

11623

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**INFLUENCIA DEL NITROGENO SUPLEMENTARIO SOBRE LA REGULACION DEL  
CONSUMO VOLUNTARIO EN NOVILLOS HOLSTEIN ALIMENTADOS CON UNA  
DIETA A BASE DE FORRAJES**

**Tesis**

**Que para obtener el Grado de Doctor en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal.**

**Presenta**

**Enrique Gilberto Alvarez Almora**

**Asesor Principal:**

**Ph. D. Richard A. Zinn**

**Tutores:**

**Ph. D. Juan De Dios Garza Flores**

**Ph. D. Carlos M. García Bojalil**

**Ph.D. Ricardo Bárcena Gama**

**Ph. D. German Mendoza Martínez**

**Ph. D. Carlos Vásquez Peláez**

**Ph.D. Sergio González Muñoz**

**Cuautilán Izcalli, Edo. de México, Septiembre 5, 2000.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**  
**COORDINACION GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**CARTA DE VOTOS APROBATORIOS**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

**Coordinación General de Estudios de Posgrado**  
**FES-Cuautitlán**  
**Presente.**

Por medio de la presente nos permitimos comunicar a usted que revisamos la tesis titulada "INFLUENCIA DEL NITROGENO SOBRE LA REGULARIZACION DEL CONSUMO VOLUNTARIO EN NOVILLOS HOLSTEIN ALIMENTADOS CON DIETAS ALTAS EN FIBRA".

que presenta el (la) alumno (a) ENRIQUE GILBERTO ALVAREZ ALMORA

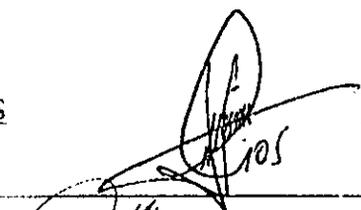
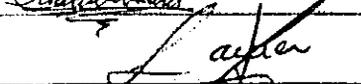
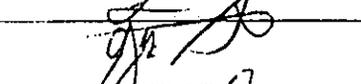
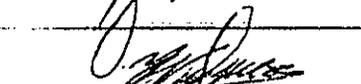
con número de cuenta 9681329-0 y número de expediente 100962001

para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS DE LA PRODUCCION Y DE LA SALUD ANIMAL

Consideramos que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el Examen de Grado correspondiente, otorgamos el voto aprobatorio.

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

NOMBRE DE LOS SINODALES

PRESIDENTE:	<u>DR. JUAN DE DIOS GARZA FLORES</u>	
PRIMER VOCAL:	<u>DR. CARLOS GARCIA BOJALIL</u>	
SEGUNDO VOCAL:	<u>DR. RICARDO BARCENA GAMA</u>	
TERCER VOCAL:	<u>DR. GERMAN MENDOZA MARTINEZ</u>	
SECRETARIO:	<u>DR. CARLOS VASQUEZ PELAEZ</u>	
SUPLENTE:	<u>DR. RICHARD ZINN</u>	
SUPLENTE:	<u>DR. SERGIO GONZALEZ MUÑOZ</u>	

*Para Ustedes:*  
Verónica, *Mi Esposa*  
Enrique y Rebeca, *Nuestros Hijos*

*Por su colaboración en este trabajo, Gracias a:*  
Ph. D. Richard A. Zinn, Ph. D. Sergio González Muñoz, Ph. D. German Mendoza Martínez, Ph.  
D. Ricardo Bárcenas Gama, Ph. D. Carlos García Bojalil, Ph. D. Carlos Vazquez Peláez y Ph. D.  
Juan De Dios Garza Flores.

## Contenido

### Justificación. 3

### Antecedentes. 4

1. Regulación del consumo voluntario. 4
  - Generalidades
  - Influencia de metabolitos sobre el consumo.
  - Influencia de los forrajes en los mecanismos de regulación del consumo.
2. El uso de marcadores en estudios de digestión y pasaje. 8
3. Influencia de los suplementos nitrogenados en el consumo voluntario de forrajes. 10
4. Efecto de la infusión de nitrógeno en la digestión y el consumo. 11
  - Influencia en el consumo de materia seca.
  - Influencia en la digestión en rumen.
  - Efecto en el flujo y digestión de la fibra en abomaso.
  - Efecto en la eficiencia microbial.
  - Influencia en la digestión total.
  - Cambios en la presión osmótica.
  - Características del flujo hacia el duodeno.
  - Efecto en el volumen ruminal.
  - Efecto en los productos de la fermentación.
  - Efecto indirecto de suplementos nitrogenados.
5. El Cuadrado Latino en Experimentos de Metabolismo. 19

### II. Experimento 1. Influencia de la infusión abomasal de caseinato de sodio en el consumo voluntario y la función digestiva en novillos alimentados con una dieta a base de forraje. 20

1. Resumen. 21
2. Introducción. 21.
3. Metodología. 22.
4. Resultados y Discusión. 23.
5. Implicaciones. 24.

### III. Experimento 2. Influencia del sitio de infusión de caseinato de sodio en el consumo voluntario y la función digestiva de novillos alimentados con una dieta a base de heno de sudán. 25.

1. Resumen. 26.
2. Introducción. 27.
3. Metodología. 28.
4. Resultados y Discusión. 31.
5. Implicaciones. 35.

### IV. Tablas. 37.

### V. Lista de Referencias. 43.

## JUSTIFICACIÓN

Generalmente ha sido aceptado que la suplementación nitrogenada en animales que consumen altos niveles de forraje mejora el rendimiento animal mediante un incremento en el consumo total de alimento. Aunque las razones para adicionar nitrógeno van desde satisfacer el requerimiento factorial de proteína cruda (NRC, 1984, 1988, 1996), elevar las tasas de digestión y de pasaje (Ellis, 1978) y mejorar el aporte postruminal de N microbial (Orskov, 1982) y aminoácidos (Cecava y Parker, 1993), existe la posibilidad que la función del nitrógeno adicionado sea diferente del entendido tradicionalmente. En los trabajos publicados por Egan y Moir (1965) y Egan (1965 a, b, c) cuando la infusión postruminal de caseína en ovinos causó un aumento en el consumo voluntario de forrajes, el efecto fue atribuido a una mejoría en el estatus de nitrógeno del animal y cambios en el límite de llenado en rumen. Pero en general el nivel de consumo alcanzado en estos trabajos fue muy reducido (45 g / kg PV<sup>75</sup>). Incrementos en el consumo voluntario de dietas a base de forrajes fueron también reportados por Garza et al. (1991 a,b; 1992) al infundir caseína en el duodeno de bovinos. Complementariamente Zinn y Owens (1981) elucidaron que podría existir un mecanismo dilutorio para mantener relativamente constante la concentración de nitrógeno en el quimo que fluye hacia el duodeno. Básicamente estos experimentos nos permitieron hipotetizar que el incremento en el consumo voluntario por efecto de la adición de nitrógeno podría explicarse por el papel regulador que ejerce la concentración de nitrógeno en el quimo cuando éste fluye hacia el duodeno. En este estudio, después de dos experimentos, uno en que se utilizaron diferentes dosis de caseinato de sodio y otro en que se compararon distintos sitios para su infusión, la mayor aportación de nitrógeno postruminal no incrementó el consumo de materia seca; sin embargo la tasa de consumo se mantuvo dentro del rango establecido (95 a 100 g de materia seca / kg PV<sup>75</sup>) por las ecuaciones de Jarrige et al (1979) y NRC (1996). El nivel de predicción para el consumo máximo fue cercano al 90%, considerando sólo las tasas de digestión y pasaje de la fibra detergente neutro y su límite de llenado ruminal.

## ANTECEDENTES

### 1. Regulación del Consumo Voluntario

#### Generalidades

Una comida se define como la ingestión realizada por el animal que se inicia mediante la sensación de hambre o apetito y termina una vez que existe saciedad; cuando esta cantidad es relacionada con unidad de tiempo se le denomina tasa de consumo. La cantidad total de alimento consumido por día se llama, usualmente, consumo voluntario, pero cuando éste es influido por cualquiera de los mecanismos de regulación y satisface los requerimientos del animal, recibe el nombre de consumo voluntario *ad libitum* (Forbes, 1986). Sin embargo, cuando el nivel de ingestión es impuesto por circunstancias externas como disponibilidad de forraje en una pradera o baja asignación de alimento en condiciones de estabulación o experimentales, entonces se le llama consumo restringido (Van Soest, 1982).

Se han publicado numerosas revisiones acerca de los factores que determinan la cantidad de alimento consumido por los rumiantes (NRC, 1988; Forbes, 1986; Grovum, 1987a), con enfoques diferentes donde algunas ven lo general (Campling y Lean, 1983; Forbes, 1983; Forbes y Barrio, 1992), otras centran la atención en la palatabilidad (Church, 1971), el control cerebral (Bayle y Mayer, 1970), en situaciones de pastoreo (Van Dyne, 1980; Mertens y Fahey Jr., 1994; van Vuuren et al., 1994), la influencia de hormonas y péptidos (Forbes, 1980; De Jong, 1985), casomorfina (Foetschel, 1996), colecistoquinina (Silver y Morley, 1991), el neuropéptido Y (Miner, 1992), e integraciones entre el consumo, la función ruminal y la tasa de pasaje (Grovum, 1984). Estas hormonas y metabolitos que controlan el patrón de consumo deben conjuntar dos características: a) que la ingestión de alimento cambie la concentración del metabolito en ambos fluidos; b) que los cambios en concentración, dentro del intervalo fisiológico normal, causen un efecto significativo en el consumo (De Jong, 1986).

#### Influencia de metabolitos en el consumo

La teoría glucostática publicada inicialmente por Mayer (1953) sugirió que el consumo voluntario es controlado por fluctuaciones en la concentración de glucosa en la sangre y sensores a

nivel hipotalámico. Forbes (1986) aseveró que las concentraciones de glucosa sólo son registradas a nivel hipotalámico (región ventromedial) con la presencia de insulina, de tal forma que esta teoría glucostática se modificó en el sentido de que es la tasa de utilización de glucosa la que interviene en la regulación del consumo y no solamente su concentración en sangre. Revisiones recientes acerca de lo anterior, han coincidido en que no es la glucosa el mejor indicador del comportamiento fágico en rumiantes (Houseknecht et al., 1998; Faverdin et al., 1997; Grovum, 1987; Grovum, 1987a; Forbes 1986; De Jong, 1986; Bell, 1984), principalmente porque este mecanismo no funcionaría en dietas de bajo valor calórico, puesto que el llenado limita el consumo antes que la concentración sérica de glucósidos (NRC, 1987).

Existen evidencias experimentales de que algunos órganos como el rumen, el duodeno y el hígado son sensitivos a concentraciones o diferentes tasas de captación de algunos productos de la digestión en rumiantes como los ácidos grasos volátiles (Forbes, 1980). Al infundir cada uno de los ácidos grasos volátiles en la vena ruminal, el propionato fue más efectivo para disminuir el consumo, lo que sugiere que existe una mayor cantidad de receptores al propionato en la pared de la vena ruminal que en otras vías, incluyendo al sistema portal hepático (Anil y Forbes, 1980). Si durante y después de la comida las concentraciones ruminales y sistémicas de ácidos grasos volátiles aumentan (De Jong, 1986), en ocasiones mayores diferencias se han encontrado en las concentraciones cuando se miden en diferentes partes del rumen (NRC, 1987). Lo anterior cuestiona la posibilidad de que las comidas sean iniciadas por cambios en las concentraciones ruminales, portal hepática y sistémica de ácidos grasos volátiles, sobre todo si se considera que en la realidad el animal come de manera espontánea.

El hecho de que la misma área del cerebro relacionada con la regulación del consumo y peso corporal (el hipotálamo) esté implicada en la función endocrina del páncreas, enfatiza la significancia de hormonas como la insulina y el glucagón. El rápido incremento de la insulina al inicio de la comida en animales sin restricción en la frecuencia de alimentación se debe, aparentemente, a un reflejo del nervio vago iniciado por estimulación oral; ello indica que la insulina es liberada antes de que existan cambios en los niveles de ácidos grasos volátiles. Por otro lado, es poco probable que la sensación de hambre sea estimulada por los niveles de insulina, puesto que no es antes de la comida cuando se registran sus niveles más bajos (De Jong, 1981).

En vista de la casi total dependencia de la gluconeogénesis para la provisión de glucosa en los rumiantes, con alimentación regular y en estado de ayuno, es sorprendente la escasa cantidad de información acerca del glucagon debido quizá al limitado suministro de precursores para glucagon pancreático (De Jong, 1986). Aunque la secreción de glucagon es similar a la insulina y puede ser estimulada por manipulación de hormonas del tubo gastrointestinal, el sistema nervioso autónomo y algunos nutrientes, no está claro el punto límite de la influencia de estos factores en la liberación de glucagon como efecto del consumo (De Jong, 1981)

Entre las hormonas gastrointestinales y cerebrales, colecistoquinina tiene posiblemente una mayor función en la saciedad de los rumiantes; esta hormona es liberada durante la comida y desde la periferia es transportada a los sitios receptores que desencadenan la saciedad. Della-Fera *et al.* (1981) sugieren que los receptores cerebrales y periféricos a colecistoquinina poseen características similares. Recientemente Kania y Zaremba-Rutkowska (1998) al estudiar a nivel cerebral receptores específicos a la colecistoquinina distribuidos en reticulorumen y abomaso, también encontraron el efecto inhibitorio de colecistoquinina en el consumo de materia seca en ovinos. Todavía está por conocerse su mecanismo de acción, si se tiene en cuenta que hay poca información generada en rumiantes (Forbes, 1980; Forbes, 1986; De Jong, 1986; Kania y Zaremba-Rutkowska, 1998).

Otras hormonas como bombesina, calcitonina, gastrina y secretina aún no han evidenciado mayor participación en los mecanismos de control (De Jong, 1986; Forbes, 1980, 1986). A partir de 1975 se ha descubierto una familia de péptidos neuromoduladores u opioides endógenos con injerencia en funciones de comportamiento fisiológico; sus receptores agonistas endógenos o exógenos incrementan el consumo de alimento al actuar como controladores de corto plazo (Fantino, 1988). En estudios realizados con ovejas se ha encontrado una relación de estos péptidos neuromoduladores con la inhibición del consumo que se atribuye a la colecistoquinina; además, tales péptidos participan en la inhibición de la motilidad reticuloruminal (Forbes, 1986 y De Jong, 1986).

### **Influencia de los forrajes en los mecanismos de regulación del consumo**

Los mecanismos de regulación del consumo son complejos y no bien conocidos, pero su estimación es vital para la evaluación de requerimientos y la predicción de tasas de ganancia (NRC,

1996). En coincidencia con la suposición tradicional acerca de que una restricción en el consumo voluntario ocurre en los rumiantes al consumir dietas basadas en forraje de mediana o baja calidad, Kempton (1988) menciona que el consumo, al estar finalmente restringido por el tamaño físico del rumen, impide al animal consumir suficiente materia seca para cubrir los requerimientos de energía. En cambio Stockes *et al.* (1988) sostuvieron que la regulación metabólica controla el consumo voluntario, aún con forrajes de baja calidad (.77% de nitrógeno y 73% de fibra detergente neutro), cuando al dar un suplemento con pasta de soya a vacas adultas observaron que la mayor respuesta positiva ocurrió en el consumo de materia seca y no en la digestibilidad ruminal. Waldo y Barnes (1985) consideran que el contenido de paredes celulares en dietas a base de forrajes es el más crucial factor químico que regula el consumo, aunque también la capacidad física del tubo gastrointestinal puede causar una diferencia potencial en la eficiencia energética. El contenido de fibra detergente neutro indigestible también ha explicado con suficiente exactitud el consumo voluntario de bovinos alimentados con henos de ballico y sudán (Lippke, 1986). Cherney *et al.* (1991) encontraron que las partículas más grandes son retenidas por más tiempo que las pequeñas, de tal forma que también su tamaño y morfología y el porcentaje de tallo influyen el tiempo medio de retención. En sí, el contenido total del rumen ha mostrado una relación negativa con el consumo estimado de energía neta y positiva con el tiempo de rumia y masticado en ovinos alimentados con forrajes de mediana y baja calidad (Weston, 1984). Pero los cambios en las características físicas de la digesta en el retículo rumen, provocados al introducir directamente en rumen forraje con diferente tamaño de partícula al momento de máximo llenado, no han mostrado influencia en la regulación del consumo (Stokes *et al.*, 1988). Del Curto *et al.* (1990) encontraron en novillos un mayor consumo asociado con un mayor volumen ruminal de fibra detergente ácido indigestible.

Es evidente que la regulación del consumo de forrajes implica una interacción entre el metabolismo de la energía y la cantidad de quimo alimenticio en el retículo rumen. El efecto de llenado del rumen en el consumo también ha ocurrido con la adición de concentrado a dietas a base de heno (Dulphy *et al.*, 1996). De esta manera, Weston (1996) reconoce que el tamaño de la poza de energía, y no un déficit energético, origina señales para la regulación del metabolismo energético, de tal manera que para forrajes con un amplio intervalo de calidad no es la cantidad de quimo en el rumen ni la capacidad de uso de la energía lo que limita el consumo, sino la resistencia de la materia

orgánica del forraje a su remoción del rumen y el valor de energía neta del forraje. Evidentemente, el estado fisiológico entra a modificar los resultados y las conclusiones que se pueden derivar de experimentos en que se relaciona a la digestión y consumo de forrajes con el metabolismo energético (Weston, 1988). Ketelaars y Tolkamp (1992) hipotetizaron que los rumiantes antes que consumir tanto forraje como ellos puedan, lo cual favorecería la teoría de llenado ruminal, lo hacen para optimizar el consumo de oxígeno a un máximo. De tal forma que en el modelo propuesto por Tolkamp y Ketelaars (1992) el consumo de oxígeno y de energía neta fueron maximizados al alimentar *ad libitum* a ovinos con una dieta a base de forrajes.

## 2. El uso de marcadores en estudios de digestión y pasaje

Los marcadores son compuestos de referencia usados para supervisar aspectos físicos y químicos de la digestión, y se usan rutinariamente para estimar flujos del quimo y pérdidas fecales en los rumiantes (Owens y Hanson, 1992). Los marcadores permiten estimar el consumo total en el animal a partir de su recuperación en las heces, así como también cuantificar el contenido de materia seca en cada uno de los compartimentos (Faichney, 1975). Los métodos y procedimientos para el empleo de los distintos marcadores han sido revisados ampliamente (Ellis *et al.*, 1982; Galyean *et al.*, 1987; Owens y Hanson, 1992). Un marcador ideal es aquel que no es absorbido, ni afectado por la digestión o la fermentación microbial, su flujo deberá ser físicamente similar con el material marcado o adherirse a éste, y debe haber un método específico y sensitivo para su medición (Faichney, 1975).

Los marcadores son fundamentalmente de dos tipos, inherentes o internos y los externos. Los primeros pueden ser componentes indigestibles del alimento ubicados principalmente en la pared celular (vg. lignina indigestible y ceniza ácido insoluble; Thonney *et al.*, 1979) de los forrajes o material metabólico generado durante la digestión como el nitrógeno fecal (Van Soest, 1982). Por su origen esta forma de marcadores no requieren de una preparación especial. En casos como la incorporación de isótopos radioactivos pesados en algunas plantas en crecimiento (Smith, 1989), resulta en un proceso tedioso de preparación.

Los marcadores externos varían según el requerimiento y conveniencia del investigador. Al igual que los indicadores internos, son utilizados porque se reduce el tiempo dedicado a una colección

total o para coleccionar información difícil de conseguir de otro modo, como lo son las tasas de pasaje y el volumen ruminal (Van Soest, 1982). Los marcadores externos pueden ser incorporados básicamente en dos formas, a un nivel constante, aconsejable para estudios de digestibilidad o en dosificaciones mantenidas por un tiempo determinado para estudios sobre tasas de pasaje o flujo del quimo (Faichney, 1975). Los principales marcadores externos utilizados son los siguientes: a) de tipo soluble como el Cromo y Cobalto EDTA y el polietilenglicol; b) óxidos de metal y sales como el sesquióxido de cromo, tierras raras como cerio e Yterbio (Uden *et al.*, 1980) y fibras mordantes; c) sustancias del alimento orgánicamente marcadas con  $^{14}\text{C}$ ,  $^{35}\text{S}$  y  $^{15}\text{N}$  (Van Soest, 1982). La preparación de estos marcadores es generalmente compleja, además de que la variación estadística obtenida de su aplicación no se reduce tanto como se incrementa esta complejidad, respecto a otros marcadores como el óxido de cromo (Zinn, 2000, comunicación personal).

Por otro lado, la desaparición de los compuestos en el tubo digestivo ocurre por digestión o pasaje, de tal forma que la tasa de desaparición es la relación entre la tasa de digestión de partículas en un sitio determinado y su tasa de pasaje. De aquí que si el tiempo medio de retención es el tiempo promedio que las partículas permanecen en un órgano, entonces las incubaciones *in situ* serían idóneas para estimar tasa de digestión de no ser porque ignoran el impacto del pasaje en el límite de la digestión.

El primer postulado que sirve como fundamento en la mayoría de las mediciones cinéticas considera que el tamaño de la poza y la tasa de dilución son constantes; sin embargo esta suposición ignora las evidencias acerca de los efectos que tienen los cambios diurnos y por horario de alimentación en el flujo y tamaño de la poza (Teeter y Owens, 1983; Del Curto *et al.*, 1990). Entonces a causa del potencial de migración del marcador y flujo independiente de la fracción inicialmente marcada, el pasaje debe ser discutido en términos del marcador, no únicamente de la fracción marcada en un inicio (Owens y Hanson, 1992).

La tasa de pasaje dividida en unidades de tiempo se convierte en tasa fraccional de pasaje, que, al ser relacionada con el tamaño de la poza de un componente específico, da como resultado la tasa de salida. Mediante un análisis cuantitativo para determinar la cantidad de material residual digestible e indigestible en el rumen, la tasa fraccional de pasaje del rumen y las tasas relativas de digestión pueden también ser estimadas por evacuación ruminal (Owens y Hanson, 1992).

### 3. Influencia del suplemento nitrogenado en el consumo voluntario de forrajes

El ganado en pastoreo requiere proteína degradable para satisfacer las necesidades de la población microbiana y proteína no degradable para complementar las necesidades productivas del animal. El requerimiento de proteína degradable en rumen es de alrededor de 130 g/kg de materia orgánica digestible (Klopfenstein y Blair, 1996). Cuando un forraje de baja calidad es consumido, se reducen la tasa de pasaje, la tasa de crecimiento microbial y la eficiencia microbial, y disminuye el requerimiento de proteína degradable en rumen; en tales condiciones la proteína microbiana es usualmente adecuada para el ganado en mantenimiento o cercano a éste pero, como asegura Kempton (1988), para llenar el requerimiento de ganado en crecimiento o en lactación la proteína de escape es necesaria porque incrementa el suministro de aminoácidos al intestino delgado. Si se considera que la proteína en gramíneas de invierno o verano es altamente degradada, el ganado con mayores requerimientos responderá con facilidad a un suplemento con proteína de escape (Klopfenstein y Blair, 1996). Entonces, el conocimiento del nivel de proteína degradable e indegradable en gramíneas en pastoreo es esencial para una predicción más precisa del comportamiento productivo animal y respuesta a suplementos proteínicos.

Durante el pastoreo los mecanismos primarios de regulación del consumo en rumiantes son la digestibilidad, la tasa de pasaje y el llenado del retículo rumen, pero las variables que permiten manipular este consumo son el tipo y nivel de suplemento, la intensidad del pastoreo y la disponibilidad de forraje (Allison, 1985). En particular, las razones para adicionar nitrógeno a la dieta de rumiantes que consumen altos niveles de forraje han sido tan diversos como: satisfacer el requerimiento factorial de la proteína cruda (Clanton, 1980; NRC, 1984, 1988), incrementar la tasa de digestión y pasaje (Ellis, 1978), adecuar la liberación de amoníaco en rumen a la disponibilidad de energía para elevar el aporte de nitrógeno microbiano (Orskov, 1982) y de proteína sobrepasante (Donaldson et al., 1991), así como incrementar el flujo intestinal de aminoácidos que potencialmente limitan el comportamiento animal (Cecava y Parker, 1993).

Aunque se acepta que la tasa de digestión y de consumo se elevan cuando los rumiantes que consumen forrajes de mediana o baja calidad reciben suplementos con fuentes nitrogenadas (Blaxter, 1962; Keith y Wagner, 1986; Minson, 1990), la relación puede únicamente reducirse a los casos en

que el amoníaco es limitante (Galyean y Owens, 1991), hay un desbalance de nitrógeno en el animal (Egan, 1965), o existe una baja disponibilidad energética en rumen (Petit y Yu, 1993). Inclusive, en varios casos se ha encontrado poca asociación entre la fermentación bacteriana y la infusión ruminal de nitrógeno (Moir y Harris, 1962), el efecto del nitrógeno excedente reciclado vía ruminal (Egan, 1965), y la "sincronización" de los aportes de diferentes formas de nitrógeno con el crecimiento microbiano en dietas altas en fibra (Rihani et al., 1993). De tal manera, la función central del nitrógeno en el incremento en la actividad microbiana, la degradación y por tanto la elevación del consumo, parece no ser fundamental.

Las contradicciones surgen también en cuanto al nivel mínimo de proteína cruda en la dieta que facilita una respuesta positiva al suplemento nitrogenado. Minson (1990) menciona que, en general, al consumirse forrajes con menos de 62 g de proteína cruda/kg de materia seca existe una respuesta positiva en el consumo voluntario de materia seca. Sin embargo, en novillos pastoreando ballico anual con 20% de proteína cruda, el consumo de forraje se ha incrementado hasta un 42% al recibir un suplemento con 1.5 kg de una combinación de harina de pescado y residuos de cervecería (Donaldson *et al.*, 1991). Por su parte, experimentos como el de Zinn y Owens (1993) no describen un mayor efecto de la adición de proteína sobrepasante en el consumo de materia seca. Inclusive la adición específica del aminoácido metionina, considerado como limitante para el crecimiento animal, no ha sido exitosa en algunos casos (Titgemeyer y Merchen, 1990).

#### **4. Efecto de la infusión de nitrógeno en la digestión y el consumo**

##### **Influencia en el consumo de materia seca**

La infusión de nitrógeno en el duodeno de ovinos ha provocado un incremento en el consumo de materia seca (.52 g N/kg peso vivo<sup>75</sup>; Egan y Moir, 1965), lo mismo ha sucedido con la infusión ruminal de .19 a .77 g N / kg peso vivo<sup>75</sup> (Olson *et al.*, 1999) y de .22 a .66 g N / kg peso vivo<sup>75</sup> (Köster *et al.*, 1996) en el rumen de novillos. El efecto positivo de la infusión de caseína en el duodeno ha sido observado con más frecuencia al usar dietas a base de forrajes pobres. Garza *et al.* (1991) lo interpretan como una consecuencia del incremento en la digestibilidad y el flujo, mientras que Egan y Moir (1965) y Egan (1970) como el resultado de un mejoramiento en el nivel de N del

animal. La infusión de caseína en el abomaso ha dado resultados menos consistentes, de tal forma que se han encontrado incrementos en el consumo de materia seca en ovinos alimentados con dietas semipurificadas (Papas *et al.*, 1974) o a base de olote de maíz (Ndlovu y Buchanan-Smith, 1987). Reducciones en el consumo de materia seca se han observado con vacas en lactancia y alimentadas con ensilado de maíz, heno de alfalfa y suplemento (Broderick *et al.*, 1970). La infusión de caseína en abomaso no provocó ningún efecto en el consumo de materia seca en vacas en lactancia alimentadas con alfalfa (Clark *et al.*, 1977), o novillos alimentados con dietas con 77% de grano (Johnson *et al.*, 1982) ó al recibir *ad libitum* heno de gramínea con 2.3% de proteína cruda (Johnson *et al.*, 1981).

La infusión de N en rumen ha provocado incrementos lineales en el consumo de materia seca a diferentes dosis de caseína (Koster *et al.*, 1996; Olson *et al.*, 1999). Alvarez y Zinn (1998) hipotetizaron que la presencia del tubo plástico instalado en la ranura reticular para alcanzar el abomaso provoca una restricción en el consumo a causa de la posible obstrucción en la salida del flujo hacia el duodeno. Al emplear la misma técnica para infundir caseína en el abomaso de novillos Titgemeyer y Merchen (1995) también observaron pérdidas y rechazos excesivos. Respecto a los niveles de consumo por unidad de peso metabólico alcanzados durante la infusión en pruebas de metabolismo con dietas a base de forrajes, éstos han estado regularmente por debajo del óptimo publicado por NRC (1996) al infundir en abomaso (42 g materia seca/kg peso vivo<sup>75</sup>; Johnson *et al.*, 1981) o en el duodeno (44.5 g materia seca / kg peso vivo<sup>75</sup>; Egan, 1965; 33.4 g materia seca / kg peso vivo<sup>75</sup>; Egan y Moir, 1965). En el caso de la infusión en rumen el consumo diario ha variado de 107 a 66 g materia seca / kg peso vivo<sup>75</sup> (Olson *et al.*, 1999; Köster *et al.*, 1996).

### **Influencia en la digestión ruminal**

La digestibilidad ruminal de la materia seca no ha presentado una respuesta consistente a la adición de nitrógeno. Egan y Moir (1965) y Egan (1965) indicaron que la tasa de digestión de celulosa, el tiempo de retención ó la digestibilidad aparente de la materia seca mostraron más independencia de la infusión duodenal de caseína que la misma relación positiva y consistente establecida con el incremento en consumo voluntario de forraje. Aún con un incremento en el consumo voluntario a raíz de la infusión de proteína en el duodeno, no cambió la digestibilidad

ruminal de la materia seca (Garza *et al.*, 1991b). Después de la administración oral o duodenal de caseína a ovinos alimentados con paja de trigo y maíz quebrado, Little y Mitchell (1967) tampoco observaron cambios en la digestión ruminal de la materia seca. Taniguchi *et al.* (1995) compararon la administración oral o ruminal vs abomasal de proteína y no encontraron efectos en la digestibilidad ruminal de la materia seca, orgánica, y fibra detergente neutro. La digestibilidad de la materia orgánica no cambió con una sustitución gradual de 0 al 75% de la caseína por urea (Köster *et al.*, 1997), con un suplemento de proteína de escape en la dieta de novillos alimentados con ballico (Donaldson *et al.*, 1991), ni con la infusión de urea en el rumen de ovinos alimentados con ballico y maíz rolado (Obitsu *et al.*, 1992). En contraste, Köster *et al.* (1996) observaron una respuesta lineal en la digestión ruminal de la materia orgánica al aumentar gradualmente de 0 a 720 g/d la infusión de caseína en el rumen. Asimismo, Garza *et al.* (1992) y Garza *et al.* (1991a) al infundir caseína en el rumen encontraron incrementos en la digestibilidad ruminal de la materia seca en dietas a base de forrajes de calidad alta o concentrado, respectivamente. En los experimentos de Egan y Moir (1965) y Egan (1965) la infusión de urea en duodeno sí generó una relación positiva entre el consumo y la tasa de digestión de la celulosa.

#### **Efecto en el flujo y digestión de la fibra en abomaso**

El efecto positivo de la infusión duodenal de caseína en el consumo de materia seca estableció también una relación directa con el flujo de materia orgánica hacia el tubo digestivo posterior (Garza *et al.*, 1991b). Un mayor aporte de N en la dieta ha también provocado un aumento en el flujo postruminal de N (Tamminga *et al.*, 1979; Laughren y Young, 1979). El efecto de una mayor cantidad de nitrógeno postruminal en la digestión postruminal de la fracción fibrosa ha tratado de ser explicado por autores como Deswysen y Ellis (1988), quienes consideran que es favorecido por el mayor rompimiento de hemicelulosa que ocurre en el abomaso cuando aumenta la secreción hidroclicórica estimulada por la mayor presencia de proteína en el abomaso. Hudson *et al.* (1970) encontraron un incremento en la digestibilidad de la celulosa con la infusión abomasal de harina de soya tratada con calor.

### **Efecto en la eficiencia microbiana**

Son diversos los factores a los que se atribuye influencia en la eficiencia microbiana. Los valores considerados dentro de un intervalo normal son de 7.7 a 27 g de N microbiano / 100 g de materia orgánica fermentada según Thomas (1973). Valores inferiores a este intervalo se han encontrado al usar una dieta con 40% de forraje (Zinn *et al.*, 1981) o al comparar niveles de 8 y 16% de forraje (Calderón-Cortes y Zinn, 1996). En el experimento de Köster *et al.* (1996) aún con una baja eficiencia microbiana en la dieta basal ofrecida, la infusión en rumen de 0 a 720 g de caseína causó una respuesta lineal positiva en el intervalo de 12 a 20 g N microbiano / kg de materia orgánica fermentada. Aunque Leibholz (1972) vaticina que un bajo contenido de nitrógeno en dietas a base de forraje podría aumentar el rendimiento microbiano, es más acertado al aseverar que un menor contenido de energía metabolizable reduce el crecimiento microbiano y, por tanto, su eficiencia. Mucha de la variación en la eficiencia microbiana puede ser atribuida a diferencias en la tasa de pasaje de materia orgánica en el rumen (Zinn y Owens, 1983). A raíz de que en algunos trabajos como el de Cecava *et al.* (1988) la síntesis bacteriana no ha sido influenciada por la tasa de dilución o diferencias en pH es posible que la relación cinética sea más compleja entre el pasaje de digesta y el N bacteriano. En este sentido, Cecava *et al.* (1988) encontraron que un aumento en el suministro de substratos fermentables incrementó la eficiencia de síntesis bacteriana con niveles de 2.71 y 2.17 Mcal EM / kg MS. De tal manera que ARC (1980) llega a considerar que la relación óptima entre nutrientes nitrogenados degradables en rumen (g) y energía metabolizable (Mcal) es 6.5, para un máximo rendimiento microbiano.

### **Influencia en la digestión total**

El efecto de los suplementos nitrogenados en la digestibilidad total de la materia orgánica ha sido influenciado por la dieta ofrecida en experimentos donde, al utilizar forrajes de menor calidad (2.5% de proteína cruda) como dieta basal, se encontró un incremento hasta del 22% en la digestión total de la materia orgánica al infundir caseína en el rumen (Köster *et al.*, 1996). En cambio, al ofrecer ballico fresco con 28.5% de proteína cruda hubo un incremento lineal de la digestión total de la materia orgánica con la adición de proteína de escape ruminal, pero no cambió la digestión ruminal (Donaldson *et al.*, 1991). Por otro lado, la digestión total de la fibra detergente neutro se incrementó en 10% al infundir 300 g/d de caseína en el rumen de novillos alimentados con un forraje conteniendo 4.9%

de proteína cruda (Olson *et al.*, 1999). Al infundir caseína a vacas que recibían forraje con 2% de proteína cruda, se elevó 15% la digestión total de la fibra detergente neutro (Köster *et al.*, 1996). Respecto a la digestión total de la fibra detergente ácido, Goetsch y Owens (1986) utilizaron una dieta de heno de gramínea y pasta de soya como suplemento y no encontraron efecto del nivel de nitrógeno en el suplemento en la digestión total de fibra detergente ácido. Diversos estudios (Donaldson *et al.*, 1991; Rangngang *et al.*, 1997; Zinn y Shen, 1998) han reportado una relación lineal positiva entre el consumo de N, ó el flujo desde el abomaso y su digestibilidad en todo el tubo digestivo.

### **Cambios en la presión osmótica**

El intervalo normal de presión osmótica fluctúa entre 250 y 350 mOsm (Bergen, 1972; Colucci *et al.*, 1990), pero sólo cuando es superior a 400 mOsm tiene efecto detrimental en la actividad celulolítica, mas no sobre el consumo de forraje (Bergen, 1972). Al comparar niveles bajo y alto de consumo en ovinos y bovinos se encontró que la osmolaridad aumentó 10% con el consumo, pero sin relación causa-efecto con la tasa de dilución en líquidos en ambas especies (Colucci *et al.*, 1990); esto se explicaría por el alto umbral de respuesta intestinal de los osmoreceptores. Se ha encontrado que en la mucosa duodenal de ovinos hay insensibilidad en el intervalo de 0 a 1,500 mOsmol/kg (Cottrell y Iggo, 1984), de tal suerte que en pruebas realizadas por Gregory y Miller (1989) ni las infusiones hiperosmolares de NaCl han causado algún efecto en la motilidad abomasal, retículo ruminal o del intestino delgado.

### **Características del flujo hacia duodeno**

Para Leibholz y Hartmann (1972) y Gregory *et al.* (1985) el flujo total de quimo presenta una relación lineal positiva entre el consumo de materia seca y el volumen y flujo abomasal. Gregory y Miller (1989) han observado que en ovinos al consumir forrajes, los factores más importantes que regulan el flujo son el contenido de nitrógeno y concentración de K<sup>+</sup> en el quimo abomasal. En este sentido, la infusión de caseína a novillos alimentados con alfalfa redujo la salida de flujo ruminal, pero aumentó la digestión ruminal y total (Garza *et al.*, 1992). En el experimento de Bruchem (1977) la actividad contráctil antral y pilórica en el abomaso y la propulsión abomasal de digesta no fueron afectadas por la infusión continua de proteína en el abomaso de ovinos. La concentración de materia

orgánica en el flujo de quimo abomasal hacia el tubo posterior es de alrededor de 40 a 50 g/L (Malbert y Baumont, 1989) cuando se comparó alfalfa con pasto ovillo, pero en consumo restringido la relación se redujo aproximadamente 8%.

Es posible que la cantidad de fibra en el fluido tienda a mantenerse relativamente constante, mientras no exista alguna restricción. Así, Merchen *et al.* (1986) observaron que mientras el nivel de consumo y el de forraje en la dieta variaron 54 y 67%, la dilución de fibra en el quimo solamente varió 6 y 21% respectivamente. En el experimento de Weston (1988) la adición de suplementos redujo el contenido de quimo en el rumen y la rumia pero incrementó la salida de líquidos; sólo alrededor del 30% de la materia orgánica en la digesta del retículo fue lo suficientemente grande para ingresar al omaso.

Aunque Zinn *et al.* (1981) y Owens *et al.* (1986) suponen un control por sí mismo de la concentración de N en el fluido. Con alimentación restringida Johnson *et al.* (1982) encontraron un efecto directo de la infusión abomasal de caseína en el flujo de nitrógeno, pero *ad libitum* hubo una disminución del 16%. En ambos casos el nivel de consumo fue demasiado bajo (.88 a 1.6% del peso vivo). Definitivamente, la mayor concentración de nitrógeno microbiano en el quimo abomasal es favorecido por la elevación en la síntesis microbiana cuando el rumen recibe más proteína degradable (Zinn y Owens, 1983; Rihani *et al.*, 1993; Köster *et al.*, 1996; Zinn y Shen, 1998).

### **Efecto en el volumen ruminal**

Garza *et al.* (1991b) y Olson *et al.* (1999) reportaron que con la infusión de caseína en rumen o duodeno se incrementa el volumen ruminal y consumo de materia seca; mientras que Egan (1965a, b) sugirió la influencia del estatus de nitrógeno en el límite superior de llenado del rumen con material indigestible después que infundió caseína en el duodeno de ovinos alimentados con forraje de baja calidad. Ndlovu y Buchanan-Smith (1987) consideran que la infusión postruminal de proteína desencadena una estimulación positiva en la capacidad de llenado del rumen.

Köster *et al.* (1997) y Olson *et al.* (1999) no observaron cambios en el contenido ruminal de sólidos al infundir caseína o urea; sin embargo, Olson *et al.* (1999) sostienen que la digestión y el flujo influyen más que los cambios en el contenido ruminal, al observar diferencias en el consumo y las tasas de pasaje. En contraste, Köster *et al.* (1996) encontraron en bovinos una respuesta lineal negativa

del contenido de sólidos al infundir desde 0 a 720 g /d de caseína en el rumen, aunque el nivel registrado de consumo fue bajo(47 g/kg PV.<sup>75</sup>).

La cantidad de fibra digestible que permanece dentro del rumen es un reflejo de los cambios provocados en la dieta y por la disponibilidad de nitrógeno ruminal y postruminal. Así, el incremento en consumo de una dieta con 40% de grano, aumentó más la poza ruminal de fibra detergente neutro digestible que el de indigestible (Huhthanen *et al.*, 1995). La infusión postruminal de proteína de soya en ovinos alimentados con residuos de cosecha de maíz, incrementó el límite de llenado ruminal de fibra detergente neutro (Ndlovu y Buchanan-Smith, 1987). Por su parte Donaldson (1991) al ofrecer proteína de escape a novillos pastoreando ballico (28% de proteína cruda) y encontraron que la fibra altamente digestible tiene escasa influencia como regulador del contenido ruminal.

Según Egan (1970), hay diferencias sustanciales en el contenido total ruminal porque es ajustado por el requerimiento del animal, pero aunque no se cambia el porcentaje de materia seca dentro del rumen, como lo observaron Huhtanen *et al.* (1995) al incrementarse la materia seca del contenido ruminal junto con el consumo y el total de la digesta. Froetschel y Amos (1989) sólo encontraron una relación inversa entre el contenido de materia seca en la digesta ruminal y la tasa de recambio de materia seca.

Respecto al total de líquido en el contenido del rumen, aún cuando hay diferencias en el consumo por efecto de la infusión de caseína en rumen, el contenido total de líquido ruminal no cambió (Olson *et al.*, 1999). En contraste Garza *et al.* (1992) observaron un mayor nivel de líquidos en el rumen al infundir caseína en el duodeno de novillos que consumían alfalfa. Según Froetschel y Amos (1991) hay una correlación positiva entre la capacidad de retención de agua en la fibra del quimo ruminal y el volumen ruminal de líquido, mientras que Varga y Prigge (1982) encontraron que la tasa de dilución de líquidos en rumen es más influenciada por el nivel de consumo que la misma dilución de los sólidos. La infusión de proteína de soya en el abomaso de ovinos alimentados con residuos de cosecha de maíz no cambió la tasa de pasaje, pero incrementó el consumo voluntario y el límite de llenado ruminal. Cuando después de evacuar el rumen y utilizar la indigestibilidad de la fibra detergente ácido para predecir el consumo voluntario, sólo se explicó 14% de la variación en el consumo de ovinos alimentados (restringidos o *ad libitum*) con alfalfa (Mendoza *et al.*, 1995).

### **Efecto en productos de la fermentación**

En los experimentos de Köster *et al.* (1996) y de Olson *et al.* (1999), la infusión de 360 g/d de caseína redujo, el pH ruminal en alrededor del 4%. Otros estudios también han demostrado, en diferentes circunstancias, una disminución en el pH cuando se adiciona más proteína a la dieta (Doyle *et al.*, 1988). Específicamente, Taniguchi *et al.* (1995) observaron una reducción en el pH cuando infundieron caseína en el abomaso o el rumen. Egan (1965c) menciona que es posible exista una mayor captación de acetato al mejorarse el estatus de N en el animal por una infusión nitrogenada postruminal. Es interesante observar que la cerrada relación acetato:propionato se pierde en el trabajo de Koster *et al.* (1996) al infundir caseína en rumen, dado que sólo el acetato presenta una respuesta lineal descendente, mientras el propionato no mostró tendencia alguna.

### **Efecto indirecto del suplemento nitrogenado**

Egan y Moir (1965) y Egan (1970) al infundir caseína y urea duodenal e intraruminalmente en ovinos atribuyeron al N infundido un efecto indirecto en el consumo, mientras que Zinn *et al.* (1981) establecieron que la relación entre la tasa de flujo (g/g PC que llega a duodeno) y la tasa de pasaje de la proteína cruda (g/d), logra mantenerse relativamente constante (101 g/l; CV=9.6%) (Zinn *et al.*, 1981). Entonces, es posible que exista un mecanismo de ajuste para mantener a la misma concentración el flujo de proteína cruda, regulándose así la velocidad de salida de líquido abomasal y, por tanto, se regula fuertemente el consumo de MS.

En varios experimentos se ha demostrado una función indirecta del N en sus diferentes formas (aminoácidos, péptidos o  $\text{NH}_3$ ) en el consumo (Freer y Campling, 1963; Weston, 1988) o en la motilidad del tubo gastrointestinal al mediar compuestos hormonales u opioides (Kil y Froestchel, 1994; Froestchel, 1994; Davenport *et al.*, 1995), de tal forma que existe una alta probabilidad de que el nitrógeno de la dieta tenga una función diferente de la directa que se le ha asignado tradicionalmente respecto a la velocidad de fermentación o al satisfacer cualquier requerimiento establecido como proteína cruda, sobrepasante o metabolizable y elevarse el consumo.

Al evaluar el efecto de incrementar los niveles de nutrientes nitrogenados degradables en el rumen, con o sin la adición de caseína infundida en el abomaso, en el flujo visceral drenado por la vena porta, Krehbiel y Ferrell (1999) encontraron que la remoción de N por el sistema portal puede

promover la síntesis de proteína microbiana cuando en la dieta es bajo el contenido de nutrientes nitrogenados degradables en rumen. Precisamente, estos cambios en los productos de la fermentación ruminal o en la proporción proteína:energía podrían determinar el efecto indirecto del N en el consumo (Ketelaars y Tolkamp, 1992).

### **5. El Cuadrado Latino en Experimentos de Metabolismo.**

El diseño cuadrado Latino es aconsejable en experimentos con animales principalmente cuando las variables que se deben medir requieren de un manejo intensivo, como frecuentemente ocurre en los estudios de metabolismo. Este diseño permite controlar dos factores de heterogeneidad que comúnmente influyen en las unidades experimentales, estos son reducir el número de animales y el tiempo necesario para la ejecución del estudio (Zinn, 2000; Comunicación personal). La suposición básica con la que este diseño trabaja es que los criterios de bloqueo actúan independiente y aditivamente entre sí y no existe interacción entre ellos (Chun Li, 1977). Las desventajas que presenta el diseño cuadrado latino es que necesariamente el número de tratamientos debe de ser el número de repeticiones y desde luego el número de animales, de tal forma que en estudios de metabolismo con mas de cuatro tratamientos por experimento resultaría en un notable intensificación el las rutina diaria por el alto número de animales y un alargamiento en el tiempo de ejecución del experimento.

Al igual que los demás diseños experimentales, la eficiencia con que el diseño de cuadrado latino trabaja depende de los grados de libertad para el error. En el caso de experimentos de metabolismo el rango para escoger el tamaño óptimo del cuadrado latino es demasiado estrecho. Un Cuadrado Latino 3 x 3 balanceado sólo permite tener 4 grados de libertad para el error, además de un limitado número de tratamientos. con sólo aumentar un nivel del factor en estudio, un Cuadrado Latino 4 x 4, eleva a nueve (un 125%) el número de grados de libertad del error. En el caso de un 5 x 5 el número de grados de libertad para el error aumentaría hasta 16, aunque también el nivel de riesgo por alargarse la ejecución del experimento y aumentar el número de animales. Por su conformación misma, un diseño cuadrado latino completo y balanceado garantiza la ortogonalidad, de tal forma que es posible establecer pruebas para determinar la tendencia lineal o cuadrática de las variables de respuesta cuando los tratamientos son equidistantes (Hicks, 1973; Steel y Torrie, 1996).

### **EXPERIMENTO 1.**

#### **INFLUENCIA DE LA INFUSIÓN ABOMASAL DE CASEINATO DE SODIO EN EL CONSUMO VOLUNTARIO Y LA FUNCIÓN DIGESTIVA EN NOVILLOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA A BASE DE FORRAJE**

**Alvarez, E.G., and R. A. Zinn. 1998. Influence of sodium caseinate abomasal infusion on voluntary feed intake and digestive function in steers fed a forage based diet. Proc. West. Sec. Am. Soc. Anim. Sci. 49: 310.**

## INFLUENCIA DE LA INFUSIÓN ABOMASAL DE CASEINATO DE SODIO EN EL CONSUMO VOLUNTARIO Y LA FUNCIÓN DIGESTIVA EN NOVILLOS ALIMENTADOS CON UNA DIETA A BASE DE FORRAJE

### Resumen

Seis novillos Holstein ( $\bar{x}$  = 405 kg) habilitados con cánulas en el rumen y duodeno proximal fueron utilizados en un experimento con un diseño de Cuadrado Latino 3 x 3 replicado para evaluar el efecto de infundir en abomaso caseinato de sodio (0, 150, or 300 g / d) en el consumo voluntario de alimento y la función digestiva. El contenido de proteína cruda (PC) y fibra detergente ácido (FDA) de la dieta basal fueron 9 y 31%, respectivamente. La infusión en el abomaso se realizó con un tubo Tygon® de 4 mm de diámetro interior (d. i.) instalado en el abomaso vía la ranura reticular e introducido desde el rumen. El experimento incluyó seis períodos de nueve días. El consumo de materia seca (MS) fue un promedio de los días 4, 5 y 6 de cada período. No existió efecto de tratamiento ( $P > .10$ ) en el consumo de MS. Existió un comportamiento lineal en respuesta a la infusión de caseína en la digestión ruminal de la materia orgánica ( $P < .10$ ), FDA ( $P < .01$ ) y nutrientes nitrogenados (NN) del alimento ( $P < .01$ ). No existió efecto de los tratamientos ( $P > .10$ ) en la eficiencia microbiana. La eficiencia ruminal del NN y su digestión postruminal se incrementaron linealmente ( $P < .01$ ) con la infusión de caseína. La infusión de caseína disminuyó linealmente ( $P < .01$ ) la digestión de la materia orgánica (MO) en el tubo digestivo total e incrementó también linealmente ( $P < .01$ ) la digestión de NN en el todo el tubo digestivo.

### Introducción

La función central de la proteína de la dieta en la elevación del consumo voluntario no es clara aún. En experimentos basados en infusiones de caseína o urea en el duodeno o rumen de ovinos, Egan y Moir (1965) y Egan (1965a) sugieren que los efectos de la proteína en el consumo podrían ser independientes de los requerimientos factoriales tradicionales. Zinn *et al.* (1981) observaron que la tasa de flujo del quimo duodenal estuvo estrechamente asociada con la concentración de N en el mismo (el contenido de PC del quimo duodenal es mantenido relativamente constante, 101 g / L; C.V. = 9.6%). Entonces, el mecanismo que regula el flujo de proteína hacia el intestino delgado, también

regula la tasa de pasaje del quimo desde el abomaso. Esto de hecho puede influenciar el consumo de alimento. El objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia de la infusión abomasal de caseinato de sodio (0, 150 y 300 g / día) en el consumo de alimento y la función digestiva en novillos alimentados con una dieta a base de forrajes.

### Metodología

Seis novillos Holstein ( $\bar{x}$  = 405 kg) con cánulas en el rumen y duodeno proximal (6 cm del esfínter pilórico) fueron utilizados en un experimento con un diseño Cuadrado Latino replicado 3 x 3, para evaluar el efecto de infundir caseinato de sodio (Biomedicals, Aurora OH 44202) en el abomaso sobre el consumo voluntario de alimento y la función digestiva. La dieta basal (Cuadro 1) contenía 9% de PC y 31% de FDA, en base seca. Después de un período de adaptación de tres semanas, se fijó un nivel de consumo del 120% (respecto al día anterior). El alimento se ofreció dos veces por día, a las 0800 el 30% de la asignación diaria y el 70% a las 2000. Para su infusión la solución se preparó disolviendo 900 g de caseinato de sodio en 6.0 L de una solución al 1% de fosfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) a temperatura ambiente y mezclando durante 6 h con un agitador Jumbo Mixer (Fisher Products Co). La solución de caseinato de sodio fue almacenada de 48 a 72 h a 2 °C antes de ser infundida. Los tratamientos fueron los siguientes: 1) 2.0 L de solución de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  al 1% (C00); 2) 150 g de caseinato de sodio disuelto en 2.0 L de solución de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  al 1% (C150); 3) 300 g de caseinato de sodio disuelto en 2.0 L de solución de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  al 1% (C300). La infusión de los respectivos tratamientos fue continua en cada uno de los cuatro períodos experimentales. La tasa de flujo de cada bomba fue de aproximadamente 83 ml/h.

Para la infusión se utilizaron bombas peristálticas (20 cm largo x 7 cm ancho x 7 cm alto; Siropump®, Everest Electronics, South Australia) individuales alimentadas por baterías (cuatro tamaño "C") y tubo Tygon® con 4 mm de diámetro interno. Éste último se introdujo por la cánula ruminal hasta el abomaso vía la canaladura reticular. Las bombas y los depósitos de caseína fueron sostenidas por un arnés circundante de 20 cm de ancho colocado en el área de unión torácico abdominal. La posición correcta del tubo de infusión en el abomaso se verificó manualmente o mediante la infusión en el tubo abomasal de 1.0 g de colorante vegetal rojo disuelto en 60 mL de agua destilada. Cuando el fluido duodenal no apareció teñido antes de diez minutos, se corrigió la posición del tubo en el abomaso. Esta rutina se realizó durante todo el experimento.

La adaptación de los novillos a la dieta basal y al manejo rutinario propio de la infusión se

realizó por un período de 15 días antes de iniciar el experimento. El consumo voluntario de la dieta basal se registró los días 4, 5 y 6. El alimento rechazado fue cuantificado diariamente y una alícuota tomada para su posterior análisis. Los días 7, 8 y 9 de cada período se colectaron muestras fecales y duodenales en el siguiente horario: día 7, 0400, 1000, 1600 y 2200 h; día 8, 0200, 0800, 1400 y 2000 h; día 9, 0000, 0600, 1200 y 1800 h. Las muestras de quimo duodenal y fecales de cada novillo y dentro de cada período fueron mezcladas (a igual peso en base húmeda) y una alícuota tomada para secarse en una estufa de ventilación forzada durante 72 h a 55 °C. Posteriormente las muestras fueron molidas y envasadas al vacío en frascos de vidrio con tapa de baquelita. En el laboratorio se hicieron los siguientes análisis: En el alimento ofrecido y rechazado: materia seca (105 °C hasta peso constante), Ceniza, N Kjeldhal (AOAC, 1975), FDA (Goering y Van Soest, 1970), Oxido crómico (Hill y Anderson, 1958). En el quimo duodenal, Materia seca (105 C hasta peso constante), Cenizas, N Kjeldhal, N amoniacal (AOAC, 1975), FDA (Goering y Van Soest, 1970), Óxido crómico (Hill y Anderson, 1958), Purinas como estimadores del N bacteriano (Zinn y Owens, 1986) y la concentración de Co (Goetsch y Owens, 1986). En las heces, Materia seca (105 C hasta peso constante), Ceniza, N Kjeldhal (AOAC, 1975), FDA (Goering y Van Soest, 1970), Óxido crómico (Hill y Anderson, 1958). En el líquido ruminal, Masa bacteriana vía centrifugación diferencial (Bergen *et al.*, 1968) y su contenido de N Kjeldhal (AOAC, 1975). La materia orgánica microbiana (MOM) y el N microbiano (NM) que llegan a duodeno fueron calculados usando purinas como un marcador microbiano (Zinn y Owens, 1986). La materia orgánica (MO) fermentada en rumen fue considerada igual a la MO consumida menos la diferencia entre la cantidad total de MO y MOM que llegan a duodeno. El N del alimento que escapa al intestino delgado fue considerado igual al N total que deja el abomaso menos el N amoniacal y NM, de tal manera que esto incluye cualquier contribución endógena. Los resultados se analizaron como un diseño de Cuadro Latino 3 x 3 replicado. Para estimar los efectos y la tendencia lineal o cuadrática de los tratamientos se utilizaron polinomios ortogonales (Hicks, 1973; Steel y Torrie, 1996).

### Resultados y Discusión

El efecto de los tratamientos en consumo de MS, el flujo de nutrientes hacia el duodeno y la función digestiva ruminal se presentan en la Cuadro 2. El consumo de MS promedió 9.0 kg/d (2.2% del peso vivo), y no fue afectado ( $P > .10$ ) por la infusión de caseinato de sodio. Este resultado contrasta con los incrementos en consumo de MS causados por la infusión de caseína en el duodeno

de ovinos (Egan y Moir, 1965) y en el rumen de vacas adultas (Köster *et al.*, 1996). Pero el nivel de proteína de esas dietas, también basadas en forrajes, fue muy bajo (2.4 y 1.9% PC, respectivamente) comparado con el utilizado en el presente experimento.

La infusión del caseinato de sodio incrementó la digestibilidad ruminal de la MO ( $P < .10$ ), la ADF ( $P < .01$ ) y nutrientes nitrogenados del alimento. Estos efectos en la digestión ruminal no fueron esperados porque la caseína se infundió supuestamente en el abomaso, ya que según Egan y Moir (1965) no hubo ninguna influencia de la infusión duodenal de N en la digestión ruminal; sin embargo, Johnson *et al.* (1982) si observaron en el rumen incrementos en las digestibilidades de nutrientes nitrogenados y MS al infundir 20 g/d de caseína en el abomaso de novillos de 250 kg de peso vivo. Es posible que la infusión abomasal (particularmente vía la cánula ruminal y el orificio retículo omasal) permita que parte de la caseína infundida esté regresando al rumen.

La digestión de la MO en el tubo digestivo total disminuyó ( $P < .01$ ) con la infusión de caseína, pero esto fue asociado con un decremento en la digestión postruminal de la MO (7.7 a 3.4% para los tratamientos C150 y C300, respectivamente). La digestión postruminal de los nutrientes nitrogenados del alimento se incrementó linealmente ( $P < .01$ ) con la infusión de caseína, lo cual se esperaba debido a la digestibilidad comparativamente alta de la caseína infundida.

### **Implicaciones**

Las infusiones en abomaso vía la canaladura retículo omasal podría no ser un método satisfactorio para la evaluación del efecto de la proteína en el consumo voluntario y la función digestiva. El efecto mecánico de la cánula puede promover un movimiento retrógrado del quimo abomasal hacia el rumen, de tal manera que parcialmente obstruya el flujo normal.

**EXPERIMENTO 2.**  
**INFLUENCIA DEL SITIO DE INFUSIÓN DE CASEINATO DE SODIO EN EL**  
**CONSUMO VOLUNTARIO Y LA FUNCIÓN DIGESTIVA DE NOVILLOS**  
**ALIMENTADOS CON UNA DIETA A BASE DE HENO DE SUDÁN.**

**INFLUENCIA DEL SITIO DE INFUSIÓN DE CASEINATO DE SODIO EN EL  
CONSUMO VOLUNTARIO Y LA FUNCIÓN DIGESTIVA DE NOVILLOS  
ALIMENTADOS CON UNA DIETA A BASE DE HENO DE SUDÁN.**

**Resumen**

Cuatro novillos cruzados (269 kg PV), con cánulas en el rumen, abomaso y duodeno proximal, recibieron *ad libitum* (120% del día anterior) una dieta con 87.6% de heno de sudan, 8% de melaza de caña, 3% de grasa amarilla, .4% de urea, .20% de sulfato de amonio, .5% de sal, y .3% de óxido crómico como marcador de la digesta. El diseño experimental fue un Cuadrado Latino 4 x 4 y los tratamientos consistieron en infundir diariamente 300 g de caseína en forma de caseinato de sodio en: 1) rumen, vía la cánula ruminal; 2) abomaso, vía la cánula ruminal; 3) abomaso, vía la cánula abomasal, y 4) duodeno proximal, vía la cánula duodenal. No existió efecto de los tratamientos ( $P > .20$ ) en el consumo diario de materia seca (MS;  $\bar{x} = 97$  g/kg PV<sup>.75</sup>), ni tampoco ( $P > .20$ ) en el flujo hacia el intestino delgado de la materia orgánica (MO) y fibra detergente neutro (FDN). El flujo de N no amoniacal hacia el intestino delgado fue mayor ( $P = .17$ ) cuando la caseína se infundió en rumen, que cuando se infundió postruminalmente. La infusión de caseína no afectó ( $P > .20$ ) la degradabilidad ruminal de los nutrientes nitrogenados de la dieta y su valor observado fue muy cercano al esperado (49 vs 51%, respectivamente) basándose en el modelo Nivel 1 del National Research Council. No existió efecto de los tratamientos ( $P > .20$ ) en la digestión ruminal de FDN; sin embargo, la digestión ruminal de FDA fue mayor (5%,  $P < .01$ ) cuando la caseína se infundió postruminalmente que al hacerlo en rumen. La infusión postruminal de caseína incrementó la digestión postruminal de la MO (21%,  $P < .05$ ), y del N (12%,  $P < .01$ ). No hubo efecto ( $P > .20$ ) de los tratamientos en la digestión en el tubo digestivo total de la MO, N, FDN, FDA, y la energía. La infusión de caseína no influyó ( $P > .20$ ) el flujo de quimo hacia el intestino delgado ni la tasa ruminal de recambio. La infusión postruminal de caseína incrementó (75%,  $P < .01$ ) el contenido de nutrientes nitrogenados soluble en el quimo duodenal, pero sin afectar ( $P > .20$ ) su tonicidad, promediando 264 mOsm. La relación entre tonicidad y tasa de pasaje del quimo desde el abomaso fue pequeña ( $R^2 = .05$ ). La infusión de caseína no afectó ( $P > .20$ ) el total de MS contenido en el rumen ni el volumen de líquidos, promediando 17.5

g MS / kg de PV<sup>.75</sup> y 471 g / kg de PV<sup>.75</sup>, respectivamente. No hubo efecto de los tratamientos ( $P > .20$ ) en el consumo promedio de FDN indigestible (26 g / kg PV<sup>.75</sup>) ni en el total de FDN contenido en el rumen (41.1 g / kg PV<sup>.75</sup>). La infusión de caseína no afectó ( $P > .20$ ) el pH ruminal, pero la proporción molar acetato:propionato fue mayor cuando la caseína se infundió en el rumen. Esta relación molar acetato:propionato fue también mayor ( $P < .05$ ) cuando la infusión de caseína se hizo dentro del abomaso, comparado con la infusión en el duodeno proximal. En conclusión, se ha encontrado que independientemente del estatus de nitrógeno en el animal, el incremento en el suministro de proteína hacia el intestino delgado no facilita un incremento en el consumo de materia seca. En lugar de lo anterior, el límite para un consumo máximo de materia seca en bovinos alimentados con dietas a base de forrajes, parece ser mayormente una función de la capacidad ruminal de llenado de FDN y sus tasas de digestión y pasaje.

**Palabras clave:** Caseína, Infusión, Consumo, Metabolismo, Novillos.

### Introducción

Los suplementos nitrogenados para rumiantes se considera esencial para optimizar el uso de forrajes, pero su función en la regulación del consumo de forraje aún no está clara. Zinn *et al.* (1981) al observar que el flujo de quimo desde el abomaso estuvo fuertemente asociado con el flujo de N, propusieron que un suplemento con proteína puede elevar indirectamente el consumo de MS, al incrementar la tasa ruminal de recambio. Consistente con esto, al elevar el nivel de N de la dieta o infundirlo en el rumen, se ha incrementado la tasa de pasaje de la materia seca desde el rumen (Köster *et al.*, 1996; Olson *et al.*, 1999; Mathis *et al.*, 2000). Después de una serie de experimentos Egan (1970) propuso que una mejoría en el estatus de N incrementa el límite ruminal de llenado y, por tanto, es posible una mayor consumo. La infusión postruminal de proteína ha elevado el consumo de materia seca cuando se ha hecho en el duodeno proximal (Egan y Moir, 1965; Garza *et al.*, 1991). En contraste, cuando la infusión postruminal de proteína se hace en el abomaso, no hay incremento del consumo de MS (Johnson *et al.*, 1981; Clark *et al.*, 1977; Titgemeyer y Merchen, 1990). Por su parte, Alvarez y Zinn (1998) observaron que al infundir caseinato de sodio en el abomaso mediante una cánula insertada desde el rumen, se disminuye el consumo de materia seca. El objetivo del presente

estudio fue evaluar el efecto del suministro postruminal de proteína en el consumo voluntario de materia seca y la función digestiva en novillos cruzados, alimentados con una dieta a base de forraje, en la que el suministro postruminal de proteína no limitaba el crecimiento.

### Metodología

Cuatro novillos Holstein ( $\bar{x}$  = 269 kg) con cánulas en el rumen (7.5 cm d.i.; diámetro interno), abomaso (región fúndica, .7 cm. d.i.) y duodeno proximal (6 cm del esfínter pilórico, 1.9 d.i.) fueron utilizados en un experimento Cuadrado Latino 4 x 4. Los novillos permanecieron en corrales de 1.42 x 2.74 m, con bebederos automáticos. La temperatura ambiente dentro del área metabólica se mantuvo entre 21 y 26 °C. El protocolo para la preparación quirúrgica, mantenimiento y manejo de los novillos fue aprobado por el Animal Care Administrative Advisory Committee de la Universidad de California (Protocolo # 8127). La dieta basal (Cuadro 1) fue asignada a los novillos cuatro semanas antes del inicio del experimento. Los novillos tuvieron acceso *ad libitum* a la dieta basal y se les ofreció 120% del consumo de MS el día previo; se proporcionó 70% de la ración a las 1800 y 30% a las 0800 del día siguiente. El rechazo fue diariamente pesado y vuelto a incluir en la asignación de alimento a las 0800.

La infusión de caseína se preparó diariamente disolviendo 1,200 g de caseinato de sodio (Biomedicals, Aurora OH 44202) en 16.0 L de una solución 1% de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  a 45 °C. Una vez preparada la solución, cada novillo fue infundido a una tasa de 4 L/d (167 mL/h a temperatura ambiente, 27 °C). Los tubos de infusión (tubo Tygon® de 3.1 mm d.i. x 5.1 m; Norton, Akron OH 44309-3660) se mantuvieron suspendidos utilizando tensión constante desde el techo de cada corral. Esto permitió el libre movimiento de los novillos durante el período de infusión. La solución de caseína se infundió con bombas peristálticas de flujo variable (Variable Flow Mini-Pump II, VWR Scientific Products, West Chester, PA). La infusión de caseína para los diferentes tratamientos se realizó del día 7 al 14 de cada período experimental.

Todos los novillos fueron alimentados con la dieta basal. Los tratamientos consistieron de infundir caseína (300 g/d) en: 1) rumen, vía la cánula ruminal; 2) abomaso, vía la cánula ruminal; 3) abomaso, vía la cánula abomasal; 4) duodeno proximal, vía la cánula duodenal. La infusión abomasal vía la

cánula ruminal se logró introduciendo desde el rumen un catéter temporal (tubo Tygon® de 3.1 mm d.i. x 5.1 m) por el orificio retículo-omasal hasta el abomaso (Clark *et al.*, 1977; Titgemeyer y Merchen, 1995; Alvarez y Zinn, 1998). Diariamente para verificar que el catéter estuviera en el lugar correcto se introdujo por éste mismo 1 g de colorante vegetal (disuelto en 60 mL de agua destilada), de tal manera que debía aparecer teñido el quimo duodenal antes de transcurridos diez minutos.

Cada período experimental consistió de 14 días, donde cada uno fue dividido en dos fases: los primeros seis días no se infundió caseína. La fase de infusión de caseína fue del día 7 al 14. Del día 11 al 14 de cada período se realizó la colección de muestras fecales y duodenales en el siguiente horario: día 1, 1000 y 2200, día 2, 0700 y 1900, día 3, 0400 y 1600, día 4, 0100 y 1300. La infusión no se detuvo mientras las muestras fueron colectadas. Las muestras individuales consistieron aproximadamente de 700 mL de quimo duodenal y 200 g, en base seca, de material fecal. Cada muestra fecal representó un compuesto de material fecal acumulado en el piso de cada corral entre dos intervalos de colección. Justo antes de la primer colección (1000) de cada período se dosificaron directamente en el rumen de cada novillo 150 mL de una solución estable de Li-Co-EDTA (Uden *et al.*, 1987), para estimar el volumen ruminal, tasa de flujo de fluidos y tiempo de retención. Para cuantificación se tomó una alícuota de 100 mL de quimo duodenal del obtenido en cada colección y esta fue centrifugada a 20,000 x g durante 20 minutos. La concentración de Co (medido en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer 403, Norwalk CT; ajustado a 241 nm, con el flujo de aire y acetileno en 12 y 40 psi, respectivamente, con un límite de detección de .15 ppm), N Kjeldahl (AOAC, 1975) y la tonicidad (Micro Osmometer Osmete®, Precision Systems) fueron determinados en el fluido sobrenadante. Durante el último día de colección en cada período se tomaron muestras individuales del fluido ruminal cuatro horas después de la alimentación (1200); en éstas se midió inmediatamente el pH. El fluido ruminal fue colado con cuatro capas de manta de cielo y mezclado en proporción de 4 a 1 con ácido *m*-fosfórico, 25% peso/volumen. Posteriormente estas muestras fueron centrifugadas (17,000 x g durante 10 minutos) y el fluido sobrenadante almacenado a -20 °C para el análisis de la concentración de ácidos grasos volátiles (cromatografía de gases).

Un compuesto integrado por aproximadamente 500 mL de fluido ruminal tomado de cada novillo al finalizar la última colección en el experimento fue utilizado para el aislamiento de bacteria ruminal por centrifugación diferencial (Bergen *et al.*, 1968). El aislamiento microbiano fue preparado para el

análisis de purinas (Zinn y Owens, 1986) y N Kjeldahl (AOAC, 1975) mediante secado a 55 °C durante 48 h y molido finamente en un mortero de porcelana. Al finalizar cada período de colección, cuatro horas después de la alimentación, se evacuó totalmente el rumen de cada novillo con una aspiradora industrial (Shop-Vac®, Williamsport VA) y se obtuvo una alícuota de aproximadamente 200 g (base seca) para el análisis de MS y fibra detergente neutro (FDN). Para la evacuación total por animal se emplearon 25 minutos aproximadamente por animal. Hasta antes de iniciar su reincorporación al retículo-rumen el contenido ruminal permaneció afuera durante 15 minutos para ser pesado, mezclado y tomar las alícuotas necesarias. La capacidad reductora del contenido ruminal es capaz de prevenir el efecto adverso sobre las poblaciones anaeróbicas del rumen al ser expuestas al O<sub>2</sub> durante la evacuación (Towne et al., 1986).

Las muestras del alimento, duodenales y fecales de cada novillo y dentro de cada período fueron mezcladas (a igual peso en base húmeda) y una alícuota tomada para secarse en una estufa de aire forzado durante 72 horas a 55 °C. Posteriormente las muestras fueron procesadas en un molino de laboratorio (Micro-Mill, Bell-Arts Products, Pequannock, NJ), secadas a 105 °C hasta peso constante y almacenadas al vacío en frascos de vidrio con tapa de baquelita. En todas las muestras se efectuaron todos o parte de los siguientes análisis: materia seca (105 C hasta peso constante), ceniza, amoníaco, N Kjeldhal (AOAC, 1975), fibra detergente ácido (FDA) y FDN (Goering y Van Soest, 1970), óxido crómico (Hill y Anderson, 1958), purinas como estimadores del N bacteriano (Zinn y Owens, 1986), presión osmótica, y Co (Goetsch y Owens, 1986). La materia orgánica microbiana (MOM) y el N microbiano (NM) que llegaron a duodeno fueron calculados usando purinas como un marcador microbiano (Zinn y Owens, 1986). La materia orgánica (MO) fermentada en rumen fue considerada igual a la MO consumida menos la diferencia entre la cantidad total de MO y MOM que llegan a duodeno. El N del alimento que escapa al intestino delgado fue considerado igual al N total que deja el abomaso menos en N amoniacal y NM, de tal manera que esto incluye cualquier contribución endógena. Para la estimación de la digestión ruminal, postruminal y total en el tubo digestivo de los nutrientes nitrogenados y la MO, los cálculos fueron ajustados por las respectivas contribuciones de caseína. El modelo de Zinn y Salinas (1999) fue usado para estimar el consumo máximo esperado. La estimación de la tasa de pasaje (K<sub>p</sub>) de FDN fue estimada de la siguiente manera:  $K_p = ((FDNI * (1 - RDNDF)) / (S * (RNDF/100)))/24$ , donde: FDNI = consumo diario total de FDN, RDNDF =

digestibilidad ruminal de FDN (%), S = sólidos en rumen (g), RNDF = FDN en rumen, como porcentaje del total de los sólidos ruminales. La tasa ruminal de digestión de FDN se determinó por la relación:  $DRFDN = K_d / (K_d + K_p)$ . El experimento fue analizado como un Cuadrado Latino 4 x 4 (Hicks, 1973). Los efectos de los tratamientos fueron probados para los siguientes contrastes: 1) infusión ruminal vs abomaso (vía rumen), abomaso, y duodeno; 2) abomaso (vía rumen) vs abomaso; y 3) abomaso (vía rumen) y abomaso vs duodeno.

### Resultados y Discusión

El efecto de los tratamientos en el consumo de materia seca y las características de la digestión ruminal se presentan en el Cuadro 3. La infusión de caseinato de sodio no incrementó ( $P > .20$ ) el consumo de MS. Aunque consistente con estudios previos (Titgemeyer y Merchen, 1995; Alvarez y Zinn, 1998), la infusión de caseína dentro del abomaso vía el orificio retículo omasal tendió a disminuir ( $P = .10$ ) el consumo de MS. Aparentemente, al posicionar el catéter en el abomaso vía el orificio retículo omasal, éste obstruye o de algún modo interfiere con el pasaje del quimo desde el rumen hacia el abomaso. La infusión abomasal directa de caseína en el abomaso de ovinos ha elevado el consumo de MS en ovinos alimentados con dietas semipurificadas (Papas *et al.*, 1974). En la mayoría de los casos la infusión de caseína directamente en el abomaso vía una cánula abomasal no ha aumentado el consumo de MS, como es el caso de vacas Holstein alimentadas con ensilaje de maíz (Broderick *et al.*, 1970) o heno de alfalfa (Clark *et al.*, 1977), o en novillos que consumieron forrajes con bajo nivel proteínico (Johnson *et al.*, 1981) o una dieta alta en concentrado (Johnson *et al.*, 1982). En contraste, la infusión de caseína en el duodeno proximal a niveles similares que los usados en el presente estudio (.65 g N / kg PV<sup>.75</sup>) ha incrementado el consumo de MS (Egan y Moir, 1965; Egan, 1970; Garza *et al.*, 1991a). Pero las inconsistencias de los efectos de la infusión duodenal de caseína en el consumo de MS se pueden atribuir a las diferencias en los niveles basales de consumo de MS. El consumo de MS esperado (NRC, 1984; Minson, 1990) en bovinos con acceso *ad libitum* a dietas altas en forrajes está en un intervalo de 98 a 113 g/ kg PV<sup>.75</sup>. En el presente estudio, el consumo de MS durante la infusión ruminal de caseína promedió 97 g/kg PV<sup>.75</sup> (Cuadro 3). Entonces en el presente estudio el consumo de MS fue cercano al esperado aún considerando que los animales se mantuvieron en

confinamiento y en condiciones experimentales intensivas,. En cambio, en experimentos donde la infusión duodenal de caseína ha incrementado el consumo de MS por sobre el obtenido con la infusión ruminal, el nivel basal de consumo fue considerablemente menor que el esperado (44.5 g MS / kg PV<sup>75</sup>, Egan, 1965; 33.4 g MS / kg PV<sup>75</sup>, Egan y Moir, 1965; 41.8 g MS/kg PV<sup>75</sup> Johnson *et al.*, 1981; 52.2 g MS/ kg PV<sup>75</sup>, Köster *et al.*, 1996).

No existió efecto ( $P > .10$ ) de los tratamientos en el flujo de MO y FDN hacia el intestino delgado. El flujo de N no amoniacal al intestino delgado promedió 108 g/d cuando la caseína se infundió en el rumen. Al considerar que 80% del N no amoniacal es  $\alpha$  amino y que, a su vez, 80% de éste es verdaderamente digestible en el intestino delgado (Zinn y Owens, 1982), entonces el suministro estimado de proteína metabolizable fue 432 g /d. Según NRC (1996) el requerimiento de proteína metabolizable en novillos de 269 kg que consumen 5.9 kg /d de la dieta basal, es 412 g /d. De esta forma, la dieta basal en el presente experimento excedió en 5% el requerimiento de proteína metabolizable. El flujo de N no amoniacal al intestino delgado fue mayor ( $P = .17$ ) cuando la caseína se infundió en el rumen que cuando se hizo a nivel postruminal, lo cual se esperaba debido a la extensa degradabilidad ruminal de la caseína (Zinn *et al.*, 1981; Köster *et al.*, 1996; Dhiman y Satter, 1997).

El flujo de N microbiano al intestino delgado fue mayor ( $P = .07$ ) cuando el caseinato de sodio se infundió en el rumen, que cuando se hizo la infusión posterior a éste. Aunque la infusión ruminal de caseína incrementó la proteína degradable en rumen (PDR) de 151 a 270 g/kg de MO consumida digestible en el tubo digestivo total, el nivel basal de PDR (151 g/kg MO Digestible) tuvo un exceso marcado (151%) respecto al considerado óptimo (100 g PDR / kg MO digestible) por Zinn y Shen (1998) para el crecimiento bacteriano. El incremento en N microbiano se debió, en apariencia, a una tendencia (6%,  $P = .20$ ) para una mayor digestión ruminal de la MO cuando la caseína se infundió ruminalmente respecto a cuando se hizo postruminalmente; de hecho los tratamientos ( $P > .10$ ) no afectaron la eficiencia microbiana en el rumen (g N Microbial / kg MO fermentada). La diferencia en digestión ruminal de la MO se puede atribuir a la elevada digestibilidad de la caseína infundida, *per se*; aunque en estudios previos (Egan, 1965; Egan y Moir, 1965; Garza *et al.*, 1991b, Taniguchi *et al.*, 1995), la infusión de caseína en duodeno no ha cambiado la digestibilidad ruminal de la MO en la dieta basal.

No existió efecto de los tratamientos ( $P > .20$ ) en la digestión ruminal de la FDN. Sin embargo la

digestión ruminal de la FDA fue mayor (5%,  $P < .05$ ) cuando la caseína se infundió postruminalmente, que cuando se hizo en el rumen. Hudson *et al.* (1970) también observaron mayor digestión de la celulosa cuando se infundió proteína de soya en el abomaso; esto pudo ser causado en parte por los efectos de la infusión de proteína postruminal en la secreción ácida abomasal. Bruchem y Klooster (1980) notaron que la proteína infundida postruminalmente incrementa la secreción ácida en el abomaso; asimismo, Deswysen y Ellis (1988) observaron que la solubilización de hemicelulosa en el abomaso incrementó proporcionalmente con la secreción abomasal de ácido clorhídrico. Como se esperaba, la infusión postruminal de caseína incrementó la digestión postruminal de la MO (21%,  $P < .05$ ) y nutrientes nitrogenados (12%,  $P < .01$ ). No hubo efecto de los tratamientos ( $P > .20$ ) en la digestión de MO, N, FDA, FDN, y EB en el tubo digestivo total.

La degradabilidad ruminal del N del alimento no fue afectada ( $P > .20$ ) por los tratamientos. El valor observado de PDR en la dieta basal (promedió 49.2%), estuvo en estrecha relación con el valor esperado (51.0%; NRC, 1996, Nivel 1). Al ajustar el flujo de N hacia el intestino delgado cuando la caseína se infundió ruminalmente por el flujo de N hacia el intestino delgado cuando la caseína fue infundida postruminalmente, la degradabilidad ruminal estimada del N del caseinato fue 86%. En estudios previos (McDonald y Hall, 1957; Hume, 1974; Axford *et al.*, 1975), la degradación ruminal de la caseína infundida fue también menor del 100%.

Los componentes del quimo que ingresan al intestino delgado, los nutrientes que salen del abomaso y la cinética ruminal se presentan en el Cuadro 4. Contrario a la hipótesis de este estudio, la infusión de caseína no influenció ( $P > .20$ ) el flujo total de quimo hacia el intestino delgado. Era de esperarse que la infusión postruminal de proteína incrementara la tasa de pasaje de quimo desde el rumen y el recambio del quimo abomasal. Como consecuencia debía ocurrir una elevación en el consumo de alimento. Previamente Zinn *et al.* (1981) observaron que la proporción de N en el quimo que abandona el abomaso permanece constante (2.6 g / L; CV = 9.6%) en un amplio intervalo de fuentes de N y niveles de consumo; además de que la fluctuación en el flujo de quimo (L/d) estuvo altamente relacionada con el flujo de N al intestino delgado. Dichos autores propusieron la existencia de un mecanismo de regulación enterogástrica ligada a sensores de  $N \propto$  amino en el duodeno proximal, que regularía la salida de proteína desde el abomaso. A causa de que el flujo total de quimo se incrementó proporcionalmente con el flujo total de N, pareció que esto podría ser la explicación

para el efecto principal en distintos experimentos (Egan y Moir, 1965; Egan, 1965a, b; Garza *et al.*, 1991; Chung y Chamberlain, 1992) en los que la infusión postruminal de caseína provocó un mayor consumo de MS (de aquí surgió la hipótesis de que la presencia de graduales incrementos en la proporción de proteína en el abomaso incrementarían el flujo de quimo desde el abomaso, el cual podría por tanto elevar la tasa de pasaje de quimo desde el rumen permitiendo un mayor consumo). Sin embargo no se observó ningún efecto ( $P > .20$ ) de la infusión de caseína en la tasa de pasaje de quimo desde el rumen, ni tampoco en la tasa ruminal de recambio. Esto último fue reportado por Liebholz y Hartmann (1970) y Gregory *et al.* (1985) quienes observaron que el flujo de quimo hacia el intestino delgado fue primeramente una función del consumo de MS (quimo,  $L = 5.3 + 12.1 \text{CMS}$ ;  $R^2 = .50$ , donde: CMS = consumo de MS).

En contraste con Zinn *et al.* (1981), la infusión postruminal de caseína incrementó (75%,  $P < .01$ ) el contenido de N solubilizado en el quimo duodenal (Cuadro 4), pero no modificó ( $P > .20$ ) su tonicidad que promedió 264 mOsm (Cuadro 4). La concentración de cenizas en el quimo duodenal centrifugado a 20,000 x g durante 10 minutos, tampoco fue afectada ( $P > .20$ ) por los tratamientos. Así como tampoco existió relación ( $R^2 = .05$ ) entre tonicidad del quimo y tasa de pasaje desde el abomaso hacia el intestino delgado; aún cuando Carter y Grovum (1990) propusieron que la tonicidad del quimo que sale del abomaso puede ser un importante regulador del consumo de MS. En otros estudios (Cottrell e Iggo, 1984; Gregory y Miller, 1989) al incrementarse la tonicidad del quimo duodenal a 1,500 mOsm (infusionando soluciones de NaCl) no se modificó la motilidad ruminal, abomasal o del intestino delgado.

Consistente con Egan (1970), la infusión de caseína no influyó ( $P > .20$ ) el porcentaje de materia seca en el contenido ruminal (Cuadro 4). El contenido de materia seca en el rumen (17.5 g MS / kg PV<sup>.75</sup>) fue considerablemente menor (50%) que el obtenido por Olson *et al.* (1999), aún cuando el consumo de MS en su estudio ( $94 \pm 2$  g / kg PV<sup>.75</sup>) fue similar al del presente experimento (97 g / kg PV<sup>.75</sup>). De acuerdo con Olson *et al.* (1999), la infusión de caseína no influyó ( $P > .20$ ) el contenido total de sólidos (77 g / kg PV<sup>.75</sup>) o de líquidos (471 g / kg PV<sup>.75</sup>) en el rumen, aunque Garza *et al.* (1992) observaron que la infusión de caseína dentro del duodeno incrementó el volumen de líquidos en el rumen de novillos alimentados con heno de alfalfa.

Los tratamientos no cambiaron el consumo de FDN indigestible (FDNI) y el promedio fue de 26

g / kg PV<sup>.75</sup>; al respecto, Lippke (1986) observó que cuando el nivel de FDMI en la dieta fue superior a 15%, el máximo consumo de FDMI varió entre 13 y 20 g / kg PV<sup>.75</sup>. La infusión de caseína tampoco afectó ( $P > .20$ ) el total de FDN contenida dentro del rumen, el cual promedió 41.1 g / kg PV<sup>.75</sup> en los tratamientos (Cuadro 4). Este valor, observado en novillos, es considerablemente menor que 75 g FDN / kg PV<sup>.75</sup> propuesto por Mertens y Ely (1979) para vacas Holstein. Zinn y Salinas (1999) desarrollaron un modelo para describir el consumo máximo de MS (CMMS) para animales en crecimiento bajo condiciones de alimentación en confinamiento [ $CMMS = ((.098 * PI) + 26.24) / ((.01 * RFDN * (1 - (.01 * DRFDN))) / ((.77 - (.00386 * eFDN)) * (-.037 + (.042 * RFDN) - (.00031 * RFDN^2))))$ ]; donde: CMMS = consumo máximo de MS, kg/d, PI = Peso inicial, kg, RFDN = % FDN en la ración, % (base MS), DRFDN = % digestión ruminal de FDN, eFDN = FDN efectivo, % FDN]. En este modelo el límite ruminal de llenado de FDN (LRFDN) es descrito como una función del peso inicial (PI) del ganado al ingresar a confinamiento [ $LRFDN, g/kg PV^{.75} = (.098 * PI) + 26.24$ ]. De acuerdo a este modelo, el valor esperado de LRFDN y de consumo máximo diario de MS debió ser 47 g / kg PV<sup>.75</sup> y 113 g / kg PV<sup>.75</sup>, respectivamente, lo cual tiende a coincidir con lo observado en el Cuadro 4. No hubo efecto de los tratamientos ( $P > .20$ ) en  $K_p$  y  $K_d$  de la FDN en el rumen. El valor de  $K_p$  de la FDN en el rumen promedió 1.93%/h, que fue 26% más bajo que lo predicho por el modelo Nivel 2 de NRC (1996).

En el presente experimento no hubo efecto de los tratamientos ( $P > .20$ ) en el pH del rumen (Cuadro 5). El pH del rumen disminuyó en 4% al usar tasas similares de infusión de caseína (Köster *et al.*, 1996; Olson *et al.*, 1999), tuvo una pequeña reducción al agregar un suplemento de pasta de soya a dietas con forraje de baja calidad (Mathis *et al.*, 1999), y decreció cuando la caseína se infundió en el abomaso (Doyle *et al.*, 1988; Taniguchi *et al.*, 1995). La proporción molar acetato:propionato fue mayor ( $P = .06$ ) cuando la caseína se infundió en el rumen que cuando se le infundió postruminalmente. Asimismo, la proporción molar acetato:propionato fue también superior ( $P = .05$ ) cuando la caseína se infundió en el abomaso que cuando se le infundió en el duodeno proximal. El porqué la proporción acetato:propionato disminuyó conforme el sitio de infusión fue más lejano del rumen, no tiene por ahora una explicación clara.

### **Implicaciones**

La composición proteínica del quimo abomasal no tiene una función importante en la regulación del consumo en novillos alimentados con dietas basadas en forraje. Independientemente del estatus de N en el animal, el incrementar el suministro de proteína al intestino delgado no facilita un incremento en el consumo de MS. En contraste, el límite a un máximo consumo de MS en novillos alimentados con dietas a base de forrajes parece ser mayormente una función de la capacidad ruminal de llenado de FDN y las tasas de digestión y pasaje de fibra detergente neutro.

**CUADROS**

Cuadro 1. Ingredientes y composición nutricional de la dieta basal (% materia seca).

Variable	%
Composición porcentual (base seca)	
Heno de Sudán	87.6
Grasa amarilla	3
Melaza de caña	8
Urea	0.4
Sulfato de amonio	0.2
Óxido de cromo <sup>a</sup>	0.3
Sal y minerales traza <sup>b</sup>	0.5
Composición nutricional (base seca) <sup>c</sup>	
Energía neta, Mcal/kg:	
Mantenimiento	1.37
Ganancia	0.79
Proteína cruda, %	12.47
PDR <sup>d</sup> , %	51.05
Calcio, %	0.55
Fósforo, %	0.31

<sup>a</sup>Óxido crómico se agrega como marcador de la digesta.

<sup>b</sup>Sal y minerales traza contienen: CuSO<sub>4</sub>, .068%; CuSO<sub>4</sub>, 1.04%; FeSO<sub>4</sub>, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO<sub>4</sub>, 1.07; KI, .52%; y NaCl, 92.96%.

<sup>c</sup>Calculado de valores tabulares desde los ingredientes individuales (NRC, 1984) con la excepción de la grasa de suplemento, a la que se asignaron valores de EN<sub>m</sub> and EN<sub>g</sub> de 6.03 y 4.76 Mcal/kg, respectivamente (NRC, 1996). Los valores de PDR se basaron en NRC (1996), Nivel 1.

<sup>d</sup>Proteína Degradable en el Rumen

Cuadro 2. Efecto de la infusión de caseinato de sodio en el consumo y la digestión ruminal de novillos alimentados con una dieta a base de forrajes.

Variable <sup>c</sup>	Tratamientos <sup>a</sup>			EE	CV	Efecto <sup>b</sup>	
	C00	C150	C300			Lineal	Cuadrático
Peso vivo, kg	405	405	405	-	-	-	-
Consumo, g/d							
MS	8,999	9,006	9,084	131	2.5	0.97	0.99
MO	8,105	8,112	8,716	118	2.5	0.99	0.99
FDA	2,680	2,653	2,674	38	2.5	0.99	0.79
N	132	132	135	2.1	2.7	0.13	0.99
Caseína infundida, g/d							
N	0	20.4	40.8				
MO	0	134.6	269.3				
Flujo al duodeno, g/d							
MO	4,571	4,606	4,694	159	6	0.7	0.99
FDA	942	910	830	47	9.1	<.05	0.99
N	146	164	176	76	81	<.01	0.99
NNA	136	157	168	73	82	<.01	0.99
NM	75	74	73	31	71	0.78	0.99
N del alimento	64	63	54	51	145	<.10	0.51
Digestión en rumen, %							
MO	52.9	54.4	55.2	1.2	3.6	<.10	0.99
FDA	64.8	66.3	69.3	1.3	3.4	<.01	0.87
N del alimento	51.1	52.9	61.3	2.8	8.8	<.01	0.2
Eficiencia microbiana <sup>d</sup>	17.7	17.2	16.4	0.69	7	0.11	0.99
Digestión postruminal, % del flujo a duodeno							
MO	35.1	32.4	33.9	1.8	9	0.88	0.18
N	65.2	67.2	69.1	0.67	1.6	<.01	0.99
Digestión total en el tubo digestivo, % del consumo diario							
MO	63.5	60.6	59.2	1.04	2.9	<.01	0.71
FDA	57.8	54.9	56.4	1.1	3.3	0.22	<.05
N	61.3	65.5	69.4	0.87	2.2	<.01	0.99

<sup>a</sup>Infusión de caseinato de sodio: C00 = 0 g/d, C150 = 150 g/d, C300 = 300 g/d.

<sup>b</sup>Valores de probabilidad calculados mediante polinomios ortogonales (Steel y Torric, 1996)

<sup>c</sup>MS= materia seca, MO=materia orgánica, FDA=fibra detergente ácido, N= nitrógeno, NNA = nitrógeno no amoniacal, NM = nitrógeno microbiano.

<sup>d</sup> Gramos de N microbiano/kg de materia orgánica fermentada.

Cuadro 3. Efecto del sitio de infusión de caseinato de sodio<sup>a</sup> en la digestión ruminal, postruminal y total en el tubo digestivo de novillos alimentados con una dieta a base de forrajes.

Variable <sup>b</sup>	Tratamientos				EE	Contrastes		
	Rmn	AbR	Abm	Ddn		C1 <sup>c</sup>	C2	C3
Peso vivo, kg	258	258	258	258	-	-	-	-
Consumo, g/d								
MS	6,191	5,679	5,889	6,204	210	0.34	0.86	0.1
MO	5,529	5,071	5,259	5,540	188	0.34	0.86	0.1
FDN	3,141	2,881	2,987	3,147	107	0.34	0.86	0.1
FDA	2,047	1,877	1,947	2,051	70	0.34	0.86	0.1
N	95.2	87.3	90.6	95.4	3.3	0.34	0.86	0.1
Flujo al duodeno, g/d								
MO	3,258	3,089	3,104	3,242	188	0.99	0.99	0.2
FDN	1,211	1,046	1,109	1,204	87	0.5	0.99	0.3
FDA	1,019	886	890	995	49	0.1	0.99	0.1
N	116	95	91	112	9	0.13	0.99	0.1
NA	8	8.65	6.04	6.18	7	0.2	<.01	0.2
NNA	108	87	85	106	9	0.17	0.99	0.1
NM	55.6	46.1	44.7	54	3	0.07	0.99	0.06
N No amoniacal - no microbiano								
Total	52.3	81.3	81.5	93	6.4	<.01	0.99	0.18
N del alimento	52.3	40.5	40.7	52.2	6.5	0.36	0.99	0.18
Digestión en rumen, %								
MS	34.5	30.5	31.4	33.6	2.4	0.99	0.99	0.99
MO	50.5	46.9	48.8	47.8	1.7	0.2	0.68	0.99
FDN	61.4	63.4	62.8	62.1	2	0.99	0.99	0.99
FDA	50	52.4	54.2	51.5	1	<.01	0.2	0.1
N del alimento	44.5	51.7	55.1	45.6	6.5	0.1	0.99	0.37
Eficiencia microbiana <sup>d</sup>	20.6	20.3	17.7	20.4	1.2	0.6	0.18	0.5
Digestión postruminal, % del flujo a duodeno								
MO	29.1	37.1	35.6	38	2.2	0.02	0.99	0.99
N	62.5	69.5	68.9	71.6	1.4	<.01	0.99	0.18
Digestión total en el tubo digestivo, % del consumo diario								
MO	57.5	57.9	58.3	58.7	1.2	0.99	0.99	0.99
FDN	54.3	55.8	55	56.2	1.1	0.36	0.99	0.99
FDA	50.5	50.9	50.9	51.4	1.6	0.99	0.99	0.99
N	68.1	68.1	68.6	68.1	0.8	0.99	0.99	0.99
Energía digestible %	56.2	56.9	57	57.4	1.3	0.99	0.99	0.99

<sup>a</sup>Infusión en: Rmn = Rumen, AbR = abomaso desde el rumen, Abm = abomaso, Ddn = Duodeno.

<sup>b</sup>MS= materia seca, MO=materia orgánica, FDN=fibra detergente neutro, FDA=fibra detergente ácido, N= nitrógeno, NA = Nitrógeno amoniacal, NNA = nitrógeno no amoniacal, NM = nitrógeno microbiano.

<sup>c</sup>C1= Rmn vs AbR, Abm, y Ddn; C2 = AbR vs Abm; C3 = AbR y Abm vs Ddn.

<sup>d</sup> Gramos de N microbiano/kg de materia orgánica fermentada.

Cuadro 4. Efecto del sitio de infusión de caseinato de sodio en la composición<sup>a</sup> del quimo abomasal que fluye al intestino delgado y la cinética digestiva en novillos alimentados con una dieta a base de forraje.

Variable	Tratamientos <sup>b</sup>				EE	Contrastes <sup>c</sup>		
	Rmn	AbR	Abm	Ddn		C1	C2	C3
<b>Flujo desde el abomaso</b>								
Quimo, kg /d	78.2	77.4	68.6	83.7	5.2	0.99	0.28	0.13
NNA, % CMS	1.69	2.19	2.07	2.4	10.66	<.01	0.62	0.09
N, como % en mL	0.06	0.09	0.1	0.12	0.01	<.01	0.44	0.04
Cenizas, % en mL	0.69	0.67	0.69	0.7	0.03	0.99	0.99	0.99
Presión osmótica, mOsm	258	270	266	261	9	0.74	0.99	0.99
<b>Composición del flujo abomasal, g/L</b>								
MO	43.83	41.42	47	43.08	1.5	0.99	<.01	0.99
FDN	16	13.9	16.6	14.9	1	0.67	0.1	0.99
FDA	13.8	11.9	13.5	12.7	0.6	0.13	0.1	0.99
N	1.56	1.83	2.02	1.95	0.9	<.01	0.17	0.99
NNA	1.45	1.72	1.93	1.88	0.1	<.01	0.16	0.99
NM	0.76	0.61	0.66	0.67	0.03	<.01	0.21	0.47
N del alimento	0.69	1.11	1.26	1.21	0.09	<.01	0.3	0.99
<b>Fluido ruminal</b>								
Volumen, kg	35.2	28.7	32.6	33.4	4	0.68	0.9	0.99
MS, %	14.1	14.9	14.9	14.2	0.5	0.42	0.99	0.33
Sólidos, kg	4.92	4.28	4.81	4.7	0.5	0.99	0.82	0.99
Líquidos, kg	30.3	24.4	27.8	28.7	3.6	0.63	0.93	0.99
Tasa de flujo, L/h	2.71	2.09	2.52	2.1	0.38	0.49	0.67	0.99
Tasa de recambio, veces/d	2.29	2.12	2.03	2.49	0.25	0.99	0.99	0.21
<b>Modelo dependiente de la digestión de FDN</b>								
K <sub>p</sub>	2	1.88	1.85	1.99	0.2	0.99	0.99	0.99
K <sub>d</sub>	3.25	3.28	3.18	3.23	0.32	0.99	0.99	0.99
Consumo máximo, g/d	7757	7431	7331	7669	683	0.99	0.99	0.99
Consumo máximo, O/E <sup>d</sup>	0.95	0.79	0.91	0.88	0.1	0.76	0.59	0.99
Límite de llenado, g FDN/kg <sup>75</sup>	43.8	37.1	42.5	41	4.7	0.95	0.65	0.99

<sup>a</sup>MS = materia seca, MO = materia orgánica, CMS = consumo de materia seca, FDN = fibra detergente neutro, FDA = fibra detergente ácido, N = nitrógeno, NNA = nitrógeno no amoniacal, NM = nitrógeno microbiano.

<sup>b</sup>Infusión en: Rmn = Rumen, AbR = abomaso desde el rumen, Abm = abomaso, Ddn = Duodeno.

<sup>c</sup>C1= Rmn vs AbR, Abm, y Ddn; C2 = AbR vs Abm; C3 = AbR y Abm vs Ddn.

<sup>d</sup>Observado / esperado; valor esperado a partir de la ecuación de Zinn y Salinas, 1999.

Cuadro 5. Efecto del sitio de infusión de caseinato de sodio en el pH del rumen, el perfil de ácidos grasos volátiles en novillos alimentados con una dieta a base de forrajes.

Variable	Tratamientos <sup>a</sup>				EE	Contrastes <sup>b</sup>		
	Rmn	AbR	Abm	Ddn		C1	C2	C3
pH	6.6	6.6	6.6	6.4	0.08	0.99	0.99	0.13
Total de AGV, mM	75.5	76.6	67.2	78.8	.04	.99	.17	.25
Acetato	73.7	73.6	73	71.8	0.5	0.14	0.5	0.05
Propionato	18.3	18.8	19.1	20	0.35	0.06	0.99	0.06
Butirato	7.9	7.6	8	8	0.25	0.99	0.44	0.26
Acetato : propionato	4.03	3.92	3.85	3.6	0.09	0.06	0.99	0.05

<sup>a</sup>Infusión en: **Rmn** = Rumen, **AbR** = abomaso desde el rumen, **Abm** = abomaso, **Ddn** = Duodeno.

<sup>b</sup>C1= Rmn vs AbR, Abm, y Ddn; C2 = AbR vs Abm; C3 = AbR y Abm vs Ddn.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Allison, C. D. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *J. Range Manage.* 38:305-311.
- Alvarez, E.G., and R. A. Zinn. 1998. Influence of sodium caseinate abomasal infusion on voluntary feed intake and digestive function in steers fed a forage based diet. *Proc. West. Sec. Am. Soc. Anim. Sci.* 49: 310.
- Anil, M.H. and J.M. Forbes. 1980. Feeding in sheep during intraportal infusions of short-chain fatty-acids and the effect of liver denervation. *J. Physiol.* 298:407
- AOAC, 1975. *Official Methods of Analysis.* (12th Ed.) Official Analytical Chemist. Washington, D.C.
- Agricultural Research Council. 1980. *The Nutrient Requirements of Ruminants Livestock.* Commonwealth Agricultural Bureaux Press. London, UK.
- Axford, R. F., N. W. Offer, and R. A. Evans. 1975. Protection of dietary casein from degradation in the rumen. *Proc. Nutr. Soc.* 34:66a.
- Baile, C.A. and J. Mayer. 1970. Hypothalamic centres: feedbacks and receptor sites in the short-term control of feed intake. *In: A.T. Phillipson (Ed.) Third International Symposium of the Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant.* Oriel Press, Newcastle-upon-Tyne, England
- Bell, F.R. 1984. Aspects of ingestive behavior in cattle. *J. Anim. Sci.* 59:1369
- Bergen, W. G., D. B. Purser, and J. H. Cline. 1968. Effect of ration on the nutritive quality of microbial protein. *J. Anim. Sci.* 27:1497.
- Blaxter, K. L. 1962. *The Energy Metabolism of Ruminants.* Hutchinson & Co. London UK.
- Broderick, G. A., T. Kowalczyk, and L.D. Satter. 1970. Milk production response to supplementation with encapsulated methionine per Os or casein per abomasum. *J. Dairy Sci.* 53:1417.
- Bruchem, J. van. 1977. Abomasal secretion and motility in sheep. Effect of diet and digesta components. *Agric. Res. Rep. No. 868:140.*
- Bruchem, J. van, and A. T. Klooster van. 1980. Effect of protein on abomasal secretion of acid in sheep. *Brit. J. Nutr.* 44:307-312.
- Calderon-Cortes, J. F., and R. A. Zinn. 1996. Influence of dietary forage level and forage coarseness of grind on growth performance and digestive function in feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 74:2310-2316.
- Campling, R.C. and I.J. Lean. 1983. Regulation of the voluntary food intake. *In: J.A.F. Rook and P.C. Thomas (Eds.) Nutritional Physiology of Farm Animals.* pp. 457-475. Longman, London.

- Carter, R. R., and W. L. Grovum. 1990. Factors affecting the voluntary intake of food by sheep. 5. The inhibitory effect of hypertonicity in the rumen. *Brit. J. Nutr.* 64:285-299.
- Cecava, M. J., N. R. Merchen, L. R. Berger, and G. C. Fahey, Jr. 1988. Effect of dietary energy level and protein source on site of digestion and duodenal nitrogen and amino acid flows in steers. *J. Anim. Sci.* 66:961-974.
- Cecava, M.J. and J.E. Parker. 1993. Intestinal supply of amino acids in steers fed ruminally degradable and undegradable crude protein sources alone and in combination. *J. Anim. Sci.* 71:1596.
- Chai, W., and P. Udén. 1998. An alternative oven method combined with different detergent strengths in the analysis of neutral detergent fibre. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74:281-288.
- Cherney, D. I., D. T. Mertens, D. R., and Moore. 1991. Fluid and particulate retention times in sheep as influenced by intake level and forage morphological composition. *J. Anim. Sci.* 69:413-422.
- Chun Li. C. 1977. *Introducción a los Diseños Experimentales*. Editorial Omega. Madrid, España.
- Chung, J. J., and D. G. Chamberlain. 1992. The effect of the addition of cell-wall degrading enzymes at ensiling on the response to postruminal supplementation of protein in dairy cows receiving a silage-based diet. *J. Sci. Food Agric.* 60:525-527.
- Church, D.C. 1971. *In*: D.C. Church (Ed.) *Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants*. Vol. 2. Nutrition. pp 737-762. Corvallis, OR.
- Clanton, D.C. 1980. Crude protein system in range supplements. *In*: F.N. Owens (Ed.). *Protein Requirements for Cattle*. 228-237. Oklahoma State University MP-109. Stillwater OK 74078.
- Clark, J. H., H.R. Spires, R. G. Derrig, and M. R. Bennink. 1977. Milk production, nitrogen utilization and glucose synthesis in lactating cows infused postruminally with sodium caseinate and glucose. *J. Nutr.* 107:631-644.
- Colucci, P. E., G. K. Macleod, W. L. Grovum, I. McMillan, and D. J. Barney. 1990. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *J Dairy Sci.* 73:2143-2156.
- Cottrell, D. F., and A. Iggo. 1984. Mucosal enteroceptors with vagal afferent fibres in the proximal duodenum of sheep. *J. Physiol. (Lond.)* 354:497.
- Davenport, G. M., Boling J. A., and K. K. Schillo K. K. 1995. Growth and endocrine responses of lambs fed rumen-protected ornithine and arginine. *Small Ruminant Res.* 17:229.
- De Jong A. 1981. Short- and long-term effects of eating on blood composition in free-feeding goats. *J. Agric. Sci. (Cambridge)*. 96:659

- De Jong A. 1985. The role of metabolites and hormones as feedbacks in the control of food intake in ruminants. *In*: L.P. Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson (Eds.) *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. pp. 459-478. Prentice-Hall., Englewood Cliffs, N.J.
- DelCurto, T., R. C. Cochran, D. L. Harmon, A. A. Beharka, K. A. Jacques, G. Towne, E. S. Vanzant. 1990. Supplementation of dormant tallgrass-prairie forage: Influence of varying supplemental protein and (or) energy levels on forage utilization characteristics of beef steers in confinement. *J. Anim. Sci.* 68: 515-531.
- Dell-Fera, M. A., C. A. Baile, and S. R. Peikin. 1981. Feeding elicited by injection of the cholecystokinin antagonist dibutyryl cyclic GMP into the cerebral ventricles of sheep. *Physiol. Behavior.* 26:799-801.
- Deswysen, A. G., and W. C. Ellis. 1988. Site and extent of neutral detergent fiber digestion, efficiency of ruminal digesta flux and fecal output as related to variations in voluntary intake and chewing behavior in heifers. *J. Anim. Sci.* 66:2678-2686.
- Dhiman, t. R., and L. D. Satter. 1997. Effect of ruminally degraded protein on protein available at the intestine assessed using blood amino acid concentrations. *J. Anim. Sci.* 75:1674 - 1680.
- Donaldson, R. S., M. A. McCann, H. E. Amos, and C. S. Hoveland. 1991. Protein and fiber digestion by steers grazing winter annuals and supplemented with ruminal escape protein. *J. Anim. Sci.* 69:3067-3071.
- Doyle, P. T., H. Dove, M. Freer, F. J. Hart, R. M. Dixon and A. R. Egan. 1988. Effects of a concentrate supplement on the intake and digestion of a low quality forage by lambs. *J. Agric. Sci.* 111:503-511.
- Dulphy, J. P., M. Jailler, and L. L'Hotelier. 1996. Fill effect of concentrates in the rumen of sheep. *Annales Zootech.* 45:411-421.
- Egan, A. R. 1965a. Nutritional status and intake regulation in sheep. II. The influence of sustained duodenal infusions of casein or urea upon voluntary intake of low protein roughages by sheep. *Aust. J. Agri. Res.* 16:451-462.
- Egan, A. R. 1965b. Nutritional status and intake regulation in sheep. III The relationship between improvement of nitrogen status and increase in voluntary intake of low- protein roughage by sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 16: 463-472.
- Egan, A. R. 1965c. Nutritional status and intake regulation in sheep. IV. The influence of protein supplements upon acetate and propionate tolerance of sheep fed on low quality chaffed eaten hay. *Aust. J. Agric. Res.* 16: 473- 483.
- Egan, A. R. and R. S. Moir. 1965. Nutritional status and intake regulation in sheep. I. Effects of duodenally infused single deses of casein, urea, and propionate upon voluntary intake of a low-protein roughage by sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 16:437- 449.

- Egan, A. R. 1970a. Nutritional status and intake regulation in sheep. VI.. Evidence for variation in setting of an intake regulatory mechanism relating to the digesta content of the reticulorumen. *Aust. J. Agric. Res.* 21:735-746.
- Egan, A. R. 1970b. Utilization by sheep of casein administered per duodenum at different levels of roughage intake. *Aust. J. Agric. Sci.* 21: 85-94.
- Ellis, W. C., C. Lascano, R. Teeter, and F. N. Owens. 1982. Solute and particulate flow markers. In: F. N. Owens (Ed.) *Protein Requirements for Cattle: Symposium.* Okl. Agric. Exp. Stn. Misc. Publ. 109. Stillwater OK. pp 37-56.
- Ellis, W.C. 1978. Determinants in grazed forage intake and digestibility. *J. Dairy Sci.* 61:1828.
- Faichney, G. J. 1975. The use of markers to partition digestion within the gastrointestinal tract of ruminants. *In: I. W. Mc Donald, and A. C. I. Warner (Eds.). Univ. New England Publ. Unit, Armidale, New South Wales, Aust.* pp 277-291.
- Fantino, M. 1988. Endogenous opiates, palatability and the control of food intake. *Annales Endocrinologie.* 49:125-13.
- Faverdin, P., J. Agabriel, F. Bocquier, and S. Ingrand. 1997. Maximize roughage intake: animal and management factors. 4emes rencontres autour des recherches sur les ruminants Paris. INRA, Station de Recherches sur la Vache Laitiere. St-Gilles, France.
- Forbes, J.M. 1980. Hormones and metabolites in the control of feed intake. *In: Y. Ruckebusch and P. Thivend (Eds.) Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants.* pp. 145-175. MTP Press Ltd. Lancaster, England.
- Forbes, J.M. 1983. Physiology of regulation of food intake. *In: J.A.F. Rook and P.C. Thomas (Eds.) Nutritional Physiology of Farm Animals.* pp. 177-202. Longman, London.
- Forbes, J. M., and J. P. Barrio. 1992. Abdominal chemo- and mechanosensitivity in ruminants and its role in the control of food intake. *Expt. Physiol.* 77:27-50.
- Forbes, J. M. 1986. The voluntary food intake on farm animals. Butterworths and Co LTD. London UK. p 35-41.
- Freer, M. and R. C. Campling. 1963. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 5. The relationship between the voluntary intake of food, the amount of digesta in the reticulo-rumen and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract with diets of hay, dried grass or concentrates. *Br. J. Nutr.* 17:79.
- Froestchel, M. A. 1994. Neural and hormonal control of intake: Bioactive peptides. *In: F.N. Owens. 1994. (Ed.). Symposium: Intake by Feedlot Cattle.* p 105-109. Oklahoma State University. P-942.

- Froetschel, M. A. 1996. Bioactive peptides in digesta that regulate gastrointestinal function and intake. *J. Anim. Sci.* 74:2500-2508.
- Froetschel, M. A., and H. E. Amos. 1991. Effects of dietary fiber and feeding frequency on ruminal fermentation, digesta water-holding capacity, and fractional turnover of contents. *J. Anim. Sci.* 69: 1312-1321.
- Galyean, M. L., L. J. Krysl, and R. E. Estell. 1987. Marker-based approaches for estimation of fecal output and digestibility in ruminants. *In: F. N. Owens (Ed.) Feed Intake by Beef Cattle: Symposium Proceedings. Okl. Agric. Exp. Stn. Misc. Publ. 121. Stillwater OK. pp 96-113.*
- Galyean, M. L., and F. N. Owens. 1991. Effects of diet composition and level of feed intake on site and extent of digestion in ruminants. *In: T. Tsuda et al. (Eds.) Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants. Proc. 7<sup>th</sup> Intl. Symp. Rum. Phys. pp. 483-514. Academia Press, San Diego, CA.*
- Garza, F. J. D., F. D. Owens, and S. Welty. 1991a. Duodenally infused casein or urea-glucose for steers fed a high concentrate diet. *Animal Science Research Report. Oklahoma Agric. Exp. Sta. Misc. Publ. 134:215-221. Stillwater, OK.*
- Garza, F. J. D., F. D. Owens, and S. Welty. 1991b. Effect of post-ruminal protein infusions on feed intake and utilization of low quality hay by beef steers. *Animal Science Research Report. Oklahoma Agric. Exp. Sta. Misc. Publ. 134:106-113. Stillwater, OK.*
- Garza, F. J. D., F. D. Owens, S. Welty, and S. Summers. 1992. Effects of post-ruminal casein on voluntary alfalfa hay intake by steers. *Animal Science Research Report. Oklahoma Agric. Exp. Sta. Misc. Publ. 136:265-270. Stillwater, OK.*
- Goering, H. K., and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agric. Handbook No. 379. ARS, USDA, Washington, DC.*
- Goetsch, A. L., and F. N. Owens. 1986. Effects of dietary nitrogen level and ileal antibiotic administration on digestion and passage rate in beef heifers. II. High-forage diets. *J. Anim. Sci.* 62:844-856.
- Gregory, P. C., and S. J. Miller. 1989. Influence of duodenal digesta composition on abomasal outflow, motility and small intestinal transit time in sheep. *J. Physiol.* 413:415-431.
- Gregory, P. C., S. J. Miller, and A. C. Beever. 1985. The relation between food intake and abomasal emptying and small intestinal transit time in sheep. *Brit. J. Nutr.* 53:373-380.
- Grings, E. E., D. C. Adams, and R. E. Short. 1994. Protein supplementation of stocker cattle in the Northern Great Plains. *J. Range Manage.* 47:303-307.

- Grovum, W.L. 1984. Integration of digestion and digesta kinetics with control of feed intake - a physiological framework for a model of rumen function. *In*: F.M.C. Gilchrist and R.I. Mackie (Eds.) *Herbivore Nutrition in the Subtropics and Tropics*. pp. 244-268. The Science Press (Pty) Ltd. Craighall, South Africa.
- Grovum, W.L. 1987a. A new look at what is controlling food intake. *In*: F.N. Owens (Ed.) *Symposium Proceedings: Feed Intake by Beef Cattle*. pp. 1-40. Animal Science Department. Oklahoma State University
- Grovum, W.L. 1987b. Appetite, palatability and control of feed intake. *In*: D.C. Church (Ed.) *The Ruminant Animal - It's Digestive Physiology and Nutrient Metabolism*. pp. 202-216. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Hicks, C. R. 1973. *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Hill, F. N. and D. L. Anderson 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587.
- Houseknecht, K.L., C. A. Baile, R. L. Matter, and M. E. Spurlock. 1998. The biology of leptin: a review. *J. Anim. Sci.* 76:1405-1420.
- Hudson, L. W., H. A. Glimb, C. O. Little, and P. G. Woolfolk. 1970. Ruminant and post-ruminal nitrogen utilization by lambs fed heated soybean meal. *J. Anim. Sci.* 30:609-613.
- Huhtanen, P., S. Jaakkola, U. Kukkonen. 1995. Ruminant plant cell wall digestibility estimated from digestion and passage kinetics utilizing mathematical models. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52:159-173.
- Hume, I. D. 1974. The proportion of dietary protein escaping degradation in the rumen of sheep fed on various protein concentrates. *J. Agric. Res.* 25:155-165.
- Johnson, A. B., F. N. Owens, K. L. Mizwicki, and B. R. Wilson. 1981. Abomasal nutrient infusion of steers fed weathered prairie hay. *J. Anim. Sci.* 53:1401-1405.
- Johnson, A. B., F. N. Owens, and K. L. Mizwicki. 1982. Abomasal protein infusions for growing steers fed corn grain rations. *J. Anim. Sci.* 54:189-195.
- Kania, B. F., and M. Zaremba-Rutkowska. 1998. Participation of peripheral cholecystokinin receptors (CCK-A) in the central control of the forestomach electrical activity and food intake in sheep. *Medycyna Weterynaryjna.* 54:628-632.
- Keith, S. L., and D. G. Wagner. 1986. Effects of supplements on feed intake. *In*: F. N. Owens (Ed) *Feed Intake by Beef Cattle. Symposium Proceedings*. p 173. Oklahoma State University. Anim. Sci. Dpt. Stillwater, OK.

- Kempton, T. J. 1982. Role of nutritional supplements in the utilization of low quality feeds by ruminants. Proc. Austr. Soc. Anim. Prod. 14:63-65.
- Ketelaars, J. J. M. H., and B. J. Tolkamp. 1992. Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants. 1. Causes of differences in voluntary feed intake: Critique of current views. Livestock Prod. Sci. 30:269-296.
- Kil, S. J., and Froestchel M. A. 1994. Involvement of opioid peptides from casein on reticular motility and digesta passage in steers. J. Dairy Sci. 77:111.
- Klopfenstein, T., and R. Blair. 1996. Need for escape protein by grazing cattle. Anim. Feed Sci. Technol. 60:191-194.
- Koster, H. H., R. C. Cochran, E. C. Titgemeyer, E. S. Vanzant, I. Abdelgadir, and G. St. Jean. 1996. Effect of increasing degradable intake protein on intake and digestion of low-quality, tallgrass-prairie forage by beef cows. J. Anim. Sci. 74:2473-2481.
- Köster, H. H., R. C. Cochran, E. C. Titgemeyer, E. S. Vanzant, T. G. Nagaraja, K. K. Kreikemeier, and G. St. Jean. 1997. Effect of increasing proportion of supplemental nitrogen from urea on intake and utilization of low-quality, tallgrass-prairie forage by beef steers. J. Anim. Sci. 75:1393-1399.
- Krehbiel, C. R., and C. L. Ferrell. 1999. Effects of increasing ruminally degraded nitrogen and abomasal casein infusion on net portal flux of nutrients in yearling heifers consuming a high-grain diet. J. Anim. Sci. 77:1295-1305.
- Laughren, L. C., and A. W. Young. 1979. Duodenal nitrogen flow in response to increasing dietary crude protein in sheep. J. Anim. Sci. 49:211-220.
- Leibholz, J. 1972. Nitrogen metabolism in sheep. II. The flow of amino acids into the duodenum from dietary and microbial sources. Austr. J. Agric. Res. 23:1073-1083.
- Leibholz, J., and P. E. Hartmann. 1970. The effect of nitrogen and energy intake on the flow of digesta into the duodenum and on the digestion and absorption of nutrients. Aust. J. Agric. Res. 23: 1059-1071
- Lippke, H. 1986. Regulation of voluntary intake of ryegrass and sorghum forages in cattle by indigestible neutral detergent fiber. J. Anim. Sci. 63:1459-1468.
- Little, C.O., and G. E. Mitchell, Jr. 1967. Abomasal vs. oral administration of proteins to wethers. J. Anim. Sci. 26:411-413.
- Malbert, C. H., and R. Baumont. 1989. The effects of intake of lucerne (*Medicago sativa* L.) and orchard grass (*Dactylis glomerata* L.) hay on the motility of the forestomach and digesta flow at the abomaso-duodenal junction of the sheep. Brit. J. Nutr. 61:699-714.

- Mathis, C. P., R. C. Cochran, G. L. Stokka, J. S. Heldt, B. C. Woods, and K. C. Olson. 1999. Impacts of increasing amounts of supplemental soybean meal on intake and digestion by beef steers and performance by beef cows consuming low-quality tallgrass-prairie forage. *J. Anim. Sci.* 77:3156-3162.
- Mathis, C. P., R. C. Cochran, J. S. Heldt, B. C. Woods, I. E. O. Abdelgadir, K. C. Olson, E. Z. Titgemeyer, and E. S. Vanzant. 2000. Effects supplemental degradable protein on utilization of medium- to low-quality forages. *J. Anim. Sci.* 78:224-232.
- Mayer J. 1953. Glucostatic regulation of food intake. *New Engl. J. Med.* 249:13-16.
- McDonald, I. W., and R. J. Hall. 1957. The conversion of casein into microbial proteins in the rumen. *Biochem. J.* 67:400.
- Mendoza, M. G. D., V. R. Ricalde, and M. T. Arroyo. 1995. Prediction of dry matter intake based on rumen evacuation. *Small Rum.* 18:133-136.
- Merchen, N. R., J. L. Firkins, and L. L. Berger. 1986. Effect of intake forage level on ruminal turnover rates, bacterial protein synthesis and duodenal amino acid flows in sheep. *J. Anim. Sci.* 65:216-225.
- Mertens, D. R., and L. O. Ely. A dynamic model of fiber digestion and passage in the ruminant for evaluating forage quality. *J. Anim. Sci.* 49:1085-1095.
- Mertens, D. R., and G. C. Fahey, Jr. 1994. Regulation of food intake. *In: Forage Quality Evaluation and Utilization.* American Society of Agronomy, Inc. US Dairy Forage Reserch Center, Madison WI. pp 450-493.
- Miner, J. L. 1992. Recent advances in the central control of intake in ruminants. *J. Anim. Sci.* 70:1283-1289.
- Minson, D. J. 1990. *Forage in Ruminant Nutrition.* Academic Press, Inc. San Diego, CA.
- Moir, R. J. and Harris L. E. 1962. Ruminal flora studies in sheep. X. Influence of nitrogen intake upon ruminal function. *J. Nutr.* 77:285.
- Ndlovu, L. R., and J. G. Buchanan-Smith. 1987. Alfalfa supplementation of corncob diets for sheep: effect of ruminal or postruminal supply of protein on intake, digestibility, digesta, passage and liveweight changes. *Can. J. Anim. Sci.* 67:1075-1082.
- NRC. 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle (6<sup>th</sup> Ed.).* National Academy Press, Washington, DC.
- NRC, 1987. *Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals.* pp. 1-15. Washington, DC. National Academy Press.
- NRC. 1988. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle (6<sup>th</sup> Ed.).* National Academy Press, Washington, DC.

- NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle (7<sup>th</sup> Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Obitsu, T., K. Taniguchi, and Y. Yamatan. 1992. Effects of ruminal infusion rate of urea on digestion and nitrogen utilization in ruminants. *Anim. Sci. Tech.* 63:277-285.
- Olson, K. C., R. C. Cochran, T. J. Jones, E. S. Vanzant, E. C. Titgemeyer, and D. E. Johnson. 1999. Effects of ruminal administration of supplemental degradable intake protein and starch on utilization of low-quality warm-season grass hay by beef steers. *J. Anim. Sci.* 77:1016-1025.
- Orskov, O.R. 1982. Protein Nutrition in Ruminants. Chapter 2. Academic Press Inc. New York, NY.
- Owens, F. N., R. Y. Raney, and J. C. Tremblay. 1986. Influence of level of feed intake and roughage on small intestine digestion and passage in steers. Animal Science Research Report. Oklahoma Agric. Exp. Sta. Misc. Publ. 118:161-165. Stillwater, OK.
- Owens, F. N., and C. F. Hanson. 1992. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *J. Dairy Sci.* 75:2605-2617.
- Papas, A., E. E. Hatfield, and F. N. Owens. 1974. Responses of growing lambs to abomasal infusion of corn oil, starch, casein, and amino acid mixtures. *J. Nutr.* 104:1543-1553.
- Petit, H. V. and Y. Yu. 1993. Use of protein supplements for dairy heifers fed fresh grass. *J. Anim. Sci.* 76:798.
- Rangngang, M. B., M. L. Nelson, and S. M. Parish. 1997. Ruminal undegradability of blood meal and effects of blood meal on ruminal and postruminal digestion in steers consuming vegetative orchardgrass hay. *J. Anim. Sci.* 75:2788-2795.
- Rihani, N., Garret W. N., and Zinn R. A. 1993. Influence of level of urea and method of supplementation on characteristics of digestion on high-fiber diets by sheep. *J. Anim. Sci.* 71:1657.
- Silver, A. J., and J. E. Morley. 1991. Role of CCK in regulation of food intake. *Progress in Neurobiology.* 36(1):23-33.
- Smith, L. W. 1989. A review of the use of intrinsically <sup>14</sup>C and rare earth-labeled neutral detergent fiber to estimate particle digestion and passage. *J. Anim. Sci.* 67:2123.
- Steel, R. G. D., and J. H. Torrie. 1996. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. Mc. Graw Hill. New York.
- Stokes, S. R., A. L. Goetsch, A. L. Jones, and K. M. Landis. 1988. Feed intake and digestion by beef cows fed prairie hay with different levels of soybean meal and receiving postruminal administration of antibiotics. *J. Anim. Sci.* 66:1778-1789.

- Stokes, S. R. A. L. Goetsch, K. L. Landis. 1988. Feed intake and digestion by beef steers consuming and receiving insertions of prairie hay differing in level and particle size. *J. Anim. Sci.* 66:1267-1274.
- Tamminga, S., C. J. Van Der Koelen, and A. M. Van Vuuren. 1979. The effect of the level of feed intake on nitrogen entering the small intestine of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 6: 255 - 262.
- Taniguchi, K., G. B. Huntington, and B. P. Glenn. 1995. Net nutrient flux by visceral tissues of beef steers given abomasal and ruminal infusions of casein and starch. *J. Anim. Sci.* 73:236-249.
- Teeter, R. G., and F. N. Owens. 1983. Characteristics of water soluble markers for measuring rumen liquid volume and dilution rate. *J. Anim. Sci.* 56:717.
- Thonney, M. L., D. J. Duhaime, P. W. Moe, and T. J. Reid. 1979. Acid insoluble ash and permanganate lignin as indicators to determinate digestibility of cattle rations. *J. Anim. Sci.* 49:1112.
- Titgemeyer, E. C. and N.R. Merchen. 1990. The effect of abomasal methionine supplementation on nitrogen retention of growing steers postruminally infused with casein or nonsulfur-containing amino acids. 68:750.
- Towne, G., T. G. Nagaraja, C. Owensby, and D. Harmon. 1986. Ruminal evacuation's effect on microbial activity and ruminal function. *J. Anim. Sci.* 62:783 - 788.
- Uden, P., P. E. Colucci, and P. J. Van Soest. 1980. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. *J. Sci. Food Agric.* 31:625.
- Van Dyne, G.M., N.R. Brockington, Z. Szocs, J. Duek and C.A. Ribic. 1980. Large herbivore system. *In: A.J. Breymer, G.M. Van Dyne and International Biologist Programme 19. (Eds.) Grasslands Systems Analysis and Man.* pp. 322-334. Cambridge University Press. Great Britain.
- Van Soest, P. J. 1982. *Nutrition Ecology of the Ruminants.* O and B. Books, Inc. Corvallis OR.
- Varga, G. A., and E. C. Prigge. 1982. Influence of forage species and level of intake on ruminal turnover rates. *J. Anim. Sci.* 55:1498.
- Vuuren, A. M. van, A. M. van Vuuren, and L. 't Mannetje. 1994. Aspects of forage intake regulation. *In: L. 't Mannetje (Ed.) Proc. 15<sup>th</sup> General Meeting European Grassland Federation.* pp 556-565. Wageningen, Netherlands.
- Waldo, D. R., and R. F. Barnes. 1985. Nutritional value of legumes preserved as silage. *Forage Legumes for Energy Efficient Animal Production.* 220-224.
- Weston, R. H. 1984. Rumen digesta load in relation to voluntary feed consumption and rumination in roughage-fed young sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 64:324-325.

- Weston, R. H. 1988. Factors limiting the intake of feed by sheep. X. The effects of concentrate supplements on the voluntary consumption and digestion of a medium quality roughage. *Aust. J. Agric. Res.* 39: 255-271.
- Weston, R. H. 1996. Some aspects of constraint to forage consumption by ruminants. *Austr. J. Agric. Res.* 47:175-197.
- Zinn, R. A., and F. N. Owens. 1982. Predicting net uptake of nonammonia N from the small intestine. *In: F. N. Owens (Editor). Protein Requirements for Cattle: Symposium. Oklahoma State University, Stillwater OK. MP-109. pp 133-140*
- Zinn, R. A., and F. N. Owens. 1983. Site of protein digestion in steers: Predictability. *J. Anim. Sci.* 56:707-716.
- Zinn, R. A., L. S. Bull, and R. W. Hemken. 1981. Degradation of supplemental proteins in the rumen. *J. Anim. Sci.* 52:857.
- Zinn, R. A., and J. Salinas. 1999. Influence of Fibrozyme on digestive function and growth performance of feedlot steers fed a 78% concentrate growing steers. *In: Biotechnology in the Feed Industry, Proc. 14<sup>th</sup> Annual Symp. T. P. Lyons and K. A. Jacques (Eds). pp 313-319. Nottingham University Press. UK.*
- Zinn, R. A., and Y. Shen. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 76:1280-1289.
- Zinn, R. A., and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 66:157.
- Zinn, R. A. and F.N. Owens. 1993. Ruminal escape protein for lightweight feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 71:1677.