

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



EVALUACIÓN DE UN COMPUESTO DE NNP DE LIBERACIÓN CONTROLADA (OPTIGEN II®) SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, ENERGÉTICA DE LA DIETA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE NOVILLOS ALIMENTADOS CON DIETAS DE FINALIZACIÓN CONTENIENDO DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ALMIDÓN:FAD

**TESIS
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS**

**PRESENTA:
M.V.Z. JOSÉ ANTONIO AGUILAR HERNÁNDEZ**

**DIRECTOR
Dr. Alejandro Plascencia Jorquera**

**Co-DIRECTOR
Dra. María Alejandra López Soto**

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

AGOSTO DE 2014

Evaluación de un compuesto de NNP de liberación controlada (Optigen II®) sobre el desempeño productivo, energética de la dieta y características de la canal de novillos alimentados con dietas de finalización conteniendo diferentes concentraciones de almidón:FAD.
Tesis presentada por **José Antonio Aguilar Hernández**. Ésta Tesis fue revisada bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de: Maestro en Ciencias Veterinarias. Mexicali, Baja California, Agosto de 2014.

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera
Director de Tesis

Dra. María Alejandra López Soto
Co-director

Dr. Horacio Dávila Ramos
Asesor

Dr. Alberto Barreras Serrano
Asesor

Dr. José Fernando Calderón y Cortés
Asesor

Mexicali, Baja California, Agosto de 2014.

AGRADECIMIENTOS

A MIS ASESORES:

Dr. Horacio Dávila Ramos

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Dra. María Alejandra López Soto

Dr. Alberto Barreras Serrano

Dr. José Fernando Calderón y Cortés

Por sus enseñanzas, apoyo y paciencia, que incondicionalmente siempre me brindaron, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias.

AL PERSONAL DOCENTE: A todos mis maestros de posgrado por ser parte fundamental en mi formación académica.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA: Por ser el *Alma Mater*.

AL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS VETERINARIAS: por ser la institución que me brindó el apoyo logístico y académico hasta culminar la maestría en ciencias veterinarias.

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA: Por la beca otorgada durante mis estudios.

A GANADERA RUBIO: por colaborar con las instalaciones y el proceso de ejecución del trabajo de investigación.

A MIS PADRES Y HERMANAS: Porque gracias a su apoyo y consejo he llegado a realizar una más de mis metas, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir para continuar con mi superación.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS: A todos sin excepción, a los que compartieron conmigo su anhelo y experiencias en estos años de estudio.

A PROMEP-SEP: por financiar el trabajo de investigación (proyecto código: PROMEP/103.5/12/3360).

RESUMEN

Hallazgos recientes han demostrado que el flujo de nitrógeno microbiano y energía digestible de la dieta se incrementan cuando la urea (U) es combinada con productos de liberación lenta (SRU) en dietas con almidón:fibra detergente acida (A:FAD) con una relación de 4.5, mientras que la urea de grado alimenticio ha demostrado mayor efecto sobre el crecimiento o la utilización de energía de la dieta cuando ésta contiene una relación (A:FAD) mayor a 5.0. Estos resultados se explican parcialmente por la posible mejor tasa de sincronización en la degradación ruminal entre las fuentes de urea con los carbohidratos de la dieta. Por lo anterior, se utilizaron 60 novillos cruzados (372.4 ± 15 kg) para comparar, mediante la evaluación del crecimiento, de la energética de la dieta y de las características de la canal, la combinación de U y SRU en dietas con una relación A:FAD de 4.5 contra dietas suplementadas sólo con urea convencional conteniendo diferentes relaciones de A:FAD (3.5, 4.5 y 5.5). La combinación de urea no afectó la ganancia diaria de peso (GDP), pero redujo el consumo de materia seca (CMS, como % del peso corporal) lo suficiente como para aumentar la eficiencia alimenticia (G:F) y la energía neta de la dieta (EN). Conforme la relación A:FAD se incrementa, el CMS, GDP, G:F y la EN de la dieta se incrementan linealmente. Independientemente de la relación A:FAD, la urea en las dietas no modificó la relación observado sobre lo esperado en la relación de EN aparente de la dieta ni la retención aparente por unidad de CMS, mientras que la combinación de urea incrementó en 7.2 % y 8.4 %, respectivamente, la relación de la EN observada de la dieta sobre la EN

esperada de la dieta y la retención aparente por unidad de consumo de MS. La combinación de urea no afectó las características de la canal. A medida que la relación A:FAD se incrementó, el peso de la canal y el área del músculo *Longissimus dorsi* se incrementó linealmente. La combinación de urea y SRU en dietas con relación almidón:fibra de 4.5 resulta en efectos positivos principalmente en la eficiente utilización energética de la dieta.

Palabras claves: Urea de liberación lenta, dietas de finalización, novillos, Optigen, dietas energéticas, crecimiento, canal.

ABSTRACT

Recent findings have shown that microbial nitrogen flow and digestible energy of diet are increased when urea (U) is combined with a slow-release urea product (SRU) in diets with a starch:acid detergent fibre (S:ADF) ratio of 4.5, while feed grade urea has shown greater effects on growth performance or dietary energy utilization when the diet contains a S:ADF ratio of greater than 5.0. These results can be partially explained by the better synchronization of ruminal degradation rates between those urea sources with the carbohydrates of the diets. Therefore, 60 crossbreed steers (372.4 ± 15 kg) were used to evaluate the effects of combining U and SRU in a diet with a S:ADF ratio of 4.5 vs. urea that was supplemented in diets with different S:ADF ratios (3.5, 4.5, and 5.5) on growth performance, dietary energetics, and carcass characteristics. Urea combination did not affect average daily gain (ADG), but reduced dry matter intake (DMI, as % of body weight [BW]) enough to increase feed efficiency (G:F) and dietary net energy (NE). As the S:ADF ratio increased, the DMI, ADG, G:F, and NE of diet increased linearly. Irrespective of the S:ADF ratio, urea diets did not modify the observed-to-expected NE ratio nor the apparent retention per unit DMI, while urea combination increased by 7.2 % and 8.4 %, respectively, the observed-to-expected dietary ratio and the apparent retention per unit DMI. Urea combination had no effect on carcass characteristics. As the S:ADF ratio increased, carcass weight and LM area were increased linearly. Combining feed grade urea and SRU in diets with a 4.5 starch:fibre ratio resulted in positive effects on the efficiency of utilization of dietary energetics.

Key words: Slow-release urea; finishing diets; steers; Optigen; dietary energetics; growth performance; carcass

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	V
LISTA DE CUADROS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Papel de las fuentes de nitrógeno en rumen.....	3
Fuentes de nitrógeno para rumiantes	4
Nitrógeno proteico.....	4
Nitrógeno no proteico:.....	4
Metabolismo proteico de los rumiantes.....	6
Factores que influyen en la utilización de NNP.....	8
El amoníaco en rumen	9
Absorción de amoníaco.....	10
Liberación de N-NH ₃ <i>in vitro</i>	11
Fundamentos del metabolismo de la urea	13
Uso de NNP en rumiantes.....	16
Urea	16
Uso de NNP de liberación lenta	19
Starea.....	20
Biuret.....	21

Optigen.....	24
Sincronización de CHOS:FAD	33
JUSTIFICACIÓN.....	35
HIPÓTESIS.....	36
OBJETIVO GENERAL	37
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	38
LITERATURA CONSULTADA	39
EFFECTS OF A COMBINING FEED GRADE UREA AND A SLOW- RELEASE PRODUCT ON PERFORMANCE, DIETARY ENERGETICS AND CARCASS CHARACTERISTICS OF STEERS FED FINISHING DIETS	49

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1 Flujo neto de N-amoniacal, N-urea y N α -amino en bovinos	15
2 Efecto de la dosis intraruminal del grado de alimentación de urea y urea de liberación lenta en las concentraciones (mM) de metabolitos arteriales en novillos	31
3 Efecto de la adición de urea y optigen II en las raciones a base de maíz roado en rendimiento, consumo y eficiencia en novillos de carne	32

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1 Cinética de la liberación de N-NH_3 de alimentos incubados in vitro	12
2 Concentraciones de amoníaco ruminal con intervalos de suplementación de urea.	19
3 El efecto de la fuente de nitrógeno en el patrón de niveles de N-amoniacal en rumen.....	21
4 Concentración de amoníaco en rumen de ovejas después de alimentarlos en los días 4 y 87 en un periodo de 8 horas.	24
5 Efecto de la adición intraruminal de urea y urea de liberación lenta en las concentraciones de amoníaco ruminal en novillos	27

INTRODUCCIÓN

En los alimentos destinados al consumo del ganado se encuentran dos tipos de nitrógeno, 1) proteico: en insumos como pasta de soya, pasta de cacahuate, entre otros que generalmente son destinados a los monogástricos; 2) nitrógeno no proteico: que se encuentra en aminoácidos libres, amidas, nitratos, nitritos, sales de amonio y urea, ya sea en su presentación normal o de liberación lenta, que son combinados con fuentes de nitrógeno proteico y destinados a los rumiantes, debido a que la flora microbiana puede sintetizar proteína microbiana.

La proteína es a menudo el nutriente más limitante en la nutrición de los rumiantes ya que los forrajes leguminosos o los concentrados de proteína vegetal no siempre están disponibles, al utilizar los rumiantes el nitrógeno de la dieta, lo hacen de forma ineficiente debido a que la degradación microbiana de los compuestos nitrogenados en el rumen no está directamente acoplada con la síntesis de proteína microbiana, con frecuencia, la producción ruminal de amoníaco es excesiva y el nitrógeno sobrante debe ser eliminado con la orina (Sannes et al., 2002), a su vez, los rumiantes pueden utilizar eficientemente dietas pobres en nitrógeno o proteína de calidad, debido a que los microorganismos del rumen sintetizan proteína verdadera de elevado valor biológico y capturan urea endógena, que de otra forma sería excretada en la orina (Broderick, 2006).

Una alternativa para incluir el nitrógeno necesario en la dieta de los rumiantes son los compuestos nitrogenados no proteicos, dentro de estos

productos destaca la urea, la cual tiene ventaja económica pero presenta inconvenientes bien conocidos que derivan normalmente de su utilización inadecuada o excesiva, desde el punto de vista nutricional el principal inconveniente es la rápida velocidad de degradación ruminal, por lo que han aparecido en el mercado productos en los que la urea ha sido procesada para ralentizar la degradación ruminal donde evita su rápida degradación, estos productos han abierto nuevas posibilidades para la inclusión de urea en las dietas de los rumiantes.

La presente tesis tiene como objetivo conocer los efectos de la suplementación de urea y urea de liberación lenta en dietas de finalización con una relación A:FAD de 4.5 vs suplementación de urea en dietas con diferente relación de A:FAD (3.5, 4.5 y 5.5).

REVISIÓN DE LITERATURA

Papel de las fuentes de nitrógeno en rumen

El rumen funciona como un tanque de fermentación en el cual se deben cubrir condiciones muy específicas para su buen funcionamiento, dentro de ellas, una temperatura de 39 °C, una fuerza iónica de 280 mOsm, un pH de 5.5 a 7 y una población microbiana de 1×10^9 microorganismos/mL de contenido ruminal. Los microbios ruminales aportan energía al rumiante mediante la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) los cuales pueden llegar a cubrir hasta el 60 % de la demanda energética, sintetizan vitaminas del complejo B y son una fuente de proteína importante para el hospedador. Dentro de las poblaciones microbianas existen bacterias altamente específicas para los diferentes sustratos que ingresan con la ingesta de tal forma que existen, entre otras, bacterias que degradan almidón, celulosa, lípidos y proteínas. Durante la hidrólisis de estos nutrientes se generan compuestos utilizables por el rumiante como son los AGV y las vitaminas del complejo B, aunque también se producen compuestos tóxicos como el nitrógeno-amoniaco (N-NH_3) y otros inutilizables como el dióxido de carbono (CO_2) y ion amonio (NH_4). Una fermentación microbiana eficiente significa una mayor producción de AGV para el rumiante con una mayor síntesis microbiana derivando en una menor formación de compuestos tóxicos y compuestos

inaprovechables, para ello, el rumiante a su vez debe proveer el medio físico propicio, los sustratos para el óptimo crecimiento y funcionamiento microbiano, uno de los cuales son los compuestos nitrogenados (Orskov, 1992, Bach et al., 2005).

Fuentes de nitrógeno para rumiantes

Dentro del alimento existen 2 fuentes principales de nitrógeno (N): el nitrógeno proteico (NP) y nitrógeno no proteico (NNP).

Nitrógeno proteico: Lo conforman proteínas funcionales constituidas tales como la zeína (proteína del maíz), la glutelína (proteína del trigo), entre otras, que dependiendo de su naturaleza los ingredientes pueden contener desde un 5 hasta un 70 % de nitrógeno proteico, que invariablemente el tipo de ingrediente que está conformado con una mayor proporción de nitrógeno proteico es destinado para la alimentación de no rumiantes (Harrison et al., 2005).

Nitrógeno no proteico: Son aquellos que no se encuentran formando proteínas funcionales como: aminoácidos libres, amidas, nitratos, nitritos, sales de amonio y urea, que son las fuentes más comunes que se pueden encontrar en el alimento destinados a rumiantes. La fuente principal de NNP es la urea, pero el 5 % de la proteína de los granos lo representan NNP y hasta el 50 % de la proteína contenida en el ensilado es de origen no proteico.

Existe una amplia dependencia de los microbios ruminales por el N-NH_3 como fuente de N para síntesis microbiana. En ese sentido, se ha demostrado que las bacterias amilolíticas crecen más rápido utilizando cerca de 60 % de péptidos y aminoácidos, y 34 % de amoníaco como fuentes de N para su crecimiento, las bacterias celulolíticas usan únicamente el amoníaco como fuente de nitrógeno, ya que su capacidad fermentativa es considerablemente menor en la ausencia de N-NH_3 y su capacidad de usar N en la forma de aminoácidos y péptidos es bastante reducida (Russell et al., 1992). Según Stokes et al. (1991), niveles adecuados de proteína degradable y de carbohidratos no estructurales aumenta la eficiencia microbiana, mejoran la digestión de los alimentos y aumentan la producción de ácidos grasos volátiles, mejorando de ésta manera la síntesis de la proteína microbiana.

Es de suma importancia, dada la dependencia del amoníaco (NH_3) para el crecimiento y buen funcionamiento microbiano alcanzar la concentración óptima de este compuesto en el fluido ruminal. Los niveles adecuados de amoníaco en el rumen oscilan entre 5 a 7 mg/dL y pueden ser alcanzados por la degradación de proteína/péptidos de origen vegetal, donde hay gasto de energía o simplemente por la hidrólisis de urea. La urea es una importante herramienta en la nutrición animal, por ser una fuente de alta densidad de proteína degradable en el rumen (280 % de proteína bruta) conocida como NNP (Manella, 2012).

Metabolismo proteico de los rumiantes

El primer paso de la degradación de proteínas en el rumen implica la unión de las bacterias a las partículas de alimento, seguido por la actividad de las células unidas a las proteasas microbianas (Brock et al., 1982).

Aproximadamente del 70 al 80 % de los microorganismos ruminales se adhieren a las partículas de alimento no digerido en el rumen y el 30 al 50 % tienen actividad proteolítica, donde, los productos resultantes de la degradación y fermentación de nutrientes son péptidos y aminoácidos, por lo que es necesaria la acción sinérgica de diferentes proteasas para la degradación de la proteína completa, en donde la velocidad y el grado dependerán de la actividad proteolítica de la microflora ruminal y el tipo de proteína. Los péptidos pueden ser degradados por peptidasas en aminoácidos y ser absorbidos, una vez dentro de la célula microbiana dependerá de la disponibilidad de la energía (carbohidratos, CHOS); si la energía está disponible, los aminoácidos serán transaminados o se usarán directamente para la síntesis de proteína microbiana, sin embargo, si la energía es limitante los aminoácidos se desaminan y su esqueleto de carbono se fermentan en AGV, CO₂ y amoníaco, como algunas bacterias ruminales carecen de mecanismos de transporte de aminoácidos desde el citoplasma al medio extracelular, los aminoácidos absorbidos en exceso deben ser excretado desde el citoplasma como amoníaco (Bach et al., 2005).

La síntesis de proteína microbiana en el rumen proporciona la mayoría de la proteína suministrada al intestino delgado de los rumiantes, con un 50 a 80 % de la proteína digestible total (Storm y Orskov, 1983), además, la proteína microbiana que fluye hacia el intestino delgado depende de la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia de uso de estos nutrientes por las bacterias ruminales, por lo tanto, el metabolismo del N en el rumen puede ser dividido en 2 eventos: a) la degradación de la proteína que proporcionan las fuentes de N para las bacterias y b) la síntesis de proteína microbiana (Bach et al., 2005).

El aspecto más importante de los protozoos es su capacidad para envolver a grandes moléculas como proteínas, carbohidratos e incluso bacterias ruminales (Van, 1994), además los protozoos juegan un papel en la regulación del volumen de N-bacterial en el rumen y que suministra proteína soluble para sostener el crecimiento microbiano. Los protozoarios conforman aproximadamente el 40 % de la población microbiana ruminal (Russell y Rychlik, 2001) con una participación directa en la digestión de proteína y CHOS fibroso y no fibroso (Williams y Withers, 1991), en donde las bacterias son la fuente principal de proteína, contribuyendo con un 11 % aproximadamente del flujo de proteína cruda (PC) total para el suministro de proteína en el intestino delgado (Shabi et al., 2000).

Greenquist, et al. (2011), realizaron un trabajo de investigación utilizando 45 novillos con los siguientes tratamientos: pastoreo de

cebadilla sin fertilizar más suplementación de 2.3 kg de MS de granos secos de destilería solubles (SUPP); pastoreo de cebadilla sin fertilizar (CONT); pastoreo de cebadilla fertilizado con urea a 90 kg/ha de N (FERT), donde no se observó diferencia entre los tratamientos CONT, FERT y SUPP en la eficiencia de N (8.77, 7.66 y 8.55 % respectivamente), aunque sí fue mayor ($P < 0.01$) el consumo de N total en novillos SUPP (44.68 kg de N) con respecto al tratamiento FERT (37.71 kg de N) y CONT (33.36 kg de N), lo cual lleva a que no tienen proteína en exceso ya que este se excretaría y reduciría la eficiencia.

Factores que influyen en la utilización de NNP

Los niveles adecuados de amoníaco en el rumen pueden ser alcanzados por la degradación de proteína/péptidos de origen vegetal o por hidrólisis de la urea, siendo ésta una importante herramienta en la nutrición animal por ser una fuente de alta densidad de proteína degradable en el rumen conocida como NNP, sin embargo, su rápida solubilización implica pérdidas de N, lo que causa reducción en la eficiencia microbiana y riesgos de intoxicación, pues la cantidad de N en el rumen excede la capacidad de asimilación de las bacterias (Manella, 2012).

El NNP en el rumen se transforma en amoníaco que es absorbido y transportado por la sangre para llegar al hígado en donde

se forma urea (ciclo de la urea) para ser eliminado a través de la orina, además, también el amoníaco se puede reciclar en la saliva y paredes del rumen, siendo este proceso más eficiente cuando la dieta tiene niveles bajos de proteína, permitiendo tener niveles de nitrógeno amoniacal para crecimiento microbiano, el cual dependerá de la cantidad de bacterias y su crecimiento, por lo consiguiente, con una alimentación alta de nutrientes digestibles totales (NDT) son más fermentables que los de bajos NDT (Satter y Roffler, 1977).

El amoníaco en rumen: Las bacterias ruminales tienen una alta afinidad por N en forma de NH_3 y pueden sobrevivir en concentraciones por debajo de 50 μM (Schaefer et al., 1980), lo que significa que el sistema de fermentación de la fibra está diseñado para sobrevivir con funciones en momentos de bajo N, a concentraciones de amoníaco $\geq 20 \text{ mM}$ éstas bacterias productoras de amoníaco se pueden clasificar en; 1.- números altos ($> 1 \times 10^9/\text{mL}$ líquido ruminal) con baja actividad ($10 \text{ a } 20 \text{ mmol NH}_3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ proteína; *B. fibrisolvans*, *M. elsdenii*, *P. ruminicola*, *S. ruminantium*, y *S. bovis*) 2.- números bajos ($1 \times 10^7/\text{mL}$ líquido ruminal) con alta actividad ($300 \text{ mmol NH}_3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ proteína; *C. aminophilum*, *C. stricklandii*, y *P. anaerobius*) Wallace (1996), por lo que se han hecho estimaciones *in vitro* de proporción de proteína microbiana derivadas de amoníaco con una variedad de sustratos de fuentes de proteína que varía de 40 a 60 % (Hristov y Broderick, 1994).

Los granos y concentrados proteicos tienen un amplio rango similar de contenido y composición de N, suponiendo que: 1) todo el N soluble y al menos una parte del N insoluble es fermentable y 2) una estimación conservadora de entrada de N endógeno (fermentable) oscila entre el 12 a 41 % del N consumido, por lo tanto, se puede decir que al menos la mitad de todo el suministro de N en el rumen entra en la pool de amoniaco (Huntington y Archibeque, 2000), estos datos coinciden con los de Parker et al. (1995), en el que analizaron los datos de 8 estudios en ovejas para observar la relación lineal entre el consumo de N y la pérdida irreversible de amoniaco ruminal $y = 3.829 + 0.507x$ (consumo g/d), $r^2 = 0.853$, la regresión indica que aproximadamente el 50 % del consumo de N de los animales pasan a través de la pool de amoniaco en el rumen y, que el suministro endógeno fue de 3.8 g/d.

Absorción de amoniaco: El amoniaco puede ser absorbido o se difunde a través de todas las secciones del tracto digestivo de los rumiantes, pero antes de la difusión, el ion amonio se convierte en amoniaco en la pared intestinal, este se difunde en las células epiteliales como amoniaco y luego se protona para volver a formar el ion amonio. Además de la difusión del amoniaco, hay mecanismos que proporcionan el transporte de los iones amonio, tales como asociaciones con aniones a bicarbonato y AGV (Parker et al., 1995).

La cantidad de N absorbido como amoniaco es equivalente al 16-73 % del consumo de N, el cual puede ser varias veces la cantidad de N absorbido como aminoácidos (Huntington y Archibeque, 2000), además, la absorción desde el intestino delgado puede ser de 27 a 51 % de la absorción neta de amoniaco en la vena porta (Parker et al., 1995), lo que refleja tanto la posibilidad de liberación de amoniaco en secciones pos-ruminal del tracto digestivo y eficiente eliminación de amoniaco de la sangre por el hígado (Reynolds, 1992), creando así una gradiente de concentración que favorece la transferencia desde la luz de intestino a la sangre.

El amoníaco se elimina del hígado por medio del aumento transitorio de la sangre, por lo que la pos-alimentación o elevaciones crónicas en las concentraciones periféricas de amoniaco, pueden reflejar liberación de amoniaco esplácnica o más probablemente refleja la difusión de amoniaco directamente en el tracto digestivo y en los vasos sanguíneos periféricos (Chalmers et al., 1971).

Liberación de N-NH₃ *in vitro*

Marichal et al. (2009), realizaron pruebas *in vitro* donde incubaron alimentos en fluido ruminal y solución nutritiva, donde observaron que la liberación de N-NH₃ en la urea y la urea protegida mostraron los registros más elevados ($P < 0,001$), la harina de girasol y harina de soja mostraron valores intermedios ($P < 0,001$) y los menores ($P < 0,001$) valores se observaron en el salvado de cervecería deshidratado y el gluten de maíz (figura 1). En las

distintas horas de muestreo, observaron diferencias ($P < 0,05$) en la liberación de N-NH_3 en la urea y la urea protegida: el primer registro tendió a ser menor ($P = 0.11$) en la urea protegida (3 %) que en la urea (14 %), a partir del segundo registro (1h de incubación) se observaron diferencias ($P < 0.02$) de 14 y 30 % respectivamente, hasta las 12 horas con 55 y 78 % respectivamente, en donde, la mitad del N total apareció como N-NH_3 a las 2 y 6 horas de incubación, los valores fueron similares ($P = 0.17$) a las 24 horas con 64 % en urea protegida y 72 % en urea. En la harina de soya, las proporciones de N-NH_3 liberada varió de 1 % (0 h) a 30 % (24 h), detectándose incrementos ($P < 0,03$) en la liberación a partir de las 8 h de registro hasta las 24 h, de ésta manera la urea protegida mostró una liberación más lenta de N-NH_3 que la urea pero superior a la harina de soya.

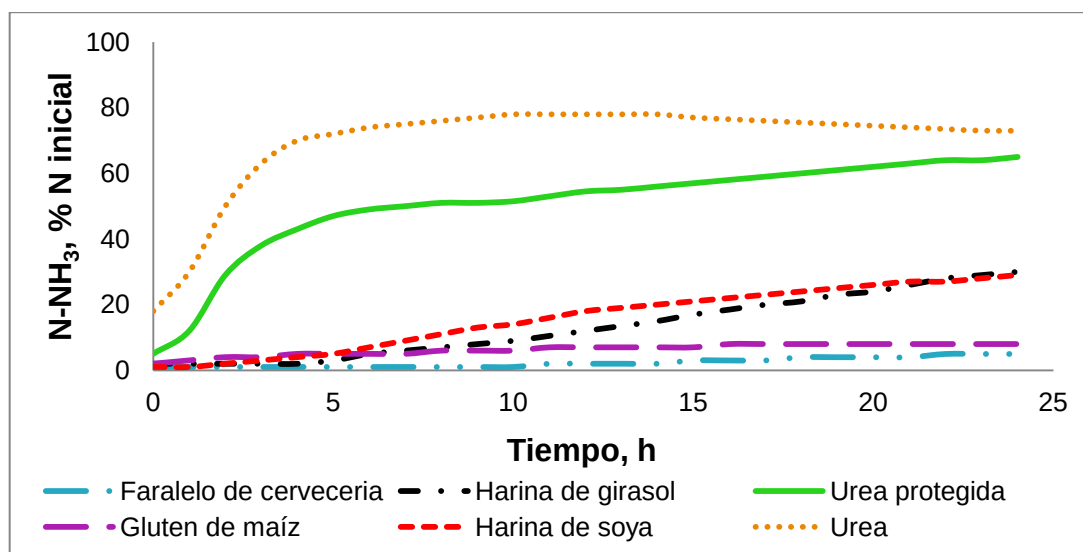


Figura 1 Cinética de la liberación de N-NH_3 de alimentos incubados in vitro

Marichal et al., 2009

Fundamentos del metabolismo de la urea

Los rumiantes así como otros mamíferos sintetizan urea principalmente por el hígado, lo que le ayuda a evitar que el exceso de N se vuelva tóxico, una vez liberado en la sangre la urea se excreta en la orina o vuelve a entrar en el tracto digestivo por difusión en saliva o directamente a través de la pared intestinal (Martínez, 2009). Los factores como producción, excreción y el reciclaje de la urea en el intestino están relacionados con la composición de la dieta, el consumo y las prioridades productivas del animal, por lo tanto existe una alta correlación ($r^2 = 0.96$) entre el consumo de N (0-480 g/d de N en la dieta) y la producción hepática (45 a 386 g/d de N-urea) de N-urea (cuadro 1), donde dependiendo de los factores mencionados, del 19 al 96 % de la producción endógena de urea se puede reciclar en el intestino, del 15 al 94 % del reciclado se puede transferir en la saliva y del 25 al 90 % de la urea degradada en el intestino puede ser degradado en el tracto digestivo pos-ruminal (Huntington y Archibeque, 2000), estos datos son similares a los obtenidos por Lapierre y Lobley (2001), donde reportaron que el 33 % de la urea producida en el hígado se elimina por la orina y el 67 % es reciclada en el tracto gastrointestinal, el cual el 40 % se reabsorbe como amoníaco, el 50 % como aminoácidos y el 10 % se pierde en la heces, observando así que el reciclaje de N proporciona una fuente continua de amoníaco para apoyar la fermentación microbiana en el rumen, así como otras regiones del tracto digestivo.

La urea excretada en la orina representa del 25 al 60 % de la producción endógena de urea en cabras (Obara y Shimbayashi, 1980), ovejas (Sarraseca

et al., 1998), vaquillas de carne (Bunting et al., 1989a) y los novillos de carne (Huntington, 1989).

Kennedy y Milligan (1980), enumeran concentraciones de amoníaco ruminal (relación negativa; el amoníaco disminuye la permeabilidad de urea en el epitelio ruminal), digestibilidad de la materia orgánica (relación positiva) y la concentración plasmática de urea (relación positiva) como los principales factores que afectan la velocidad de la transferencia de urea endógena desde la sangre a la luz del tracto gastrointestinal, así mismo Obara y Shimbayashi (1980), relacionan la concentración de urea en plasma y la producción de saliva con la cantidad de urea que entra al rumen por medio de la saliva; la estimación de la contribución de saliva para la urea endógena ruminal es por transferencia a través del epitelio ruminal aproximadamente tres veces más en comparación con la transferencia directa a partir de epitelio ruminal, por lo tanto, la transferencia de urea puede ser alterada por los cambios en la disponibilidad de la transferencia y en la degradación de la urea después de la transferencia, además Bunting et al., (1989b), menciona que la urea se hidroliza rápidamente por las bacterias que se adhieren al epitelio ruminal o células desprendidas y el amoníaco resultante entra en la pool del amoníaco ruminal.

Cantidades en el intervalo de 0 a más de 80 % de amoníaco a partir de la degradación de urea se incorpora en N bacteriano (Salter et al., 1979) y la disponibilidad de energía es el determinante principal de dicho porcentaje, además, los efectos positivos de la digestibilidad de la materia orgánica y la concentración de amoníaco ruminal en la transferencia de urea son funciones de la capacidad microbiana ruminal de asimilar los productos de fermentación.

Cuadro 1. Flujo neto^a de N-amoniacal, N-urea y N α -amino en bovinos

Animal	N	BW kg	Dieta	Consumo N (g)	Flujo neto PDV, g/d			Flujo neto hígado g/d			Referencia
					NH ₃	N-urea	AAN	NH ₃	N-urea	AAN	
novillo	6	416	3-d alimento restringido	0	26	-13	1	-34	61	-29	Eisemann and Ninnaber, 1990
novillo	4	253	Heno de alfalfa	119	67	-14	25	-68	89	-18	Taniguchi et al., 1995
novillo	6	421	73 % switchgrass	100	41	-35	32	-42	45	-16	Huntington et al., 1996
Vaca lechera	4	NA ^b	Ryegrass	380	76	-102	NA ^b	-119	259	NA ^b	De Visser et al., 1997
				480	241	-127	NA ^b	-234	386	NA ^b	
novillo	6	289	72 % maíz	123	38	-44	42	-51	59	-29	Bruckental et al., 1997
novillo	6	445	70 % maíz	210	68	-31	47	-73	95	39	Eisemann et al., 1996
		319	70 % maíz	162	71	-22	40	-74	80	-23	
		236	70 % maíz	128	48	-17	31	-51	50	-11	

^a flujo positivo es la absorción o liberación; flujo negativo es la transferencia

^bNA = no disponible

BW: peso corporal, AAN: N α -amino, PDV: drenaje portal en víscera.

Huntington y Archibeque, 2000

Uso de NNP en rumiantes

Strangel (1963), recomienda para el uso de urea en dietas de finalización que ésta no debe proveer más de un tercio del total de N de la ración, o bien, máximo el 1% en base materia seca (MS) del total de la dieta, posteriormente, Burroughs (1975), aseveró que la cantidad máxima de inclusión de urea en la dieta puede ser estimada en base a un indicador denominado potencial de fermentación de urea ($PFU = \% \text{ de urea máximo en la dieta}$), el cual se calcula a partir del potencial de síntesis de proteína microbiana (PM) y de la cantidad de proteína que aporta el alimento el cual es potencialmente degradable a nivel ruminal (PDR) a través de la siguiente relación: $PFU = (PM - PDR) / 2.8$. De acuerdo al NRC (1996) la síntesis de PM que fluye a duodeno (g/d) se puede estimar conociendo la concentración de NDT de la dieta utilizando la relación $PM = 0.104 \text{ NDT}$; por lo tanto, la ecuación para estimar el PFU el NRC (1996) se factorializa de la siguiente manera: $PFU \% = [(0.0104 \text{ NDT}) - PDR] / 2.8$. La particularidad de ésta ecuación es que considera la digestibilidad potencial de los ingredientes que componen la dieta pero no su velocidad de fermentación a nivel ruminal y esto último es importante dentro de los criterios para adicionar una cantidad determinada de urea a la dieta.

Urea: A partir de la década de 1940, la utilización de la urea en la alimentación de los rumiantes se extendió debido a la escasez de materias primas proteicas por la II Guerra Mundial (Fonnesbeck et al., 1975).

La urea es un compuesto que se encuentra en la naturaleza, además, puede ser manufacturado por la reacción controlada de NH_3 y CO_2 con

temperatura y presión elevada, formando esferas de urea para posteriormente granularlo y endurecerlo, llegando al estado sólido como es conocido (IPNI, 2012b), durante este proceso al llegar a su punto de fusión de 132 °C se puede formar varios compuestos diferentes, como el biuret y triuret los cuales son considerados NNP de liberación más lenta que la urea, que están presentes en una cantidad muy baja en la urea (Mikkelsen, 2007). La urea contiene 46.7 % de N, pudiendo adicionar del 15-25 % de la proteína bruta total en las raciones del ganado bovino y ovino para engorda, además tiene la característica de que al agregar a la dieta 456.6 g de urea pura produce 1.33 kg de proteína, con equivalencia de 292 % de proteína, lo que hace que compita en el nivel de liberación de N con las proteínas naturales como la harina de soya y harina de semilla de algodón, que tienen diferentes solubilidades o tasas de hidrólisis del N en rumen (Whittier, 2006). La urea en presencia de moléculas de agua e hidrógenos este se puede hidrolizar fácilmente y llegar a la volatilización del NH_3 (Mikkelsen, 2007).

Para conocer la digestibilidad de materia seca, proteína y nitrógeno Mizwicki et al. (1980), utilizaron 4 novillos mestizos canulados en rumen, alimentados con heno de pradera nativa a una tasa fija de 208 g/h, conteniendo 93 % de materia seca, 2.56 % de proteína cruda, 52.9 % de fibra detergente ácido, 10 % de lignina, 39.4 5% celulosa y 12% de cenizas, además, fueron suplementados a diario con NNP, proporcionando urea: (C) continuo, 3.5 g de urea/hora durante 24 horas; Moderada (M), 14.2 g de urea/hora durante 6 horas; rápido (R) 85 g de urea en una hora; sin suplementación de urea (O). Los tratamientos C y O (figura 2) produjeron concentraciones de amoníaco

relativamente estables de 12.8 y 1.6 mg/dL respectivamente, mientras que los tratamientos R y M tuvieron picos de 41.8 y 37.1 mg/dL respectivamente a 1.5 y 6.5 horas después de la suplementación. La digestibilidad aparente de materia seca y celulosa se incrementaron ($P<0.05$) por la suplementación de urea, que es atribuible a un aumento del 8 % en la digestibilidad de la celulosa con adición de urea, la digestibilidad de nitrógeno se aumentó ($P<0.01$) de 13 al 60 % con la adición de urea y la digestibilidad de la proteína recalculada mostró una disminución de ($P<0.01$) la digestibilidad de nitrógeno no ureico, de 13 % sin urea adicional a 4 % con urea adicional, ésta disminución en la digestibilidad de la proteína puede atribuirse a la utilización de nitrógeno de la urea para la síntesis de proteína bacteriana, por lo tanto, la adición de urea incrementó ($P<0.01$) en un 23 % la concentración de N no amoniacal en el líquido ruminal, este hallazgo apoya la hipótesis de que las bajas concentraciones de amoníaco ruminal (menores de 2 mg/dL) se asocian con la reducción de síntesis de proteína bacteriana.

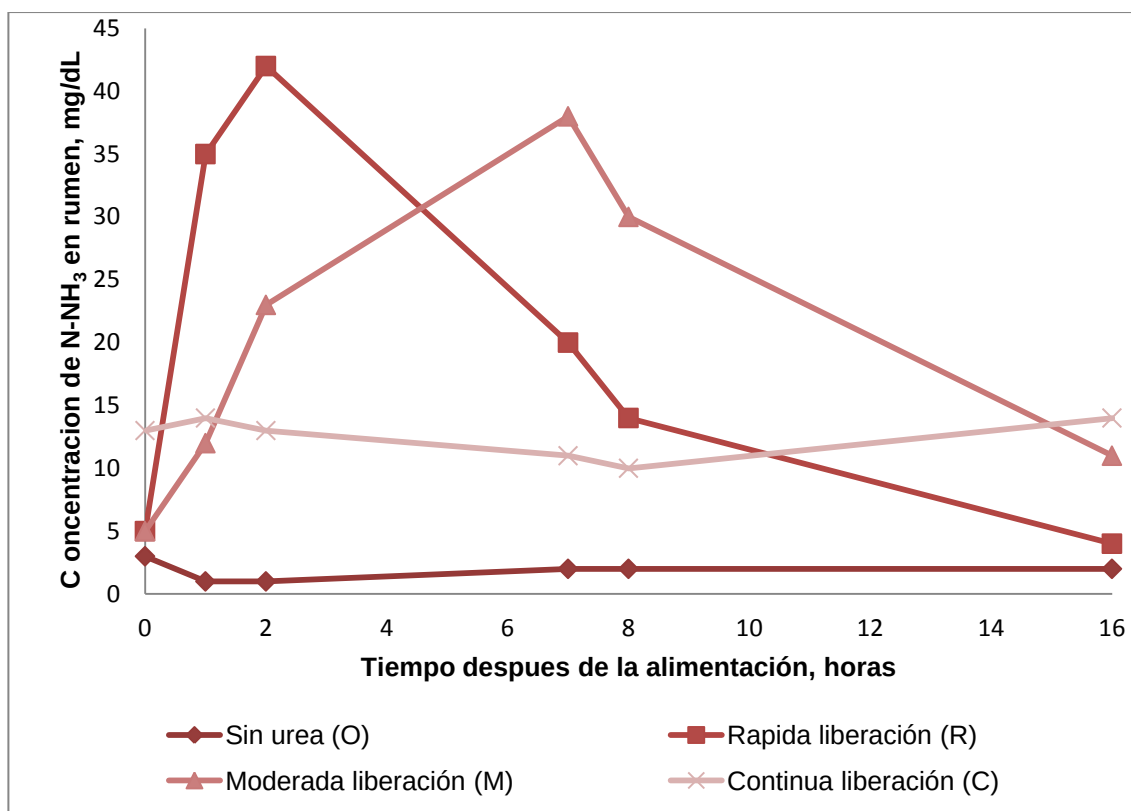


Figura 2 Concentraciones de amoníaco ruminal con intervalos de suplementación de urea.

Mizwicki et al., 1980

Uso de NNP de liberación lenta

La búsqueda de controlar la velocidad de hidrólisis de fuentes de NNP para disminuir los riesgos de toxicidad y favorecer una mayor retención de N en rumen ha resultado en el desarrollo de compuestos de NNP modificados mediante distintos procesos.

Se han utilizado una gran variedad de revestimientos aplicados a las partículas de urea para controlar la velocidad de liberación del N tanto para su uso agrícola y de adaptación hacia la ganadería, el azufre fue el primer revestidor de los fertilizantes aplicado junto con una capa de cera sellante para

las grietas o imperfecciones, más tarde se mejoró cuando la capa de azufre se cubrió con una capa fina de polímeros orgánicos, para tal caso compararon las reacciones de diversos polímeros a base de resina en la superficie de la urea, de igual forma se han utilizado polímeros de baja permeabilidad de polietileno en combinación con revestimientos de alta permeabilidad. Todos estos procesos han llevado a determinar la velocidad de liberación del N, la cual va a depender de la composición y espesor de revestimiento, así como de los materiales y procesos de recubrimiento (IPNI, 2012a). A continuación se mencionan los más comunes.

Starea: Es el producto obtenido de un proceso de extrusión de almidón de grano mezclado con urea, menos toxico y con liberación de amoníaco más lenta que la urea (Stiles et al., 1970; Bartley and Deyoe, 1972), en este sentido Thompson et al. (1972) utilizaron 3 novillos con fistula ruminal para determinar la influencia de la fuente de nitrógeno en la concentración de nitrógeno amoniacal en el líquido ruminal para los tratamientos; harina de soya (SBM), urea (U) y starea (S), inicialmente los animales fueron adaptados con una alimentación a libre acceso, para dar inicio los animales permanecieron en ayunas en un periodo de 15 horas y posteriormente tuvieron acceso a las raciones por una hora, posteriormente tomaron muestras en diversos periodos pos-alimentación (figura 3) en la cual determinaron la producción de amoníaco a partir del líquido ruminal; el tratamiento U alcanzó su mayor hidrólisis en el minuto 60 y se mantuvo constante en un periodo de tres horas, alcanzando una concentración aproximada de 55 mg $\text{NH}_3\text{-N}/100\text{ mL}$ de líquido ruminal, en la cual el animal presentó signos de intoxicación por urea, después inició su

descenso notable pero superior a los otros dos tratamientos; el tratamiento con S alcanzó su máxima producción de amoniaco al minuto 90 e inició su rápido descenso manteniendo su producción constante pero ligeramente superior al tratamiento SBM, los animales no manifestaron signos de intoxicación debido a que la starea libera el amoniaco de forma constante y más lenta que la urea, como resultado de la reducción de la solubilidad de NNP; para el tratamiento de SBM tuvo una producción de $\text{NH}_3\text{-N}$ de 18 mg $\text{NH}_3\text{-N}/100\text{ mL}$ que fue descendiendo hasta que se mantuvo constante a partir del minuto 180.

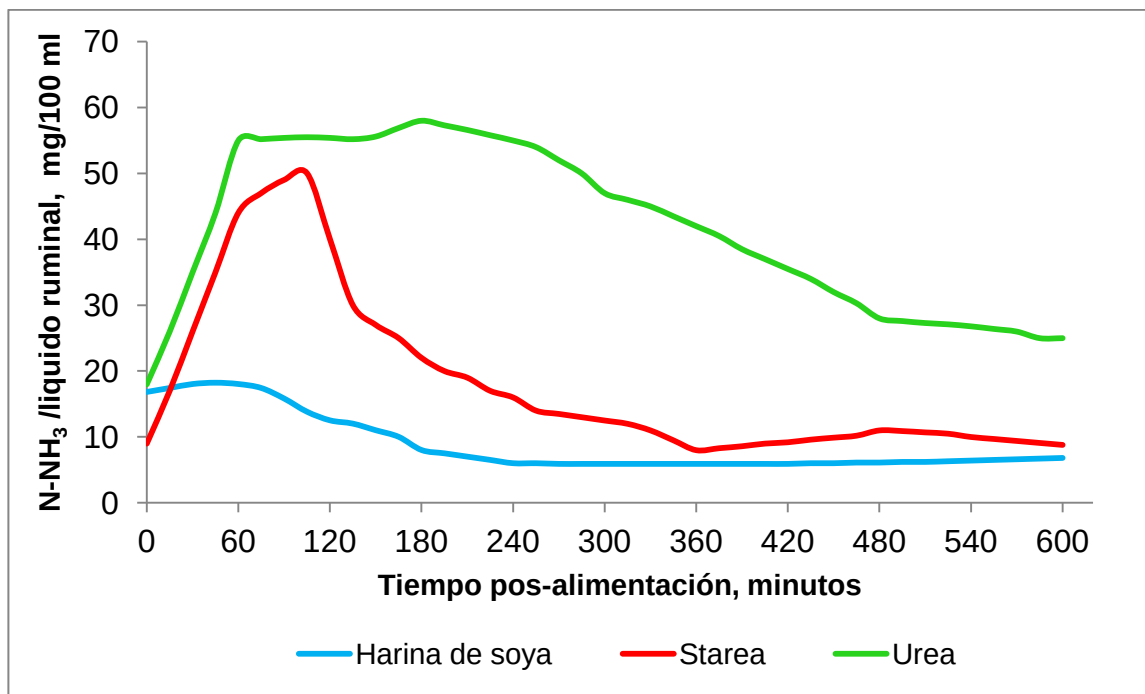


Figura 3 El efecto de la fuente de nitrógeno en el patrón de niveles de N-amoniaco en rumen.

Thompson et al., 1972

Biuret: es un NNP de liberación lenta que contiene un alto grado de nitrógeno equivalente al 250 % de proteína, a nivel industrial se puede producir por calentamiento de la urea a una temperatura de 120 °C a 205 °C a presión

atmosférica, sub-atmosférica o presiones super-atmosférica, debido al proceso por el que se extrae tiene una baja solubilidad con el agua, además, que le confiere la propiedad de que se hidrolice más lentamente en NH_3 y CO_2 que la urea en el rumen, evitando así la acumulación tóxica de NH_3 en el plasma sanguíneo, por lo que se puede llegar a utilizar en grandes cantidades e inclusive mayores a los requerimientos del animal (Oltjen et al., 1968; Fonnesebeck et al., 1975), además, Tiwari et al. (1973), sugieren que al menos una parte del biuret es degradado a través de urea, como un producto intermedio de la degradación de biuret dentro del rumen, la urea es posteriormente hidrolizada por la ureasa en amoníaco ruminal y CO_2 .

Un estudio en corderos alimentados con dietas que contenían urea, biuret y su combinación (como fuente de NNP), observaron un menor consumo de alimento en los animales del tratamiento de la combinación, resultado que apoya la hipótesis de que una mezcla de urea (libera rápidamente el nitrógeno) con biuret (el N no es tan soluble) podría ser una mejor fuente de NNP para los rumiantes, que el uso de urea o biuret por separado (Hatfield et al., 1959), esto concuerda con los datos obtenidos por Chicco et al. (1971), donde de igual manera realizaron un experimento con novillos pardo suizo x criollo alimentados a libre acceso con pasto elefante (*Pennisetum purpureum* con) más 1 kg del mismo concentrado, donde los tratamientos fueron: dieta basal con 120 g de biuret (B), dieta basal con 100 g de urea (U) y dieta basal (C), donde no observaron diferencia estadística entre los tratamientos B, U y C en GDP (335, 284, 244 g) y consumo (7.5, 7.4 y 7.4 kg) en base seca.

Para conocer los cambios en los niveles de NH_3 ruminal Johnson y Clemens (1973) alimentaron borregos con pasto bermuda grass (*Cynodon dactylon*) más suplemento en 4 tratamientos: harina de semilla de algodón (CSM), urea más CSM (U+CSM), biuret (B) y biuret más maíz molido (B+GC), donde midieron los niveles de NH_3 ruminal en los días 0, 4 y 87 de iniciar la suplementación, (figura 4) en los tratamientos CSM y U+CSM no se observó diferencia estadísticas ($P>0.05$) entre los días 4 y 87, pero sí hubo diferencia significativa ($P<0.05$) en un periodo de 8 horas pos- suplementación en ambos tiempos, el tratamiento B mostró diferencia significativa ($P<0.05$) en la concentración de NH_3 en rumen pos-alimentación en el día 87 con respecto al día 4, esto sugiere una evidencia positiva que ha alcanzado la población microbiana al hidrolizar el biuret a NH_3 después de un tiempo de adaptación, un patrón similar pero no significativo se observaron en B+GC, algunos datos indican que alrededor del 35 % del biuret proporcionado no se degrada en rumen o ciego y escapa de la absorción del intestino para excretarse en heces, aunque en ovejas observaron que el 10 a 14 % del biuret alimentado por día se excreta en la heces (Tiwari et al., 1973), en otro experimento en bovinos alimentados por 120 días Chicco, et al. (1971), observaron diferencia estadística ($P<0.01$) en la concentración de amoníaco ruminal (mg/100 ml, a 2 horas pos-alimentación) entre los tratamientos: (B) dieta basal con 120 g de biuret (24.1), (U) dieta basal con 100 g de urea (60.0) y (C) dieta basal (10.7), lo que refleja una mayor solubilidad de la urea respecto al biuret, por otra parte, la producción de ácidos grasos volátiles totales fue mayor ($P<0.01$) para el tratamiento U (126.4 mM/L) que el tratamiento B (118.4 mM/L) y C (119.3

mM/L), pero sin mostrar diferencia ($P>0.01$) entre los dos últimos, esto se debe a que fue mayor ($P<0.01$) la concentración de ácido acético en el tratamiento U (83.4 mM/L, 66 %) con respecto al C (76.1 mM/L, 63.8 %) y tratamiento B (75.8 mM/L, 64 %), lo que sugiere un aumento en la actividad celulolítica.

Sin embargo, el Biuret nunca llegó a tener importancia comercial ya que presentaba como inconvenientes el requerir un largo período de adaptación para que la microflora ruminal fuera capaz de degradarlo (Oltjen et al., 1968).

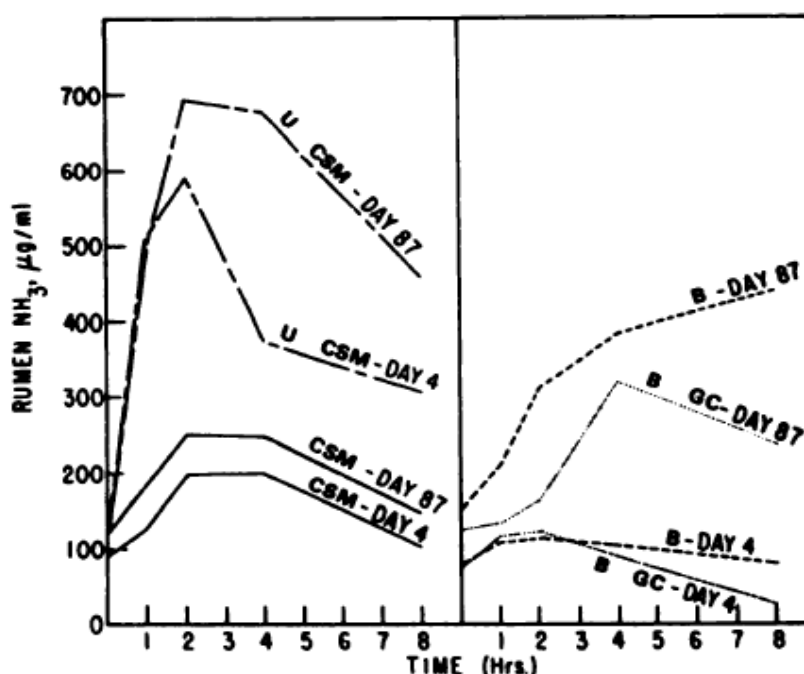


Figura 4. Concentración de amoníaco en rumen de ovejas después de alimentarlos en los días 4 y 87 en un periodo de 8 horas.

Harina de semilla de algodón (CSM), urea más CSM (U+GSM), biuret (B), Biuret más maíz molido (B+GC)

Johnson y Clemens, 1973

Optigen: El optigen® es una fuente de NNP cubierta con una película lipídica biodegradable que tiene la propiedad de liberarse gradualmente en

rumen, (Alltech, 2012a), contiene 41 % de nitrógeno con una tasa de liberación semejante a la harina de soya, que de acuerdo con técnicas In-Situ el 25 % de la proteína contenida en Optigen es soluble durante su primera hora en el rumen, el otro 75 % en las 14 horas posteriores (Alltech, 2012b).

El desarrollo de la protección efectiva de la urea con extractos vegetales permitió el desarrollo de Optigen, siendo ésta una fuente de liberación lenta de NNP en el rumen, dicha acción es avalada por Harrison et al. (2007a), en donde utilizaron rumen artificial para alimentar 104 cultivos en dos grupos: en el primer grupo la dieta tenía como fuente de proteína natural (PN) de los mismos insumos y el segundo grupo la dieta contenían como fuente de nitrógeno el Optigen® (O), donde encontraron mayor concentración ($P < 0.05$) de AGV en los cultivos PN (75.6 vs 69.1 mM) que los cultivos alimentados con Optigen, la digestión aparente y verdadera en materia seca no se vieron afectados por la dietas, los cultivos que recibieron Optigen® tuvieron mayor ($P < 0.05$) degradabilidad de proteína (65.3 vs 63.5 % PC) y menor ($P > 0.05$) nitrógeno no degradable (0.239 vs 0.228 g/d) que los cultivos alimentados con proteína natural, el rendimiento (0.323 vs 0.324 g) y eficiencia (23.3 vs 23.3 g de N bacteriano/kg de MS diferido realmente) de nitrógeno bacteriano no fueron alterados ($P > 0.10$) por el tipo de dieta en los cultivos, por lo que llegaron a la conclusión que el Optigen® puede reemplazar hasta el 9.8 % de N en la dieta sin efectos negativos en la fermentación, digestión y partición de nitrógeno.

Harrison et al. (2007b), alimentaron cultivos en rumen artificial con 50 % de forraje en las dietas (silo de maíz y heno de alfalfa), con la adición de DDG en 0 % (DDG0), 20 % (DDG20) y dos niveles de Optigen a 0 y 0.55 % en base

materia seca, el NNP del Optigen sustituye el 7.6 % del N de la dieta, encontraron que el pH, el amoníaco y digestión fueron similares ($P>0.10$) entre los cultivos de proteína natural y los cultivos de Optigen, también se observó mayor degradabilidad ($P<0.10$) de proteína (67.6 vs 64.0) en los cultivos con Optigen® que los cultivos de proteína natural, el rendimiento de N bacteriano (0.359 vs 0.352 g) no se vieron afectados ($P>0.10$) por la fuente de proteína. Los cultivos alimentados con la dieta DDG20 tenía menores ($P>0.01$) concentraciones de amoníaco (3.29 vs 5.25 mg/dL) y menor ($P>0.01$) digestibilidad verdadera en base seca (61.1 vs 63.4 %), además degradaron menos ($P>0.01$) proteína (62.8 vs 68.8 % de PC) y produjeron menos ($P>0.05$) N bacteriano (0.249 vs 0.362 g/d), pero fueron más ($P<0.01$) eficientes (36.9 vs 35.1 g N bacteriano/kg de carbohidrato fermentable) que los cultivos alimentados con DDG0.

Para conocer la concentración de amoníaco en plasma se realizó una prueba utilizando 4 novillos canulados en el rumen, alimentados por 22 días en adaptación y tres días de recolección de muestras de sangre y contenido ruminal, para evaluar la liberación de N en la urea y Optigen® adicionado intraruminal, encontrando concentraciones de amoníaco ruminal (mg/dL) menores ($P<0.05$) en los novillos que recibieron Optigen® vs los de urea, a la segunda (16.3 vs 28.4) y (1.9 vs 9.3) cuarta hora respectivamente (García-Gonzales et al., 2007), que son similares a los reportados por Taylor-Edwards et al. (2009), donde la concentración de amoníaco ruminal (figura 5) de la urea (12.9 mM) fue mayor ($P=0.01$) a partir de la 0.5 horas pos-alimentación en comparación con la urea de liberación lenta (3.6 mM), este último no mostró

diferencia en las concentraciones de amoníaco ruminal (tratamiento x tiempo $P=0.001$).

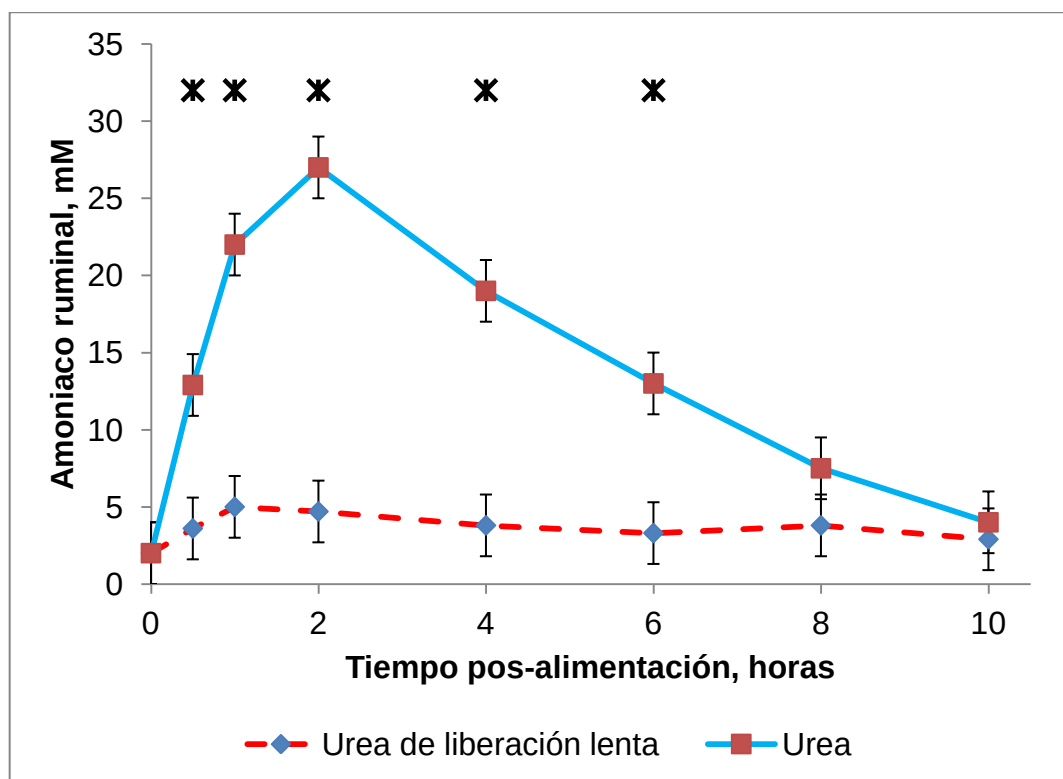


Figura 5 Efecto de la adición intraruminal de urea y urea de liberación lenta en las concentraciones de amoníaco ruminal en novillos

* Indica diferencia de tratamientos ($P < 0.05$)

Taylor-Edwards et al., 2009

En un estudio realizado con novillos canulados donde los tratamientos fueron la adición de Optigen (0.12 g/kg de peso corporal) y urea (0.11 g/kg de peso corporal), observaron que el tratamiento urea tuvo concentraciones altas de amoníaco en plasma a las 2 horas pos-administración (0.216 mM), mientras el tratamiento Optigen® mantuvo constante (0.069 mM promedio) el amoníaco en plasma durante el periodo de 8 horas (García-González et al., 2007), muy

similares a los observados por Taylor-Edwards et al. (2009) en un experimento (cuadro 2) con los tratamientos urea de liberación lenta (ULL) y urea, donde fue 75 % menos la concentración de amoníaco en el tratamiento ULL vs urea (0.056 vs 0.226 mM $P=0.009$), además estos mismos investigadores, observaron en un primer experimento concentraciones de urea arterial menor en un 32 % en el tratamiento ULL en comparación con la urea (2.15 vs 3.18 mM $P=0.004$), similares al segundo experimento donde observaron 29 % menos de urea arterial en el tratamiento ULL vs Urea (3.080 vs 4.360 $P=0.03$). Entonces, optigen promueve una mayor producción constante de nitrógeno en forma de $N-NH_3$ en rumen, proporcionado así una mayor estabilidad del pH ruminal durante un periodo de 24 horas (García, et al. 2009).

Tedeschi et al. (2002), realizaron dos experimentos en comportamiento: donde utilizaron 40 novillos Angus con un peso inicial de 272 ± 4 kg asignados a los siguientes tratamientos: dieta testigo deficiente en fuente de nitrógeno (C), dieta con 50 % de urea (U_{50}), dieta con el 50 % de Optigen 1200® (O_{50}), dieta con el 25 % de Urea y 25 % de Optigen 1200® ($U_{25}O_{25}$), dieta con 100 % de urea (U_{100}) y dieta con el 100 % de Optigen 1200® (O_{100}). En la fase de crecimiento no se observó diferencia ($P>0.05$) en la ganancia diaria de peso entre U_{100} y O_{100} (1088 y 984 g/d), U_{50} y $U_{25}O_{25}$ (852, 805 g/d), O_{50} y $U_{25}O_{25}$ (674, 805 g/d), pero fue mejor la ganancia diaria de peso ($P<0.05$) de U_{100} y O_{100} respecto los demás tratamientos, estos mismo resultados se corroboran con la conversión alimenticia en donde no existe diferencia ($P>0.05$) entre los tratamientos U_{100} y O_{100} (6.2, 6.6) pero son mejores con respecto a los tratamientos C, U_{50} , O_{50} , y $U_{25}O_{25}$ (13.4, 7.5, 9.0 y 8.2 respectivamente), en la

fase de finalización en la GDP se observó diferencia ($P < 0.05$) entre C y U_{100} (1357 y 1638 g/d) pero en estos dos tratamientos no se observó diferencia ($P > 0.05$) con respecto a U_{50} , O_{50} , $U_{25}O_{25}$ y O_{100} (1449, 1465, 1382 y 1483 g/d), el consumo en base seca no tuvo diferencia entre los tratamientos y con respecto a la conversión alimenticia siguió el mismo patrón que la ganancia diaria de peso. Con respecto al segundo experimento, se utilizaron 120 novillos Angus con un peso inicial de 242 ± 7 kg para los tratamientos: 100 % urea ($U_{100}O_0$), 66 % de urea y 34 % de Optigen 1200® ($U_{66}O_{34}$), 34 % de urea y 66 % de Optigen 1200® ($U_{34}O_{66}$) y 100 % Optigen 1200® (U_0O_{100}), en la fase de crecimiento no se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos en la ganancia diaria de peso (1149, 1101, 1147, 1087 g/d) y la conversión alimenticia (5.93, 6.06, 5.89, 6.11) respectivamente, en la fase de finalización en la GDP se observó diferencia ($P < 0.05$) entre los tratamientos $U_{100}O_0$ y U_0O_{100} (1651 y 1419 g/d) pero estos fueron similares ($P > 0.05$) con respecto a $U_{66}O_{34}$ y $U_{34}O_{66}$ (1520 y 1512 g/d) y en la conversión alimenticia no se observaron diferencias entre los tratamientos.

En otra prueba donde utilizaron 60 novillos de cruce Angus con 5/8 Angus x 3/8 Nellore con tres tratamientos: tratamiento 1 ($U_{1.2}$) contienen 1.2 % de NNP en forma de urea, tratamiento 2 ($OP_{1.3}$) contiene 1.3 % de NNP en forma de Optigen II y el tratamiento 3 ($OP_{3.1}$) contiene 3.1 % de NNP en forma de Optigen II, en donde no se observaron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) en los tres periodos (cuadro 3) en las variables peso vivo inicial, peso vivo final y ganancia diaria de peso, en el primer periodo en conversión alimenticia se observó diferencia estadística ($P < 0.05$) entre los tratamientos $OP_{3.1}$ y $U_{1.2}$ pero

ambos fueron similares ($P>0.05$) al tratamiento $OP_{1.3}$. Para el caso del segundo periodo se observó el mismo patrón de diferencia estadística entre los tratamientos del factor conversión alimenticia, sin embargo en el tercer periodo no se observó diferencia estadística ($P>0.05$) entre los tratamientos para ésta misma variable, lo que se puede decir que hay una mejor conversión alimenticia en el tratamiento $OP_{3.1}$ respecto al tratamiento $U_{1.2}$ en los animales con un peso de 344 kg a 431 kg (Bourg et al., 2012).

Galo et al. (2003), evaluaron Optigen 1200® en vacas lecheras Holstein con 3 periodos de 19 días, de los cuales 14 días fueron de adaptación y 5 días de recolección de muestras, la dieta de los tres grupos de vacas lecheras contenían 17.9 % (CP179-CU), 18.1 % (CP18+CU), 16.4 % (CP16+CU) de proteína cruda y la relación urea-Optigen 1200® 0.3-0 %, 0.13-0.77 % y 0.09-0.77% (base materia seca) respectivamente, donde observaron que la inclusión de Optigen 1200® en los tratamientos CP179-CU, CP18+CU y CP16+CU no tuvo diferencia significativa ($P>0.05$) en el consumo de materia seca (23.6 kg/d, 23.6 kg/d y 23.1 kg/d), cantidad de grasa en la leche (3.8 %, 3.6 % y 3.8 %) y con respecto a la producción de leche se observó diferencia significativa ($P<0.05$) entre CP179-CU (35.6 kg/d) y CP16+CU (33.8 kg/d), pero no difieren con respecto al tratamiento CP18+CU (34.8 kg/d), observando así una producción de leche del 5 % mayor en el tratamiento sin optigen 1200® CP179-CU respecto a CP16+CU que contiene 0.77 % de optigen, sin embargo, la producción de leche/proteína consumida (kg/kg) fue mayor ($P<0.05$) para CP16+CU (8.8) con respecto a los tratamientos CP179-CU (8.4) y CP18+CU (8.2), sin observar diferencia ($P>0.05$) entre los dos últimos tratamientos.

Cuadro 2 . Efecto de la dosis intraruminal del grado de alimentación de urea y urea de liberación lenta en las concentraciones (mM) de metabolitos arteriales en novillos

Concepto	Experimento 1					Experimento 2				
	Tratamiento			valor de P		Tratamiento			Valor de P	
	Urea	ULL ¹	EEM ²	³ trt	trt x tiempo	urea	ULL ¹	EEM ³	trt	trt x tiempo
Urea	3.180	2.150	0.160	0.004	<0.001	4.360	3.080	0.320	0.03	0.007
Amoniaco	0.226	0.056	0.032	0.009	<0.001	0.259	0.231	0.058	0.41	0.51
Glutamato	0.099	0.128	0.013	0.170	0.10	0.092	0.106	0.008	0.10	0.92
Glutamina	0.230	0.227	0.014	0.900	0.48	0.205	0.172	0.014	0.01	0.13
O ₂	---	---	---	---	---	5.670	5.450	0.160	0.27	0.45
Glucosa	4.730	4.340	0.200	0.220	0.14	4.600	4.680	0.240	0.70	0.43
Lactato	0.750	0.540	0.050	0.030	0.76	0.710	0.780	0.070	0.27	0.83
B-Hidroxibutirato	---	---	---	---	---	0.620	0.550	0.060	0.17	0.43

¹Urea de liberación lenta ULL, ²Error estándar de la media EEM, ³tratamiento trt,

La concentración de oxígeno se determinó en muestras de sangre entera y los otros metabolitos se determinaron en muestras de plasma.

Taylor-Edwards et al., 2009

Cuadro 3 Efecto de la adición de urea y optigen II en las raciones a base de maíz roado en rendimiento, consumo y eficiencia en novillos de carne

concepto	periodo 1, 0 a 35 días					periodo 2, 0 a 70 días					periodo 3, 0 a 105 días				
	U ^{1.2}	OP ^{1.3}	OP ^{3.1}	SEM ³	Valor P	U ^{1.2}	OP ^{1.3}	OP ^{3.1}	SEM ³	Valor P	U ^{1.2}	OP ^{1.3}	OP ^{3.1}	SEM ³	Valor P
PVI											357	359	344	13.9	0.74
PVF, kg	388	390	390	1.56	0.59	425	430	431	2.97	0.37	482	489	489	6.22	0.81
GDP	1.19	1.29	1.31	0.06	0.29	1.31	1.38	1.44	0.08	0.52	1.18	1.23	1.24	0.06	0.72
CMS	7.85	7.75	7.49	0.23	0.53	8.13	8.17	7.49	0.23	0.73	8.24	8.18	7.95	0.17	0.11
F:G	7.39 ^{ax}	6.09 ^{aby}	5.76 ^b	0.47	0.06	6.57 ^a	5.97 ^{ab}	5.58 ^b	0.29	0.05	7.14	6.9	6.51	0.3	0.35

U^{1.2} =1.2 % Urea, OP^{1.3}= 1.3 % Optigen II, OP^{3.1} =3.1 % Optigen II, PVI= peso vivo inicial, PVF= peso vivo final, GDP= ganancia diaria de peso, CMS = consumo materia seca

^{ab} letras diferentes existe diferencia significativa (P<0.05)

^{xy} letras diferentes existe diferencia significativa (P<0.10)

Bourg et al., 2012

Sincronización de CHOS:FAD

Las diferentes fuentes de proteína degradable en rumen producen N-NH₃, péptidos y aminoácidos para el crecimiento microbiano y síntesis de proteína microbiana, los cuales están influenciados por factores como pH, tasa de pasaje, digestibilidad y consumo, por lo tanto, para la optimización de la síntesis de proteína microbiana tanto el nitrógeno como los carbohidratos son requeridos por las bacterias del rumen, entonces sincronizando el nitrógeno disponible y la energía para las bacterias ruminales se puede mejorar la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana (Harrison and Karnezos, 2005), sin embargo, debido a la rápida hidrólisis de la urea en rumen, puede ocurrir asincronía entre el nitrógeno con la energía disponible del forraje que se libera lentamente durante la degradación por las bacterias ruminales y afectar el crecimiento microbiano y síntesis de proteína microbiana (Löest et al., 2001).

En estudios en los cuales el ganado consumió dietas altas en maíz (>68 %) y bajas en forrajes (<12 %) caracterizadas por contener una proporción mayor a 4.5 de CHOS solubles: FAD (g de CHOS solubles/g de FAD), se han observado beneficios en la digestión de nutrimentos y el comportamiento de crecimiento con la adición de urea por encima de los requerimientos teóricos para optimizar la síntesis de proteína microbiana (Milton et al., 1997; Zinn et al., 2003), lo anterior puede deberse, por un lado a que en dietas con una alta cantidad de cereales (>68 %) favorece una sincronía óptima entre la velocidad de formación de amoníaco y la velocidad de hidrólisis del almidón, mecanismos importantes en la retención del N formado (Orskov, 1992); y por otro, al efecto alcalinizante del amoníaco que se produce en exceso y que favorece un mejor

medio para el funcionamiento de la microbiota ruminal, resultando en incrementos en la digestión de la MO y de la FDN, traduciéndose así, en una mejora en el NDT y por lo tanto en el valor de la energía de la dieta (Griswold et al., 2003). Sin embargo, ambas condiciones se tornan difíciles de alcanzar cuando se consumen dietas de finalización que no incluyen cereales (contenido de almidón total= 68 a 72 %) como única fuente de energía, sustituyéndolas por subproductos como los DDGS.

López-Soto et al. (2014), realizaron una prueba de digestión donde usaron 4 novillos canulados con 4 tratamientos: U4.5, 2.14 Mcal/kg EN_m con un ratio A:FAD 4.5:1 que contiene 0.8 % de urea convencional; OPT6, 2.14 Mcal/kg EN_m con un ratio A:FAD 6.0:1 que contiene 0.8 % de urea convencional más 1 % de Optigen 1200® (OPT); OPT4.5, con 2.07 Mcal/kg EN_m con un ratio A:FAD 4.5:1 que contiene 0.8 % de urea convencional más 1 % de Optigen 1200® y OPT3, 2.00 Mcal/kg EN_m con un ratio A:FAD 3.0:1 que contiene 0.8 % de urea convencional más 1 % de Optigen 1200®, reportan que el flujo de nitrógeno microbiano (efecto cuadrático $p<0.01$) a intestino delgado y la eficiencia de nitrógeno microbiano ($p=0.03$) fueron mayores para la relación A:FAD 4.5 dentro de los tratamientos de Optigen, en comparación de los tratamientos A:FAD U4.5 vs OPT4.5 se observó mejores resultados para OPT4.5 en flujo de nitrógeno microbiano ($p<0.01$) y eficiencia microbiana ($p=0.02$), que podría explicarse la mejora en la sincronía de A:FAD en la combinación de dos fuentes de NNP; urea y Optigen.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, como resultado del incremento en el precio de los cereales, éstos se están sustituyendo hasta en un 40 a 50 % por otros ingredientes tales como los DDGS, los cuales contienen una mayor cantidad de proteína (28-30 % PC total) y grasa (9-12 % de grasa total), aunque aportan un valor energético similar (2.38 Mcal/kg de EN_m; NRC, 1996) al del maíz, contienen una menor cantidad de CHOS solubles (5-8 % de almidón total; Uwituze et al., 2010). Adicionalmente, como consecuencia de su diferente composición química, la inclusión de los DDGS a la ración conlleva, la mayoría de las veces, al aumento de la participación de forrajes en las raciones de finalización, de tal forma que estas nuevas estrategias de formulación se caracterizan por poseer una fracción soluble de rápida tasa de degradación ruminal (carbohidratos solubles) menor y una mayor fracción de lenta degradación ruminal compuesta por la FAD la cual puede llegar a representar el 8-13 % de la composición de la dieta, por lo tanto, la relación A:FAD de la dieta se puede ver reducida considerablemente.

HIPÓTESIS

La combinación de urea con urea de liberación lenta en dietas de finalización debe tener una mejor sincronía entre el almidón (de alta velocidad de digestión) y fibra (de baja velocidad de digestión)

OBJETIVO GENERAL

Conocer los efectos de la suplementación de urea y urea de liberación lenta en dietas de finalización con una relación A:FAD de 4.5 vs suplementación de urea en dietas con diferente relación de A:FAD (3.5, 4.5 y 5.5).

Para ello se evaluará la dinámica digestiva del N alimenticio y microbiano, de la misma manera se evaluará el sitio y tasa de digestión de la MO, almidón, FDA y de la EB.

Con estas variables es posible determinar el efecto de los tratamientos planteados sobre la retención de N, la eficiencia de la utilización de nutrimentos y los cambios de energía digestible de la dieta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar las características de la canal de los cuatro tratamientos.

Conocer el desempeño del crecimiento de la finalización durante los últimos 70 días.

Comparación energética de la dieta Optigen/urea vs urea convencional; una similar (proporción A:FAD de 4.5), otra mayor (proporción A:FDA de 5.5) y otra de menor energía(proporción A:FDA de 3.5).

LITERATURA CONSULTADA

- Alltech, 2012a. Optigen® - langsam verfügbarer futterharnstoff. Emrovit für die gesundheit Ihrer tiere. Alltech Animal Nutrition and Health. Disponible en: <http://www.emrovit.ch/produktdetail.php?id=44&type=1> Accesado: 27 de septiembre de 2012.
- Alltech, 2012b. Optigen®, Fuente superior de nitrógeno para rumiantes. Alltech® Animal Nutrition and Health. Provimi shaping tomorrows s nutrition. Disponible en: http://www.alimental.com/uploadsarchivos/optigen_alltech.pdf. Accesado 27 de Septiembre de 2012.
- Bach, A., S. Calsamiglia and M. D. Stern. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 88 (suppl.): E9-E21.
- Bartley, E. E. and C. W. Deyoe. 1972. Feed product containing nonprotein nitrogen compounds and method for producing same. Patent Publication number US 3642489 A. Consultado 10 de mayo 2014. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US3642489.pdf>.
- Bourg, B. M., L. O. Tedeschi, T. A. Wickersham and J. M. Tricarico. 2012. Effects of a slow-release urea product on performance, carcass characteristics, and nitrogen balance of steers fed steam-flaked corn. J. Anim. Sci. 90: 3914-3923.

- Brock, F. M., C. W. Forsberg and J. G. Buchanan-Smith. 1982. Proteolytic activity of rumen microorganisms and effects of proteinase inhibitors. *Appl. Environ. Microbiol.* 44 (3): 561-569.
- Broderick, G. A. 2006. Improving nitrogen utilization in the rumen of the lactating dairy cow. In: Florida Ruminant Nutrition Symposium, February 1–2, 2006, Best Western Gateway Grand, Gainesville, FL, USA. Available at <http://dairy.ifas.ufl.edu/rns/2006/Broderick.pdf>.
- Bunting, L. D., J. A. Boling and C. T. Mackown. 1989a. Effect of dietary protein level on nitrogen metabolism in the growing bovine: I. Nitrogen recycling and intestinal protein supply in calves. *J. Anim. Sci.* 67: 810-819.
- Bunting, L. D., J. A. Boling, C. T. MacKown, and G. M. Davenport. 1989b. Effect of dietary protein level on nitrogen metabolism in the growing bovine: II. Diffusion into and utilization of endogenous urea nitrogen in the rumen. *J. Anim. Sci.* 67: 820-826.
- Burroughs, W., K. D. Nelson, and D. R. Mertens. 1975. Protein physiology and its applications in the lactating cow: The metabolizable protein feeding standard. *J. Anim. Sci.* 41:933-944.
- Chalmers, M. I., A. E. Jaffray and F. White. 1971. Movements of ammonia following intraruminal administration of urea or casein. *Proc. Nutr. Soc.* 30: 7-17.
- Chicco, C. F., T. A. Shultz, A. A. Carnevali, L. Oropeza and C. B. Ammerman. 1971. Biuret and urea in supplements for bovines fed green chop elephant grass. *J. Anim. Sci.* 33, 1: 133-136.

- Fonnesbeck, P. V., L. C. Kearl and L. E. Harris. 1975. Feed grade biuret as a protein replacement for ruminants a review. *J. Anim. Sci.* 40:1150-1184.
- Galo, E., S. M. Emanuele, C. J. Sniffen, J. H. White y J. R. Knapp. 2003. Effects of a Polymer-coated urea product on nitrogen metabolism in lactating holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86: 2154-2162.
- García, P. A. A., R. Nassar, G. Fleury, L. Oliveira, e E. Reuter. 2009. Ureia polímero e ureia pecuária como fontes de nitrogênio solúvel no rúmen: parâmetros ruminal e plasmático. *Ciência Animal Brasileira*. Vol. 10. Nº 1 Jan./Mar.
- García-Gonzales, R., J. M. Tricarico, G. A. Harrison, M. D. Meyer, K. R. Mcleod, D. L. Harmon and K. A. Dawson. 2007. Optigen® is a sustained release source of non-protein nitrogen in the rumen. *J. Anim. Sci.* 85, (suppl. 1): 98.
- Greenquist, M. A., A. K. Schwarz, T. J. Klopfenstein, W. H. Schacht, G. E. Erickson, K. J. Vander pol, M. K. Luebke, K. R. Brink and L. B. Baleseng. 2011. Effects of nitrogen fertilization and dried distillers grains supplementation: Nitrogen use efficiency. *J. Anim. Sci.* 89: 1146-1152.
- Griswold, K. E., G. A. Apgar, J. Bouton y J. L. Firkins. 2003. Effects of urea infusion and ruminal degradable protein concentration on microbial growth, digestibility and fermentation in continuous culture. *J. Anim. Sci.* 83: 329-336.
- Harrison, G. A. and T. P. Karnezos. 2005. Can we improve the efficiency of nitrogen utilization in the lactating dairy cow In: *Recent Advances in*

- Animal Nutrition in Australia. School of Rural Science and Agriculture, University of New England. 15: 146-154.
- Harrison, G. A., J. M. Tricarico, M. D. Meyer and K. A. Dawson. 2007a. Effects of Optigen® on fermentation, digestión and N partitioning in rumen-simulating fermenters. J. Anim. Sci. 85 (suppl.1): 98.
- Harrison, G. A., J. M. Tricarico, M. D. Meyer and K. A. Dawson. 2007b. Effects of Optigen® on fermentation, digestión and N partitioning in rumen-simulating fermenters fed diets with distillers dried grains. J. Anim. Sci. 85 (suppl.1): 349.
- Hatfield, E. E., U. S. Garrigus, R. M. Forbes, A. L. Nuemann and W. Gaither. 1959. Biuret- a source of NPN for ruminants. J. Anim. Sci. 18: 1208-1219
- Hristov, A. and G. A. Broderick. 1994. In vitro determination of ruminal degradability using (15N) ammonia to correct for microbial nitrogen uptake. J. Anim. Sci. 72: 1344-1354.
- Huntington, G. B. and S. L. Archibeque. 2000. Practical aspects of urea and ammonia metabolism in ruminants. J. Anim. Sci. 77 (suppl. 1): 1-11.
- IPNI. 2012a. Coated fertilizer. International plant nutrition institute. Nutrient source specifics. N° 20, ref. N° 11044. Available at: [http://www.ipni.net/publication/nss.nsf/0/33C6A283CC38EE26852579AF007682E3/\\$FILE/NSS-20%20Coated%20Fertilizer.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss.nsf/0/33C6A283CC38EE26852579AF007682E3/$FILE/NSS-20%20Coated%20Fertilizer.pdf) Accesado el 10 de Octubre del 2012.
- IPNI. 2012b. Urea. International plant nutrition institute. Nutrient source specifics. N° 1, ref. N° 10061. Available at: <http://www.ipni.net/publication/nss.nsf/0/B3789D0EA4F386A5852579AF0>

[07630EA/\\$FILE/NSS-10%20Ammonia.pdf](#) Accesado el 10 de Octubre de 2012.

Johnson, R. R. and E. T. Clemens. 1973. Adaptation of rumen microorganisms to biuret as an NPN supement to low quality roughage rations for cattle and sheep. J. Nutr. 103: 494-502.

Kennedy, P. M. and L. P. Milligan. 1980. The degradation and utilization of endogenous urea in the gastrointestinal tract of ruminants: a review. Can. J. Anim. Sci. 60: 205-221.

Lapierre, H. and G. E. Lobley. 2001. Nitrogen recycling in the ruminant: a review. J. Dairy Sci. 84 (Suppl.): E223-E236.

Löest, C. A., E. C. Titgemeyer, J. S. Drouillard, B. D. Lambert and A. M. Trater. 2001. Urea and biuret as nonprotein nitrogen sources in cooked molasses blocks for steers fed prairie hay. Anim Feed Sci. Technol. 94: 115-126.

López-Soto, M. A., C. R. Rivera-Méndez, J. A. Aguilar-Hernández, A. Barreras, J. F. Calderón-Cortés, A. Plascencia, H. Dávila-Ramos, A. Estrada-Angulo, and Y. S. Valdes-García. 2014. Effects of Combining Feed Grade Urea and a Slow-release Urea Product on Characteristics of Digestion, Microbial Protein Synthesis and Digestible Energy in Steers Fed Diets with Different Starch:ADF Ratios. Asian Australas. J. Anim. Sci. Vol. 27 (2): 187-193.

Manella, M. 2012. Uso de urea de liberación lenta en la alimentación de rumiantes. Altech América latina. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/nutricion/articulos/uso->

urea-liberacion-lenta-t4056/141-p0.htm Accesado el 10 de Septiembre de 2012.

- Marichal, M. de J., A. I. Trujillo, M. H. Guerra, M. Carriquiury y L. Piaggio. 2009. Comparación de las cinéticas de liberación de N-NH₃ *in vitro* y de la degradación ruminal del N de la urea protegida, urea y subproductos agroindustriales. Agrociencia. Vol. XIII. N° 2: 52-59.
- Martinez, A. L. 2009. Slow release urea as substitute for plant protein in diets for ruminants. REDVET 10 (12). ISSN: 1695-7504.
- Mikkelsen, R. L. 2007. Biuret in urea fertilizers. International plant nutrition institute. Better Crops. 91(3): 6-7.
- Milton, C.T., R.T. Brandt Jr., and E.C. Titgemeyer. 1997. Urea in dry rolled corn diets: Finishing steers performance, nutrient digestion and microbial protein production. J. Anim. Sci. 75: 1415-1424.
- Mizwicki, K. L., F. N. Owens, K. Poling and G. Burnett. 1980. Timed ammonia release for steers. J. Anim. Sci. 51: 698-703.
- N.R.C. 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7th Rev. Ed). National Academy of Press. Washington D.C.
- Obara, Y. and K. Shimbayashi. 1980. The appearance of re-cycled urea in the digestive tract of goats during the final third of a once daily feeding of a low-protein ration. Br. J. Nutr. 44: 295-305.
- Oltjen, R. R., L. L. Slyter, A. S. Kozak and E. E. Williams, Jr. 1968. Evaluation of urea. Biuret, urea phosphate and uric acid as NPN sources for cattle. J. Nutrition, 94: 193-202.

- Orskov, E. R. 1992. Protein Nutrition in Ruminants (2nd Edition). Academic Press, San Diego, CA.
- Parker, D. S., M. A. Lomax, C. J. Seal and J. C. Wilton. 1995. Metabolic implications of ammonia production in the ruminant. Proc. Nutr. Soc. 54: 549-563.
- Reynolds, C. K. 1992. Metabolism of nitrogenous compounds by ruminant liver. J. Nutr. 122: 850-854.
- Russell, J. B., and J. L. Rychlik. 2001. Factors that alter rumen microbial ecology. Science 292: 1119–1122.
- Russell, J. B., J. D. O'Connor, D. G. Fox, P. J. Van Soest and C. J. Sniffen. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. J. Anim. Sci. 70: 3551-3561.
- Salter, D. N., K. Daneshvar, and R. H. Smith. 1979. The origin of nitrogen incorporated into compounds in the rumen bacteria of steers given protein and urea-containing diets. Br. J. Nutr. 41: 197-209.
- Sannes, R. A., Messman, M. A., and Vagnoni, D. B. 2002. Form of rumen-degradable carbohydrate and nitrogen on microbial protein synthesis and protein efficiency of dairy cows. J. Dairy Sci. vol. 85 (4): 900-908.
- Sarraseca, A., E. Melne, M. J. Metcalf and G. E. Lobley. 1998. Urea recycling in sheep: effects of intake. Br. J. Nutr. 79: 79-88.
- Satter, L. D. and R. R. Roffler. 1977. Protein requirement and non protein nitrogen utilization. Trop. Anim. Prod. 2 (3): 238-259.

- Schaefer, D. M., C. L. Davis and M. P. Bryant. 1980. Ammonia Saturation constants for predominant species of rumen bacteria. J. Dairy Sci. 63: 1248-1263.
- Shabi, Z., H. Tagari, M. R. Murphy, I. Bruckental, S. J. Mabjeesh, S. Zamwel, K. Celik and A. Arieli. 2000 . Partirioning of amino acids flowing to the abomasum into feed, bacterial, protozoal and endogenous fractions. J. Dairy Sci. 83: 2326-2334.
- Stiles, D. A., E. E. Bartley, R. M. Meyer, C. W. Deyoe and H. B. Pfost. 1970. Effect on expansion-processed mixture of grain and urea (Starea) on rumen metabolism in cattle and on urea toxicity. J. Dairy Sci. 53:1436.
- Stokes, S. R., W. H. Hoover, T. K. Miller and R. Blauweikel. 1991. Ruminál digestión and microbial utilization of diets varying in type of carbohydrate and protein. J. Dairy Sci. 74(3): 871-881.
- Storm, E. and E. R. Orskov. 1983. The nutritive value of rumen microorganisms in ruminants. 1. Large-scale isolation and chemical composition of rumen microorganisms. Br. J. Nutr. 50: 463-470.
- Strangel, H. J. 1963. Urea and Non-Protein Nitrogen in Ruminants Nutrition. Allied Chemical Corp. New York, NY.
- Taylor-Edwards, C. C., N. A. Elam, S. E. Kitts, K. R. Mcleod, D. E. Axe. E. S. Vanzant, N. B. Kritensen and D. L. Harmon. 2009. Influence of slow-release urea on nitrogen balance and portal-drained visceral nutrient flux in beef steers. J. Anim. Sci. 87: 209-221.

- Tedeschi, L. O., M. J. Baker, D. J. Ketchen and D. G. Fox. 2002. Performance of growing and finishing cattle supplemented with a slow-release urea product and urea. *Can. J. Anim. Sci.* 82: 567-573.
- Thompson, L. H., M. B. Wise, R. W. Harvey and E. R. Barrick. 1972. Starea, urea and sulfur in beef cattle rations. *J. Anim. Sci.* 35: 474-480.
- Tiwari, A. D., F. N. Owens and U. S. Garrigus. 1973. Metabolic pathway of biuret degradation and formation of a biuret-complex in the rumen. *J. Anim. Sci.* 37 (6): 1390-1395.
- Uwituze, S., G. L. Parsons, M. K. Shelor, B. E. Depenbusch, K. K. Karges, M. L. Gibson, C. D. Reinhardt, J. J. Higgins, and J. S. Drouillard. 2010. Evaluation of dried distillers grains and roughage source in steam-flaked corn finishing diets. *J. Anim. Sci.* 88:258-274.
- Van, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press. Second edition. Printed in the United States of America.
- Wallace, R. J. 1996. Ruminal microbial metabolism of peptides and amino acids. *J. Nutr.* 126: 1326S-1334S.
- Whittier, J. C. 2006. Urea and NPN for cattle and sheep. Colorado state University, U. S. Department of agricultura and colorado ocunties cooperating. N° 1.608.
- Williams, A. G., and S. E. Withers. 1991. Effect of ciliate protozoa on the activity of polysaccharide-degrading enzymes and fibre breakdown in the rumen ecosystem. *Appl. Bacteriol.* 70 (2): 144–155.

Zinn, R. A., R. Barajas, M. Montano and R. A. Ware. 2003. Influence of dietary urea level on digestive function and growth performance of cattle fed steam-flaked barley-based finishing diets. *J. Anim. Sci.*81:2383-2389.

**Effects of a combining feed grade urea and a slow-release
product on performance, dietary energetics and carcass characteristics
of steers fed finishing diets**

M. A. López-Soto^a, J.A. Aguilar-Hernández^a, H. Dávila-Ramos^b, A. Estrada-Angulo^b,
F.G. Ríos^b, J.D. Urías-Estrada^a, A. Barreras^a, J.F. Calderón^a and A. Plascencia^{a*}

^a *Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California. Km 4.5 carretera Mexicali-San Felipe, CP 21386, Mexicali, Baja California, México,* ^b*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. San Ángel s/n; Fraccionamiento San Benito 80246, Culiacán, Sinaloa, México.*

***Artículo enviado al Journal of Applied Animal Research (Status: en segunda
revisión)***

* Corresponding author: Email: aplas_99@yahoo.com

Abstract

Recent findings have shown that microbial nitrogen flow and digestible energy of diet are increased when urea (U) is combined with a slow-release urea product (SRU) in diets with a starch:acid detergent fibre (S:ADF) ratio of 4.5, while feed grade urea has shown greater effects on growth performance or dietary energy utilisation when the diet contains a S:ADF ratio of greater than 5.0. These results can be partially explained by the better synchronization of ruminal degradation rates between those urea sources with the carbohydrates of the diets. Therefore, 60 crossbreed steers (372.4 ± 15 kg) were used to evaluate the effects of combining U and SRU in a diet with a S:ADF ratio of 4.5 vs. urea that was supplemented in diets with different S:ADF ratios (3.5, 4.5, and 5.5) on growth performance, dietary energetics, and carcass characteristics. Urea combination did not affect average daily gain (ADG), but reduced dry matter intake (DMI, as % of body weight [BW]) enough to increase feed efficiency (G:F) and dietary net energy (NE). As the S:ADF ratio increased, the DMI, ADG, G:F, and NE of diet increased linearly. Irrespective of the S:ADF ratio, urea diets did not modify the observed-to-expected NE ratio nor the apparent retention per unit DMI, while urea combination increased by 7.2% and 8.4%, respectively, the observed-to-expected dietary ratio and the apparent retention per unit DMI. Urea combination had no effect on carcass characteristics. As the S:ADF ratio increased, carcass weight and LM area were increased linearly. Combining feed grade urea and SRU in diets with a 4.5 starch:fibre ratio resulted in positive effects on the efficiency of utilisation of dietary energetics.

Key words: slow-release urea; finishing diets; steers; Optigen; dietary energetics; growth performance; carcass

1. Introduction

Because of its low cost per unit of N compared with most sources of natural protein, urea (U) is typically the primary source of supplemental N in conventional steam-flaked corn-based finishing feedlot diets (Vasconcelos et al. 2009). Previous reports (Milton et al. 1997; Zinn et al. 2003) have shown that supplemental U has more positive effects on growth performance or dietary energy utilisation when the diet contains a starch:acid detergent fibre (ADF) ratio of greater than 5.0. However, as a result of the cost of grains, the replacement of grains by co-products (i.e., dried distillers grain with solubles) in feedlot diets is a common practice (Klopfenstein et al. 2008). This change produces diets that contain a lower amount of starch and a greater amount of fibre (Carrasco et al. 2013). Thus, the S:ADF ratio in finishing diets can be reduced (i.e., from 5.0 to 3.0). Hypothetically, combining feed grade U with slow-release urea (SRU) in this type of diet should elicit a better synchrony between starch (high rate of digestion) and fibre (low rate of digestion). Recent findings (López-Soto et al. 2013) indicate that the combination of U and SRU when there is a certain proportion (4.5 to 1) of starch:ADF in the diet results in greater improvements in the microbial nitrogen flow and digestible energy of the diet. Because no information is available related to the growth performance and dietary energetics of finishing cattle to verify the findings of Lopez et al. (2014), the aim of this experiment was to examine the effects of the supplementation of U and SRU in a diet with a S:ADF ratio of 4.5 vs. U supplementation in diets with different S:ADF ratios (3.5, 4.5, and 5.5) on growth performance, dietary energetics, and carcass characteristics.

2. Material and Methods

All animal management procedures were conducted within the guidelines of locally-approved techniques for animal use and care (NOM-051-ZOO-1995, NOM-062-ZOO-1995, and NOM-024-ZOO-1995).

2.1 Animal processing, housing, and feeding

Sixty crossbreed yearling steers (live weight average 372.4 ± 15 kg) approximately 20% Zebú breeding with the remainder represented by Hereford, Angus, and Charolais breeds in various proportions, were used to evaluate the treatments effects on characteristics of growth-performance, dietary energetic, and carcass characteristics. The trial was conducted at the Feedlot facilities located in Sinaloa, México (25°33' N and 108°25' W). The site is about 120 m above sea level, and has a tropical climate. The experiment lasted 70 days (November to January). Six weeks before initiation of the experiment steers were vaccinated for bovine rhinotracheitis and parainfluenza 3 (TSV-27, Pfizer Animal Health, México), clostridials (Fortress 7, Pfizer Animal Health, Mexico), and *Pasteurella haemolytica* (One Shot, Pfizer Animal Health, México), and treated for parasites (CYDECTIN® NF, Pfizer Animal Health, México; Trodax, Merial, México). Steers were injected with 1×10^6 IU vitamin A (Vita-Jec A&D "500", Synt-ADE®, Fort Dodge, Animal Health, México) and were implanted with 200 mg of trenbolone acetate and 20 mg of estradiol 17 β (Revalor H®, Intervet, México). Steers were blocked by weight into five blocks and assigned within blocks to 20 pens (3 steers/pen). Pens were 4.00 $\times$ 8.20 m with 19 m² of shade, and were equipped with automatic waterers and fence-line feed bunks (2.37 m in length). Cattle were weighed at the start of experiment, at day 35 and before the steers were harvested (day 73). Based that the better responses on microbial duodenal flows and digestible energy of diet was

observed only when U and SRU was combined at same proportion (0.80% of each) in diets which proportion of starch:ADF is about 4.5 (Lopez et al., 2014) and that previous reports (Milton et al. 1997; Zinn et al. 2003) have shown that supplemental U has more positive effects on growth performance or dietary energy utilisation when the diet contains a starch:acid detergent fibre (ADF) ratio of greater than 5.0, thus, to test our hypothesis, four treatments were formulated as follows. The treatment 1 (SRU) consisted in combining urea and slow-release urea product (Optigen II; a polymer-coated urea, Optigen, Alltech Mexico, Guadalajara, Jalisco). Accordingly to the results obtained by Lopez et al. (2014), the urea combination used was at 0.80% of each one on DM basis and supplemented in a diet with 4.5 S:ADF ratio. The treatments 2, 3 and 4 were formulated by the supplementation of 0.80% of urea solely in diets with 3.5, 4.5 or 5.5 S:ADF ratio. The S:ADF ratio in the diet was manipulated by partially replacing the corn grain by sudangrass hay (Table 1). Diets were prepared at weekly intervals. Daily feed allotments to each pen were adjusted to allow minimal (< 5%) feed refusals in the feed bunk. The amounts of feed offered and of feed refused were weighed daily. Steers were provided fresh feed twice daily at 0800 and 1400 hours. Feed bunks were visually assessed between 0700 and 0730 hours each morning, refusals were collected and weighed and feed intake was determined. Adjustments to, either increase or decrease daily feed delivery, were provided at the afternoon feeding.

2.2 Laboratory analyses

Feed and refusal samples were collected daily for DM analysis, which involved oven drying the samples at 105°C until no further weight loss occurred (method 930.15, AOAC 2000). In addition, Kjeldahl N (method 984.13, AOAC 2000), ADF (Van Soest et al. 1991), and starch (Zinn 1990) were determined in feed samples.

2.3 Calculations

The estimations of expected DMI and dietary energetic were performed based on measures of initial and final shrunk body weight (SBW), assuming that SBW is 96% of full weight (NRC 1996). Average daily gains (ADG) were computed by subtracting the initial BW from the final BW and dividing the result by the number of days on feed. The efficiency of BW gain was computed by dividing ADG by the daily DMI. The estimation of expected DMI was performed based on the observed ADG and SBW according to the following equation: expected DMI, kg/day = (EM/NE_m) + (EG/NE_g), where EM (energy required for maintenance, Mcal/day) = 0.077W^{0.75} (Garrett 1971), EG = ADG^{1.097} × 0.0557W^{0.75} (NRC 1984), NE_m and NE_g are 2.22 and 1.55 Mcal/kg, respectively (derived from tabular values based on the ingredient composition of the experimental diet; NRC 1996). The dietary NE_g was derived from NE_m by the equation: NE_g = 0.877 NE_m - 0.41 (Zinn et al. 2008). Dry matter intake is related to energy requirements and dietary NE_m according to the equation: DMI = EG/(0.877NE_m - 0.41), and can be resolved for estimation of dietary NE by means of the quadratic formula:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c}, \text{ where } x = \text{NE}_m, a = -0.41\text{EM}, b = 0.877 \text{EM} + 0.41 \text{DMI} + \text{EG}, \text{ and } c = -0.877 \text{DMI (Zinn and Shen 1998).}$$

2.3 Carcass data

All steers were harvested on the same day. Hot carcass weights (HCW) were obtained from all heifers at the time of slaughter. After carcasses were chilled in a cooler at -2 °C to 1 °C for 48 h, the following measurements were obtained: 1) LM area, taken by direct grid reading at the 12th rib; 2) subcutaneous fat over the ribeye muscle at the 12th rib taken at a location three-quarters of the lateral length from the chin bone end; 3)

kidney, pelvic and heart fat (KPH) as a percentage of carcass weight, and 4) marbling score (USDA 1997).

2.4 Statistical analyses

Performance (gain, gain efficiency, and dietary energetics) and carcass data were analysed as a randomised complete block design. The experimental unit was the pen. The MIXED procedure of SAS (SAS Institute 2004) was used to analyse the variables. The fixed effect consisted of treatment, and pen as the random component. Three contrasts were defined to answer: i) the effect of urea combination vs. urea at same S:ADF ratio (4.5), ii) linear response of the S:ADF ratio in U treatments, iii) quadratic response of the S:ADF ratio in U treatments. F-test (numerator =1 df, denominator = error df) was utilized to test contrasts. The analysis was carried out using SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC; Version 9.1). Contrasts were considered significant when the *P*-value was ≤ 0.05 , and tendencies were identified when the *P*-value was > 0.05 and ≤ 0.10 .

3. Results and Discussion

3.1 Urea combination effects on growth performance and dietary energy of diet

According to the determinations of starch and ADF obtained in the laboratory, the starch:ADF ratio reached 101, 99, 102, and 101% of the planned for each treatment (Table 1). Treatment effects on growth performance of feedlot steers are shown in Table 2. U combination did not affect ($P=0.96$) average daily gain (ADG), but tended to reduce dry matter intake (DMI; 5.1%, $P=0.06$), and reduced DMI expressed as a percentage of live weight (5.8%, $P=0.02$). In a few studies, the absence of effects on feed intake of the combination of U plus SRU products has been observed previously in steers fed a finishing diet (Tedeschi et al. 2002; Pinos-Rodríguez et al. 2010; Castañeda-

Serrano et al. 2013). However, a tendency for reduction in DMI has been observed in steers fed diets containing 2.25% of a solution of SRU product based on calcium bond urea (Duff et al. 2000). Taylor-Edwards et al. (2009) reported a 4.4% reduction in DMI when 0.8% of Optigen II replaced 0.8% of urea, but these responses were noted only in the last 28 days of the 56 days of the experiment. As mentioned previously (materials and methods section) in the present experiment the DM intake was registered daily and DM intake pattern was consistent lower to urea combination treatment (SRU) throughout experiment. The basis for the inconsistencies in DMI responses to SRU supplementation is not certain, but may be related to the taste of SRU products and/or diet composition.

In the present experiment, the decreases in DMI on SRU+U treatment was enough to increase feed efficiency (G:F) by 14.2% ($P=0.02$) and to increase the dietary net energy (NE) by 7.2%. Duff et al. (2000) reported that the gain-to-feed ratio was improved by 4.4% ($P<0.01$) when 100% of U (1.21% in the diet) and 100% of soybean meal (2.80% in the diet) were replaced by 2.25% of Ruma Pro (a SRU product) plus 1.76% of corn grain. Changes in the productivity and/or energy efficiency of cattle that have been fed diets containing SRU can be explained by improvements in N retention by decreases in ruminal ammonia concentration and increases in microbial flow to the duodenum (Akay et al. 2004; Alvarez-Almora et al. 2011). López-Soto et al.(2013) showed that steers fed a combination of U and SRU (Optigen) in a diet with a S:ADF ratio of 4.5 had higher ($P=0.04$) flows of microbial N and digestible energy of diet than those fed U and those fed U plus SRU in diets with a S:ADF ratio of 3 or 6. They explained that the combination of feed grade U with SRU in diets containing a certain ratio of starch:fibre should promote a better synchrony between starch (high rate of

digestion) and fibre (low rate of digestion). In contrast, other studies (Tedeschi et al. 2002; Pinos-Rodríguez et al. 2010) showed that SRU supplementation to finishing steers did not have positive effects on gain nor feed efficiency. The estimated S:ADF ratio of the experimental diets of studies conducted by Tedeschi et al. (2002) and by Pinos-Rodríguez et al. (2010) was over 5.4; thus, the high S:ADF ratios of the diets used in those studies could be a factor in the absence of effects on the performance and feed efficiency of steers fed a combination of U and SRU.

Compared with the U diets, combining U and SRU at a 4.5 S:ADF ratio increased ($P<0.01$) by an average of 7.2% the observed-to-expected dietary ratio and reduced by 8.4% ($P<0.01$) the apparent retention per unit DMI. This corroborates the findings of Lopez et al. (2014), which reported an energetic advantage (increases in digestible energy) in cannulated steers when the combination of SRU+U was given at a ratio of starch and ADF identical to that used in the present experiment. In practical terms, if we consider that the diet composition of combined U treatment (SRU+U-4.5) and U treatment at the same S:ADF ratio (U-4.5, Table 1) were practically identical, the energy improvement observed for SRU+U-4.5 treatment represents the equivalent of an increase of 6.4% $[(2.14 - 2.00)/2.18]$ of steam-flaked sorghum in the diet.

3.2 Urea and S:ADF ratio effects on growth performance and dietary energy of diet

The average observed DMI of steers fed U diets was 102% of the expected based on tabular (NRC 1996) estimates of diet energy density and observed shrunk body weight (SBW) and ADG (Table 2), supporting the practicality of the prediction equations proposed by the NRC (1996) for the estimation of DMI in relation to SBW and ADG in feedlot cattle. Similar responses in DMI between diets containing different

levels of forage have been observed previously in trials involving steam-flaked corn-based diets (Zinn et al. 1994; Calderon-Cortes and Zinn 1996). As the S:ADF ratio increased, the DMI, ADG, G:F, and NE of diet increased ($P \leq 0.03$) linearly. The increases in gain, feed efficiency, or both, as a result of increases in energy density in diets are well documented (Zinn et al. 2008).

Irrespective of the S:ADF ratio, U diets did not modify the dietary energy ratio nor the observed-to-expected DMI. It has been observed that in high-grain diets (a starch:ADF ratio of greater than 5.0:1), U can be supplemented at a level 50% higher than the recommended with positive effects on growth performance or in dietary energy utilisation (Milton et al. 1997; Zinn et al. 2003). One possible advantage to higher U levels in finishing diets might be related to the buffering effects of U as a result of its hydrolysis to CO_2 and NH_3 and the potential buffering effects via ammonia (Galyean 1996), and/or because the synchrony of ruminal degradation rates between feed grade U and starch is maybe more favourable in these types of diets. The observed-to-expected dietary energy and intake are an important and practical application of current standards for energetics in nutrition research (Zinn et al. 2008). Based on diet composition and measures of growth performance, there is an expected energy intake and hence an expected of dry matter intake (NRC 1996). The estimation of dietary energy and the ratio of observed-to-expected DMI reveals differences in efficiency independently of ADG, providing important insight into potential treatment effects on the efficiency of energy utilisation of the diet itself. In the present experiment, the absence of effects on observed-to-expected DMI and dietary NE of the urea treatments at different S:ADF ratios showed that starch and fibre at these proportions did not provide any energetic advantage when they were supplemented with U.

3.2 Treatments effects on carcass characteristics

Treatment effects on carcass characteristics are shown in Table 3. Similar to previous reports (Pinos-Rodríguez et al. 2010; Holland and Jennings 2011), there were no effects of U combination on carcass characteristics. As the S:ADF ratio increased, carcass weight and LM area were increased linearly. The linear increases in hot carcass weight and dressing percentage, as a result of increased S:ADF ratio, was likely due to the concomitant linear increase in ADG (Block et al. 2001). In the same manner, an increased LM area has been a consistent response to an increased rate of ADG (Zinn et al. 2007).

4. Conclusions

Under the conditions of the current experiment, it was concluded that combining U with Optigen II in diets containing an approximate starch:ADF ratio of 4.5:1 increases by 8% the dietary energy efficiency. This energetic advantage represents the equivalent of a 6% increase of grain in the diet. An additional point is that the use of the combination of U and SRU as an alternative source of non-protein nitrogen for finishing diets in feedlots will depend on its cost and the relative prices of forage and grain.

Acknowledgements

This experiment was financed by PROMEP-SEP of México (project code: PROMEP/103.5/12/3360).

The authors thank for the support received by the commercial feedlot “Ganadera Rubios” during the development of the experiment.

5. References

Akay V, Tikofsky J, Holtz C, Dawson K. 2004. Optigen 1200: Controlled release of non-protein nitrogen in the rumen. In: Lyons TP and Jacques KA editors.

- Proceedings from Alltech's 21st Annual Symposium of Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries. Nottingham University Press. Nottingham, UK.
- Alvarez-Almora EG, Huntington GB, Burns JC. 2011. Effects of supplemental urea sources and feeding frequency on ruminal fermentation, fiber digestion, and nitrogen balance in beef steers. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 171:136-145.
- AOAC (Association Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis. 17th ed. Gaithersburg, MD.
- Block HC, McKinnon JJ, Mustafa AF, Christensen DA. 2001. Manipulation of cattle growth to target carcass quality. *J. Anim. Sci.* 79:133-140.
- Calderon-Cortes JF, Zinn RA. 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.
- Carrasco R, Arrizon AA, Plascencia A, Torrentera NG, Zinn RA. 2013. Comparative feeding value of distillers dried grains plus solubles as a partial replacement for steam-flaked corn in diets for calf-fed Holstein steers: characteristics of digestion, growth-performance, and dietary energetic. *J. Anim. Sci.* 91:1801-1810.
- Castañeda-Serrano RD, Ferriani-Branco A, Teixeira S, Garcia-Diaz T, Diego-Sofiati A. 2013. Slow release urea in beef cattle diets: digestibility, microbial synthesis and rumen kinetic. *Agrociencia.* 47:13-24.
- Duff GC, Walker DA, Malcom-Callis KJ, Wiseman MW, Rivera JD, Galyean ML, Montgomery TH. 2000. Effects of a slow-release urea product on feedlot performance and carcass characteristics of beef steers. Poster session presented at

- Proceedings of Western Section, American Society of Animal Science. Annual Meeting of American Society of Animal Science; Baltimore, MD, USA.
- Galyean ML. 1996. Protein levels in beef finishing diets: Industry application, university research, and systems results. *J. Anim. Sci.* 74:2860-2870
- Garrett WN. 1971. Energetic efficiency of beef and dairy steers. *J. Anim. Sci.* 32:451.
- Holland BP, Jennings JS. 2011. Using Optigen® to replace soybean meal nitrogen in dry-rolled corn-based finishing diets for beef steers. Poster session presented at: Science and Technology in the Feed Industry. 27th International Symposium of Alltech Inc.; Lexington, KY.
- Klopfenstein TJ, Erickson GE, Bremer VR. 2008. BOARD-INVITED REVIEW: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.* 86:1223–1231.
- López-Soto MA, Rivera-Méndez CR, Aguilar-Hernández JA, Barreras A, Calderón-Cortés JF, Plascencia A, Dávila-Ramos H, Estrada-Angulo A, Valdés-García YS. 2014. Effects of combining conventional urea and a slow-release urea product on characteristics of digestion, microbial protein synthesis and digestible energy in steers fed diets with different starch:ADF ratios. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27:187-193.
- Milton CT, Brandt Jr. RT, Titgemeyer EC. 1997. Urea in dry rolled corn diets: Finishing steers performance, nutrient digestion and microbial protein production. *J. Anim. Sci.* 75: 1415-1424.

- National Research Council. 1984. Nutrient Requirement of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. 1996. Nutrient Requirement of Beef Cattle (7th ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Pinos-Rodríguez JM, Peña LY, González-Muñoz SS, Bárcena R, Salem A. 2010. Effects of a slow-release coated urea product on growth performance and ruminal fermentation in beef steers. *Italian J. Anim. Sci.* 9: 16-19.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT User's Guide: Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Caroline.
- Taylor-Edwards CC, Hibbard G, Kitts SE, McLeod KR, Axe DE, Vanzant ES, Kristensen NB, Harmon DL. 2009. Effects of slow-release urea on ruminal digesta characteristics and growth performance in beef steers. *J. Anim. Sci.* 87: 200-208.
- Tedeschi LO, Baker MJ, Ketchen DJ, Fox DG. 2002. Performance of growing and finishing cattle supplemented with a slow-release urea product and urea. *Can. J. Anim. Sci.* 82: 567–573.
- USDA. 1997. Official United States standards for grades of carcass beef. United States Department of Agriculture.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. *Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci.* 74: 3583–3597.
- Vasconcelos JT, Cole NA, McBride KW, Gueye A, Galyean ML, Richardson CR, Greene LW. 2009. Effects of dietary crude protein and supplemental urea levels

- on nitrogen and phosphorus utilization by feedlot cattle. J. Anim. Sci. 87: 1174–1183.
- Zinn RA. 1990. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in steers. J. Anim. Sci. 68: 776-781.
- Zinn RA, Barreras A, Owens FN, Plascencia A. 2008. Performance by feedlot steers and heifers: ADG, mature weight, DMI and dietary energetics. J. Anim. Sci. 86:1-10.
- Zinn RA, Barrajas R, Montaña M, Ware RA. 2003. Influence of dietary urea level on digestive function and growth performance of cattle fed steam-flaked barley-based finishing diets. J. Anim. Sci. 81: 2383-2389.
- Zinn RA, Calderon JF, Corona L, Plascencia A, Torrentera N. 2007. Phase feeding strategies to meet metabolizable amino acid requirements of calf-fed Holstein steers. Prof. Anim. Sci. 23:333-339.
- Zinn RA, Plascencia A, Barrajas R. 1994. Interaction of forage level and monensin in diets for feedlot cattle on growth performance and digestive function. J. Anim. Sci. 72:2209.
- Zinn RA, Shen Y. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. J. Anim. Sci. 76: 1280–1289.

Table 1. Ingredients and composition of experimental diets

Item	Treatments			
	SRU+U-4.5	U-3.5	U-4.5	U-5.5
Ingredient composition, % DMB				
Steam flaked sorghum	61.00	56.00	61.00	66.00
DDGS	11.00	11.00	11.00	11.00
Sudangrass hay	12.00	18.00	12.00	8.00
Urea	0.80	0.80	0.80	0.80
Optigen II ^a	0.80	---	---	---
Cane molasses	9.83	9.63	10.63	9.63
Yellow grease	2.50	2.50	2.50	2.50
Trace mineral salt ^b	0.40	0.40	0.40	0.40
Limestone	1.67	1.67	1.67	1.67
NE concentration ^c , Mcal/kg of DM basis				
EN _m , Mcal/kg	2.03	1.98	2.03	2.09
EN _g , Mcal/kg	1.38	1.34	1.38	1.43
Nutrient composition, % of DM ^d				
Crude protein (N×6.25)	15.90	13.57	13.71	13.84
Starch	42.36	39.56	42.40	46.38
ADF	9.31	11.36	9.24	8.36
Starch:ADF ratio	4.55	3.48	4.59	5.55

^a Optigen-II. Alltech de México, Guadalajara Jalisco. ^b Trace mineral salt CoSO₄, 0.068%;

CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, 0.052%; NaCl, 92.96%. ^c Based on

tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (NRC, 2000) with the exception of supplemental fat, which was assigned NE_m and NE_g values of 6.03 and 4.79, respectively (Zinn, 1988). ^d

Dietary composition was determined by analyzing subsamples collected and composited throughout the experiment. Accuracy was ensured by adequate replication with acceptance of mean values that were within 5% of each other.

Table 2. Influence of treatments on growth performance and dietary energy of feedlot steers.

Item	Treatments ^a					SEM	SRU+U- 4.5 vs. U-4.5	S:F ratio ^b	
	SRU+U- 4.5 ^c	U-3.5	U-4.5	U-5.5	Linear			Quadratic	
Pen replicates	5	5	5	5					
Number of steers	15	15	15	15					
Days on feed	70	70	70	70					
Weight, kg ^d									
Initial	371.65	372.22	372.74	372.86	3.3	0.81	0.89	0.96	
Final	461.18	453.31	462.08	473.85	6.5	0.92	0.05	0.82	
Average daily gain, kg	1.279	1.158	1.276	1.443	0.052	0.97	<0.01	0.97	
Dry matter intake, kg	7.896	8.321	8.548	9.085	0.219	0.06	0.03	0.57	
Dry matter intake, % LW	1.896	2.012	2.046	2.145	0.037	0.02	0.03	0.49	
Gain for feed, kg/kg	0.162	0.139	0.149	0.159	0.003	0.02	<0.01	0.97	
Dietary net energy, Mcal/kg ^e									
Maintenance	2.14	1.93	2.00	2.05	0.018	<0.01	<0.01	0.71	
Gain	1.47	1.28	1.35	1.39	0.016	<0.01	<0.01	0.71	
Observed to expected dietary ratio ^f									

Maintenance	1.06	0.98	0.99	0.98	0.009	<0.01	0.59	0.55
Gain	1.06	0.96	0.98	0.97	0.011	<0.01	0.59	0.55
Observe to expected daily DM intake ^g	0.94	1.02	1.02	1.04	0.011	<0.01	0.39	0.50

^a SRU+U-4.5=0.80% U plus 0.80% at 4.5 S:F ratio, U-3.5 = 0.80 U at 3.5 S:F ratio, U-4.50=.80% U at 4.5 S:F ratio, and U-5.5= 0.80% U at 5.5 S:F ratio.

^b Proportion of starch vs. fibre acid detergent in diet. ^c Source of SRU was Optigen II, Alltech Inc., México, Guadalajara México. ^d The initial and BW was reduced by 4% to adjust for the gastrointestinal fill. ^e The estimation of dietary NE was performed based on observed ADG, DMI and average shrunk weight (SBW) and was estimated by means of the quadratic formula: $x = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})/2c$, where $x = NE_m$, $a = -0.41EM$, $b = 0.877 EM + 0.41 DMI + EG$, and $c = -0.877 DMI$, where EM= maintenance coefficient of 0.077 Mcal/BW^{0.75} (NRC 1984), EG is the daily energy deposited (Mcal/day) estimated by equation: $EG = ADG^{1.097} \times 0.0557W^{0.75}$ (NRC 1984), and DMI is the average daily dry matter intake (Zinn et al. 2008). ^f Observed to expected dietary net energy (NE) ratio was computed by dividing NE observed between expected diet NE, which was estimated based on tabular values for individual dietary ingredients (NRC 1996). ^g Expected DMI, kg/day = $(EM/NE_m) + (EG/EN_g)$; where, NE_m and EN_g is the diet energy concentration.

Table 3. Treatment effects on carcass characteristics.

Item	Treatments ^a				SEM	SRU+U-4.5 vs U-4.5	S:F ratio ^b	
	SRU+U-4.5	U-3.5	U-4.5	U-5.5			Linear	Quadratic
Pen replicates	5	5	5	5				
Number of steers	15	15	15	15				
Hot carcass weight, kg	301.7	293.1	302.7	308.6	4.12	0.86	0.02	0.72
Cold carcass weight, kg	298.1	289.6	299.1	305.0	4.07	0.86	0.02	0.72
Drip loss, %	1.20	1.18	1.19	1.19	0.023	0.73	0.87	0.98
Dressing percent	62.80	62.08	62.90	62.57	0.32	0.78	0.81	0.28
Longissimus muscle área, cm ²	78.10	77.18	78.30	80.73	1.079	0.90	0.04	0.62
Backfat thickness, mm	0.62	0.62	0.61	0.67	0.065	0.94	0.61	0.70
Kidney-pelvic fat, %	1.93	2.00	2.00	2.13	0.154	0.76	0.55	0.73
Marbling score	3.27	3.20	3.28	3.33	0.157	0.95	0.55	0.95

^a SRU+U-4.5=0.80% U plus 0.80% at 4.5 S:F ratio, U-3.5 = 0.80 U at 3.5 S:F ratio, U-4.5=0.80% U at 4.5 S:F ratio, and U-5.5= 0.80% U at 5.5 S:F ratio.

^b Proportion of starch vs. fibre acid detergent in diet.