la pared celular cambia. En general, al envejecer los forrajes el contenido total de la fracción fibrosa aumenta, aunque en proporción diferente para cada uno de sus componentes. Por ejemplo, la lignina es una fracción básicamente indigestible que aumenta rápidamente con la madurez de la planta y que disminuye su digestibilidad total. Aunque el concepto "aumento de la cantidad de fibra" es asociada con una disminución en la calidad, digestibilidad y comportamiento animal, es la base de una relación importante: la medida definitiva de la calidad del forraje es el comportamiento animal (Van Soest, 1994).

Otro factor relevante a considerar en los forrajes, además de la composición química es la proporción hoja: tallo, porque cuando la proporción de hojas aumenta, la calidad también. En general, una elevada proporción de los nutrientes más fácilmente utilizables tanto en gramíneas como Pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), Ballico Anual (*Lolium multiflorum*) y Festuca (*Festuca arundinacea*), entre otros como en leguminosas usualmente alfalfa (*Medicago sativa*) y trébol (*Trifolium alexandrinum*) ocurre en las hojas. Por ejemplo, NRC (1984) reporta que la alfalfa contiene 31 y 18% de FDA y PC, respectivamente. Pero con las hojas y los tallos analizados separadamente, en las hojas se tiene 23% de FDA y 26% de PC, mientras que en los tallos 37% de FDA y 11% de PC. Con la madurez éste diferencial se acentúa, por lo tanto la proporción de hoja: tallo en los forrajes es un valioso indicador de la calidad nutritiva.

El consumo de energía es el principal determinante del crecimiento en ganado de engorda (NRC, 1996). Cuando el consumo de energía dietética no es una limitante, el crecimiento del ganado se determina principalmente por su estado

nutricional anterior y por el potencial genético del animal. Pero cuando la densidad energética de la dieta disminuye (i.e. el nivel de forraje de la dieta aumenta), los materiales fibrosos se acumulan dentro del rumen y limitan eventualmente el consumo de energía (Zinn R. A. and Salinas J., 1999).

Para que las partículas del alimento transiten del rumen al tracto digestivo posterior, deben digerirse o reducirse suficientemente en tamaño para permitir el paso a través del orificio retículo-omasal. Para salir del rumen, una partícula debe estar cerca al orificio retículo-omasal, pero las partículas más grandes pueden quedar atrapadas en la masa de fibra flotante en el lado dorsal del rumen y no pasar cerca al orificio. La lámina omasal selecciona las partículas más grandes que sí atraviesan el orificio y las devuelve al rumen, aumentando así el tiempo de retención para las partículas más grandes (Church, 1993).

Aunque a través del orificio retículo-omasal pueden pasar partículas de hasta 5 cm, la mayoría de las que salen del rumen es menor a 1 mm. Welch (1986) notó que más de la mitad (55.2%) de la materia seca ruminal atravesó un cedazo de 0.8 mm. Aunque la masticación durante la ingestión del alimento y la fermentación ruminal juegan papeles importantes en la disminución del tamaño de las partículas, la rumia es la actividad más importante en la reducción del tamaño de partículas de materiales gruesos. Aunque para salir del rumen se requiere un tamaño reducido de partícula, no está claro el mecanismo exacto que determina cuales partículas abandonan el rumen, pero es posible intentar atribuir al orificio retículo-omasal la selección del tamaño. Welch (1986) mediante impresiones tomadas con óptica y encontró que en ganado de engorda la máxima apertura del orificio retículo-omasal era alrededor de 4 mm en ganado de engorda, pero mayor de 2 cm en vacas (Welch, 1982). Esto hace difícil explicar la selectividad del pasaje por la función del orificio retículo-omasal. Puesto que más de la mitad de la materia seca encontrada en el rumen pasa una criba de 0.6 mm, algún otro mecanismo (quizás relacionado con la densidad de partícula) limita la salida del material de tamaño pequeño del rumen.

Aunque la tasa de pasaje (K_p) puede variar con el nivel de consumo de alimento, la K_p para fluidos tiene un rango típico de 4 a 10%/h, mientras que la K_p

para las partículas de concentrado va de 2 a 7%/h, y la Kp para las partículas de forraje va de 1 a 6%/h (Owens y Goetsch, 1986). Por lo tanto, en la recepción y cría de ganado de engorda, se debe tener mucho cuidado para equilibrar la cantidad de fibra en la dieta a fin de crear un ambiente en el cual el crecimiento del ganado es óptimo. Por consiguiente, el valor alimenticio del forraje en dietas de recepción y crecimiento para ganado de engorda es una función de mucho más que su valor de energía neta, y palatabilidad (aceptabilidad) por sí mismos. Se debe también tener en cuenta el tamaño inicial de la partícula y las tasas de digestión ruminal de fibra (Tasa de degradación Kd y Kp).

Numerosos estudios demuestran que al aumentar la cantidad de forraje en la dieta aumentará el consumo de materia seca (CMS) (Ludden *et al.*, 1995; Zinn y Plascencia, 1996; Calderón-Cortes y Zinn, 1996). Esto se debe al efecto reductor que tiene el forraje sobre la densidad energética de la dieta. Si el animal está consumiendo menos energía por unidad de alimento, necesitará aumentar el consumo de alimento para completar la energía necesaria para mantenimiento y ganancia. Pero como es parabólica la relación entre el nivel de forraje y el CMS, existe un punto en el cual los aumentos excesivos en la proporción de forraje disminuirán el CMS (Lesoing *et al.*, 1980; Ledoux *et al.*, 1985; Hussein *et al.*, 1995). La magnitud de la respuesta está relacionada el nivel de inclusión y el tipo de forraje usado en la dieta. A niveles altos de utilización de forraje en la dieta, la cantidad de fibra aumenta en el rumen a tal grado que inhibe consumos mayores. El consumo de materia seca como porcentaje de la capacidad máxima (RELCMS) se relaciona con la Energía Neta de Mantenimiento (ENm) según la ecuación:

$$\text{RELCMS} = -27.1 + 168.0\text{ENm} - 55.4\text{ENm}^2 \text{ (derivado de NRC, 1996).}$$

Zinn y Salinas (1999) observaron que el CMS máximo en ganado es una función predecible del peso inicial (IW, kg) de ganado recién llegado a la engorda, FDN en la dieta (%), FDN_e de la dieta (expresado como porcentaje de FDN dieta), y la digestibilidad ruminal de FDN (PRDFDN, %):

Así, las características del forraje como FDN, FDNe y la digestibilidad ruminal de fibra impactan el rendimiento cuando el CMS máximo es sub-óptimo para el potencial genético de crecimiento del ganado. Esto puede ser especialmente perjudicial durante la fase de recepción cuando el ganado necesita elevar su consumo para mejorar las ganancias a lo largo de todo el periodo de engorda.

4.2 Requerimiento y caracterización de la fibra

Los rumiantes son eficientes convertidores de alimentos fibrosos, mediante los microorganismos que en el rumen fermentan la fibra en productos finales como ácidos grasos volátiles y proteína microbiana. Pero la fibra en la dieta es además clave para mantener un funcionamiento óptimo del rumen, por lo que con frecuencia recibe el nombre de fibra funcional. Debido a las diferencias en los requerimientos de este tipo de fibra, las dietas para ganado de carne y vacas lecheras varían notablemente en las proporciones de alimentos fibrosos. Mientras que en ganado de carne las dietas de finalización contienen un máximo de 12% de FDN (NRC, 2000), la vacas lecheras en su pico de producción demandan al menos 25 a 28% de la misma fracción en la dieta diaria (NRC, 1989). Sin embargo, debido a que al tratar de reunir el requisito de fibra no se tiene en cuenta su forma, tamaño de partícula, tasa de degradación y la interacción con otros ingredientes de la dieta, NRC (1989) sugiere que el 75% de la fibra en la dieta debe ser de fuentes de forraje tradicionales y establece un valor numérico al término; FDN efectiva (FDNe). La FDNe, en teoría, se ha definido como la capacidad real de la fibra para estimular la rumia, la tasa del paso de la digesta, salivación, producción de acetato ruminal, y, en consecuencia, el porcentaje de grasa de la leche (Clark y Armentano, 1993).

4.3 Valor nutricional del ensilaje del sorgo

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. El ensilaje es un tipo de forraje conservado

que se obtiene por la fermentación parcial de los carbohidratos solubles presentes en pasturas recién cortadas. Su valor nutritivo se condiciona por factores como la disminución del pH y las condiciones anaeróbicas para un adecuado desarrollo del proceso fermentativo (McDonald, 1981; Merry *et al.*, 2000). Aunque la calidad del ensilaje como alimento siempre será inferior a la del forraje fresco que le dio origen, la magnitud de ésta disminución está en función de las medidas que se adopten para lograr la conservación más adecuada (Ruíz, 1995). El resultado final del proceso de conservación 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). La composición química de ensilajes de sorgo de varios estudios se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química en ensilajes del sorgo

Autor	FDN	FDA	LIG	PC	MS
% de la MS					
Núñez <i>et al.</i> , 2010	64.43	39.20	7.98	6.07	-
FEDNA, 2004	57.34	34.65	-	10.05	-
Aydin <i>et al.</i> , 1999	51.70	34.70	9.50	6.80	30.06
Fontanelli <i>et al.</i> , 2002	70.30	45.10	4.90	9.10	20.60
Restle <i>et al.</i> , 2002	52.54	28.44	-	6.63	38.47
FDN: Fibra detergente neutro, FDA: Fibra detergente ácido, LIG: Lignina, PC: Proteína cruda y MS: Materia seca.					

4.4 Producción y uso de los residuos secos de destilería con solubles (DDGS)

Los subproductos de destilería se obtienen mediante el secado de los residuos del proceso de obtención de alcohol para bebidas o de etanol para su utilización como biocombustible, a partir de ingredientes ricos en almidón. Particularmente los conocidos como granos secos de destilería con solubles es un sub-producto que en los años recientes ha sido incrementada su producción por el impulso del gobierno

de los EEUU a la sustitución de combustibles fósiles mediante la elaboración en gran escala de etanol a partir de cereales, en donde el más utilizado es el maíz. Se producen anualmente alrededor de 53 mil millones de litros de etanol y 39 millones de toneladas de DDGS (US Grains, 2015) a partir de maíz y sorgo, en estados como Kansas. En Canadá se utiliza regularmente sorgo y en los países del norte de Europa el etanol se obtiene de cebada. En el caso de España en los últimos años se han venido utilizando indistintamente estos cereales. El proceso consiste en convertir los almidones y azúcares del cereal en alcohol. Para mejorar el rendimiento del proceso se aplica vapor caliente y se utilizan levaduras y diversos aditivos. El resultado final es un producto donde se reduce de forma drástica el contenido en hidratos de carbono no estructurales y se concentra proporcionalmente (entre 2.3 y 3 veces) el resto de nutrientes (FEDNA, 2012). El proceso industrial consta de cinco fases: i) selección, limpieza y molienda del grano, ii) conversión enzimática de almidón a glucosa, iii) fermentación con levaduras de la glucosa para producir etanol (cada molécula de glucosa produce 2 moléculas de etanol y 2 de CO₂), iv) destilación por vaporización del etanol mediante calentamiento, y v) recuperación de los residuos y secado de los mismos con aire caliente hasta obtener un 10-12% de humedad. Esto último, para lograr su comercialización en forma de gránulo (FEDNA, 2012). Su utilización como ingrediente para la alimentación animal, por su elevado aporte de energía y proteínas ha sido bien documentada (US Grains, 2015; ABENGOA, 2015).

4.4.1 Valor nutricional de los DDGS

El alto contenido de lípidos en los granos de destilería es una preocupación cuando se incluyen en las dietas de vacas lecheras ya que el aceite de maíz en los DDGS es relativamente alto en ácido linoleico, que es un ácido graso insaturado. Sin embargo, es posible que pudiera haber interacciones entre la concentración de aceite y la falta de fibra eficaz que puede resultar en una disminución de la grasa láctea (Chen *et al.*, 2004). Como se observa en el Cuadro 3, el promedio de lípidos en el DDGS es de 11% con un coeficiente de variación (CV) de 16% (Schingoethe *et al.*, 2009; Spiehs *et al.*, 2002), estos lípidos en los DDGS y otros coproductos

pueden asociarse de forma estrecha con las partículas de grano o estar relativamente libres dependiendo si provienen únicamente de una fracción pre destilada o han sido adicionados con grandes cantidades de solubles (Arnold *et al.*, 2012). Al igual que en otros aceites vegetales y semillas oleaginosas, la grasa asociada con las partículas de grano va a tener menor disponibilidad ruminal (Arnold *et al.*, 2012). El Cuadro 2 reporta 21% en promedio y un CV de 16% en la SEA (Swanepoel *et al.*, 2014; Keele, 1989).

4.5 Producción y uso de la Semilla De Algodón (SEA)

El aumento marcado en la producción mundial de algodón en 2011 - 2012 fue de 8% experimentado, situándose en 27.1 millones de toneladas (Gruére y Sanfilippo, 2012). Debido a los bajos precios internacionales, entre los años 2000 a 2009, la superficie sembrada en el país no alcanzó más de 130 mil hectáreas. Hacia 2010 y 2011, los precios mundiales se incrementaron en vista de la elevada demanda, principalmente de China, que acaparó para abastecer sus reservas, lo que disminuyó los inventarios internacionales. El precio en México aumentó cerca del doble. Debido a ello, en 2011 los productores incrementaron la superficie nacional a casi 200 mil hectáreas y obtuvieron una producción de 746 mil toneladas de algodón, en el 2014 la producción incremento un 10%, alcanzando 637 mil toneladas (Financiera Rural y SHCP, 2014). La semilla entera ha estado disponible como suplemento, en el 2010, México produjo 243,000 toneladas de semilla de algodón e importó 179,500 a un precio de 302 dólares por tonelada (Financiera Rural, 2011), en 2012 se cosecharon 399,500 toneladas de SEA (SIAP, 2013; SAGARPA, 2012). Sólo en el Estado de Baja California en el año 2010 se tuvo una producción de 89,630 toneladas de semilla de algodón (SENASICA, 2012). La semilla entera de algodón se utiliza como una excelente fuente de energía, proteína y fibra en la formulación de dietas para rumiantes. En años recientes de 40 a 50% de la producción total es ofrecida directamente al ganado, el resto es mayormente procesado para la obtención de aceites.

4.5.1 Valor nutricional de la semilla de algodón

La SEA contiene de 19 a 24% de PC, 18 a 21% de grasa, 21 a 28% de fibra, 3.7 a 3.9% de cenizas y 87 a 90% de nutrientes digestibles totales (Kutches, 1987). Debido al alto contenido de grasa, proteína y fibra, la semilla de algodón con frecuencia se le ha considerado como un concentrado. El reducido incremento calórico liberado con la digestión de la SEA representa una ventaja para ser utilizado en regiones donde los animales se someten a estrés calórico. Sin embargo, son tres los factores que más inducen a establecer un límite en la cantidad que se ofrece al ganado; el posible efecto negativo en la actividad ruminal derivado del elevado contenido de grasa, los problemas de manejo por la presencia de borra y la concentración de gossypol.

En la SEA su alta concentración energética se relaciona con el elevado contenido de grasas, lo cual debe ser tenido en cuenta ya que el consumo excesivo lleva a una disminución en la digestibilidad de la fibra y de la energía, debido, entre otras cosas, a una depresión de la actividad microbiana. Un corto período de acostumbramiento, es frecuentemente necesario. Cantidades mayores a estas podrían aumentar el contenido de grasa de la leche y bajar el de proteína (Albeitar, 2001).

La borra es una cubierta natural característica de la semilla entera de algodón. Este componente, junto con la cascarilla constituyen la fuente principal de fibra que se aporta a la dieta, pero la presencia de la borra ocasiona problemas de manejo en los sistemas de alimentación mecanizados, es por esto que se han implementado diversos mecanismos para facilitar su manejo. Mecanismos para eliminarla como el rasurado con ácido provoca una baja digestibilidad de la grasa en rumen y mayor tasa de pasaje al intestino delgado de semilla intacta. Los mismos autores aseguran que el uso de semilla sin borra incrementa la producción de leche y es más económico que el uso de semilla con borra (Kutches *et al.*, 1987). En contraste Chalupa *et al.* (1985) no encontraron respuesta de vacas lactantes al comparar dietas que incluyeron 25% de semilla de algodón con o sin borra. Recubrir la semilla de algodón con una capa de almidón para facilitar su manejo ante la presencia de borra ha venido a ser una práctica frecuente; sin embargo, el grosor de la capa tiene

efecto marcado sobre el rendimiento y calidad del producto. Estudios previos indican que al cubrir la semilla con 5% de almidón de maíz gelatinizado reduce el consumo de materia seca y la concentración de grasa en la leche sin modificar el nivel de producción de leche. En contraste al recubrir la semilla con 2.5% de almidón de maíz gelatinizado no se encontró alteración en el CMS en vacas lecheras (Bernard, 1999).

Concentración de gosipol. Aunque en algunas regiones la harina de algodón representa la formulación de menor costo, su alto contenido de gosipol ha establecido límites máximos de tolerancia para el ganado adulto. El gosipol es una sustancia toxica que se encuentra en las glándulas pigmentarias de la semilla de algodón y no es metabolizada por las bacterias del rumen ni por el animal mismo. La aplicación de algunos métodos físicos ha reducido el efecto negativo del gosipol en la dieta de bovinos. Mediante el peletizado Barraza *et al.* (1991) redujeron hasta 70% el gosipol libre en la SEA y 48% en la harinolina. El calor y la presión aplicada disminuyeron el gosipol libre en dietas que contenían 23.6 y 23.3 g de gosipol libre, cantidad considerada cercana al límite de toxicidad en vacas adultas. Blackwelder *et al.* (1998) mostraron que existe una considerable capacidad en vacas para tolerar altos niveles de gosipol, al observar concentraciones en plasma menores al límite superior considerado como no toxico (5 µg/ml), en vacas que consumieron dietas con harina de semilla de algodón y SEA a un nivel de 12% de materia seca (MS).

4.6 Composición nutricional comparativa de DDGS y SEA

Es evidente que la utilización de nutrientes en los forrajes y algunos concentrados es afectada por las diferentes proporciones en la pared celular de celulosa y hemicelulosa con la lignina (Wolf *et al.*, 1993). Los valores promedio de FDN en SEA son de 46% (Robinson, 2001; NRC., 1984; Pérez *et al.* 2001; Sniffen *et al.*, 1992) con CV de 24 % (Cuadro 2). Al parecer las diferencias en contenido de FDN en este caso son parecidas, la variedad de algodón también afecta el contenido de nutrientes de la semilla. Robinson *et al.*, (2001) observaron que el contenido de PC de la SEA cambió con la variedad, pero la grasa y fibra fueron similares. En cambio, el contenido promedio de FDN en DDGS es de 41% con un CV de 27%

(Schroeder, 2010; De Blas *et al.*, 2007; De Haan *et al.*, 1983) (Cuadro 3). Es posible que esta variación en los DDGS puede deberse a los métodos de procesamiento utilizados en cada planta de etanol, la variedad del maíz y tipo de semilla (Arnold *et al.*, 2012).

La gravedad específica de la SEA modifica su dinámica dentro del rumen, cuando es baja se mantiene en la superficie del líquido ruminal, provocando su regurgitación y vuelta a masticar, disparando así la salivación. Schroeder (2010) considera que la disposición de FDN de mayor tamaño de partículas es necesaria a fin de estimular la rumia. Los DDGS a pesar de su alto contenido de fibra pero con pequeño tamaño de partícula se considera que contribuyen en menos de un 15% a la FDNe de la dieta (Cuadro 3).

El Cuadro 2 y 3 reporta valores de FDNe para SEA de 63 % en promedio y con una variación de 42% (Sniffen *et al.*, 1992; NRC, 1996) en cambio en DDGS se observa un promedio similar de 41% y su CV de 90% (Sniffen *et al.*, 1992; NRC, 1996). La mayor variación en DDGS es ocasionada principalmente dos factores, el tipo de cereal del que es extraído y el método de extracción. En cambio en la SEA la variación es principalmente debida a la variedad de la que es obtenida. Los niveles de FDN en DDGS parecen adecuados; sin embargo, esta fibra tiene un tamaño de partícula pequeño y no facilita el “efecto fibra” para la función ruminal normal (Cyriac *et al.*, 2005).

La proteína cruda (PC) en el núcleo de semilla de algodón son de almacenamiento y una vez disuelta la cubierta son fácilmente disponibles en el rumen (Areli, 1998). En el Cuadro 2 se reporta un promedio de 23% de PB en la SEA y un CV de 10% (NRC, 2007; Cullison y Lowrey, 1987; Sniffen *et al.*, 1992). Robinson *et al.* (2001) observaron que el contenido de PC en la semilla de algodón cambió con la variedad. El grado de degradación de la proteína es determinado principalmente por las propiedades físicas y químicas de la proteína en el insumo; sin embargo el medio ambiente y el tiempo de retención del alimento en el rumen también afectan la magnitud de la degradación (Guada, 1993). Generalmente, la baja degradabilidad ruminal de la proteína constituye una característica deseable en los suplementos

proteicos para rumiantes, ya que implica desviar su digestión del rumen al intestino delgado, donde puede ser utilizada como fuente complementaria a la proteína microbiana. Ello resulta de especial importancia a la hora de cubrir las elevadas necesidades de los animales de alta producción (Ørskov, 1981). Mientras que los DDGS son una buena fuente de proteína, la mayor parte fácilmente se degrada durante el proceso de fermentación, en el Cuadro 3 se observa un CV de 11% con promedio de 31% (Belyea *et al.*, 2014; Dairy one Forage, 2011; UMN, 2009). Esta variación de proteína de alta calidad procede de levaduras que quedan después del proceso de fermentación (Arnold *et al.*, 2012). La proporción de proteína de sobrepaso (PNDR) en los DDGS es de aproximadamente 60 a 70%, en comparación con el 30% de la harina de soya. Sin embargo, Erickson *et al.* (2005) indicaron que el alto valor de la proteína de sobrepaso de los DDGS se debe a las características innatas de la proteína, más que al secado o al contenido de humedad. La mayor parte de la proteína fácilmente degradable en el maíz se degrada durante el proceso de fermentación, lo que resulta en un nivel proporcionalmente más alto de PNDR que el que se encuentra en el maíz. Un estudio llevado a cabo en la Universidad de Saskatchewan (Penner *et al.*, 2009) para determinar los efectos de la sustitución parcial de un 10 % (sobre MS) del concentrado proteico de la dieta por DDGS de maíz, encontraron que la sustitución de parte del concentrado proteico por DDGS no afectó negativamente a los rendimientos productivos ni a la actividad ruminal.

Cuadro 2. Composición nutricional de la SEA

AUTORES	NIVELES DE SEA	MS	MO	PC	EEt	FDN	FDNe	FDA	TND	NM	NNA	EfN	EfNM
% de la MS													
Swanepoel <i>et al.</i> , 2014	-	92	95	23	23	39	-	-	-	-	-	-	-
Arthur <i>et al.</i> , 1987	-	92	-	22	21	27	-	-	-	-	-	-	-
Sniffen <i>et al.</i> , 1992	-	-	-	23	20	44	100	-	-	-	-	-	-
Keele, 1989	25	-	-	21	15	66	-	48	-	98	219	0.67	-
Keele, 1989	13	-	-	21	15	66	-	48	-	111	216	0.73	-
Shimada, 2007	-	92	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DeHaan <i>et al.</i> , 1983	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-
NRC, 1984	-	-	-	24	23	-	-	29	-	-	-	-	-
Zinn y Placencia, 1993	20	-	-	26	18	-	-	37	-	57	85	1.00	27.0
Crampton, <i>et al.</i> , 1979	-	93	-	23	23	-	-	-	-	-	-	-	-
Robinson, 2001	-	93	-	29	-	44	-	31	-	-	-	-	-
Ensminger, <i>et al.</i> , 1990	-	91	-	22	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinn, 1995	Con borra 15	93	24	-	23	-	-	36	-	55	109	0.64	14.1
Zinn, 1995	Sin borra 15	93	26	-	25	-	-	34	-	73	150	0.88	20.9
NRC, 1984	-	-	-	-	-	39	-	-	-	-	-	-	-
Avila <i>et al.</i> , 2000	12	-	-	-	-	-	-	-	-	252	588	0.81	-
Pérez <i>et al.</i> , 2001	-	-	-	-	-	44	-	-	-	-	-	-	-
NRC, 1996	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-
NRC, 2007	-	90	-	23	-	50	-	40	-	-	-	-	-
FEDNA, 2013	-	90	-	20	-	43	-	33	-	-	-	-	-
Álvarez <i>et al.</i> , 2010	Entera 10	-	-	-	-	-	-	-	-	96	144	1.05	-
Álvarez <i>et al.</i> , 2010	Quebrada 10	-	-	-	-	-	-	-	-	85	135	1.02	-
Sniffen <i>et al.</i> , 1992	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-
Cullison y Lowrey, 1987	-	92	-	23	-	-	-	28	92	-	-	-	-
Ensminger <i>et al.</i> , 1990	-	91	-	18	-	-	-	-	87	-	-	-	-
Díaz, 2012	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-

MS: Materia Seca, MO: Materia Orgánica, PC: Proteína Cruda, EEt: Extracto Etéreo, FDN: Fibra Detergente Neutra, FDNe: Fibra Detergente Neutra Efectiva, FDA: Fibra Detergente Ácido, TND: Total de Nutrientes Digestibles, NM: Flujo hacia duodeno (g/d) de Nitrógeno Microbial, NNA: Flujo hacia duodeno (g/d) de Nitrógeno No Amoniacal, EfN: Eficiencia del Nitrógeno, g de NNA en duodeno/g N total consumido, EfNM: Eficiencia Microbial, g de NM/kg MO fermentada.

Cuadro 3. Composición nutricional de los DDGS

AUTORES	MS	MO	PC	EEt	FDN	FDNe	FDA	TND
% de la MS								
Swanepoel et al., 2014	92	98	40	6	31	-	-	-
Crampton et al., 1979	92	-	27	9	-	-	-	-
Kajikawa et al. 2012	90	95	30	14	38	-	15	-
De Blas et al., 2007	-	-	-	-	37	-	-	-
Moreau et al., 2011	-	-	-	14	-	-	-	-
Suarez et al. 2015	88	-	29	12	31	-	13	-
NRC, 1996	-	-	-	-	46	4	-	-
Díaz, 2012	-	-	30	14	-	-	-	-
FEDNA, 2012	-	-	-	-	29	-	11	-
Spiehs et al. 2002	89	-	30	11	42	-	16	-
Schingoethe et al., 2009	-	-	-	11	-	-	-	-
Schroeder, 2010	-	-	-	-	44	-	-	-
De Blas et al., 2007	90	-	-	8	-	-	13	-
De Haan et al., 1983	-	-	-	-	69	-	-	-
Sniffen et al., 1992	-	-	-	-	-	4	-	-
NRC, 1998	-	-	28	10	38	-	11	-
Sniffen et al., 1992	-	-	-	-	-	25	-	-
Belyea et. al., 2004	-	-	31	12	-	-	17	-
UMN, 2009	89	-	31	11	-	-	14	-
Dairy one Forage, 2011	88	-	31	13	34	-	17	-
Tjardes y Wright, 2002	-	-	-	-	-	-	-	90
MS: Materia Seca, MO: Materia Orgánica, PC: Proteína Cruda, EEt: Extracto Etéreo, FDN: Fibra Detergente Neutra, FDNe: Fibra Detergente Neutra Efectiva, FDA: Fibra Detergente Ácido, TND: Total de Nutrientes Digestibles.								

4.7 Relación de la fibra con otros componentes

A) Digestión diferencial de las fracciones fibrosas

El valor nutritivo de las plantas es el factor que determina la calidad del forraje y como consecuencia la eficiencia de su utilización basándose en parámetros como la proteína cruda, fracción fibrosa (Cuadro 4 y 5) y digestibilidad de la MS (Argamentería *et al.*, 1997).

Cuadro 4. Fracción fibrosa de la SEA

AUTORES	CEL	HEM	LIG
% de la MS			
Albeitar, 2001	15	32	16
CONAPROLE, 2009	-	10	-
Slideshare, 2014	17	14	16
CEL: Celulosa, HEM: Hemicelulosa, LIG: Lignina			

Cuadro 5. Fracción fibrosa de los DDGS

AUTORES	CEL	HEM	LIG
% de la MS			
Valencia, 2012	9.89	24.48	-
Rochelle, 2011	11.72	25.24	3.16
Rochelle, 2011	8.04	17.39	2.29
CEL: Celulosa, HEM: Hemicelulosa, LIG: Lignina			

Los rumiantes son herbívoros cuyo principal alimento son las plantas que contienen carbohidratos fibrosos; sin embargo, estos animales no poseen enzimas que puedan digerirlos y son los microorganismos presentes en el rumen, tales como bacterias, protozoarios y hongos, los que al fermentar el alimento permiten al rumiante digerir polisacáridos complejos como la celulosa (Nava y Díaz, 2001).

B) Interacción Fibra – Proteína

La digestión se inicia cuando el animal toma un bocado de la pastura. Una vez en el rumen, el alimento empieza la fermentación, millones de microorganismos digieren el alimento, resultando en productos finales que sirven como una fuente mayor de nutrientes para el animal. Algunos principales productos formados son amonio, metano, dióxido de carbono, y ácidos grasos volátiles (AGVs). Los AGVs son absorbidos y usados como fuente de energía por el animal, el amonio puede ser absorbido al sistema del animal a través de la pared ruminal, o puede ser consumido por bacterias para ser convertido en proteína microbiana. Esta proteína microbiana es después pasada a través del sistema digestivo para ser absorbida por el intestino delgado (ATTRA, 2012).

El valor de PC es importante ya que contribuye al suministro de energía, aminoácidos esenciales tanto para los microbios del rumen como para el animal. A mayor proteína que proviene del forraje, se necesita menor cantidad de suplemento. Sin embargo, la mayoría de los nutricionistas consideran el valor de energía e ingesta de forraje de mayor importancia que la PC (Robinson et al, 1998). La proteína en forrajes está mayormente relacionada con su madurez, forrajes más maduros tienen un menor porcentaje de proteína cruda.

Los carbohidratos contenidos en el alimento, tales como almidones, azúcares y pectinas, son los mayores proveedores de energía, seguidos de la hemicelulosa y la celulosa digestible (UNAM, 2016). Hay que enfatizar que en la mayoría de las plantas la lignina afecta mucho la digestibilidad y las reservas metabólicas. Por otro lado, a medida que aumenta la madurez de la planta, empieza a disminuir cierta proporción de las sustancias como el almidón, ácidos orgánicos, proteínas y pectinas que son parcialmente responsables de la disminución en su valor nutritivo. Otros componentes como la celulosa y la hemicelulosa, los cuales tienen una digestibilidad muy variable, que depende del grado de lignificación de la planta. La lignina, sílice y otros materiales asociados son totalmente indigestibles. Algunos investigadores sostienen que cierta cantidad de lignina es digestible ya que algo de ella desaparece,

pero existe evidencia de que no se obtiene energía de esa lignina, por lo que carece de utilidad (Milford y Minson, 1965).

El valor de la proteína total en forrajes y alimentos es una medida sólo de su contenido de nitrógeno; no señala si es que el nitrógeno está contenido en aminoácidos, proteína verdadera o una fuente de nitrógeno no proteico. Tampoco señala cuánto nitrógeno degradable o disponible existe en el alimento para ser sintetizado por los microbios del rumen, o cuánto de los aminoácidos de la proteína en el alimento escapa a la degradación en el rumen o la calidad de esta proteína de sobrepaso. Esto debe ser considerado al formular las raciones. Las tres fracciones de proteínas que se utilizan comúnmente en la formulación de raciones son la ingesta de proteína degradable, no degradable y soluble. Para un abastecimiento adecuado de nitrógeno disponible en rumen que proviene de fuentes degradables de nitrógeno en los alimentos, incluyendo tanto los recursos de proteínas y nitrógeno no proteico. Además, los microbios del rumen se benefician de una limitada cantidad de proteína de fácil digestión en el rumen (Ishler *et al.*, 2016).

Además de un buen equilibrio entre las fracciones de hidratos de carbono, es necesario que exista un equilibrio entre la proteína ruminal degradable y la proteína de sobrepaso para satisfacer las necesidades de aminoácidos. Prestando atención al perfil de los aminoácidos de las fuentes de proteína de sobrepaso, ayudará a proporcionar los aminoácidos esenciales en la dieta. Sin embargo, equilibrar la proteína de sobrepaso por sí sola no es recomendable. La adecuada proteína degradable es necesaria para que haya suficientes niveles de amoníaco en el rumen para satisfacer las necesidades de nitrógeno de los microbios (Ishler *et al.*, 2016).

La SEA tiene alta concentración de energía, proteína y fibra de alta digestibilidad. Su alta concentración energética se relaciona con su elevado contenido graso, lo cual debe ser tenido en cuenta ya que el consumo excesivo lleva a una disminución en la digestibilidad de la fibra, debido, entre otras cosas, a una depresión de la actividad microbiana (Parraga, 2008).

En el caso de los DDGS el proceso de calentamiento para la producción puede ser un factor en la variación, ya que una parte de proteína de la dieta podría

incorporarse en fracciones de fibra por parte de la aminocarbonilo o reacción de Maillard (Mauron 1981). Estas proteínas dañados por el calor son conocidos por ser difícilmente digerible (Yu & Thomas 1976; Hurrell y Finot 1985), y se han propuesto para su uso como variables para estimar el valor nutricional de proteínas de la dieta (Krishnamoorthy *et al.*, 1983; Sniffen *et al.*, 1992). Sin embargo, varios investigadores sugirieron en los ensayos de digestión que la proteína insoluble en detergente ácido de los DDGS no mostró una digestibilidad tan baja como se espera de forrajes, y el valor nutritivo de la proteína en los DDGS puede ser relativamente constante, independiente del proceso de calentamiento (Van Soest y Mason 1991; Waters *et al.* 1992). Las fracciones de fibra mostraron una amplia variación en la composición química de DDGS. La extensión de lignificación, o el progreso en la madurez del grano de maíz, es una fuente de variación en los DDGS. Sin embargo, las relaciones más altas entre FDN y proteína insoluble en detergente neutro junto con la proteína insoluble en detergente ácido sugieren que la variación en los componentes de fibra de DDGS podría atribuirse a, más que el grado de maduración del grano de maíz, a las diferencias entre los procesos de calentamiento utilizan en plantas de bioetanol (Van Soest 1965). Esta diferencia de efecto tendría lugar a través de una diferencia en el suministro de proteína degradable para la síntesis microbiana en el rumen, o el suministro de la proteína de paso por los animales (NARO, 2006).

C) Aporte de Nitrógeno (N) y proteína microbial

Al fermentarse los carbohidratos el rumiante digiere proteínas, fuentes de nitrógeno no proteico (NNP), para su conversión en proteína microbiana, síntesis de vitaminas hidrosolubles, etc. Aprovechando los productos finales de la fermentación, particularmente los ácidos grasos volátiles (AGV) y los nutrientes contenidos en los cuerpos celulares de los microorganismos, que son digeridos en el abomaso e intestino delgado y una pequeña parte de los nutrientes que no son digeridos, pasan al intestino grueso donde son fermentados por la flora microbiana del ciego y colon (digestión post-ruminal), de esta forma el rumiante obtiene los nutrientes necesarios para el mantenimiento de sus funciones biológicas vitales (Nava y Díaz, 2001). El valor nutritivo de los componentes de los alimentos depende no solo del grado en

que es ingerido, sino también del lugar de la digestión (Crampton y Harris 1979), para tener una idea clara de la digestión del alimento cuando es ofrecido a los rumiantes se han realizado numerosos estudios evaluando el consumo, la digestión de la MS y MO, producción de AGV, digestión postruminal y total, características del contenido ruminal, así como también la digestión ruminal de las fracciones Nitrogenadas (N total, N amoniacal, N microbial, N no microbial).

Karges (1990) y Klopfenstein (1996) señalan que los requerimientos proteicos del animal son cubiertos por dos fuentes de proteína, la microbiana sintetizada en el rumen y la que escapa de la degradación ruminal. La cantidad de proteína microbiana sintetizada está directamente influenciada por el nivel de carbohidratos digestibles en la dieta (Satter y Slyter, 1974; Ørskov, 1977). El valor de una fuente proteica suplementaria en las dietas de rumiantes, radica en su aporte de nitrógeno degradable a nivel ruminal para la síntesis de proteína microbiana y en su aporte de aminoácidos disponibles en el intestino (Ludden y Cecava, 1995). Según Broderick (1996) y Huntington (1999), la proteína consumida por los rumiantes es degradada por las bacterias y protozoarios en el retículo-rumen. Una fracción de la proteína del alimento escapa del rumen, pero el resto es degradada a péptidos, aminoácidos libres, que son atacados por enzimas, y amoníaco. Estos subproductos son utilizados para la síntesis de proteína por los microorganismos ruminales. La proteína microbiana más la proteína que escapa al rumen (llamada proteína sobrepasante o de sobrepaso ruminal) proveen de aminoácidos al animal; cuando la degradación de la proteína es rápida, los microorganismos ruminales no pueden utilizar todos los péptidos, aminoácidos y amoníaco liberado, entonces más proteína es degradada que sintetizada, constituyendo una pérdida de proteína (en forma de amoníaco). Debido a la toxicidad potencial del amoníaco sobre los tejidos, el hígado puede remover esencialmente todo el amoníaco que le llega y utilizarlo en la síntesis de aminoácidos, urea u otros compuestos nitrogenados.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Metabolismo y Digestión de Rumiantes del Instituto de Ciencias Agrícolas 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, (INEGI, 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; mientras que julio es el mes más cálido con una temperatura promedio, máxima y mínima de 33, 51 y 20 °C, respectivamente.

5.2 Unidades experimentales

Se utilizaron cinco novillos Holstein x Cebú, con un promedio de peso vivo inicial de 400 kg, canulados en rumen y duodeno proximal. Los novillos se alojaron en corraletas de 3.2 m², habilitados con bebederos automáticos y comederos individuales, sujetos a la corraleta con un bozal y cadena para evitar el desperdicio de alimento y para facilitar los muestreos.

5.3 Duración del experimento

El experimento inició el 27 de Marzo y finalizó el 5 de Junio de 2014. Se dividió en cinco 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.

5.3.1 Descripción de los tratamientos

Para evaluar la adición de semilla entera de algodón (**SEA**, 0, 12.5 y 25% del consumo diario de MS) y granos secos de destilería con solubles (**DDGS**, 0, 12.5 y 25% del CDMS) a una dieta basal con ensilaje de sorgo, se utilizaron los siguientes cinco tratamientos:

1) 100% ES (**TTG**), 2) 87.5% ES + 12.5% DDGS (**DDGS1**), 3) 75% ES + 25% DDGS (**DDGS2**), 4) 87.5% ES + 12.5% SEA (**SEA1**) y 5) 75% ES + 25% SEA (**SEA2**).

Para asegurar homogeneidad y disponibilidad del ensilado que se utilizó durante todo el experimento, de un silo de alrededor de 500 toneladas se almacenó lo suficiente para los cinco periodos experimentales en cinco contenedores metálicos. El contenido de cada contenedor fue suficientemente compactado y cerrado herméticamente. La composición del ensilaje utilizado como dieta basal fue: 30% de MS, 6.47% de PC, 1.25 % de almidón, 61.64% de FDN, 38.71% de FDA, 30.01% de celulosa, 5.59% de lignina y 19.10% de cenizas. Cada novillo recibió diariamente (07:00 y 19:00 h) el 1.8% en BS de su PV.

Como marcador externo de la digesta se utilizó óxido crómico al 0.3% 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 6. 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.

5.4 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, 09:30 y 15:30, día 2, 08:00 y 14:00, día 3, 06:30 y 12:30 y día 4, 05:00 y 11:00 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 almacenó en un recipiente de plástico de 5 L a -20° C. Al finalizar cada periodo se descongeló el quimo duodenal y después de homogeneizar del total se extrajo una alícuota de aproximadamente 25% y secó a 55°C durante 96 h en una estufa de ventilación

forzada. Simultaneo 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°C. Al final de cada periodo se descongelaron a temperatura ambiente se homogenizaron manualmente y tomó una alícuota de 20%, para secarse a 55°C sobre papel aluminio durante 72 h. Una vez secadas, tanto las muestras de quimo duodenal como las de heces fueron trituradas y molidas en una licuadora convencional hasta obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 2 mm y 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 alícuota (~250 ml) de líquido ruminal, que se filtró con ocho capas de gasa quirúrgica e inmediatamente se le registró el pH con un potenciómetro de vidrio (Oakton® pHTestr 10BNC; www.4oakton.com, Singapore).

Cuadro 6. Protocolo¹ de secado del ensilaje en horno de microondas

Ciclo de secado	Duración
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.

¹ 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.

5.5 Análisis de laboratorio

Concentrados y dieta basal. En las muestras de SEA, DDGS y ensilado como 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). Cromo mediante la técnica de Hill y Anderson (1958) y almidón de acuerdo a Zinn (1990).

Duodeno. En las muestras de duodeno 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 microbial (Zinn y Owens (1986), se calculó la materia orgánica microbiana (MOM) y el N microbiano (NM) que llega a duodeno.

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

5.6 Variables de respuesta

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

5.7 Diseño experimental y Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un diseño en Cuadro Latino 5x5 de acuerdo al modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij(k)} = \mu + T_i + A_j + P_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

μ = Valor de la media poblacional

T_i = i-ésimo efecto de tratamiento

A_j = j-ésimo efecto de animal

P_k = k-ésimo efecto de periodo experimental

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

Los datos fueron analizados con el procedimiento Proc 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 . Una probabilidad mayor de 0.05, pero menor de 0.10 se mencionan únicamente como tendencias. La influencia de los factores sobre las variables de respuesta fue evaluada mediante los contrastes siguientes: TTG vs TMT, DDGS vs SEA, TTG vs DDGS y TTG vs SEA. La existencia de cualquier componente lineal o cuadrático en las distintas variables dependientes se estimó mediante polinomios ortogonales (Steel *et al.*, 1996).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Composición nutricional de los ingredientes utilizados en el experimento

La composición química promedio de los principales ingredientes usados en el experimento aparece en el Cuadro 7. La MSP aunque varió desde 29 hasta 34% en el ensilaje de sorgo, este valor se ubica en el rango recomendado como indicador de que el silo fue elaborado en el punto óptimo de madurez, debido a la estrecha relación de esta última con la composición de la fracción fibrosa como lo son FDN y FDA (Beck *et al.*, 2009; NRC, 2000). Debido a que en el ensilaje de sorgo es común que varíe el contenido de materia seca parcial, diariamente se estimó usando un horno de microondas, esto con el objetivo de ajustar en cada animal el consumo diario de MS y su proporción con el marcador externo (Cr_2O_3). Aunque los promedios de FDN y Cenizas en el DDGS y la SEA fueron relativamente coincidentes (41 y 52%, y 4.6 y 4.1%, respectivamente) con lo informado por autores como Spiehs *et al.* (2002) y NRC (2007), tanto la PC como la FDA contenida en los dos ingredientes fue inferior a lo reportado por la misma fuente (30.4 y 24.4%, y 21 y 42%, respectivamente). Si bien el contenido de FDN fue solo 16% mayor en la SEA respecto a DDGS, la fracción fibrosa indigestible identificada como los valores de FDA, CEL y lignina fueron 216, 113 y 500%, respectivamente, mayores en SEA respecto a DDGS. El contenido de grasa, estimado como EEt, fue 2.5 veces mayor en la SEA respecto al DDGS. El promedio de los valores de EEt que se presenta en los Cuadros 2 y 3, reportada por 13 autores para DDGS y 11 para SEA, se obtiene una proporción inferior (1.91), aunque relativamente cercana a la observada en el presente estudio, dado que el coeficiente de variación para DDGS y SEA fue 21 y 12%. Aunque en el presente estudio existió un diferencial notable en el contenido de almidón, 100% superior en DDGS vs SEA, este rango de valores no representa una cantidad importante en su aporte energético o de posible interacción con la utilización de otros componentes (Villarreal *et al.*, 2012; Vázquez *et al.*, 2014).

Cuadro 7. Composición nutricional del ensilaje de sorgo, DDGS y SEA

	TTG	DDGS	SEA
		% de la MS	
MSP	31.60	94.79	96.47
CEN	19.10	4.34	4.36
FDN	61.64	44.57	51.98
FDA	38.71	12.05	32.70
CEL	31.60	10.34	21.98
LIG	5.59	1.43	10.07
PC	6.50	25.30	20.30
ALM	1.28	4.07	2.02
EEt	2.10	8.28	20.69

TTG: Ensilado de Sorgo, DDGS: Granos secos de destilería con solubles, SEA: Semilla Entera de Algodón, MSP: Materia Seca Parcial, CEN: Ceniza, FDN: Fibra Detergente Neutro, FDA: Fibra Detergente Acido, CEL: Celulosa, LIG: Lignina, PC: Proteína Cruda, ALM: Almidón, EEt: Extracto Etéreo.

6.2 Consumo de nutrientes y flujo hacia duodeno.

En el Cuadro 8 se presenta el total de los nutrientes consumidos en cada uno de los tratamientos. A causa de que en todos los tratamientos el consumo diario de MS fue fijado a un nivel de 1.8% del peso vivo vacío ($PVV = PV \cdot 0.96$), las diferencias obedecen al diferencial en la composición de los dos ingredientes asignados como suplemento al ensilado de sorgo, antes que a un efecto causal de la aplicación de los tratamientos. Respecto al tratamiento testigo, el consumo total de MS, MO y FDN no presentó diferencias mayores de 5% en ninguno de los tratamientos que recibieron DDGS o SEA; en contraste, FDA y CEL en los tratamientos que recibieron DDGS presentaron un consumo casi 13% menor que los suplementados con SEA. Los mayores diferenciales, también en referencia al tratamiento testigo, se observaron con el consumo total N, EEt y lignina. Es así como en los dos tratamientos que se adicionó DDGS se elevó un promedio 52% el consumo diario de N y EEt, en cambio en los tratamientos que recibieron SEA ocurrió un incremento promedio de únicamente 25% en el aporte de N, pero de casi 74% en el de EEt. Finalmente, en los tratamientos que recibieron DDGS el consumo de LIG disminuyó en promedio

14%, pero se elevó casi 18% en los tratamientos con SEA; esto significa que mientras DDGS fue factor diluyente del total de lignina en la ración consumida diariamente, la adición de SEA provoco un efecto contrario.

Cuadro 8. Consumo total de nutrientes^a por novillos Holstein alimentados a base de ensilado de sorgo y suplementados con DDGS o con SEA.

Variable	Tratamientos ^b				
	TTG	DDGS1	DDGS2	SEA1	SEA2
Consumo, g/d					
MS	7200	7235	7083	7256	7311
MO	5924	6080	6058	6100	6275
FDN	4120	3990	3783	4075	4029
FDA	2588	2368	2128	2560	2531
CEL	2112	1938	1745	2047	1981
LIG	374	339	302	418	462
N	69.2	95.5	115	89.8	110
EEt	151	209	252	252	274

^a Nutrientes: MS: materia seca, MO: materia orgánica, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, CEL: celulosa, LIG: lignina, N: Nitrógeno, EEt: Extracto Etéreo

^b Tratamientos: TTG = Ensilado de sorgo (100%), DDGS1 = Ensilado de sorgo (87.5%) + Granos secos de destilería con solubles (12.5%), DDGS2 = Ensilado de sorgo (75%) + Granos secos de destilería con solubles (25%), SEA1 = Ensilado de sorgo (87.5%) + Semilla entera de Algodón (12.5%), SEA2 = Ensilado de sorgo (75%) + Semilla entera de Algodón (25%).

En el Cuadro 9 se presenta el flujo, en gramos por día, hacia duodeno de los distintos componentes, tanto los de la dieta que no fueron digeridos en el retículo-rumen, omaso y abomaso, como los generados por el metabolismo del N y la síntesis microbial. En general comparados con el testigo, en el promedio de los tratamientos cuando se adiciono DDGS o SEA se registró un incremento en el flujo de MO hacia duodeno (Contraste 1; $P = 0.015$); una diferencia ligeramente mayor en el flujo de MO ocurrió entre DDGS y SEA (Contraste 2; $P = 0.006$). Una relación inversa se observó con la adición de DDGS porque disminuyó el flujo hacia duodeno de FDA y CEL (Contraste 3; $P < 0.05$), principalmente por el menor contenido total de estas fracciones en el DDGS, respecto a la dieta basal; en contraste la adición de SEA no intervino en el flujo de FDA y CEL hacia duodeno (Contraste 3; $P > 0.05$), porque

tampoco se modificó su consumo total en la dieta respecto al testigo. Esta diferencia en el flujo representa una aparente relación directa con la composición nutricional del suplemento y por tanto el consumo total de cada una de las fracciones; pero en el presente estudio una diferencia en el flujo se manifestó solo cuando la composición del DDGS o SEA (Cuadro 2) modificó más de 6% el consumo de un nutriente. En concordancia, cuando los aportes de ambos suplementos no provocaron una variación mayor al 5% en el consumo total de la fracción fibrosa, integrada por FDN, FDA y CEL, no existieron diferencias (Contrastes 1 al 4; $P > 0.05$) en su flujo a duodeno.

Respecto al testigo, la adición de DDGS causó el doble de incremento en el total de N consumido comparado con el cambio provocado en el consumo SEA (52 y 25% con DDGS y SEA, respectivamente; $P < 0.05$) y aunque el flujo hacia duodeno se incrementó tanto con DDGS (Contraste 3; $P < 0.001$) como con SEA (Contraste 4; $P = 0.004$), al comparar ambos, el flujo a duodeno solo fue 13% inferior ($P < 0.05$) con SEA. Al relacionar el testigo con el resto de los tratamientos existió diferencia (Contraste 1; $P = 0.033$) en el flujo de N-NH₃, como se observa en el Cuadro 9, es posible que este efecto fuera solo provocado por la adición de DDGS (Contraste 3; $P = 0.022$), antes que por la adición de SEA (Contraste 4; $P = 0.103$), con esto parece evidente que DDGS libero en el rumen mayor cantidad de N-NH₃ que la SEA, aunque al comparar los tratamientos que recibieron DDGS vs SEA no presentaron diferencia (Contraste 2; $P = 0.310$) en el flujo de N-NH₃ hacia duodeno. No existió influencia ($P > 0.05$) de ninguno de los suplementos sobre la cantidad de N microbial que alcanzó el duodeno, pero aunque al duplicar la asignación de cada uno de los suplementos se aprecian incrementos sustanciales, estos pudieron haber sido enmascarados por la alta variabilidad (EE = 4.8) dentro de las medias observadas. Sin embargo, tanto con la adición de DDGS como de SEA se detectó una relación directa con el flujo de NM (componente lineal; $P = 0.049$ para DDGS y $P = 0.052$ para SEA). Al comparar el testigo con el promedio de los tratamientos a los que se asignó suplemento, ocurrió un incremento (Contraste 1; $P < 0.05$) en el total de N del alimento no degradado en el rumen (NNDR), aunque esto sucedió a causa de la adición de DDGS (Contraste 3; $P < 0.01$) antes que por el suministro de SEA (Contraste 4; $P > 0.05$).

Estos valores de proteína NNDR observados en el presente experimento coinciden con el diferencial entre DDGS y SEA recopilado por NRC (2000). Es posible que en el caso de los DDGS el proceso de calentamiento para su elaboración facilita el sobrepaso al intestino delgado porque una parte de proteína se incorpora a fracciones de fibra por la reacción de Maillard (Mauron 1981), pero aunque estas proteínas dañados por el calor se conoce que son difícilmente digeribles (Yu & Thomas 1976; Hurrell y Finot 1985).

Varios estudios sugieren que la proteína insoluble en detergente ácido presente en los DDGS no mostró una digestibilidad tan baja como se observa en los forrajes y por tanto se mantiene su valor nutritivo (Van Soest y Mason 1991; Waters *et al.* 1992) al llegar a intestino delgado.

Al comparar el testigo con los demás tratamientos no existieron diferencias (Contraste 1; $P > 0.05$) en la cantidad total de agua contenida en el quimo que fluyo hacia duodeno, pero presentó una tendencia a incrementarse 45% (Contraste 4, $P = 0.058$) cuando los animales recibieron SEA, sin existir ningún cambio (Contraste 3; $P > 0.05$) cuando los animales recibieron DDGS como suplemento. Lo anterior podría ser explicado porque la SEA provocó un mayor (Contraste 2; $P < 0.05$) flujo del agua contenida en el quimo duodenal que DDGS, al ser suplementados los novillos que recibían una dieta a base de ensilado de sorgo. Esta mayor salida de agua hacia el tracto bajo observada con la SEA podría ser explicado por su mayor contenido de fibra de lenta degradación que estimula producir saliva, sino también el propio consumo de agua.

Cuadro 9. Flujo de nutrientes hacia duodeno en novillos alimentados a base de ensilado de sorgo y suplementados con DDGS o con SEA

	Tratamiento ¹					EE ²	C1 ³		C2 ⁴		C3 ⁵		C4 ⁶		P < F			
	TTG	DDGS1	DDGS2	SEA1	SEA2		TTG	TMT	DDGS	SEA	TTG	DDGS	TTG	SEA	C1	C2	C3	C4
Flujo g/d																		
MO ⁷	2359	2415	2445	2443	2737	64.3	2359	2480	2430	2590	2359	2430	2359	2590	0.015	0.006	0.244	0.002
FDN	1629	1467	1488	1590	1587	109	1629	1552	1478	1588	1629	1478	1629	1588	0.234	0.135	0.097	0.634
FDA ⁸	1283	1136	1097	1267	1236	96.9	1283	1204	1117	1252	1283	1117	1283	1252	0.079	0.013	0.012	0.590
CEL ⁸	536	476	409	557	538	35.5	536	503	443	548	536	443	536	548	0.253	0.004	0.025	0.768
LIG ⁹	318	297	283	334	392	31.8	318	325	290	363	318	290	318	363	0.766	0.015	0.393	0.175
N ^{7,10}	51.3	66.5	84.1	60.6	71.1	3.74	51.3	66.7	75.3	65.8	51.3	75.3	51.3	65.8	0.000	0.016	0.000	0.004
N-A ¹⁰	3.46	4.50	5.45	4.13	4.82	0.61	3.46	4.47	4.98	4.48	3.46	4.98	3.46	4.48	0.033	0.310	0.022	0.103
NM ^{8,9}	50.0	48.4	59.8	49.7	62.7	4.8	50.0	55.2	54.1	56.2	50.0	54.1	50.0	56.2	0.274	0.613	0.422	0.231
NNA ^{9,10}	47.8	62.0	78.7	56.4	66.3	3.49	47.8	62.2	70.3	61.4	47.8	70.3	47.8	61.4	0.000	0.019	0.000	0.006
N-Bypass ⁸	-2.18	13.62	18.83	6.70	3.57	6.25	-2.18	10.68	16.22	5.13	-2.18	16.20	-2.18	5.13	0.036	0.042	0.009	0.251
AGUA	40.4	41.4	44.1	54.2	62.6	7.89	40.4	48.5	42.7	58.4	40.4	42.7	40.4	58.4	0.214	0.043	0.787	0.055

MO= Materia Orgánica, FDN= Fibra Detergente Neutro, FDA= Fibra Detergente Acido, CEL= Celulosa, LIG= Lignina, N= Nitrógeno N-A= Nitrógeno Amoniacal, NM= Nitrógeno Microbial, NNA= Nitrógeno no Amoniacal, N-Bypass= Nitrógeno Bypass, TMT=Tratamientos.

¹Tratamientos: TTG = Ensilado de sorgo (100%), DDGS1 = Ensilado de sorgo (87.5%) + Granos secos de destilería con solubles (12.5%), DDGS2= Ensilado de sorgo (75%) + Granos secos de destilería con solubles (25%), SEA1= Ensilado de sorgo (87.5%) + Semilla entera de Algodón (12.5%), SEA2= Ensilado de sorgo (75%) + Semilla entera de Algodón (25%).

²EE= Error estándar.

³C1= Contraste 1, TTG vs TMT.

⁴C2= Contraste 2, DDGS vs SEA.

⁵C3= Contraste 3, TTG vs DDGS.

⁶C3= Contraste 4, TTG vs SEA.

⁷Efecto Lineal SEA, $P < 0.01$

⁸Efecto Lineal DDGS, $P < 0.05$

⁹Efecto Lineal SEA, $P < 0.10$

¹⁰Efecto Lineal DDGS, $P < 0.01$

6.3 Digestión en rumen y producción microbial

En el Cuadro 10 se observa la influencia de la adición de DDGS y SEA sobre la digestión en rumen de los distintos componentes del alimento ofrecido y los productos de la síntesis microbial. No existió (Contrastes 1 al 4; $P > 0.05$) ninguna influencia de los tratamientos sobre la digestión en rumen de la MO, FDN, FDA y LIG. Lo anterior a pesar de que, a excepción de la FDN, existió total o parcial influencia de la adición de DDGS o de SEA sobre la cantidad total que fluyó a duodeno en todos los componentes evaluados (MO, FDA, CEL y las distintas fracciones nitrogenadas).

Los tratamientos únicamente influyeron sobre la digestión en rumen de la CEL y el N total. En la CEL se observó que tendió a ser mayor (4.4%; Contraste 2, $P = 0.062$) la digestión en rumen al adicionar DDGS que con la SEA, es posible que esta tendencia tenga relación con el menor contenido de CEL en DDGS, pero también su mayor degradabilidad por ser una fuente de fibra no proveniente de forrajes (Van Soest y Mason 1991; Waters *et al.* 1992). La aplicación de los dos suplementos, aunque en general significó una elevación en el consumo de N, tendió a disminuir (Contraste 1; $P = 0.057$) la digestión del N total en el rumen, pero esto fue principalmente por la adición de DDGS a la dieta basal, al resultar en un mayor incremento en el consumo de N, provocó una mayor caída (18%; Contraste 3, $P < 0.05$) en la digestión del N total en el rumen, evidenciado por la mayor proteína que escapó intacta hacia duodeno. Aunque hubo diferencias en consumo y estas influyeron directamente sobre el flujo hacia duodeno, al relacionarse con lo que se desapareció en el tracto anterior y por tanto no arribó a abomaso, se nulificaron con la digestión ruminal estas posibles diferencias, a excepción de CEL y N total, la primera por su naturaleza que la hizo más susceptible a la degradación en rumen en DDGS (Van Soest y Mason 1991; Waters *et al.* 1992) vs SEA y el N por registrar DDGS menor degradabilidad en rumen (NRC, 2000, 2001). La proporción entre el N del alimento no degradado en rumen y el N total consumido fue 2.9 veces mayor en las dietas que recibieron DDGS como suplemento. Esto coincide con las proporciones de N no degradable en rumen reportado por NRC (2000) para estos

Cuadro 10. Digestión ruminal, síntesis microbial y eficiencia de uso del nitrógeno en novillos alimentados a base de ensilado de sorgo y suplementados con DDGS o con SEA

	Tratamiento ¹					EE ²	C1 ³		C2 ⁴		C3 ⁵		C4 ⁶		P < F			
	TTG	DDG1	DDG2	SEA1	SEA2		TTG	TMT	DDGS	SEA	TTG	DDGS	TTG	SEA	C1	C2	C3	C4
Digestión en el rumen % Base Seca																		
MO	68.6	68.2	69.5	68.1	66.4	1.37	68.6	68.2	68.9	67.2	68.6	68.9	68.6	67.2	0.598	0.108	0.834	0.252
FDN	60.5	63.3	60.9	61	60.6	2.52	60.5	61.2	62.1	60.8	60.5	62.1	60.5	60.8	0.599	0.448	0.431	0.866
FDA	50.5	52.2	48.7	50.6	51.2	3.71	50.5	50.6	50.5	50.9	50.5	50.5	50.5	50.9	0.943	0.822	0.979	0.876
CEL	74.6	75.4	76.5	72.8	72.8	1.83	74.6	74.4	76.0	72.8	74.6	76.0	74.6	72.8	0.905	0.062	0.489	0.366
LIG	10.9	10.1	2.84	18.4	12.9	12.2	10.9	11.0	6.45	15.6	10.9	6.45	10.9	15.6	0.984	0.267	0.656	0.630
N ¹¹	101	81.6	83.8	92.3	96.4	6.58	101	91	82.7	94.4	101	82.7	101	94.4	0.057	0.083	0.018	0.279
MOM ^{7,11,12}	500	484	598	497	627	48	500	552	541	562	500	541	500	562	0.275	0.613	0.424	0.232
Ef M ^{8,11,12,13}	12.26	11.58	14.16	11.91	15.06	1.0	12.3	13.2	12.9	13.5	12.3	12.9	12.3	13.6	0.373	0.495	0.587	0.279
Ef N ^{9,12}	0.70	0.65	0.69	0.63	0.60	0.04	0.70	0.66	0.67	0.62	0.70	0.67	0.70	0.62	0.277	0.231	0.611	0.143
pH	5.84	5.85	5.80	5.79	5.68	0.13	5.84	5.79	5.83	5.74	5.84	5.83	5.84	5.74	0.45	0.18	0.89	0.22

MO= Materia Orgánica, FDN= Fibra Detergente Neutro, FDA= Fibra Detergente Acido, CEL= Celulosa, LIG= Lignina, N= Nitrógeno, MOM= Materia Orgánica Microbial, EM= Eficiencia Microbial, EN= Eficiencia del Nitrógeno, TMT=Tratamientos.

¹Tratamientos: TTG = Ensilado de sorgo (100%), DDGS1 = Ensilado de sorgo (87.5%) + Granos secos de destilería con solubles (12.5%), DDGS2= Ensilado de sorgo (75%) + Granos secos de destilería con solubles (25%), SEA1= Ensilado de sorgo (87.5%) + Semilla entera de Algodón (12.5%), SEA2= Ensilado de sorgo (75%) + Semilla entera de Algodón (25%).

²EE= Error estándar.

³C1= Contraste 1, TTG vs TMT.

⁴C2= Contraste 2, DDGS vs SEA.

⁵C3= Contraste 3, TTG vs DDGS.

⁶C3= Contraste 4, TTG vs SEA.

⁷MOM = Nitrógeno microbial * 10

⁸Eficiencia Microbial = g de NM / g MO fermentada

⁹Eficiencia del Nitrógeno = g de NNA en duodeno / g N ingerido

¹¹Efecto Lineal DDGS, $P < 0.05$

¹²Efecto Lineal SEA, $P < 0.10$

¹³Efecto Cuadrático DDGS, $P < 0.05$

dos suplementos, aun cuando en el presente estudio existió el sesgo provocado por la dieta basal ofrecida. No existió ($P > 0.05$) influencia de ninguno de los suplementos sobre la generación de MOM, eficiencia microbial y eficiencia del N. Sin embargo, con la adición de DDGS se identificó una relación directamente proporcional (componente lineal; $P < 0.05$) con la generación de MOM y la eficiencia microbial.

6.4 Digestión Post ruminal y total

En el Cuadro 11 se presenta la digestión post ruminal de la MO, distintas fracciones de la fibra y el N. En referencia con el testigo, la adición de los suplementos provocó un incremento en la digestión post ruminal de la MO (Contraste 1; $P < 0.01$) y el N (Contraste 1; $P < 0.05$), siendo aun mayor esta diferencia con DDGS (Contraste 3; $P < 0.01$) que la observada con la SEA (Contraste 4; $P < 0.01$).

Lo anterior inicialmente se explica porque la suplementación con DDGS presentó mayor digestión en tracto bajo que con la adición de SEA (Contraste 2; $P < 0.01$). Como se observa en el Cuadro 11, es posible que este diferencial en la digestión de la MO ocurriera por la marcada tendencia ($P > 0.05$) en DDGS, comparativamente con SEA, a desaparecer en tracto bajo una mayor proporción de FDN, a causa de que la solubilidad de la fracción FDN en DDGS (Van Soest y Mason 1991; Waters *et al.* 1992) es más alta que la de la SEA. En contraste, cuando mayor cantidad de FDN ingresó a duodeno al incrementarse la cantidad de SEA en la dieta, ocurrió una tendencia a disminuir su desaparición a nivel post ruminal. Una respuesta aún más consistente se observó con la digestión post ruminal del N total, porque incrementos en la llegada de N al duodeno se reflejaron de manera directa en una elevación de su digestión post ruminal. Entonces, por la propia naturaleza de los DDGS es posible intuir que la actividad enzimática en el tracto bajo no es limitante en la utilización de los residuos de la digestión en rumen.

Cuadro 11. Digestión post- ruminal en novillos alimentados a base de ensilado de sorgo con DDGS o con SEA

	Tratamiento ¹					EE ²	C1 ³		C2 ⁴		C3 ⁵		C4 ⁶		P < F			
							TTG	TMT	DDGS	SEA	TTG	DDGS	TTG	SEA	C1	C2	C3	C4
	TTG	DDG1	DDG2	SEA1	SEA2													
Digestión post-ruminal % de la MS																		
MO ^{7,8}	19.6	29.3	33.0	24.1	27.0	1.75	19.6	26.6	31.2	25.6	19.6	31.2	19.6	25.6	0.000	0.004	0.000	0.011
FDN	7.26	6.26	12.2	7.21	2.78	3.10	7.26	7.13	9.21	4.99	7.26	9.21	7.26	4.99	0.959	0.135	0.560	0.500
FDA ⁹	12.50	11	16.3	12.42	5.02	3.50	12.50	11.5	13.67	8.72	12.50 ₀	13.67	12.50	8.72	0.702	0.119	0.755	0.319
CEL	7.47	6.38	-1.15	5.25	0.34	6.95	7.47	3.68	2.67	2.80	7.47	2.67	7.47	2.80	0.547	0.985	0.577	0.587
LIG	5.04	6.81	12.4	4.91	5.15	8.94	5.04	6.86	9.60	5.03	5.04	9.60	5.04	5.03	0.805	0.581	0.653	0.999
N ⁷	47.9	55.8	64.6	54.2	53.5	3.11	47.9	55.2	60.2	53.9	47.9	60.2	47.9	53.9	0.018	0.058	0.005	0.133

MO= Materia Orgánica, FDN= Fibra Detergente Neutro, FDA: Fibra Detergente Acido, CEL: Celulosa, LIG: Lignina, N= Nitrógeno, TMT=Tratamientos.

¹Tratamientos: TTG = Ensilado de sorgo (100%), DDGS1 = Ensilado de sorgo (87.5%) + Granos secos de destilería con solubles (12.5%), DDGS2= Ensilado de sorgo (75%) + Granos secos de destilería con solubles (25%), SEA1= Ensilado de sorgo (87.5%) + Semilla entera de Algodón (12.5%), SEA2= Ensilado de sorgo (75%) + Semilla entera de Algodón (25%).

²EE= Error estándar.

³C1= Contraste 1, TTG vs TMT.

⁴C2= Contraste 2, DDGS vs SEA.

⁵C3= Contraste 3, TTG vs DDGS.

⁶C3= Contraste 4, TTG vs SEA.

⁷Efecto Lineal DDGS, $P < 0.01$

⁸Efecto Lineal SEA, $P < 0.05$

⁹Efecto Lineal SEA, $P < 0.10$

La digestión total de la MO, fracciones de la fibra y el N aparecen en el Cuadro 12. Al comparar el testigo con el resto de los tratamientos existió diferencia en la digestión total de la MO (Contraste 1; $P = 0.026$), es evidente que esto fue ocasionado por la adición de DDGS, antes que por la SEA; porque al comparar DDGS vs SEA, con esta última ocurrió una caída en la digestión total de la MO (4.8%, Contraste 2; $P = 0.002$), la FDN (4.8%, Contraste 2; $P = 0.013$) y la CEL (4.1%, Contraste 2; $P = 0.015$), respectivamente. Ahora bien, cuando cada uno de los suplementos, DDGS y SEA, fueron suplementados por separado, comparados con el testigo, solamente en los tratamientos que recibieron DDGS existió influencia sobre la digestión total de la MO (Contraste 3; $P = 0.002$), y del N (Contraste 3; $P < 0.01$).

En confirmación de la respuesta a DDGS ocurrió una relación directamente proporcional entre la cantidad de DDGS asignada y la digestión total de la MO (Componente lineal; $P = 0.004$) y el N (Componente lineal; $P < 0.001$). Es entonces evidente que en DDGS la constitución de la fracción fibra y su relación estrecha con el N facilitan su utilización en el tracto, particularmente a nivel postruminal y total en comparación con la SEA cuando se suministran en animales alimentados con ensilado de sorgo. Es recomendable elucidar en futuros trabajos si estas diferencias a favor de DDGS vs SEA en la utilización de FDN y CEL correspondientes a la fracción fibrosa y el N total se traducen en una mayor eficiencia energética y parámetros productivos en los animales.

Cuadro 12. Digestión total en novillos alimentados a base de ensilado de sorgo con DDGS o con SEA

	Tratamiento ¹					EE ²	C1 ³		C2 ⁴		C3 ⁵		C4 ⁶		P < F			
	TTG	DDG1	DDG2	SEA1	SEA2		TTG	TMT	DDGS	SEA	TTG	DDGS	TTG	SEA	C1	C2	C3	C4
Digestión total % de la MS																		
MO ⁷	68.0	71.9	72.9	69.6	68.2	1.07	68.0	70.1	72.4	68.9	68.0	72.4	68.0	68.9	0.026	0.002	0.002	0.458
FDN	63.5	65.8	66.3	63.8	61.9	1.56	63.5	64.2	66.0	62.8	63.5	66.0	63.5	62.8	0.451	0.013	0.081	0.638
FDA	57.1	57.8	58.1	56.8	53.9	2.22	57.1	56.7	57.9	55.3	57.1	57.9	57.1	55.3	0.787	0.088	0.621	0.332
CEL ⁸	76.6	77.3	76.9	74.7	73.1	1.37	76.6	75.7	77.1	73.9	76.6	77.1	76.6	73.9	0.393	0.015	0.735	0.073
LIG	14.4	15.2	21.3	25.2	18.7	9.76	14.4	18.9	18.2	21.9	14.4	18.2	14.4	21.9	0.243	0.390	0.463	0.163
N ^{7,9,10,11}	57.9	69.8	73.9	69.1	70.4	1.57	57.9	68.2	71.8	69.7	57.9	71.8	57.9	69.7	0.000	0.148	0.000	0.000

a, b, c Medias con distinta literal en una hilera son diferentes (P<0.05). MS= Materia Seca, MO= Materia Orgánica, FDN= Fibra Detergente Neutro, FDA= Fibra Detergente Acido, CEL= Celulosa, LIG= Lignina, N= Nitrógeno, TMT=Tratamientos.

¹Tratamientos: TTG = Ensilado de sorgo (100%), DDGS1 = Ensilado de sorgo (87.5%) + Granos secos de destilería con solubles (12.5%), DDGS2= Ensilado de sorgo (75%) + Granos secos de destilería con solubles (25%), SEA 1= Ensilado de sorgo (87.5%) + Semilla entera de Algodón (12.5%), SEA2= Ensilado de sorgo (75%) + Semilla entera de Algodón (25%).

²EE= Error estándar.

³C1= Contraste 1, TTG vs TMT.

⁴C2= Contraste 2, DDGS vs SEA.

⁵C3= Contraste 3, TTG vs DDGS.

⁶C3= Contraste 4, TTG vs SEA.

⁷ Efecto Lineal DDGS, $P < 0.01$

⁸ Efecto Lineal SEA, $P < 0.10$

⁹ Efecto Cuadrático DDGS, $P < 0.10$

¹⁰ Efecto Lineal SEA, $P < 0.01$

¹¹ Efecto Cuadrático SEA, $P < 0.05$

VII. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente experimento en que se utilizó ensilado de sorgo como dieta basal, en contraste con la hipótesis planteada fue la suplementación con DDGS, ante que la SEA, quien provoco mayor influencia sobre la digestión en rumen y total del N total, así como también se identificó una relación directamente proporcional con la generación de MOM y la eficiencia microbial. Por la dinámica de los residuos de la fracción fibrosa y nitrogenada de DDGS es posible inferir que la actividad enzimática en el tracto bajo no es limitante en la utilización de los residuos de la digestión en rumen. Es recomendable elucidar en futuros trabajos si estas diferencias a favor de DDGS vs SEA en la utilización de FDN y CEL correspondientes a la fracción fibrosa y el N total se traducen en una mayor eficiencia energética y parámetros productivos en los animales.

VIII. LITERATURA CITADA

- ABENGOA, 2015. ¿Que son los DDGS?. <http://www.laenergíadelcambio.com/que-son-los-ddgs>. Fecha de consulta; 07/03/16.
- Albeitar, 2001. Semilla de algodón en la alimentación de los bovinos. <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/3327/articulos-rumiantes-archivo/semilla-de-algodón-en-la-alimentación-de-los-bovinos.html>. Fecha de consulta; 07/03/16.
- Álvarez E. G., Pinos-Rodríguez, Aguilar U., Espinoza S., Montaña M., Torrentera N. y Rodríguez J., 2010. Effects of exogenous fibrolytic enzymes on intake, duodenal flow, and digestion in steers fed diets with whole or cracked Pima cottonseed. *Acta Agriculturae Scand Section A*. 00: 1-6
- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA. 2200 pp.
- Argamentería G. A., de la Roza B., Martínez A., Sánchez L. y Martínez A., 1997. El ensilado en Asturias. Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria (CIATA). 1-127.
- Areli A., 1998. Whole cottonseed in dairy cattle feeding: A review. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 72:97-110.
- Arnold R., Hippen, Álvaro D. y Garcia, 2012. La variabilidad de los granos de destilería para la producción lechera. <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/8767/articulos-nutricion-archivo/la-variabilidad-de-los-granos-de-destileria-para-la-produccion-lechera.html>. Fecha de consulta: 01/03/16. Albeitar.1-5.
- Arthur M. A., Zachos J. C., and Jones D. S., 1987. Primary productivity and the Cretaceous/Tertiary boundary event in the oceans, *Cretaceous Res.* 8: 43- 45.
- ATTRA, 2012. Nutrición para rumiantes en pastoreo. <https://attra.ncat.org/attra-pub/viewhtml.php?id=248>. Fecha de consulta: 25/03/16.

- Avila C. D., DePeters E. J., Pérez-Monti H., Taylor S. J. y Zinn R. A., 2000. Influences of Saturation Ratio of Supplemental Dietary Fat on Digestion and Milk Yield in Dairy Cows. *J Dairy Sci.* 83:1505–1519.
- Aydin G., Grant R.J., O'rear J., 1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J Dairy Sci*; 82(10):2127-2135.
- Barber G. D., Offer N. W. y Givens D. I., 1996. Predicting the nutritive value of silage. In: Garnsworthy, P. C. y Cole, D. J. A. (eds.) Recent developments in ruminant nutrition III. Nottingham University Press. Nottingham, UK. 95-112.
- Barraza M.L., Coppock C.E., Brooks K.N., Wilks D.L., Saunders R.G., Latimer G.W., 1991. Iron sulfate and feed pelleting to detoxify free gossypol in cottonseed diets for dairy cattle. *J. Dairy Sci.* V. 74 (10):3457-3467.
- Barry M.C., Fox D.G., Tylutki T.P., Pell A.N., O'Connor J.D., Sniffen C.J. and Chalupa W., 1994. The Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. 3rd ed. Cornell University, Ithaca, NY.
- Beck P.A., Stewart C. B., Gray H. C., Smith J. L and †Gunter S. A., 2009. Effect of wheat forage maturity and preservation method on forage chemical composition and performance of growing calves fed mixed diets. *J Anim. Sci.* 87:4133-4142.
- Belyea R. L., Rausch K. D. and Tumbleson M. E., 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresour. Technol.* 94:293–298.
- Bernard J. K., 1999. Performance of lactating dairy cows fed whole cottonseed coated with gelatinized cornstarch. *J. Dairy Sci.* 82:1305-1309.
- Blackwelder J. T., Hopkins B. A., Diaz D. E., Whitlow L. W. and Brownie C., 1998. Milk production and plasma gossypol of cows fed cottonseed and oilseed meals with or without rumen- undegradable protein. *J. Dairy Sci.* 81:2934-2941.
- Broderick G. A., 1996. Introduction en Conference: Altering Ruminant Nitrogen Metabolism to Improve Protein Utilization. *J. Nutr.* 126:1324.
- Calderon J.F. and Zinn R.A., 1996. Influence of forage level and forage coarseness of grind on growth performance and digestive function in feedlot steers. *J. Anim.*

Sci.74: 2310 - 2316.

- Gruére A, Sanfilippo D., 2012. Algodón; Revista de la situación mundial. Comité Consultivo Internacional del Algodón (CCIA). https://www.icac.org/wp-content/uploads/2011/05/Srev_junio_web.pdf. Fecha de consulta: 10/03/16.
- Chalupa W., Vecchiarelli B., Sklan D., Ramberg C. F. and Jr., 1985. Responses of lactating cows to cottonseeds. J. Dairy Sci. 68(1):115.
- Chen Yuan-Kuo and Shurson J., 2004. Evaluation of distiller's dried grains with solubles for lactating cows in Taiwan. [http://www.ddgs.umn.edu/international-translations/Taiwanese%20\(Yuan-Kuo%20Chen%202004\).pdf](http://www.ddgs.umn.edu/international-translations/Taiwanese%20(Yuan-Kuo%20Chen%202004).pdf). Fecha de consulta; 26/02/16.
- Cherney D. J. R., 2000. Characterization of forages by chemical analysis. In: Givens, D. I.; Owen, E.; Axford, R. F. E. y Omed, H. M. (eds.) Forage evaluation in ruminant nutrition. Cab International. Wallingford, UK. 281-300.
- Church D.C., 1993. The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition. Waveland Press, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Clark P. W. and Armentano L. E., 1993. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. J. Dairy Sci. 76:2644.
- CONAPROLE,2009.file:///C:/Users/sandraazucena/Downloads/Cartilla+4.+Tabla+Composici%2525c3%2525b3n+Alimentos.pdf. Fecha de consulta: 23/03/16.
- Crampton E. W. and Harris L. E., 1979. Análisis inmediato de los alimentos. Nutrición Animal Aplicada. Edit. Acribia. 2 ed. Zaragoza, España. 580- 581.
- Cullison A. E. and Lowrey R. S., 1987. Feeds and feeding. Reston Ed. Fourth edition. 645.
- Cyriac J., Abdelqader M. M., Kalscheur K. F., Hippen A. R. and Schingoethe D. J., 2005. Effect of replacing forage fiber with non-forage fiber in lactating dairy cow diets. 88(1):252.
- Dado R. G., and Allen M. S., 1995. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. J. Dairy Sci. 78:118-133.

- Dairy One Forage Lab. 2011. Valores acumulados desde el 01/05/2000 hasta el 30/04/2011. <http://www.dairyone.com>. Fecha de consulta: 15/02/16.
- De Blas G.G., Mateos y Rebollar P.G., 2007. DDGS de maíz. Universidad Politécnica de Madrid (España). <https://www.engormix.com/MA-balanceados/formulacion/articulos/ddgs-maiz-t1396/800-p0.htm>. Fecha de consulta: 15/01/16.
- De Haan K., Klopfenstein T., Stock R., Abrams S. and Britton R., 1983. Wet distiller's coproducts for growing ruminants. Nebraska Beef Rep. 43:33-35.
- De León M. y Simondi J. M., 2006. Suplementación proteica alimentación con silajes. Producción. 21:52-58.
- Díaz-Royón F., Garcia A. and Rosentrater K. A., 2012. Composition of Fat in Distillers Grains. Livestock. Dairy Sc. IGrow February. 2012. South Dakota State University. http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1673&context=abe_eng_pubs. Fecha de consulta: 01/03/16.
- Ensminger M. E., Oldfield J. E., Heinemann W. W., 1990. Feeds and nutrition. The Ensminger publishing company. 2 ed. Clovis, California. USA. 1544.
- Erickson G.E., Klopfenstein T.J., Adams D.C., and Rasby R.J., 2005. Utilization of Corn CoProducts in the Beef Industry. Nebraska Corn Board and the University of Nebraska. www.nebraskacorn.org. 17.
- Estrada A., O. La O, Portillo J. J., Herrera R. S., Castro B. I. y Ríos F. G., 2011. Efecto del calor y humedad en la degradabilidad ruminal in situ de la semilla de algodón. Revista Cubana de Ciencia Agrícolas. 45:3
- FEDNA, 2004. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Ensilado de sorgo; tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos. <http://www.fundacionfedna.org/forrajes/ensilado-de-sorgo>. Fecha de consulta: 06/03/16.
- FEDNA, 2012. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Granos y solubles de maíz (DDGS) calidad media. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/granos-y-solubles-de-ma%C3%ADz-ddgs-calidad-media-actualizado-nov-2011. Fecha de consulta: 15/02/16.

- FEDNA, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2013. Tablas de composición nutritiva de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo. Fecha de consulta: 02/05/15
- Financiera rural y SHCP, 2014. Panorama del algodón. [http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Algod%C3%B3n%20\(jun%202014\).pdf](http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Algod%C3%B3n%20(jun%202014).pdf). Fecha de consulta: 10/03/16.
- Financiera Rural, 2011. Monografía de la semilla de algodón. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. <https://www.yumpu.com/es/document/view/33307373/monografia-semilla-de-algodon-financiera-rural>. Fecha de consulta: 01/03/16.
- Fontanelli R.S., Prates E.R., Ramos P. y Barcellos J. O., 2002. Suplementação da silagem de sorgo com diferentes fontes de proteína para bovinos de corte. Rev. Bras. Zoot. 31(1):183-191.
- Guada J. A., 1993. Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de la proteína y almidón. IX Curso de Especialización FEDNA. Barcelona – España. <http://www.acorex.com/PO/pienso/Efectosdelprocesadosobreladegradabilidadruminaldeproteinayalmidon.pdf>. Fecha de consulta: 10/03/16.
- Hill F. N. and Anderson D. L., 1958. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. J. Nutr. 64:587-603.
- Huntington G. B., 1999. Nutrient metabolism by gastrointestinal tissues of herbivores. En: Jung, H. G y G. C. Fahey (Ed.) Proceedings of the Vth International Symposium on the Nutrition of Herbivores. American Society of Animal Science. Illinois, USA.
- Hurrell R. F. and Finot P. A., 1985. Effects of food processing on protein digestibility and amino acid availability. In: Finley JW, Hopkins DT (eds), Digestibility and Amino Acid Availability in Cereals and Oilseeds. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, USA. 233–246.
- Hussein H. S., Merchen N.R. and Fahey G.C., Jr., 1995. Effects of forage level and canola seed supplementation on site and extent of digestion of organic matter,

- carbohydrates, and energy by steers. *J. Anim. Sci.* 73: 2458-2468.
- INEGI, 2010. Anuario Estadístico del Estado de Baja California. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática y Gobierno del Estado de Baja California. Aguascalientes, México.3-7.
- Kajikawa *et al.*, 2012. Variation in chemical composition of corn dried distillers grains with solubles in relation to in situ protein degradation profiles in the rumen. *Animal Science Journal*. 83: 299-304.
- Karges K. K., 1990. Effects of rumen degradable and escape protein on cattle response to supplemental protein on native pasture. M. S. Thesis. University of Nebraska, Lincoln, Nebraska.
- Keele J. W., Roffler R. E. and Beyers K. Z., 1989. Ruminant metabolism in nonlactating cows fed whole cottonseed or extruded soybeans. *J. Anita. Sci.* 67:1612-1622.
- Klopfenstein T., 1996. Need for escape protein by grazing cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 60:191.
- Krishnamoorthy U., Sniffen C. J., Stern M. D., Van Soest P. J., 1983. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and an in vitro simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. *British Journal of Nutrition*. 50:555–568.
- Kutches A. J., Chalupa W., Trei J., 1987. Delinted cottonseed improves lactational response. *Feedstuffs*. 59(34):16-17.
- Ledoux D. R., Williams J. E., Stroud T. E., Garner G. B. and Paterson J. A., 1985. Influence of forage level on passage rate, digestibility and performance of cattle. *J. Anim. Sci.* 61:1559-1566.
- Lesoiing G., Rush I., Klopfenstein T. and Ward J., 1980. Wheat straw in growing cattle diets. *J. Anim. Sci.* 51:257-262.
- Ludden P. A. y Cecava M. J., 1995. Supplemental protein sources for steers fed corn-based diets: I. Ruminant characteristics and intestinal amino acid flows. *J. Anim. Sci.* 73:1466.
- Ludden P. A., Cecava M. J. and Hendrix K. S., 1995. The value of soybean hulls as a replacement for corn in beef cattle diets formulated with or without added fat. *J. Anim. Sci.* 73: 2706-2711.

- Mauron J., 1981. The Maillard reaction in food; A critical review from the nutritional standpoint. In: Eriksson C (ed.), Maillard Reaction in Food, pp. 5–35. Pergamon Press, Oxford, UK.
- McDonald P., 1981. The biochemistry of silage. Wiley. UK. 226 p.
- Merry R. J., Jones R. y Theodorou M. K., 2000. The conservation of grass. In: Hopkins, A. (ed.) Grass: its production and utilization. 3^a ed. Blackwell Science. UK.196-228.
- Milford R. and Minson D.J., 1965. Proc. IX International Grassl. Cong. Sao Paulo, Brazil. 815.
- Moureau R. A., Liu K., Winkler-Moser J. K., Singh V., 2011. Changes in Lipid Composition During Dry Grind Ethanol Processing of Corn. J. Am. Oil Chem. Soc.88:435-442-
- NARO, 2006. Japanese Feeding Standard for Dairy Cattle. National Agriculture and Food Research Organization, Tsukuba, Japan.
- Nava C. C. y Díaz C. A., 2001. Introducción a la digestión ruminal. Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM. http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/79-introduccion_a_la_digestion_ruminal.pdf. Fecha de consulta: 9/06/15.
- NRC, 1984. Nutrients Requirements of beef cattle. 6th Edition. National Research Council. National Academy press Washington D.C USA 90 p.
- NRC, 1998. Nutrients Requirements of swine. Tenth rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington D.C.110- 142.
- NRC, 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy Press. Washington D.C.
- NRC, 1996. Nutrient requirements of beef cattle. Seventh revised ed. National Academy of Sciences - National Research Council. Washington, DC.
- NRC, 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle:7th rev. edn. Update. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised ed. National Academy of Sciences - National Research Council. Washington, DC.

- NRC, 2007. Nutrient requirements of small ruminants, sheep, goats, cervids, and new world camelids. National Academy Press, Washington, D. C. 362 p.
- Núñez H. G., Payán G. J. A., Pena R. A., González C. F., Ruiz B. O. y Arzola A.C., 2010. Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México. Rev. mex. de cienc. Pecuarias.1(2).
- Oba M., and Allen M. S., 2000. Effect of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 3. Digestibility and microbial efficiency. J. Dairy Sci. 83:1350-1358.
- Ørskov E. R. and McDonald I., 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. 92: 499-503.
- Ørskov E. R., 1977. Capacity for digestion and effects of composition of absorbed nutrients on animal metabolism. J. Anim. Sci. 45:600
- Ørskov E. R., Barnes B. J., Macdearmid, A., Williams P.E.V. and Innes G.M., 1981. Utilization of alkali-treated grain. 3. Utilization by steers of NaOH-treated and rilled barley in silage-based diets. Animal Feed Science and Technology. 6:355-365.
- Owens and Goetsch, 1986. Digesta passage rates and microbial protein synthesis. In: Testigo of Digestion and Metabolism in Ruminants, pp. 196-223. L.P. Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson, eds. Reston Pub. Co., Reston, VA.
- Parraga, 2008. Evaluación de la semilla de algodón como suplemento en la dieta en ovinos de engorde. <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/6014/T14.08%20P247e.pdf?sequence=1>. Fecha de consulta: 25/03/16.
- Parsi J., Leopoldo G., Miazzi R., Maffioli R., Echevarría A. y Provensa P. 2001. Valoración nutritiva de los alimentos y formulación de dietas. Cursos de Producción Animal, FAV UNRC.
- Penner G. B., Yu P. and Christensen D. A., 2009. Effects of replacing forage or concentrates with wet or dry distillers' grains on the productivity and chewing activity of dairy cattle. Anim. Feed Sci. Technol. 153:1-10.

- Ishler V., Heinrichs J. y Varga G., 2016. De la alimentación a la leche: comprendiendo la función del rumen. <http://extension.psu.edu/animals/dairy/nutrition/nutrition-and-feeding/rumen-function/de-la-alimentacion-a-la-leche-comprendiendo-la-funcion-del-rumen>. Fecha de consulta: 25/03/16.
- Pérez N., Garmendia J., y Alvarado A., 2001. Efecto de la suplementación en preparto con semilla de algodón y minerales sobre el comportamiento productivo en vacas doble propósito. Revista Unellez de Ciencia y Tecnología. Volumen Especial: 125-133.
- Restle J., Neumann M. and Brondadi I.L., 2002. Manipulação do corte do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para confecção de silagem, visando a produção do novilho superprecoce. Rev. Bras. de Zoot. 31(3):1481-1490.
- Robinson P. H., Getachew G., DePeters E. J. and Calhoun M. C., 2001. Influence of variety and storage up to 22 days on nutrient composition and gossypol level of Pima cottonseed (*Gossypium spp.*). Anim. Feed Sci. Technol. 91:149-156.
- Robinson P., Putnam D. and Mueller S., 1998. Interpreting Your Forage Test Report, in Calif. Alfalfa and Forage Review. Univ. of Calif. 1(2).
- Rochelle S. J., Kerr B. J. and Dozier W. A., 2011. Energy determination of corn co-products fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of composition analysis to predict nitrogencorrected apparent metabolizable energy. Poul. Sci. 90:1999-2007.
- Ruiz T. M., Bernal E., Staples C. R., Sollenberger L. E. and Gallaher R. N., 1995. Effect of dietary neutral detergent fiber concentration and forage source on performance of lactating cows. J. Dairy Sci. 78:305- 319.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. 2012. Plan Maestro de Algodón. <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/2011/julio/Documents/2011B434.pdf>. Fecha de consulta: 25/03/16.
- Satter L. D. y Slyter L. L., 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. Brit. J. Nutr. 32:199.

- Schingoethe D. J., Kalscheur K. F., Hippen A. R. y García D. C., 2009. El uso de productos de destilería en dietas de ganado lechero. J. Dairy Sci. Pag. 92.
- Schroeder J. W., 2010. Granos de destilería suplemento y proteico para el ganado lechero. Sitio argentino de Producción Animal. 1-10.
- SENASICA, 2012. Plan rector sistema producto algodón. <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj2-azE4uTMAhUsxoMKHfY7C0sQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.senasica.gob.mx%2Fincludes%2Fasp%2Fdownload.asp%3FIdDocumento%3D19998%26IdUrl%3D32705&usg=AFQjCNEzfN3Ud6zy94Snc2eFT87KHb-Afg&sig2=U9Dt3UI2O2Wg7YKSTKGPwA&bvm=bv.122129774,d.amc>. Fecha de consulta: 10/03/16.
- Shabestar B. y azhdari R. E., 2012. Determination of Cottonseed meal degradability with nylon bag Technique. Annals of Biological Research. 3(3):1398-1401.
- Shimada M. A., 2007. Nutrición Animal. Editorial Trillas. México.
- SIAP, 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo. SAGARPA. México. <http://www.siap.gob.mx>. Fecha de consulta: 09/03/2016.
- Slideshare, 2014. <http://es.slideshare.net/FernyBoada/pasta-de-algodon-38150997>. Fecha de consulta: 23/03/16.
- Sniffen C. J., O'Connor J. D., Van Soest P. J., Fox D. G. and Russell J. B., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70:3562-3577.
- Spiehs M. J., Whitney M. H. and Shurson G. C., 2002. Nutrient database for distillers dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. J. Anim. Sci.10:2639-2645.
- Steel G. D., Torrie H. and Dickey A., 1996. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. 3rd Edition. Published by Blacklick, Ohio, U.S.A.
- Suarez M., Lascano G.j., Rico D. E., y Heinrichs A. J., 2015. Effect of forage level and replacing canola meal with dry distillers grains with solubles in precision-fed heifer diets: Digestibility and rumen fermentation. J. Dairy Sci. 98:8054-8065.
- Swanepoel N., Robinson P. H. and Erasmus L. J., 2014. Determining the optimal ratio

- of canola meal and high protein dried distillers grain protein in diets of high producing Holstein dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. 189: 41-53.
- Tjardes J. and Wright C., 2002. Feeding corn distiller's co-products to beef cattle. *SDSU Extension Extra*. Ex 2036, August 2002. Dept. of Animal and Range Sciences. 1-5.
- U.S.Grains, 2015. DDGS. <https://www.grains.org/buyingselling/ddgs>. Fecha de consulta: 07/03/16.
- UMN, 2009. Distillers Grains By-products in Livestock and Poultry Feeds. University of Minnesota. U.S. average compared to DDGS produced in Canada, China, Spain. Disponible online: <http://www.ddgs.umn.edu/profiles.htm>. Fecha de consulta: 15/02/16.
- UNAM, 2016. Alimentación de bovinos. http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/e_bovina/1AlimentaciondeBovinos.pdf. Fecha de consulta: 24/03/16.
- Valencia, 2012. Caracterización Química y Valor Nutritivo de los DDGS de Cebada, Maíz y Trigo para Conejos en Crecimiento. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27376/TESIS%20MASTER%20DDGS%20CONEJOS%20GILBERT%20-%20copia.pdf?sequence=1>. Fecha de consulta: 22/03/16.
- Van Soest P. J. and Mason V. C., 1991. The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. *Animal Feed Science Technology*. 32:45-53.
- Van Soest P. J., 1965. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*. 48:785-790.
- Van Soest, P. J., 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Second Ed. Cornell University Press. Ithaca, N.Y.
- Vázquez M. E., Alvarez-Almora E. G., Torrentera-Olivera N. G., Santillano Cazares J., Calderón-Mendoza D., Gutiérrez-Norales B.H. y Villarreal-Balderrama A., 2014. Valor alimenticio comparativo de la planta entera de trigo ensilada con

- sudan, igualando la relación FDN digestible: almidón en novillos Holstein. Memoria de la XXIV Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Villarreal B. J. A. y Alvarez-Almora E.G., 2012. Influencia de la presencia de de nervadura café y almidón en distintas variedades de sorgo-sudan sobre la digestión de ensilados ofrecidos a becerros Holstein. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California.
- Waters C. J., Kitcherside A. and Webster A. J. F., 1992. Problems associated with estimating the digestibility of undegraded dietary nitrogen from acid-detergent insoluble nitrogen. *Animal Feed Science and Technology*. 39:279-291.
- Welch J. G., 1986. Physical parameters of fiber affecting passage from the rumen. *J. Dairy Sci.* 69: 2750-2754.
- Welch J. G., 1982. Rumination, particle size and passage from the rumen. *J. Anim. Sci.* 54: 885-894.
- 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.
- Yu Y. and Thomas W., 1976. Estimation of the extent of heat damage in alfalfa haylage by laboratory measurement. *Journal of Animal Science*. 42:766-774.
- Zinn R. A., 1995. Characteristics of Digestion of linted and Lint-Free Cottonseed in Diets for Feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 1995. 73:1246-1250.
- Zinn R. A. and Plascencia A., 1993. Interaction of Whole Cottonseed and Supplemental Fat on Digestive Function in Cattle. *J. Anim. Sci.* 71:11-17
- Zinn R. A. and Owens. F. N., 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Canadian Journal of Animal Science*. 66: 157-166.
- Zinn R. A., 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steamflaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:767-775.
- Zinn R. A. and Salinas J., 1999. Influence of Fibrozyme on digestive function and growth performance of feedlot steers fed a 78 % concentrate growing diet. In: *Biotechnology in the Feed Industry, Proceedings of the 15 Th Annual*

Symposium (T. P. Lyons and K. A. Jacques, eds). Nottingham University Press.
UK.Zinn. R.A., and A. Plascencia. 1996. Effects of forage level on the
comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets for
feedlot cattle. J. Anim. Sci. 74:1194.

